T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK ANA BİLİM DALI

FARKLI KESİTLİ ÇUKUR BÖLGEDE NANOAKIŞKANLARIN SAYISAL ÇÖZÜMLERİ

Doktora Tezi

Yücel BALTÜRK

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi İnci ÇİLİNGİR SÜNGÜ

II. Danışman

Prof. Dr. Hüseyin DEMİR

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Yücel BALTÜRK tarafından, **Dr. Öğr. Üyesi İnci ÇİLİNGİR SÜNGÜ** danışmanlığında hazırlanan **"FARKLI KESİTLİ ÇUKUR BÖLGEDE NANOAKIŞKANLARIN SAYISAL ÇÖZÜMLERİ"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 10.3.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı **Üniversitesi** **Ana Bilim/Ana Sanat Dalı**	**Sonuç**
Başkan	Prof. Dr. Fatma AYAZ Gazi Üniversitesi Matematik Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. İbrahim KELEŞ Samsun Üniversitesi Mekanik Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Vedat Suat ERTÜRK Ondokuz Mayıs Üniversitesi Matematik Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Ü. Hatice MUTİ Samsun Üniversitesi Havacılık Yönetimi Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Ü. İnci ÇİLİNGİR SÜNGÜ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Matematik Eğitimi Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

05 /04 / 2023
Yücel BALTÜRK

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : FARKLI KESİTLİ ÇUKUR BÖLGEDE NANOAKIŞKANLARIN SAYISAL ÇÖZÜMLERİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 05.04.2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 12

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

05 /04 /2023
Dr. Öğr. Üyesi İnci ÇİLİNGİR SÜNGÜ

ÖZET

FARKLI KESİTLİ ÇUKUR BÖLGEDE NANOAKIŞKANLARIN SAYISAL ÇÖZÜMLERİ

Yücel BALTÜRK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Matematik Ana Bilim Dalı
Doktora, Mart/2023
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İnci ÇİLİNGİR SÜNGÜ

Nanoakışkanlar ve bu akışkanların kuvvet ve ısı etkisiyle oluşan davranış değişimleri son yıllarda sıklıkla ele alınan bir konudur. Yapılan çalışmalar genellikle deneysel olmakla beraber bu problemlere matematiksel yaklaşım da bilim insanları arasında ele alınmaya başlanmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı kapalı çukur bölgede duvar hareketli akım ve ısı yayılım problemini farklı yapıda nanoakışkanlar için nümerik yöntemle incelemektir. Bu incelemenin nanoakışkanların viskozite veya konveksiyon yoluyla oluşan hareketine dair yeni bulgular ortaya koyacağı ve davranışını karakterize edeceği öngörülmüştür. İncelemeler için zaman parametresinden bağımsız eliptik türdeki kısmi diferansiyel denklemler göz önüne alınmıştır. Süreklilik, hız, momentum ve enerji denklemlerinin ayrıştırılmasında sonlu farklar yöntemi , ayrıştırılan denklemlerin nümerik çözümünde ise SOR yöntemi kullanılmıştır.

Öncelikle duvar hareketli akımda newtonyen akışkan için sonuçlar alınmış ve bu sonuçlar Tosoka, N. ve Kakuda, N. (1994)'nin elde ettikleri sonuçlar ile, ısı yayılım probleminde newtonyen akışkanlar için elde edilen sonuçlar ise De Vahl Davis (1983)'in elde ettiği sonuçlar ile karşılaştırılmış ve hem nitelik hem de nicelik olarak tam uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Buradan hareketle farklı yapıdaki nanoakışkanlar için, duvar hareketli akımda farklı boy-en oranlarında ve çukur içerisinde farklı geometrilerdeki engelin olması durumlarında, Reynolds sayısının farklı değerlerinde sonuçlar alınmış ve grafiksel olarak sunulmuştur. Isı yayılım problemi için ise double glazing şartlarda farklı yapıdaki nanoakışkanlar için Rayleigh sayısının farklı değerlerinde grafik sonuçlar elde edilmiş ve Nusselt sayıları incelenmiştir. Nümerik algoritmayı programlamak için Matlab yazılımı kullanılmıştır. Nanopartikül olarak alüminyum oksit, bakır ve bor kullanılmış baz akışkan olarak su alınmıştır. Elde edilen sonuçlarda farklı yapıdaki nanoakışkanların, newtonyen akışkanlarla kıyaslanarak viskozite veya konveksiyon nedeniyle oluşan hareketindeki değişimler yorumlanmıştır. Nümerik çözüm için kullanılan sonlu fark ayrıştırmasının ve SOR yönteminin programlama kolaylığı sağladığı; ayrıca hızlı, tutarlı ve güvenilir sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Eliptik denklem, Duvar hareketli akış, Doğal konveksiyon, Sonlu farklar, SOR, Nanoakışkan

ABSTRACT

NUMERICAL SOLUTIONS OF NANOFLUIDS IN CAVITY FLOW WITH VARIOUS ASPECT RATIOS

Yücel BALTÜRK
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Mathematics
Ph.D., March/2023
Supervisor: Assist. Prof. Dr. İnci ÇİLİNGİR SÜNGÜ

Nanofluids and changes of their behaviour with the influence of force and heat are a frequently discussed issue in recent years. Despite the studies are experimental in general, the mathematical approach to this type of problems has also started to be discussed among scientists.

The aim of this thesis is to investigate the lid driven and bouyancy driven problem for nanofluids with different structures in the closed cavity using numerical method. It is anticipated that this investigation will reveal new results for the motion of nanofluids through viscosity or convection and characterize their behavior. The elliptical type of partial differential equations which are steady state are considered. The finite difference method was used for the discretization of the continuity, velocity, momentum and energy equations, and the SOR method was used for the numerical solution of the discretized equations.

Firstly, the results for the newtonian fluid for lid driven problem were taken and these results were compared with the results obtained by Tosoka, N., Kakuda, N. (1994), then the results obtained for the Newtonian fluids in the buoyancy driven problem were taken and the results were compared with the results obtained by De Vahl Davis (1983). It seemed that the results that obtained are fully compatible both in terms of quality and quantity with literature. Thus, for nanofluids with different structures, in case of different aspect ratios in the lid driven flow and different geometries of obstacles in the cavity, results with different values of Reynolds number were obtained and shown graphically. For buoyancy driven problem, graphical results were obtained at different values of Rayleigh number for nanofluids with different structures under double glazing conditions and Nusselt numbers were examined. The Matlab software is used to program the numerical algorithm. Alumina, copper and boron were used as nanoparticle, and water was taken as the base fluid. The results that obtained, the changes in the motion of nanofluids with different structures, by virtue of viscosity or convection, were interpreted by comparing them with newtonian fluids. Finite difference discretization and SOR method which are used for numerical solution, provides programming convenience moreover it has also been concluded that it gives fast, consistent and reliable results.

Keywords: Elliptic equation, Lid driven, Natural convection, Finite difference, SOR, Nanofluid

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının başlangıç, sürdürülüş ve sonuçlandırılmasında şahsıma göstermiş olduğu sabır ve sunduğu bakış açılarıyla desteğini hiç bir zaman esirgemeyen saygıdeğer ikinci danışman hocam sayın Prof. Dr. Hüseyin DEMİR' e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın tüm aşamalarında her zaman yanımda olan, yardım ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi İnci ÇİLİNGİR SÜNGÜ' ye saygı ve şükranlarımı sunarım.

Desteklerini hayatımın her anında her zaman yanımda bulduğum annem Hacer BALTÜRK'e, babam Mecit BALTÜRK'e teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim süresince, olabilecek her koşulda her zaman tüm desteğini veren kıymetli eşim Tevhide BALTÜRK'e ve sevgisiyle beni motive eden çok kıymetli bir tanem kızım Begüm Nil BALTÜRK'e sonsuz sevgilerimi sunar teşekkür ederim.

Yücel BALTÜRK

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **i**
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI ..... **ii**
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI ..... **ii**
ÖZET ..... **iii**
ABSTRACT ..... **iv**
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **ix**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL BİLGİLER **5**
2.1. Akışkanların Temel Özellikleri 5
2.2. Akışkan Türleri ve Temel Özellikleri 6
2.3. Korunum Denklemleri 7
2.4. Süspansiyonda Kullanılan Sıvıların ve Katı Parçacıkların Termofiziksel Özellikleri 10
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER **11**
3.1. Çukur Bölgede Duvar Hareketli Akım 11
3.2. Çukur Bölgede Isı yayılım Problemi 13
3.3. Denklemlerin Ayrıştırılması ve Algoritması 15
4. BULGULAR VE TARTIŞMA **21**
4.1. Karesel Bölgede Duvar Hareketli Akım 21
4.2. Dikdörtgensel Bölgede Duvar Hareketli Akım 30
4.3. İçerisinde Engel Bulunan Çukur Bölgede Duvar Hareketli Akım 55
4.4. Çukur Bölgede Isı Yayılım Problemi 110
5. SONUÇ VE ÖNERİLER **118**
KAYNAKÇA **120**
ÖZGEÇMİŞ **123**

SİMGELER VE KISALTMALAR

C_p : Sabit Basınçta Özgül Isı

C_v : Sabit Hacimde Özgül Isı

g : Yerçekimi kuvveti

k_f : Baz Akışkanın Isıl İletkenliği

k_{nf} : Nanoakışkanın Isıl İletkenliği

q : Isı Akısı

h : Isı Transfer Katsayısı

Nu : Nusselt Sayısı

Pr : Prandtl Sayısı

Re : Reynolds Sayısı

Ra : Rayleigh Sayısı

Gr : Grashof Sayısı

T : Boyutsuz Sıcaklık

T_h : Görece Yüksek Sıcaklık

T_c : Görece Düşük Sıcaklık

θ : Boyutlu Sıcaklık

U_0 : Karakteristik Hız

$\mathbf{U}$: Hız Vektörü

u : x Ekseni Yönündeki Hız Bileşeni

v : y Ekseni Yönündeki Hız Bileşeni

H : Karakteristik Uzunluk

Ψ : Boyutsuz Akım Foknsiyonu

ψ : Boyutlu Akım Foknsiyonu

Ω : Boyutsuz Girdap Fonksiyonu

ω : Boyutlu Girdap Fonksiyonu

μ_f : Baz Akışkanın Dinamik Viskozitesi

μ_{nf} : Nanoakışkanın Dinamik Viskozitesi

ν_f : Baz Akışkanın Kinematik Viskozitesi

ν_{nf} : Nanoakışkanın Kinematik Viskozitesi

α_f : Baz Akışkanın Isıl Yayılması

α_{nf} : Nanoakışkanın Isıl Yayılması

β_f : Baz Akışkanın Isıl Genleşme Katsayısı

β_{nf} : Nanokışkanın Isıl Genleşme Katsayısı

ρ_f : Baz Akışkanın Yoğunluğu

ρ_{nf} : Nanokışkanın Yoğunluğu

φ : Nanoakışkandaki Katı Parçacık Oranı Yüzdesi

∇ : Gradyan Operatörü

P : Basınç

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çukur bölgede duvar hareketli akım 12
Şekil 3.2. İçerisinde engel bulunan çukur bölgede duvar hareketli akım 13
Şekil 3.3. Isı yayılım problemi 14
Şekil 4.1. Akım fonksiyonu değerlerinin ağ aralıkları ile karşılaştırılması 21
Şekil 4.2. Girdap fonksiyonu değerlerinin ağ aralıkları ile karşılaştırılması 21
Şekil 4.3. $\mathrm{Re} = 100$ ve $\mathrm{Re} = 1000$ değerlerinde newtonyen akışkan için dikey merkez çizgisi boyunca yatay hız profilleri 22
Şekil 4.4. $\mathrm{Re} = 100$ ve $\mathrm{Re} = 1000$ değerlerinde dikey merkez çizgisi boyunca yatay hız profillerinin karşılaştırılması (Tosoka and Kakuda, 1994) 22
Şekil 4.5. $\mathrm{Re} = 100$ ve $\mathrm{Re} = 1000$ değerlerinde su bazlı bor nanoakışkan için dikey merkez çizgisi boyunca yatay hız profilleri 23
Şekil 4.6. $\mathrm{Re} = 100$ ve $\mathrm{Re} = 1000$ değerlerinde su bazlı bakır nanoakışkan için dikey merkez çizgisi boyunca yatay hız profilleri 23
Şekil 4.7. $\mathrm{Re} = 100$ ve $\mathrm{Re} = 1000$ değerlerinde su bazlı alüminyum oksit nanoakışkan için dikey merkez çizgisi boyunca yatay hız profilleri 23
Şekil 4.8. $\mathrm{Re} = 100$ için nanoakışkanların hız dağılımlarının karşılaştırılması 24
Şekil 4.9. Sadece üst duvarı hareket eden karesel bölgede $\mathrm{Re} = 1$ için akım çizgileri. 25
Şekil 4.10. Sadece üst duvarı hareket eden karesel bölgede $\mathrm{Re} = 100$ için akım çizgileri 25
Şekil 4.11. Sadece üst duvarı hareket eden karesel bölgede $\mathrm{Re} = 1000$ için akım çizgileri 26
Şekil 4.12. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden karesel bölgede $\mathrm{Re} = 1$ için akım çizgileri. 27
Şekil 4.13. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden karesel bölgede $\mathrm{Re} = 100$ için akım çizgileri 27
Şekil 4.14. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden karesel bölgede $\mathrm{Re} = 1000$ için akım çizgileri 28
Şekil 4.15. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden karesel bölgede $\mathrm{Re} = 1$ için akım çizgileri 29
Şekil 4.16. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden karesel bölgede $\mathrm{Re} = 100$ için akım çizgileri 29
Şekil 4.17. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden karesel bölgede $\mathrm{Re} = 1000$ için akım çizgileri 30
Şekil 4.18. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede $\mathrm{Re} = 1$ için akım çizgileri. 31
Şekil 4.19. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede $\mathrm{Re} = 100$ için akım çizgileri 31
Şekil 4.20. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede $\mathrm{Re} = 1000$ için akım çizgileri 31
Şekil 4.21. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede $\mathrm{Re} = 1$ için akım çizgileri 32
Şekil 4.22. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede $\mathrm{Re} = 100$ için akım çizgileri 32

Şekil 4.23. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 33
Şekil 4.24. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 33
Şekil 4.25. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 34
Şekil 4.26. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 35
Şekil 4.27. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri. 36
Şekil 4.28. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 37
Şekil 4.29. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 38
Şekil 4.30. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 39
Şekil 4.31. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 39
Şekil 4.32. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 40
Şekil 4.33. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 40
Şekil 4.34. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 40
Şekil 4.35. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 41
Şekil 4.36. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 42
Şekil 4.37. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 42
Şekil 4.38. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 43
Şekil 4.39. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 44
Şekil 4.40. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 45
Şekil 4.41. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 46
Şekil 4.42. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 47
Şekil 4.43. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 47
Şekil 4.44. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 48

Şekil 4.45. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri. 48
Şekil 4.46. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri. 48
Şekil 4.47. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri. 49
Şekil 4.48. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 50
Şekil 4.49. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 51
Şekil 4.50. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 52
Şekil 4.51. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 53
Şekil 4.52. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 54
Şekil 4.53. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 55
Şekil 4.54. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede Re = 1 için akım çizgileri 56
Şekil 4.55. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede Re = 100 için akım çizgileri 57
Şekil 4.56. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 57
Şekil 4.57. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 58
Şekil 4.58. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri. 58
Şekil 4.59. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri. 59
Şekil 4.60. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 59
Şekil 4.61. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 60
Şekil 4.62. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 61
Şekil 4.63. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 62
Şekil 4.64. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 63
Şekil 4.65. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 64
Şekil 4.66. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede Re = 1 için akım çizgileri 65

Şekil 4.67. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede Re = 100 için akım çizgileri 65
Şekil 4.68. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 66
Şekil 4.69. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 66
Şekil 4.70. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 67
Şekil 4.71. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 67
Şekil 4.72. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 68
Şekil 4.73. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 69
Şekil 4.74. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 70
Şekil 4.75. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 71
Şekil 4.76. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 72
Şekil 4.77. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 73
Şekil 4.78. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede Re = 1 için akım çizgileri 74
Şekil 4.79. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede Re = 100 için akım çizgileri 74
Şekil 4.80. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 75
Şekil 4.81. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 75
Şekil 4.82. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 76
Şekil 4.83. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 76
Şekil 4.84. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 77
Şekil 4.85. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 78
Şekil 4.86. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 79
Şekil 4.87. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 80
Şekil 4.88. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 81

Şekil 4.89. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri 82

Şekil 4.90. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri 83

Şekil 4.91. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri 84

Şekil 4.92. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri 84

Şekil 4.93. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri 85

Şekil 4.94. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri 85

Şekil 4.95. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri 85

Şekil 4.96. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri 86

Şekil 4.97. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri 87

Şekil 4.98. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri 88

Şekil 4.99. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri 89

Şekil 4.100. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri 90

Şekil 4.101. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri 91

Şekil 4.102. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri 92

Şekil 4.103. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri 92

Şekil 4.104. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri 93

Şekil 4.105. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri 93

Şekil 4.106. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri 94

Şekil 4.107. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri 94

Şekil 4.108. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri 95

Şekil 4.109. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri 96

Şekil 4.110. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri 97

Şekil 4.111. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 98
Şekil 4.112. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 99
Şekil 4.113. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 100
Şekil 4.114. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede Re = 1 için akım çizgileri..... 101
Şekil 4.115. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede Re = 100 için akım çizgileri 101
Şekil 4.116. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 102
Şekil 4.117. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 102
Şekil 4.118. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 103
Şekil 4.119. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 103
Şekil 4.120. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri 104
Şekil 4.121. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 105
Şekil 4.122. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 106
Şekil 4.123. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1 için akım çizgileri..... 107
Şekil 4.124. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 100 için akım çizgileri 108
Şekil 4.125. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede Re = 1000 için akım çizgileri 109
Şekil 4.126. Newtonyen akışkan için akım ve sıcaklık grafikleri 110
Şekil 4.127. Newtonyen akışkan için akım ve sıcaklık grafikleri (De Vahl Davis, 1983) .. 111
Şekil 4.128. Bakır-Su nanoakışkanı için akım ve sıcaklık fonksiyonu grafikleri 113
Şekil 4.129. Bor-Su nanoakışkanı için akım ve sıcaklık fonksiyonu grafikleri 114
Şekil 4.130. Alüminyum oksit-Su nanoakışkanı için akım ve sıcaklık fonksiyonu grafikleri 115
Şekil 4.131. Newtonyen akışkan için Nusselt sayısı değişimi 115
Şekil 4.132. Alüminyum oksit-Su nanoakışkan için Nusselt sayısı değişimi 116
Şekil 4.133. Bor-Su nanoakışkan için Nusselt sayısı değişimi 116
Şekil 4.134. Bakır-Su nanoakışkan için Nusselt sayısı değişimi 117

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Nanoakışkanlar için bazı viskozite modelleri 7
Tablo 2.2. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri 10
Tablo 4.1. Test durumunda Nusselt sayısının literatür ile karşılaştırılması.....112
Tablo 4.2. Farklı türde nanoakışkanlar için Nusselt sayısının değişimi 116

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji veya kısaca nanotek ifadeleri maddenin atomik ya da moleküler boyutta incelenmesi olarak ifade edilebilir. Nanoteknolojiye ait ilk kavramlar Richard Feynman tarafından ortaya atılmıştır. Nanoteknoloji kelimesi ilk defa 1974 yılında Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır. İlerleyen yıllarda K. Eric Drexler bu terime 1986 yılında yayınlanan Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology isimli kitabında yer vermiştir (Ganji and Kachapi, 2015).

Kütleler arası ısı transferini iyileştirmek amacıyla araştırmacılar tarafından pek çok yol denenmiş lakin istenen düzeyde verim elde edilememiştir. Verimi artırmak amacıyla nanometreden daha büyük boyutta olan mikro parçacıklar eklenmiş ancak bu parçacıkların büyük olması nedeniyle bulundukları geometrilerde tıkanma ve sürtünmeden dolayı temas yüzeylerinde yıpranmalar gözlemlenmiştir (Das, et. al., 2008). Bu gibi sebeplerden dolayı parçacık boyutunu daha da küçültme fikri gelişmiştir. Nano boyutlara küçültülen partiküllerle hazırlanan süspansiyonlarla oluşturulan nanoakışkan kavramı Choi ve Eastman tarafından yapılan çalışmada, özel olarak üretilmiş ve ortalama 10 nanometre büyüklüğünde yani nano boyuttaki metalik parçacıkların süspansiyon içerisinde dağıtılmasıyla oluşturulmuş akışkanlar olarak ilk kez tanımlanmıştır (Choi and Eastman, 1995).

Günümüzde nanoakışkanlar birçok endüstride önem arz etmeye başlamış olup bu zamana kadar bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaları oluşturan araştırmaların daha çok deneysel yollarla elde edildiği görülmektedir. Nanoakışkanlar bünyelerinde farklı maddeler ihtiva etmekte olduğundan nanoakışkanların incelenmesinde viskozite önemli bir yer tutmaktadır. Viskozitenin incelenmesi ise bazı viskozite modellerini esas almayı gerektirir. Bu bağlamda 1906 yılında Einstein, 1952 yılında Brinkman, 1959 yılında Krieger ve Dougherty, 1977 yılında Batchelor, 2009 yılında Masoumi ve arkadaşları, 2011 yılında ise Corcione viskozite bağıntılarını vermişlerdir.

Nanoakışkanlar üzerine yapılan deneysel ve teorik çalışmalara günümüzde halen ilgi sürmektedir. Bu bağlamda konu ile ilgili yapılan teorik çalışmaların bir kısmından bahsedilecek olursa, 2010 yılında Lokman İlbilgi doktora tezinde nanoakışkanlı tüp içerisindeki ısı transferini sayısal olarak incelemiştir (İlbilgi, 2010). 2012 yılında Engin Akçaoğlu ve arkadaşları tarafından yayınlanan makalede ise bölmeli bir kare kapalı ortamdaki nanoakışkanın ısı transferinin sayısal çözümü

incelenmiştir (Akçaoğlu, vd., 2012). 2013 yılında S.E. Ahmed çalışmasında kapalı sonlu farklar yöntemini kullanarak eğimli dikdörtgensel bölgede konveksiyonu nümerik olarak incelemiştir (Ahmed, 2013). 2015 yılında Koray Karabulut "Isı değiştiricilerde Isı Aktarımının Nanoakışkanlar Kullanılarak Arttırılması" isimli tezini yayınlamıştır (Karabulut, 2015). 2017 yılında ise Rizwan-ul-Haq ve arkadaşları tarafından yayınlanan makalede bakır oksit – su karışımının ısı transferi analizi incelenmiştir (Haq, et. al., 2017). 2018 yılında S. A. M. Mehryan ve arkadaşları yayınladıkları makalelerinde nanoakışkanların eşlenik doğal konveksiyonunu incelemiştir (Mehryan, et. al., 2018). Javad Mohebbi Najm Abad ve arkadaşları "Analysis of transport processes in a reacting flow of hybrid nanofluid around a bluff-body embedded in porous media using artificial neuralnetwork and particle swarm optimization" isimli çalışmalarında gözenekli ortamdan kimyasal reaksiyon gösteren sıvının dik yüzeydeki taşınım analizini incelemiş ve tahmin algoritmalarını kullandığı bu çalışmasında bu algoritmaların önemini vurgulamıştır (Abad, et. al., 2020). Öte yandan Mateusz Korpyś ve arkadaşları yayınlamış oldukları "Experimental and numerical study on heat transfer intensification in turbulent flow of CuO–water nanofluids in horizontal coil" isimli makalelerinde yatay bobinde bakır oksit-su nanoakışkanının türbülanslı akışta ısı transferi yoğunlaştırılması üzerine sayısal ve deneysel bir çalışma ortaya koymuşlar ve baz akışkan olan suya göre nanopartikül eklenmesinin ısı transfer katsayısında %18 ile %35 arasında artış sağladığı sonucuna ulaşmışlardır (Korpyś, et. al., 2020). "Nanofluid flow driven by thermal and magnetic forces - Experimental and numerical studies" isimli diğer bir çalışma Elzbieta Fornalik-Wajs , Aleksandra Roszko , Janusz Donizak tarafından gerçekleştirilmiş ve ısıl ve manyetik güçler tarafından yönetilen nanoakışkan akışını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada güneş panellerinde ısı taşıyıcı olarak göz önüne alınan gümüş nanoakışanın kübik kapalı bölgede ısıl ve manyetik konveksiyonu incelenmiştir (Wajs, et. al., 2020). Erdem Çiftçi "Pool Boiling Heat Transfer Properties of Water-Based Dilute Fe+ZnO Hybrid Nanofluid under Low Heat Flux Condition: A Numerical Study" isimli çalışmasında yüksek ısısal iletkenlik ve iyi kararlılığı bir arada sunacak koşullar üzerine çalışmıştır (Çiftçi, 2021). Öte yandan Mustafa Kılıç ve Murat Gökçek yayınlamış oldukları "Yüksek ısı akılı hareketli bir plakadan olan ısı transferine nanoakışkanların ve çarpan jetlerin müşterek etkisinin sayısal incelenmesi" isimli makalelerinde parçacık çaplarının ve farklı plaka hızlarının ısı transferine etkisini incelemiştir (Kılıç ve Gökçek, 2021). "Bor Bileşiklerinin Solar Tuzun Termo-

Fiziksel Özelliklerine Etkileri" isimli diğer bir çalışma Fatih Selim Bayraktar, Ramazan Köse, Mükerrem Şahin tarafından gerçekleştirilmiş ve solar tuz isimli akışkana bor eklenerek erime sıcaklığının düşürülmesi hedeflenmiştir (Bayraktar, vd., 2021). Murat Erdem, Yasin Varol ve Müjdat Fırat tarafından gerçekleştirilen "Soğuk Şartlar Altındaki Bir Boruda MHD Nanoakışkanın Zorlanmış Taşınım ile Isı Transferi" isimli çalışmada akışkan yönüne dik olarak manyetik alan uygulanmış ve denklemler ANSYS programı ile çözülmüştür (Erdem, vd., 2021). "Application Of Nanofluids For Enhanced Waste Heat Recovery: A Review" isimli derleme makale Olabi, A.G. ve arkadaşları tarafından kaleme alınmış ve yapılan çalışmaların özetleri ile gelecek için geliştirmeler düşünülmüştür (Olabi, vd., 2021).

Matematik anabilim dalında nanoakışkanlar üzerine yapılan "Dual solutions of nanofluid forced convective flow with heat transfer and porous media past a moving surface" isimli çalışma M. Ferdows ve Faris Alzahrani tarafından yapılmış ve bu çalışmada hareketli gözenekli ortamda nanoakışkanın zorlanmış akışının dual çözümleri incelenmiştir. Bu incelemede hareket parametresinin bulunduğu aralığa göre çözümün tekliği, dualliği ve çözümün olmadığı durumlar ortaya koyulmuştur (Ferdows and Alzahrani, 2020). Karen Cacua ve arkadaşları tarafından yapılan "Nanofluids stability effect on a thermosyphon thermal performance" isimli çalışmada bir termosifon üzerinde nanoakışkanın kararlılığının etkisi incelenmiş ve yüksek oranda nanopartikülün olduğu durumda sürfaktanın (yüzey aktif madde) varlığı ve yokluğunun etkisi incelenmiştir (Cacua, et. al., 2020). Diğer bir çalışmada Dalvi ve arkadaşları manyetokalorik nanoakışkan ile dolu dairesel halkada termo-manyetik koveksiyonu incelemişler ve ısı transferi aygıtının şeklinin nasıl olması gerektiği yönünde bir kriter oluşturmaya çalışmışlardır. Bu bağlamda faklı yükseklik ve iç yarıçapa göre değişen geometrik şekillerin etkisini farklı oranlar alarak incelemişlerdir (Dalvi, et. al. 2020). Nanoparçacıkların varlığı durumunda gerilen taba üzerinde çok fazlı akışın hesaplamalı modellemesi isimli yayınında Reza-E-Rabbi, ışınımsal Cason ve Maxwell akışkanlarının nano parçacıkların varlığı durumunda hidrodinamik akışını incelemiştir (Reza-E-Rabbi, 2020).

Bu tezde, duvar hareketli akım ve ısı yayılım probleminin sayısal çözümü için nanoakışkan denklemlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Denklemlerin sonlu fark metodu ile ayrıştırması yapılmış ve denklem sistemleri SOR metodu yardımıyla sayısal olarak çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar akışkanın newtonyen olması durumunda literatür ile karşılaştırılarak nitelik ve nicelik olarak tam uyumlu olduğu

gösterilmiştir. Bu yolla elde edilen sonuçlar üzerinden incelenen farklı nanoakışkanların davranış özellikleri ortaya konulmuştur. Çukur bölge probleminde baz akışkan olarak su alınmıştır. Ayrışımı görebilmek adına üç farklı katı parçacık kullanılmıştır. Bunlar deneysel çalışmalarda sıkça kullanılmasından dolayı bakır ve alüminyum, son yıllarda endüstride kullanımı oldukça artmasından dolayı bor olarak seçilmiştir. Hareketli duvar veya ısı etkisinin altında nanoakışkan davranışları incelenmiş ve grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca farklı geometrilerde çukur bölgede hareketli duvar problemi incelenmiştir. Ek olarak hareketli duvara sahip karesel çukur bölgenin içerisinde hareketsiz engel olması durumunda nanoakışkan davranışları farklı Reynolds sayıları göz önüne alınarak grafiksel olarak incelenmiştir. Böylelikle farklı nanoakışkanların farklı geometriler ve farklı kuvvetler etkisi altında nümerik tabanlı matematiksel olarak incelemesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca soldan ısıtılan ve sağdan soğutulan karesel çukur bölgede ısı problemi ele alınarak farklı Rayleigh sayıları kullanıldığında nanoakışkan davranışı hem akım hem de sıcaklık grafikleri ile ortaya konmuştur. Bu tür denklemlerin sayısal olarak çözümlenmesi, deneysel çalışmaların daha hızlı yapılmasını sağlayarak hem zaman hem de maliyet tasarruflu incelemelere ışık tutulabilecektir.

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde temel akışkan özellikleri ve nanoakışkanların özellikleri verilmiştir. Temel yasalar olan korunum denklemleri ifade edilmiştir.

Materyal ve Metot bölümünde ele alınan duvar hareketli akım ve ısı problemleri tanıtılarak sonlu fark ayrışımı ve denklem sistemlerinin çözümleri ile ilgili algoritmaya yer verilmiştir.

Bulgular ve Tartışma bölümünde ise elde edilen sonuçların literatür ile karşılaştırılması verilerek elde edilen yeni bulgular sunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Akışkanların Temel Özellikleri

Akışkanlar genel bir ifade ile akabilmeleri nedeni ile bulundukları geometrinin şeklini alan nesneler olarak ifade edilebilirler (Giles, V. R., 1980).

Bu bölümde akışkanlar için ortak özellikler ve bazı temel tanımlar verilecektir. Bunlar viskozite, sıkıştırılamazlık ve boyutsuz sayılar gibi özelliklerdir.

Bir akışkanın akmaya karşı göstermiş olduğu güce viskozite adı verilir (Soğukoğlu, 1991).

Basınçtaki değişimlere karşı akışkanın elementinin yoğunluğunda herhangi bir farklılaşma oluşmuyorsa bu tür akışkanlara sıkıştırılamaz akışkan adı verilir (Batchelor, 1967).

Akışın şiddetini ve karakterini belirleyebilmek için bazı boyutsuz sayılar kullanılır. Bu sayılar fiziksel birimlerden bağımsız karşılaştırmaya imkan verirler. Çalışmamızda bahsi geçen boyutsuz sayılar aşağıdaki gibi tanımlanabilirler.

Akışkanlar mekaniğine çok sık karşılaşılan Reynolds sayısı atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere göre oranını ölçmektedir (Örs, 1999). İlaveten Reynolds sayısı Reynolds tarafından akışın düzgün (laminer) ve düzensiz (türbülanslı) olduğunu belirten boyutsuz sayı olarak ortaya koyulmuştur. Reynolds sayısının 2100 değerinden küçük olduğu durumlarda düzgün akışın, 4000 değerinden büyük olduğu durumlarda düzensiz akışın ve 2100 ile 4000 arasındaki değerlerinde ise belirsiz bir bölge ortaya çıktığı belirtilmiştir (Soğukoğlu, 1991). Reynolds sayısı, ρ yoğunluk, H uzunluk, U_0 karakteristik hız ve μ viskozite olmak üzere

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho H U_0}{\mu}$$

formülü ile verilir (Soğukoğlu, 1991).

Prandtl sayısı akışkanın akımına değil akışkanın türüne göre değişmektedir ve incelenen akışkanın momentum yayınım hızının ısısal yayınım hızına olan oranına denilmektedir. Akışkanın ısısal yayınım katsayısı α, kinematik viskozite ν olmak üzere Prandtl sayısı

$$\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}$$

ile ifade edilir (Örs, 1999).

Bir doğal konveksiyon akışının laminer ya da türbülanslı olduğunu gösteren boyutsuz sayıya Grashof sayısı denir ve

$$Gr = \frac{g\beta L^3 \left(T_{sıcak} - T_{soğuk}\right)}{\nu_f^2}$$

ile ifade edilir. Burada g ile yerçekimi kuvveti, β ile termal genleşme katsayısı, T ile boyutsuz sıcaklık, ν ise kinematik viskozite gösterilmektedir (Das, 2008).

Laminer akıştan türbülanslı doğal konveksiyona geçişi belirtmek için kullanılan ve Grashof sayısı ile Prandtl sayısının çarpımı olarak ifade edilen Rayleigh sayısı

$$Ra = Gr.\Pr$$

şeklinde ifade edilir. Genellikle 10^8 sayısını aşan Rayleigh değerleri türbülanslı akım alnını ifade eder (Das, 2008).

Akış yüzeyinde oluşan doğal konveksiyon ısı transferinin akışkan iletimi ile ısı transferine oranı Nusselt sayısı ile ifade edilmektedir (Das, 2008). T boyutlu sıcaklık fonksiyonu, k_f baz akışkanın ısıl iletkenliği, q ısı akısı olmak üzere h ısı transfer katsayısı

$$h = \frac{q_w}{T_{sıcak} - T_{soğuk}}$$

ile hesaplanır. k_{nf} nanoakışkanın ısıl iletkenliği olmak üzere bu değer

$$k_{nf} = -\frac{q_w}{\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=0}}$$

formülü ile elde edilir. Ayrıca yerel Nusselt sayısı

$$Nu_{yerel} = \frac{hL}{k_f} = -\left(\frac{k_{nf}}{k_f}\right)\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=0}$$

şeklinde hesaplanır (Mahmoodi, et. al., 2014).

2.2. Akışkan Türleri ve Temel Özellikleri

Çalışmamızda newtonyen akışkanlar ve nanoakışkanlar olmak üzere iki tip akışkan modeli incelenecektir. Bir akışkanın maruz kaldığı kayma gerilmesi ile şekil değiştirme hızı orantılı olarak değişiyor ise bu akışkana newtonyen akışkan denir. (Çengel ve Cimbala, 2015). Bir metrelik uzunluğun milyarda biri kadar olan uzunluklara bir nanometre denilmektedir. Boyutları nanometrik olan ve katı haldeki parçacıkların uygun sıvılarla karıştırılmasıyla elde edilen süspansiyona nanoakışkan

denir (Dirlik, 2018). Newtonyen akışkanın viskozitesi (μ) sabit iken nanoakışkanın bazı viskozite modelleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Nanoakışkanlar için bazı viskozite modelleri (Elçioğlu vd. , 2013)

Referans Model Adı	Modelin İfadesi
Brinkman (1952)	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{nf}} = \mu_r = \frac{1}{(1-\varphi)^{2.5}}$
Einstein (1906)	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{nf}} = \mu_r = 1 + 2.5\varphi$
Lundgren (1972)	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{nf}} = \mu_r = 1 + 2.5\varphi + \left(\frac{25}{4}\right)\varphi^2 + O(\varphi^3)$
Batchelor (1977)	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{nf}} = \mu_r = 1 + 2.5\varphi + 6.5\varphi^2$

2.3. Korunum Denklemleri

Akışkanın hız vektörü $\boldsymbol{U} = \boldsymbol{U}(u, v)$, x ekseni yönündeki hız bileşeni u, y ekseni yönündeki hız bileşeni v, akışkanın yoğunluğu ρ, zaman parametresi t ve gradyent opertörü ∇ olmak üzere kartezyen koordinatlarda iki boyutlu süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0$$
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla.(\rho \mathbf{U}) = 0 \qquad \textbf{(2.1)}$$

ile ifade edilir (Çengel ve Cimbala, 2015).

Akışkanın sıkıştırılamaz olduğu durumda, zamana göre yoğunluk sabit olacağından dolayı kartezyen koordinatlarda iki boyutlu süreklilik denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$
$$\nabla.(\rho \mathbf{U}) = 0 \qquad \textbf{(2.2)}$$

formunda elde edilir.

Kartezyen koordinatlarda sıkıştırılamaz akışkanın x ve y yönlerindeki hareketinin diferansiyel denklemleri sırasıyla

$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}\right)=-\frac{\partial P}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)+\rho g_x$$
$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)=-\frac{\partial P}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)+\rho g_y \quad \textbf{(2.3)}$$

şeklinde verilir. Burada P ile basınç, g ile yer çekimi kuvveti ve μ ile de akışkanın viskozitesi gösterilmiştir. Bu denklemler momentumun korunumu ilkelerinden elde edilmektedir.

İki boyutlu kartezyen koordinatlarda sıkıştırılamaz akış için $\psi=\psi\left(x,y\right)$ akım fonksiyonu

$$u=\frac{\partial \psi}{\partial y},\ v=-\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad \textbf{(2.4)}$$

olarak ifade edilir (Çengel ve Cimbala, 2015).

Girdap fonksiyonu hız fonksiyonunun yerel rotasyoneli olarak $\Omega=\nabla\times\mathbf{U}$ şeklinde ifade edilir (Batchelor, 1967). Girdap akım formulasyonu akış denklemlerinin basınç teriminden bağımsız olarak göz önüne alınmasını sağlar. Bundan dolayı birçok akışkan probleminin ele alınmasında doğrudan hız fonksiyonlarını kullanmak yerine akım-girdap fonksiyonları kullanılmaktadır.

İki boyutlu kartezyen koordinatlarda sıkıştırılamaz akış için T sıcaklık fonksiyonu, k ısıl iletkenlik katsayısı ve C_v özgül ısı olmak üzere enerji denklemi

$$\frac{\partial T}{\partial t}+u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}=\frac{k}{\rho C_v}\nabla^2 T \quad \textbf{(2.5)}$$

şeklinde ifade edilir (Umur, 2009). Zamandan bağımsız olarak bu denklem

$$u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}=\frac{k}{\rho C_v}\nabla^2 T \quad \textbf{(2.6)}$$

halini alır.

Boussinesq yaklaşımı yoğunluk ve sıcaklık arasında doğru orantı olduğunu kabul ederek kaldırma kuvveti terimi olan yoğunluğu lineerleştirir ve

$$\rho\cong\rho_0\left(1-\beta_T\left(T-T_0\right)\right)$$

olarak ifade edilir. Burada β_T ısıl genleşme katsayısı, ρ yoğunluk, T_0 ise başlangıç sıcaklığıdır (Lappa, 2022).

İki boyutlu sıkıştırılamaz nanoakışkan için hareket ve enerji denklemi Boussinesq yaklaşımı göz önüne alınarak aşağıdaki şekilde verilir (Mahmoodi, et. al., 2014).

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \tag{2.7}$$

$$\rho_{nf}\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\mu_{nf}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \tag{2.8}$$

$$\rho_{nf}\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)=-\frac{\partial p}{\partial y}+\mu_{nf}\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)-g\rho_{nf}\beta_{nf}\left(T-T_c\right) \tag{2.9}$$

$$\left(u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}\right)=\alpha_{nf}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \tag{2.10}$$

Burada μ_{nf} nanoakışkanın viskozitesi, g yerçekimi kuvvetini, T_c görece düşük sıcaklığı, α_{nf} ısıl difüzyonu temsil etmektedir. Ayrıca nanoakışkanın yoğunluğu

$$\rho_{nf}=\left(1-\varphi\right)\rho_f+\varphi\rho_s \tag{2.11}$$

ile bulunmaktadır. Burada ρ_f baz akışkanın yoğunluğunu ρ_s ise eklenen katı parçacığın yoğunluğunu göstermektedir. Süspansiyondaki katı parçacığın hacimsel oranı ise φ ile gösterilmektedir. Nanoakışkanın ısıl kapasitesi

$$\left(\rho C_p\right)_{nf}=\left(1-\varphi\right)\left(\rho C_p\right)_f+\varphi\left(\rho C_p\right)_s \tag{2.12}$$

şeklinde hesaplanır. $\left(\rho C_p\right)_f$ baz akışkanın ısıl kapasitesini $\left(\rho C_p\right)_s$ ise eklenen nanoakışkanın ısıl kapasitesini temsil etmektedir. Sırasıyla ısıl genleşme katsayısı ve nanoakışkanın ısıl difüzyonu aşağıda verilmiştir.

$$\left(\rho\beta\right)_{nf}=\left(1-\varphi\right)\left(\rho\beta\right)_f+\varphi\left(\rho\beta\right)_s \tag{2.13}$$

$$\alpha_{nf}=\frac{k_{nf}}{\left(\rho C_p\right)_{nf}} \tag{2.14}$$

Bu çalışmada nanoakışkan için Brinkman dinamik viskozite modeli kullanılmıştır. Bu modele göre nanoakışkanın dinamik viskozitesi

$$\mu_{eff}=\frac{\mu_f}{\left(1-\varphi\right)^{2.5}} \tag{2.15}$$

şeklinde verilir. Bununla beraber nano parçacıkların küresel biçimli olduğu durumda nanoakışkanın efektif ısıl iletkenliği Maxwell modeline göre

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f - 2\varphi\left(k_f - k_s\right)}{k_s + 2k_f + \varphi\left(k_f - k_s\right)} \tag{2.16}$$

olarak ifade edilmektedir (Mahmoodi, et. al., 2014).

2.4. Süspansiyonda Kullanılan Sıvıların ve Katı Parçacıkların Termofiziksel Özellikleri

Nanoakışkan problemleri katı parçacıkların baz akışkan içerisine belirli bir yüzdelik orana bağlı katı parçacığın eklenmesi ile incelenmektedir. Yapılan deneysel ve teorik çalışmaların büyük bir kısmında baz akışkan olarak su kullanılmakta alternatif olarak etilen glikol veya motor yağı kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında baz akışkan olarak su; katı parçacık olarak bakır, alüminyum ve bor kullanılmıştır. Katı parçacık oranı %15 olarak alınmıştır. Ayrıca suya ait Prandtl sayısı 6.9 olarak alınmıştır. Çalışmada kullanılan maddelerin yoğunluk, ısıl kapasite, ısıl genleşme katsayıları ve ısıl iletkenliği Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri (Mahmoodi et. al., 2014; Şahin, 2020)

Bileşen İsmi	Kimyasal Formül	$\rho\left(kg/m^3\right)$	$C_p\left(J/kgK\right)$	$\beta\times10^{-5}\left(1/K\right)$	$k\left(W/mK\right)$
Su	H_2O	997.1	4179	21	0.613
Bor	B	2340	1020	83	27.4
Bakır	Cu	8933	385	1.67	400
Alüminyum oksit	Al_2O_3	3970	765	0.85	40

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Çukur Bölgede Duvar Hareketli Akım

Bu bölümde duvar hareketli akım incelenmiştir. Duvar hareketli akım hareket eden duvarın akışkan ile teması neticesinde viskozitesinden kaynaklı akışkanda oluşan hareketin akım çizgilerinin ortaya koyulması problemidir. Bu tür akımlarda göz önüne alınacak boyutsuz sayı Reynolds sayısıdır. Bu bağlamda duvar hareketli akım için denklemler, sınır şartları ve problem geometrisi aşağıda tanıtılmıştır. İlaveten çukur bölgede içerisinde engel bulunması durumuna ait problem geometrisi de verilmiştir.

Ω boyutsuz girdap, Ψ boyutsuz akım fonksiyonu olmak üzere

$$x^* = \frac{x}{H},\ y^* = \frac{y}{H},\ u^* = \frac{u}{U_0},\ v^* = \frac{v}{U_0},\ \Omega = \frac{\omega H^2}{\alpha_f},\ p^* = \frac{p}{\rho_{nf} U_0^{\,2}},\ \Psi = \alpha_f \psi, \qquad \mathrm{Re} = \frac{\rho H U_0}{\mu} \tag{3.1}$$

olarak verilen boyutsuz parametreler kullanılarak nanoakışkanlar için hareket denklemi boyutsuzlaştırıldığında girdap akım fonksiyonu kullanılarak elde edilen boyutsuz formdaki akış denklemleri:

$$u\frac{\partial \Omega}{\partial x} + v\frac{\partial \Omega}{\partial y} = K_1 \frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial y^2}\right) \tag{3.2}$$

$$-\Omega = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} \tag{3.3}$$

$$u = \frac{\partial \Psi}{\partial y},\ v = -\frac{\partial \Psi}{\partial x} \tag{3.4}$$

şeklinde elde edilir. Burada

$$K_1 = \frac{\mu_{nf}}{\nu_f \rho_{nf}} = \frac{\nu_{nf}}{\nu_f} \tag{3.5}$$

olarak belirlenmiştir. Test durumu olan newtonyen akışkan durumunda K_1 katsayısı 1 olarak alınmıştır.

Çukur bölgede duvar hareketli akımda sınır koşulları

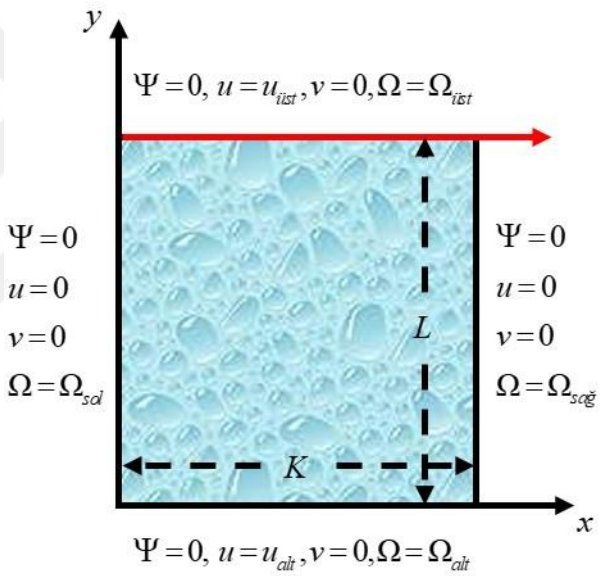
$$\begin{aligned} x = 0\ ,\ 0 < y < L\ \ için\ \ u = v = 0 \\ x = K\ ,\ 0 < y < L\ \ için\ \ u = v = 0 \end{aligned} \tag{3.6}$$

$$y=0\ ,\ 0\le x\le K\ \ için\ \ u=u_{alt}, v=0$$
$$y=L,\ 0\le x\le K\ \ için\ \ u=u_{üst}, v=0 \qquad \textbf{(3.7)}$$

$$x=0\ ve\ x=K\ üzerinde\ \ 0<y<L\ \ için\ \ \Psi=0,\ \frac{\partial\Psi}{\partial y}=0, -\Omega=\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2}$$
$$y=0\ ve\ y=L\ üzerinde\ \ 0\le x\le K\ \ için\ \ \Psi=0,\ \frac{\partial\Psi}{\partial x}=0, -\Omega=\frac{\partial^2\Psi}{\partial y^2} \qquad \textbf{(3.8)}$$

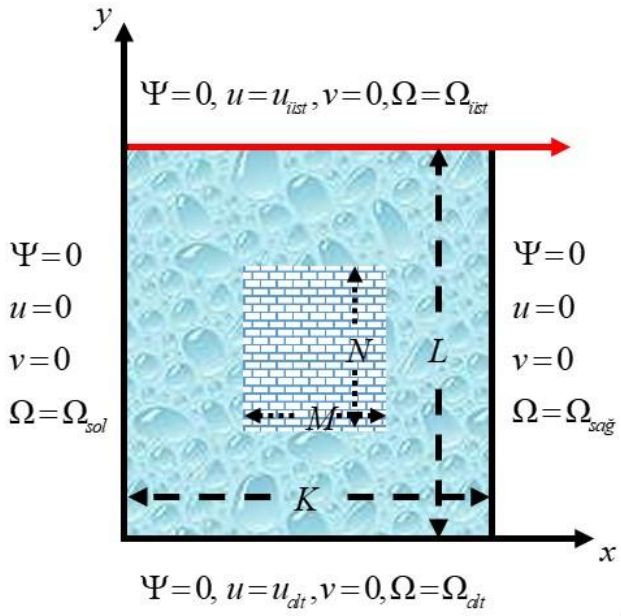
olarak verilir. Çukur bölgede duvar hareketi, sadece üst duvar hareketi için $u_{üst}=1$, üst ve alt duvarın aynı yönde hareketi için $u_{üst}=u_{alt}=1$, üst ve alt duvarın zıt yönde hareketi için $u_{üst}=1,\ u_{alt}=-1$ olarak alınmıştır.

Duvar hareketli çukur bölgedeki akım için problem geometrisi Şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.1. Çukur bölgede duvar hareketli akım

Bölge içerisindeki engel hareketsiz olarak kabul edilmiş ve sınırları üzerinde hız bileşenleri ve akım değerleri sıfır olarak alınmıştır. Girdap fonksiyonu için yaklaşım yapılmıştır. İçerisinde engel bulunan çukur bölgede duvar hareketli akım probleminin geometrisi Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. İçerisinde engel bulunan çukur bölgede duvar hareketli akım

3.2. Çukur Bölgede Isı yayılım Problemi

Bu bölümde ısı yayınım probleminin boyutsuzlaştırılması ve ele alınan çukur bölgenin geometrisi ele alınacaktır. Bu bağlamda hareketin temel değişkenleri için boyutsuz değişkenler aşağıdaki gibi verilir.

$$x^*=\frac{x}{H},\ y^*=\frac{y}{H},\ u^*=\frac{uH}{\alpha_f},\ v^*=\frac{vH}{\alpha_f},\ \Omega=\frac{\omega H^2}{\alpha_f},\ \Psi=\alpha_f\psi,\ P^*=\frac{PH^2}{\rho_{nf}\alpha_f{}^2}$$
$$Ra=\frac{g\beta H^3\left(T_h-T_c\right)}{\alpha_f\nu_f},\ \mathrm{Pr}=\frac{\nu_f}{\alpha_f},\ \theta=\frac{T-T_c}{T_h-T_c} \qquad \textbf{(3.9)}$$

Burada T boyutlu sıcaklık fonksiyonu, θ boyutsuz sıcaklık fonksiyonu, T_h görece yüksek sıcaklık, T_c görece düşük sıcaklık, H karakteristik uzunluktur. Üs kısmında * bulunduran semboller boyutsuz değişkenleri ifade etmektedir.

Ω boyutsuz girdap, Ψ akım fonksiyonu olmak üzere girdap akım fonksiyonu kullanılarak elde edilen boyutsuz formdaki akış denklemleri aşağıdaki gibi verilir:

$$u\frac{\partial\Omega}{\partial x}+v\frac{\partial\Omega}{\partial y}=K_2\,\mathrm{Pr}\left(\frac{\partial^2\Omega}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\Omega}{\partial y^2}\right)+K_3\,\mathrm{Pr}\,Ra\frac{\partial\theta}{\partial x} \qquad \textbf{(3.10)}$$

$$\left(u\frac{\partial\theta}{\partial x}+v\frac{\partial\theta}{\partial y}\right)=K_4\left(\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\theta}{\partial y^2}\right) \qquad \textbf{(3.11)}$$

$$-\Omega=\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\Psi}{\partial y^2} \qquad \textbf{(3.12)}$$

$$u = \frac{\partial \Psi}{\partial y},\ v = -\frac{\partial \Psi}{\partial x} \tag{3.13}$$

Burada

$$K_2 = \frac{\nu_{nf}}{\nu_f},\ K_3 = \frac{(\rho\beta)_{nf}}{\rho_{nf}\beta_f},\ K_4 = \frac{\alpha_{nf}}{\alpha_f} \tag{3.14}$$

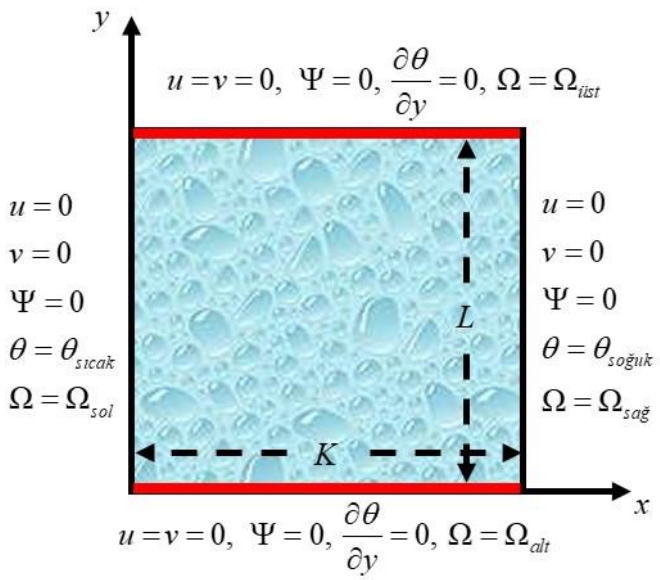
olarak belirlenmiştir. Test durumu olan newtonyen akışkan durumunda K_2, K_3 ve K_4 katsayıları 1 olarak alınmıştır.

Isı yayılım problemindeki kabuller ışığında sınır koşulları

$$\begin{aligned}
&x = 0\ ,\ 0 < y < L\ \ için\ \ u = v = 0,\ \theta = T_1 \\
&x = K\ ,\ 0 < y < L\ \ için\ \ u = v = 0,\ \theta = T_0 \\
&y = 0\ ,\ 0 \le x \le K\ \ için\ \ u = v = 0,\ \frac{\partial \theta}{\partial y} = 0 \\
&y = L\ ,\ 0 \le x \le K\ \ için\ \ u = v = 0,\ \frac{\partial \theta}{\partial y} = 0
\end{aligned} \tag{3.15}$$

$$\begin{aligned}
&x = 0\ ve\ x = K\ üzerinde\ \ 0 < y < L\ \ için\ \ \Psi = 0,\ \frac{\partial \Psi}{\partial y} = 0, -\Omega = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} \\
&y = 0\ ve\ y = L\ üzerinde\ \ 0 \le x \le K\ \ için\ \ \Psi = 0,\ \frac{\partial \Psi}{\partial x} = 0, -\Omega = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2}
\end{aligned} \tag{3.16}$$

olarak verilir. Problemin geometrisi Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Isı yayılım problemi

3.3. Denklemlerin Ayrıştırılması ve Algoritması

Sonlu fark metodu iyi bilinen, akışkan denklemlerinin sayısal çözümünde sık olarak kullanılan etkin metotlardan biridir. Bu bölümde öncelikle türevlere sonlu fark yaklaşımı tanıtılmıştır. Ayrıca zamandan bağımsız akım-girdap denkleminin çözümünde kullanılan Succesive Over Relaxation (SOR) metodunun temel özelliklerinden bahsedilmiştir. Daha sonra çukur bölgede duvar hareketli akım ve çukur bölgede ısı yayılım problemlerinin denklemlerinin ayrıştırılması yapılarak çözümün algoritması verilmiştir.

Türevlere sonlu fark yaklaşımını ifade etmek için türevleri tek değerli, sonlu ve x'in sürekli fonksiyonları olan bir f fonksiyonu göz önüne alınsın. Taylor teoremi gereği

$$\begin{aligned} f(x+h) &= f(x)+hf'(x)+\frac{1}{2!}h^2 f''(x)+\frac{1}{3!}h^3 f'''(x) \\ f(x-h) &= f(x)-hf'(x)+\frac{1}{2!}h^2 f''(x)-\frac{1}{3!}h^3 f'''(x) \end{aligned} \tag{3.17}$$

yazılır. Bu iki eşitlik taraf tarafa toplanırsa,

$$f(x+h)+f(x-h)=2f(x)+h^2 f''(x)+O(h^4) \tag{3.18}$$

elde edilir. Burada $O(h^4)$ terimi h'nin dördüncü ve daha yüksek kuvvettini içeren terimleri belirtmektedir. Bu yüksek kuvvetten terimlerin daha düşük kuvvetli terimlere nazaran ihmal edilebileceği göz önüne alınırsa

$$\frac{d^2 f}{dx^2}=f''(x)\simeq\frac{1}{h^2}\left(f(x+h)-2f(x)+f(x-h)\right) \tag{3.19}$$

elde edilir. Burada hata $O(h^2)$ mertebedendir. Eğer (3.17) de yer alan 2. eşitlikten 1. eşitlik çıkarılırsa

$$\frac{df}{dx}=f'(x)\simeq\frac{1}{2h}\left(f(x+h)-f(x-h)\right) \tag{3.20}$$

elde edilir ki buna merkezi fark yaklaşımı adı verilir. Benzer şekilde ileri fark yaklaşımı

$$\frac{df}{dx}=f'(x)\simeq\frac{1}{h}\left(f(x+h)-f(x)\right) \tag{3.21}$$

şeklinde ve geri fark yaklaşımı ise

$$\frac{df}{dx}=f'(x)\simeq\frac{1}{h}\left(f(x)-f(x-h)\right) \tag{3.22}$$

şeklinde elde edilir. Merkezi fark yaklaşımında hata $O(h^2)$ iken ileri ve geri fark yaklaşımlarında hata $O(h)$ mertebedendir.

Eğer f fonksiyonu x ve y bağımsız değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak kabul edilir ve xy düzlemi $\partial x = Dx$ ve $\partial y = Dy$ olmak üzere eşit aralıklara bölünürse (x, y) koordinatlarında bir $P(x, y)$ noktası $i, j \in \mathbb{Z}$ olmak üzere

$$x = iDx,\ y = jDy \tag{3.23}$$

olur ve f fonksiyonunun P noktasındaki değeri

$$P\left(iDx,\ jDy\right) = f_{i,j} \tag{3.24}$$

şeklinde elde edilir. Buradan sonlu fark yaklaşımları

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{f_{i+1,j} - 2f_{i,j} + f_{i-1,j}}{Dx^2} \tag{3.25}$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = \frac{f_{i,j+1} - 2f_{i,j} + f_{i,j-1}}{Dy^2} \tag{3.26}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i-1,j}}{2Dx} \tag{3.27}$$

şeklinde yazılabilir (Smith, 1978).

k tane denklem için SOR iterasyon yöntemi $t = \overline{1,k}$ olmak üzere genel halde

$$x_t^{(n+1)} = x_i^{(n)} + \frac{R}{a_{tt}}\left(b_t - \sum_{s=1}^{t-1} a_{ts}x_s^{(n+1)} - \sum_{s=1}^{k} a_{ts}x_s^{(n)}\right) \tag{3.28}$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki R çarpanına hızlandırma çarpanı denir ve $(0,2)$ aralığında değer alabilmektedir. Genellikle $1 < R < 2$ aralığında seçilir. $R = 1$ olduğu durumda yöntem Gauss-Seidel yöntemi ile örtüşür (Smith, 1978). Eğer R çarpanı $0 < R < 1$ olarak seçilmiş ise bu durumda yöntem SUR (Successive Under Relaxation) ismini alır (Yükselen, 2008). R çarpanının $(0,2)$ aralığı dışında seçilmesi durumunda SOR yöntemi yakınsamada başarılı olamamaktadır (Kahan, 1958).

Çukur bölgede duvar hareketli akım denklemlerinin sonlu fark yöntemi ile ayrıştırılmış şekli aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\Psi(i+1,j)-2\Psi(i,j)+\Psi(i-1,j)}{Dx^2}+\frac{\Psi(i,j+1)-2\Psi(i,j)+\Psi(i,j-1)}{Dy^2}=-\Omega(i,j)$$

(3.29)

$$u_x(i,j)\left(\frac{\Omega(i+1,j)-\Omega(i-1,j)}{2Dx}\right)+u_y(i,j)\left(\frac{\Omega(i,j+1)-\Omega(i,j-1)}{2Dy}\right)$$
$$=\frac{K_1}{\mathrm{Re}}\left\{\begin{array}{l}\dfrac{\Omega(i+1,j)-2\Omega(i,j)+\Omega(i-1,j)}{Dx^2}\\ +\dfrac{\Omega(i,j+1)-2\Omega(i,j)+\Omega(i,j-1)}{Dy^2}\end{array}\right\} \quad \textbf{(3.30)}$$

Bu problem için sınır koşullarının ayrıştırılmış şekli

$$\begin{array}{l} j=\overline{1,Ny+1} \text{ için } u(1,j)=v(1,j)=0\\ j=\overline{1,Ny+1} \text{ için } u(Nx+1,j)=v(Nx+1,j)=0\\ i=\overline{1,Nx+1} \text{ için } u(i,1)=u_{alt}, v(i,1)=0\\ i=\overline{1,Nx+1} \text{ için } u(i,Ny+1)=u_{üst}, v(i,Ny+1)=0\\ j=\overline{1,Ny+1} \text{ için } \Psi(1,j)=0, \Psi(Nx+1,j)=0,\\ i=\overline{1,Nx+1} \text{ için } \Psi(i,1)=0,\ \Psi(i,Ny+1)=0, \end{array} \quad \textbf{(3.31)}$$

$$\begin{array}{l} j=\overline{1,Ny+1} \text{ için } \Omega(1,j)=\dfrac{6Dxu(1,j)+\Psi(3,j)-8\Psi(2,j)}{2Dx^2}\\ j=\overline{1,Ny+1} \text{ için } \Omega(Nx+1,j)=\dfrac{\Psi(Nx-1,j)-8\Psi(Nx,j)-6Dyu(Nx+1,j)}{2Dx^2}\\ i=\overline{1,Nx+1} \text{ için } \Omega(i,1)=\dfrac{\Psi(i,3)-8\Psi(i,2)}{2Dy^2}\\ i=\overline{1,Nx+1} \text{ için } \Omega(i,Ny+1)=\dfrac{\Psi(i,Ny-1)-8\Psi(i,Ny)}{2Dy^2} \end{array} \quad \textbf{(3.32)}$$

olarak verilir.

Bu problem $N_x = N_y$ alınarak karesel geometri değerlendirmesi, $N_x \neq N_y$ olarak alındığında ise dikdörtgensel geometri değerlendirmesine karşılık gelmektedir. Bu çalışmada bölge $N_x = 2N_y, 4N_x = 3N_y, N_x = 3N_y, 2N_x = N_y$ şeklinde alınarak farklı dikdörtgensel geometriler incelenmiştir.

Ayrıca çukur bölgenin içine yerleştirilen dikdörtgensel engel için sınır koşulları engel sınırları üzerinde $ux(i,j) = uy(i,j) = 0,\ \Psi(i,j) = 0$ şeklinde alınmıştır.

Girdap fonksiyonu için duvarlar üzerinde akım fonksiyonu cinsinden (3.30) - (3.31) formüllerine denk ayrıştırılma yapılmıştır.

Isı yayılım problemi için denklemlerin sonlu farklar yöntemi kullanılarak ayrıştırılması ise aşağıdaki gibi verilir:

$$\frac{\Psi(i+1,j)-2\Psi(i,j)+\Psi(i-1,j)}{Dx^2}+\frac{\Psi(i,j+1)-2\Psi(i,j)+\Psi(i,j-1)}{Dy^2}=-\Omega(i,j) \tag{3.33}$$

$$u_x(i,j)\left(\frac{\Omega(i+1,j)-\Omega(i-1,j)}{2Dx}\right)+u_y(i,j)\left(\frac{\Omega(i,j+1)-\Omega(i,j-1)}{2Dy}\right) = K_2\,\mathrm{Pr}\left\{\begin{array}{l}\dfrac{\Omega(i+1,j)-2\Omega(i,j)+\Omega(i-1,j)}{Dx^2}\\ +\dfrac{\Omega(i,j+1)-2\Omega(i,j)+\Omega(i,j-1)}{Dy^2}\end{array}\right\} - Ra\,\mathrm{Pr}\,K_3\left(\frac{\theta(i+1,j)-\theta(i-1,j)}{2Dx}\right) \tag{3.34}$$

$$u_x(i,j)\left(\frac{\theta(i+1,j)-\theta(i-1,j)}{2Dx}\right)+u_y(i,j)\left(\frac{\theta(i,j+1)-\theta(i,j-1)}{2Dy}\right) = K_4\left\{\begin{array}{l}\dfrac{\theta(i+1,j)-2\theta(i,j)+\theta(i-1,j)}{Dx^2}\\ +\dfrac{\theta(i,j+1)-2\theta(i,j)+\theta(i,j-1)}{Dy^2}\end{array}\right\} \tag{3.35}$$

Sınır koşulları:

$$\begin{aligned}
&j=\overline{1,Ny+1}\ \text{için}\ u(1,j)=v(1,j)=0,\ \Psi(1,j)=0,\\
&\qquad\qquad \theta(1,j)=T_{sıcak}\\
&j=\overline{1,Ny+1}\ \text{için}\ u(Nx+1,j)=v(Nx+1,j)=0,\ \Psi(Nx+1,j)=0,\\
&\qquad\qquad \theta(Nx+1,j)=T_{soğuk}\\
&i=\overline{1,Nx+1}\ \text{için}\ u(i,1)=v(i,1)=0,\ \Psi(i,1)=0,\\
&\qquad\qquad \frac{\theta(i,2)-\theta(i,0)}{2Dy}=0\\
&i=\overline{1,Nx+1}\ \text{için}\ u(i,Ny+1)=v(i,Ny+1)=0,\ \Psi(i,Ny+1)=0,\\
&\qquad\qquad \frac{\theta(i,Ny+2)-\theta(i,Ny)}{2Dy}=0
\end{aligned} \tag{3.36}$$

$$
\begin{aligned}
&j=\overline{1, Ny+1} \text{ için } \quad \Omega(1, j)=\frac{\Psi(3, j)-8\Psi(2, j)}{2Dx^2} \\
&j=\overline{1, Ny+1} \text{ için } \quad \Omega(Nx+1, j)=\frac{\Psi(Nx-1, j)-8\Psi(Nx, j)}{2Dx^2} \\
&i=\overline{1, Nx+1} \text{ için } \quad \Omega(i,1)=\frac{\Psi(i,3)-8\Psi(i,2)}{2Dy^2} \\
&i=\overline{1, Nx+1} \text{ için } \quad \Omega(i, Ny+1)=\frac{\Psi(i, Ny-1)-8\Psi(i, Ny)}{2Dy^2}
\end{aligned}
\qquad \textbf{(3.37)}
$$

$$
\begin{aligned}
&j=\overline{1, Ny+1} \text{ için } \quad \Omega(1, j)=\frac{\Psi(3, j)-8\Psi(2, j)}{2Dx^2} \\
&j=\overline{1, Ny+1} \text{ için } \quad \Omega(Nx+1, j)=\frac{\Psi(Nx-1, j)-8\Psi(Nx, j)}{2Dx^2} \\
&i=\overline{1, Nx+1} \text{ için } \quad \Omega(i,1)=\frac{\Psi(i,3)-8\Psi(i,2)}{2Dy^2} \\
&i=\overline{1, Nx+1} \text{ için } \quad \Omega(i, Ny+1)=\frac{\Psi(i, Ny-1)-8\Psi(i, Ny)}{2Dy^2}
\end{aligned}
\qquad \textbf{(3.38)}
$$

şeklinde yazılır.

Bu denklemler zamandan bağımsız denklemler olduğu için denklem sistemlerinin çözümünde SOR metodu kullanılmıştır. Denklem sistemi ayrıştırıldıktan sonra Matlab programı kullanılarak kodlanmıştır. Denklem sitemlerinin çözümüne kararlı hal sağlanıncaya kadar devam edilerek yakınsak sonuçlar grafiklendirilmiştir. Çalışmada kullanılan yakınsaklık koşulu

$$
\left| \left\| \Omega_{NEW}(i, j) \right\|_{\infty} - \left\| \Omega_{OLD}(i, j) \right\|_{\infty} \right| < \varepsilon \qquad \textbf{(3.39)}
$$

şeklindedir.

Yöntemin MATLAB algoritması,

1. Sabitlerin tanıtılması,

2. Fonksiyonların tanıtılması,

3. Yatay duvarlar için sıcaklık fonksiyonu başlangıç şartlarının girilmesi,

4. Tüm duvarlar için akım fonksiyonu başlangıç şartlarının girilmesi,

5. Tüm duvarlar için hız fonksiyonu başlangıç şartlarının girilmesi,

6. Programda döngü kurularak iç bölgede akım fonksiyonunun hesaplanması,

7. Programda döngü kurularak duvarlar üzerinde girdap fonksiyonunun hesaplanması,

8. Programda döngü kurularak köşe noktalarında girdap fonksiyonunun hesaplanması

9. Programda döngü kurularak iç bölgede girdap fonksiyonunun hesaplanması,

10. Programda döngü kurularak iç bölgede hız-girdap ilişkisi ile hız fonksiyonlarının hesaplanması,

11. Programda döngü kurularak iç bölgede sıcaklık fonksiyonunun hesaplanması,

12. Programda döngü kurularak adyabatik duvarlar üzerinde sıcaklık fonksiyonunun hesaplanması,

13. Her bir fonksiyon için hata değerinin kontrol edilmesi,

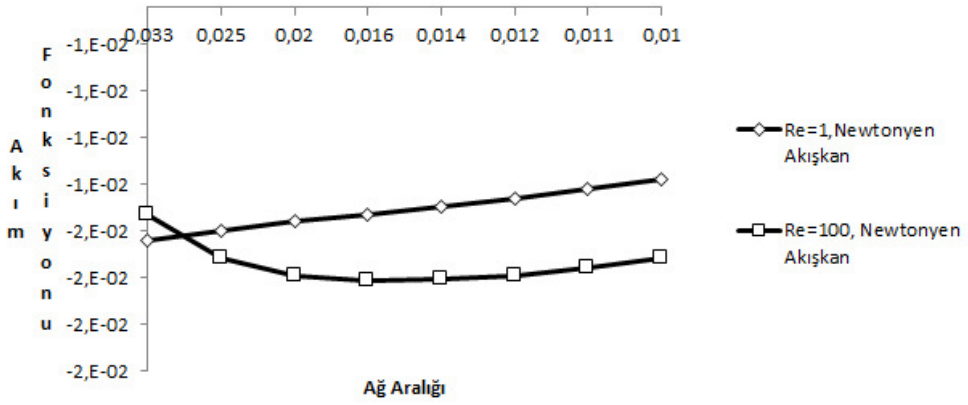
14. Her bir fonksiyon için hatanın tolerans değeri ile karşılaştırılıp, hata tolerans değerinden büyükse 6. adıma dönülmesi, eğer küçükse programın çıktılarının yazdırılması,

15. Verilerin oluşturduğu grafiğin elde edilmesi.

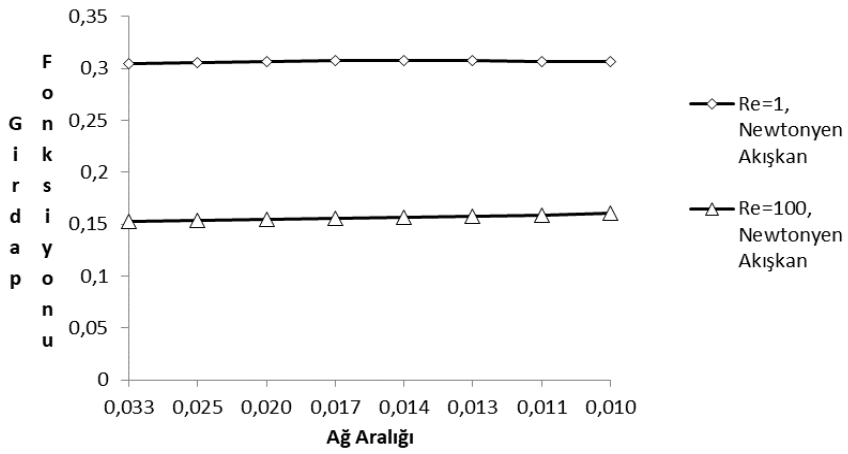
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Karesel Bölgede Duvar Hareketli Akım

Çukur bölgede duvar hareketli akım probleminin çözümünde metodun çalışmasını kontrol etmek için program öncelikle nanoakışkan olmayan akışkanlar için üst duvar hareketli karesel çukur bölgede çalıştırılmış ve literatür ile tam uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu problem üçüncü bölümde Şekil 3.1 ile verilen geometri ve (3.2)-(3.4) denklemleri ile ifade edilmiştir. Ağ aralıklarının çözüm üzerine etkisini görebilmek adına $30 \times 30, 40 \times 40, 50 \times 50, 60 \times 60, 70 \times 70, 80 \times 80, 90 \times 90$ ağ aralıkları kullanılarak akım ve girdap değerleri $Re = 1$ ve $Re = 100$ için aşağıdaki grafiklerde karşılaştırılmıştır. Grafik değerleri hareketli duvara yakın $(0.4, 0.8)$ noktasındaki akım ve girdap değerlerinden oluşmaktadır.



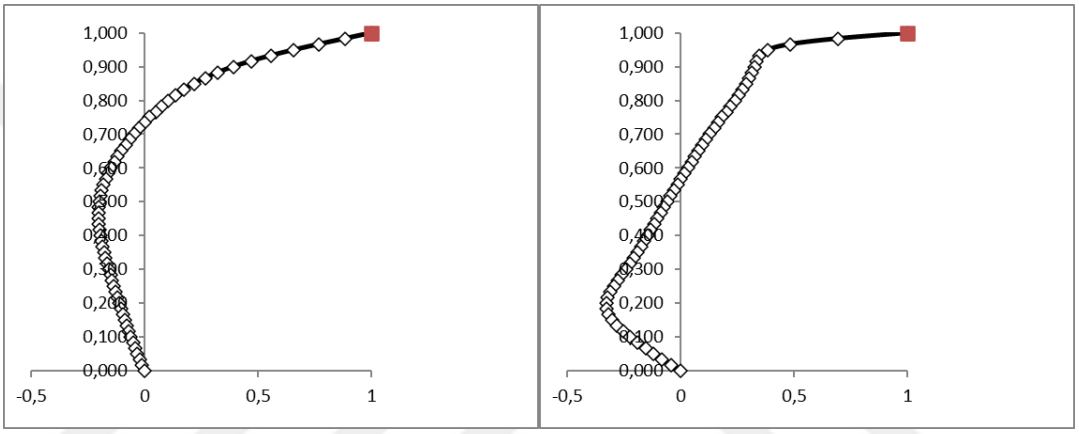
Şekil 4.1. Akım fonksiyon değerlerinin ağ aralıkları ile karşılaştırılması



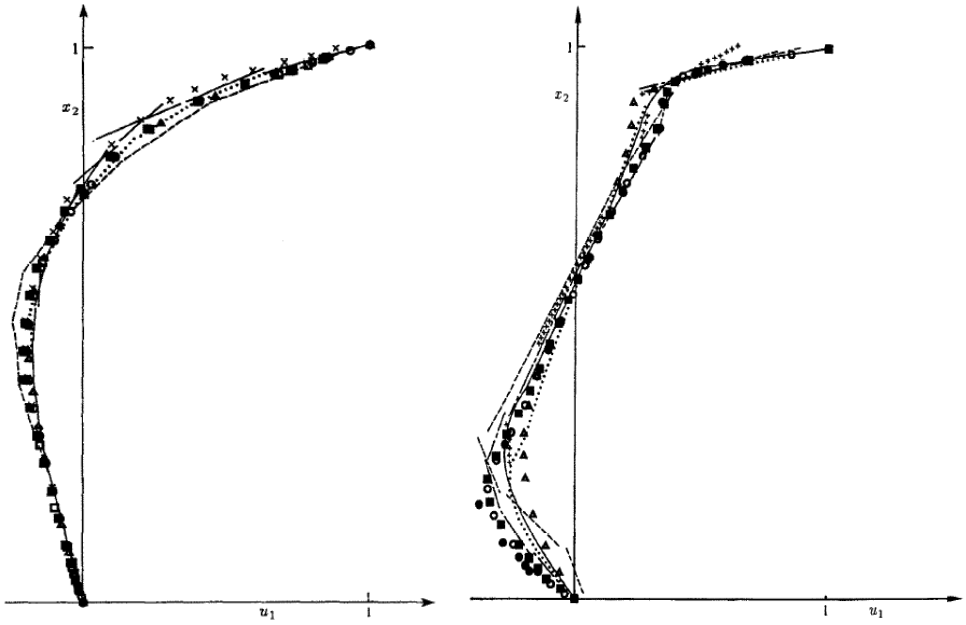
Şekil 4.2. Girdap fonksiyon değerlerinin ağ aralıkları ile karşılaştırılması

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de görüldüğü gibi akım ve girdap fonksiyon değerleri ağ aralığı seçiminden etkilenmemektedir. Yeterli yakınsaklığın sağlanabilmesi adına ağ aralıkları 60×60 alınarak çözümlemeler yapılmıştır.

Üst duvar hareketi için (3.29) ve (3.30) denklemleri (3.31) ve (3.32) sınır koşulları ile birlikte eş zamanlı olarak çözülmüştür. Test durumu için $K_1 = 1$ alınmıştır. $Re = 100$ ve $Re = 1000$ için dikey merkez çizgisi boyunca yatay hız profilleri Şekil 4.3' de verilmiştir. Aynı profil grafikleri Tosoka and Kakuda tarafından 1994 yılında elde edilmiş ve Şekil 4.4'de verilmiştir. Görüldüğü gibi grafikler hem nitelik hem nicelik olarak tam uyumludur.

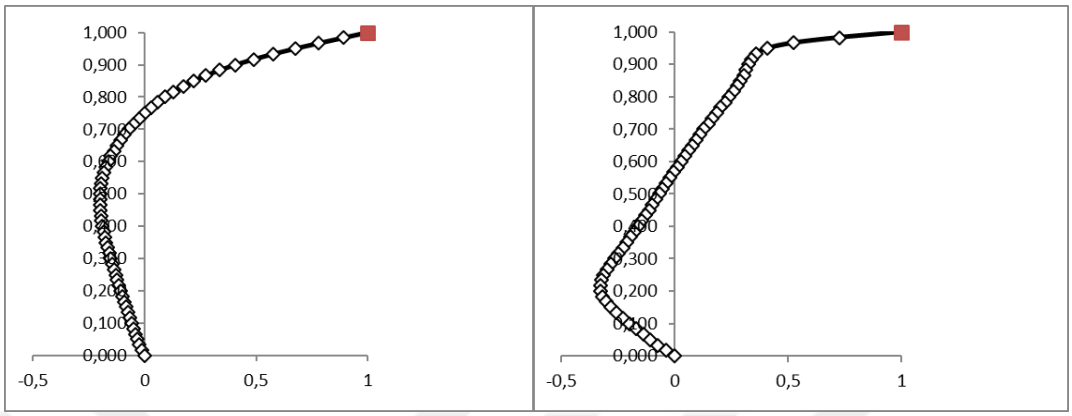


Şekil 4.3. $Re = 100$ ve $Re = 1000$ değerlerinde newtonyen akışkan için dikey merkez çizgisi boyunca yatay hız profilleri

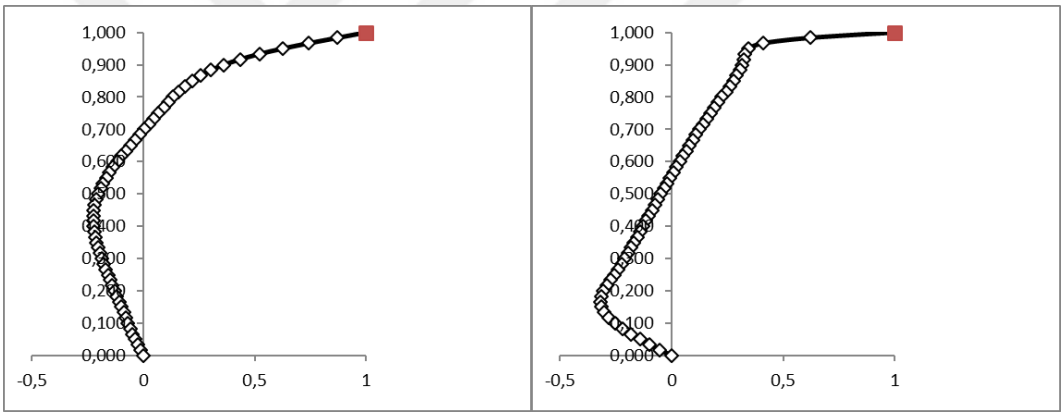


Şekil 4.4. $Re = 100$ ve $Re = 1000$ değerlerinde dikey merkez çizgisi boyunca yatay hız profillerinin karşılaştırılması (Tosoka and Kakuda, 1994)

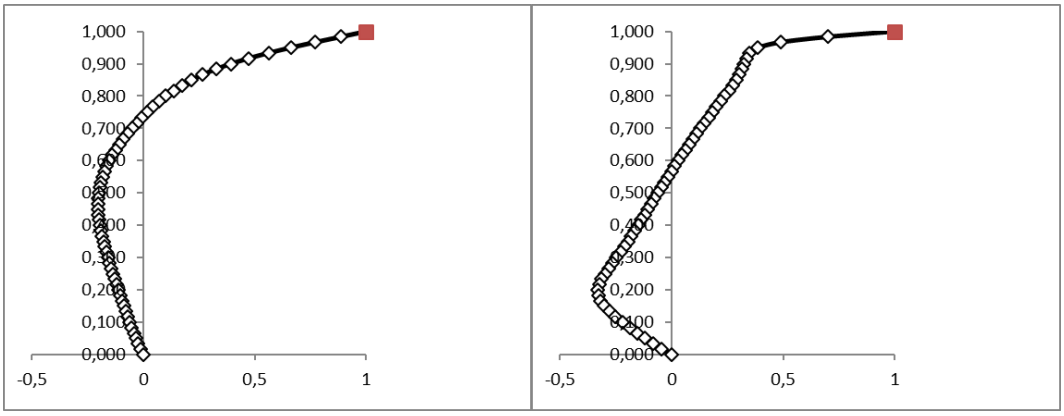
Katı parçacık hacim oranı %15 olan su bazlı Al_2O_3, Cu ve B nanoakışkan ve $Re = 100$ ve $Re = 1000$ için dikey merkez çizgisi boyunca yatay hız profilleri için elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4.5. $Re = 100$ ve $Re = 1000$ değerlerinde su bazlı bor nanoakışkan için dikey merkez çizgisi boyunca yatay hız profilleri

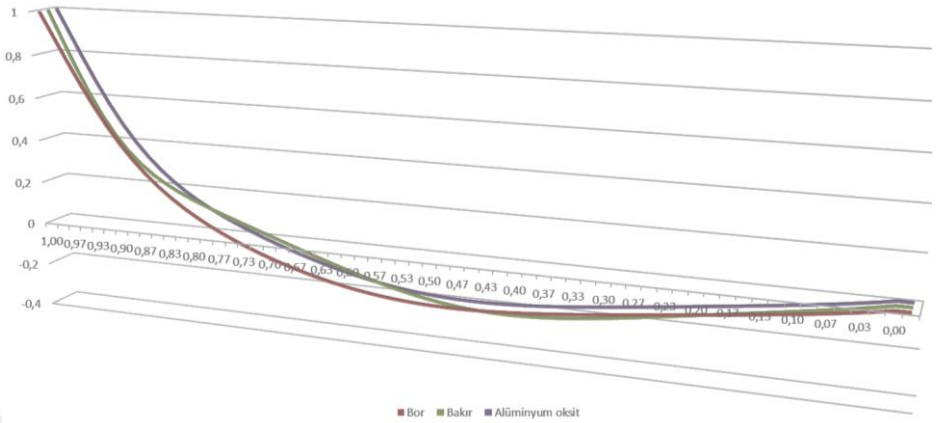


Şekil 4.6. $Re = 100$ ve $Re = 1000$ değerlerinde su bazlı bakır nanoakışkan için dikey merkez çizgisi boyunca yatay hız profilleri



Şekil 4.7. $Re = 100$ ve $Re = 1000$ değerlerinde su bazlı alüminyum oksit nanoakışkan için dikey merkez çizgisi boyunca yatay hız profilleri

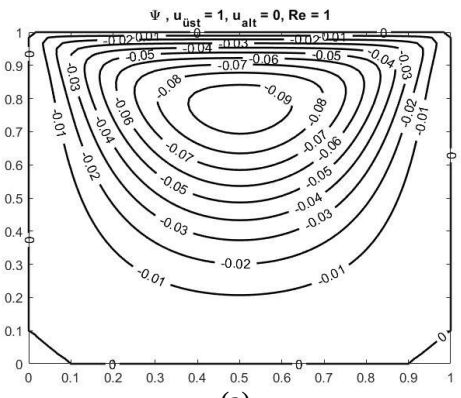
Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de görüldüğü gibi hız profilleri farklı nanoakışkanların kullanımı ile genel akışkanların karakteristik özelliğinin dışına çıkmamaktadır. Şekil 4.8 ise bor, bakır ve alüminyum oksit kullanımında nanoakışkanların hız profilinde görülen ufak değişimleri göstermektedir.



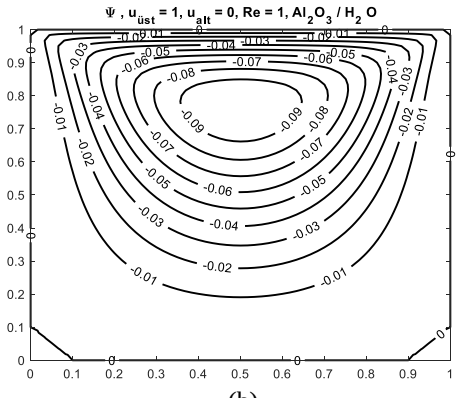
Şekil 4.8. $Re = 100$ için Nanoakışkanların hız dağılımlarının karşılaştırılması

Çukur bölgede duvar hareketi üçüncü bölümde tanıtılmış olan üç farklı durum ele alınarak irdelenmiştir. Problemin geometrisi Şekil 3.1'de verilmiş ve denklemleri (3.2)-(3.4) ile ifade edilmiştir. Bu problemin ayrıştırılması ile elde edilen (3.29) ve (3.30) denklemleri (3.31) sınır koşulu kullanılarak elde edilen çözümleri grafiklerle sunulmuştur.

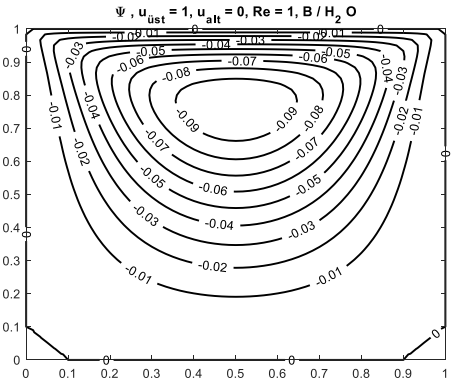
İlk olarak ele alınan sadece üst duvar hareketinde (3.31) sınır koşullarında $u_{üst} = 1$ ve $u_{alt} = 0$ olarak alınmış $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak farklı nanoakışkanlar üzerinde Reynolds sayısının etkisi Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Elde edilen akım grafikleri üst duvar hareketi için test durumunda literatürle tam uyum sağlamaktadır (Chien, et. al., 1986; Demir, 1996; Çilingir Süngü, 2011).



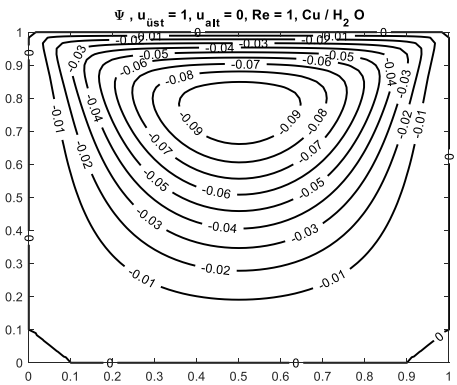
(a)



(b)

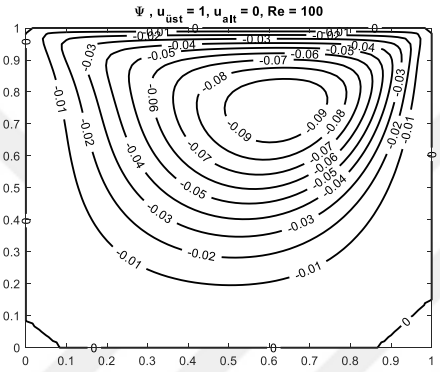


(c)

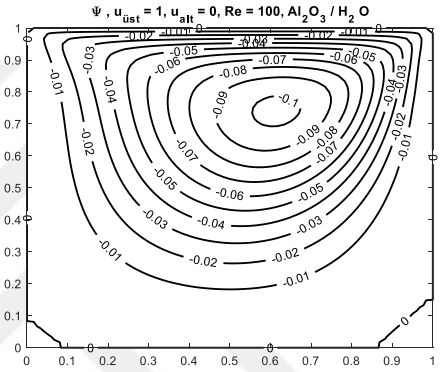


(d)

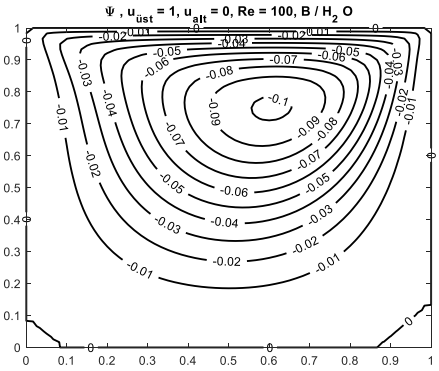
Şekil 4.9. Sadece üst duvarı hareket eden karesel bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



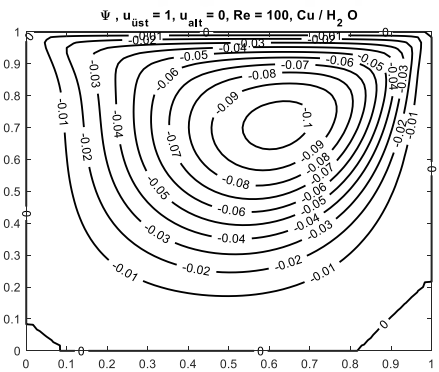
(a)



(b)

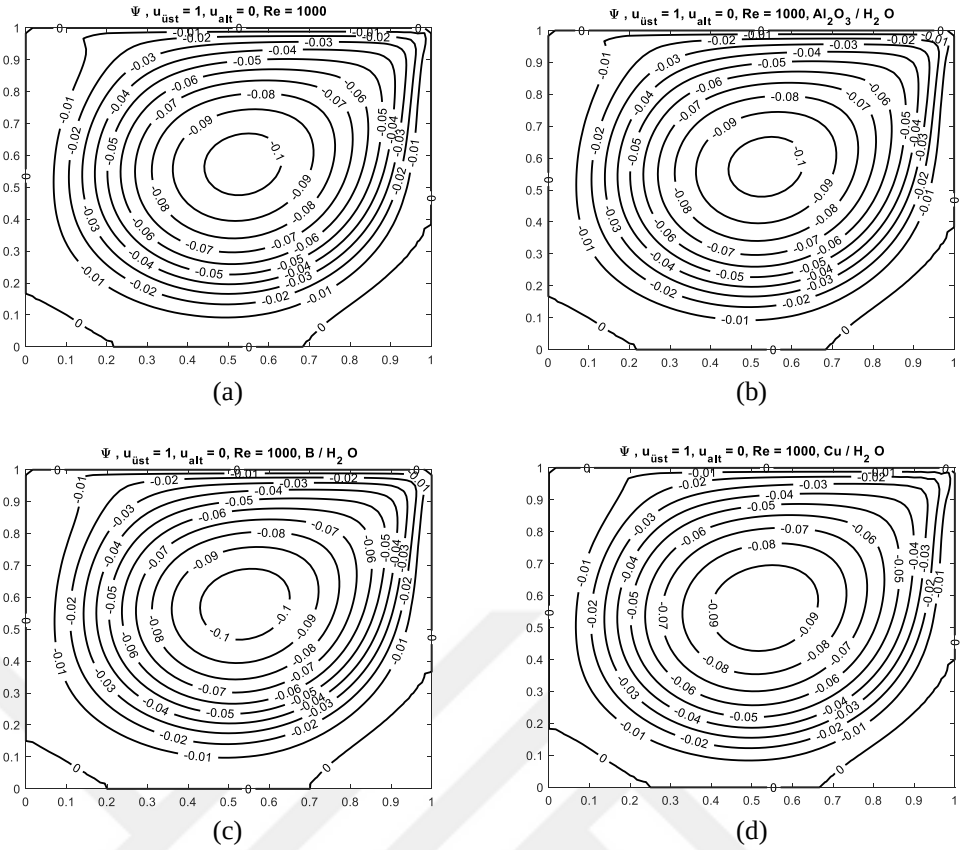


(c)



(d)

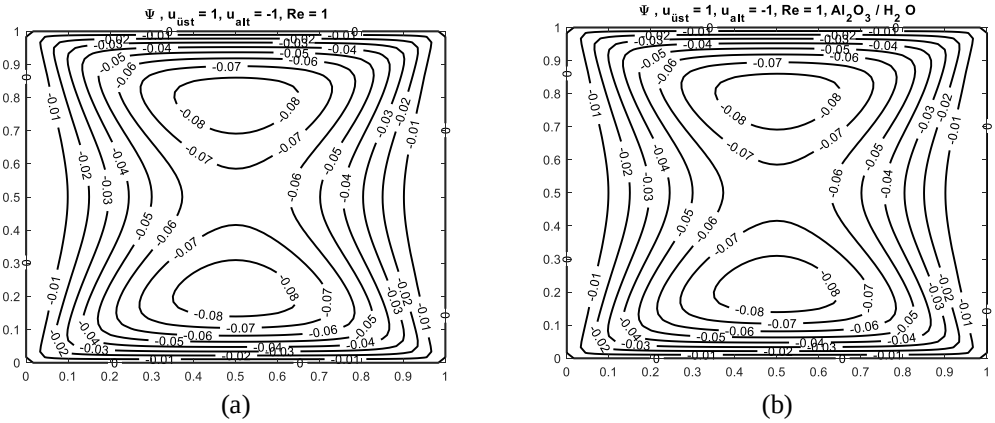
Şekil 4.10. Sadece üst duvarı hareket eden karesel bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

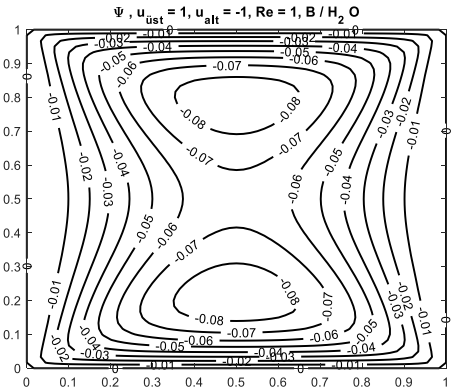


Şekil 4.11. Sadece üst duvarı hareket eden karesel bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c)Bor-Su d) Bakır-Su

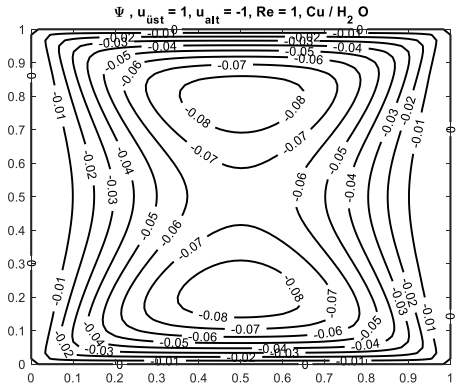
Grafiklerden görüldüğü üzere üst duvar hareketli çukur bölgede $Re = 1$ olduğu durumda hiçbir farklılık gözlenmemekte; $Re = 100$ ve $Re = 1000$ durumunda ise nicelik olarak ufak farklılıklar görülmektedir.

Çukur bölgede duvar hareketinde ikinci durum olarak üst ve alt duvarın zıt yönlü hareketi göz önüne alınmıştır. Bu durumda (3.29)-(3.30) denklemlerinin yanı sıra (3.31) sınır koşulunda $u_{üst} = 1$ ve $u_{alt} = -1$ alınarak Reynolds sayısının etkileri Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14' de gösterilmiştir.



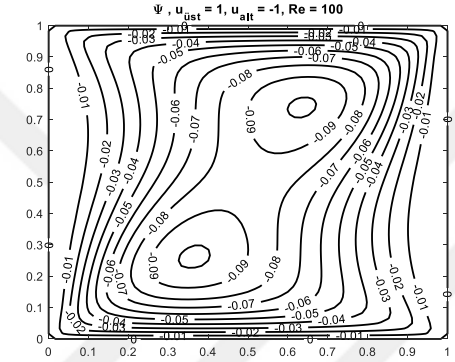


(c)

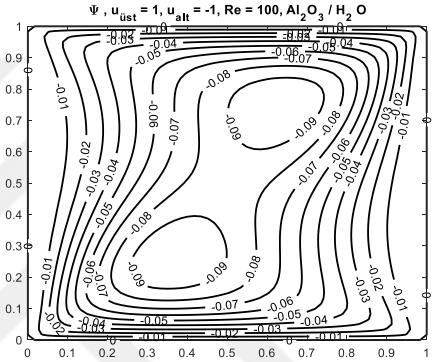


(d)

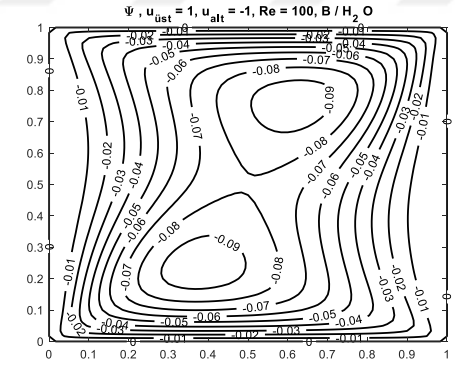
Şekil 4.12. Alt ve üst duvarı zıt yönde hareket eden karesel bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



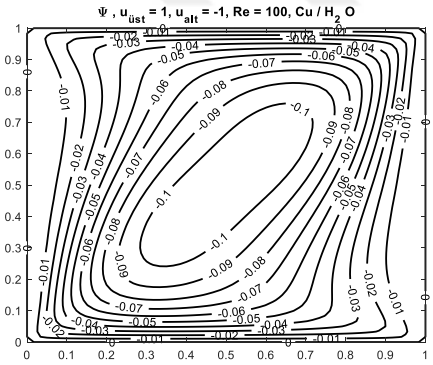
(a)



(b)

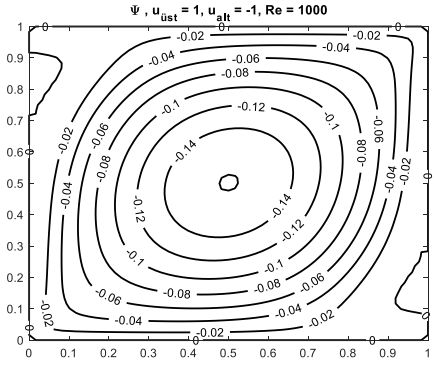


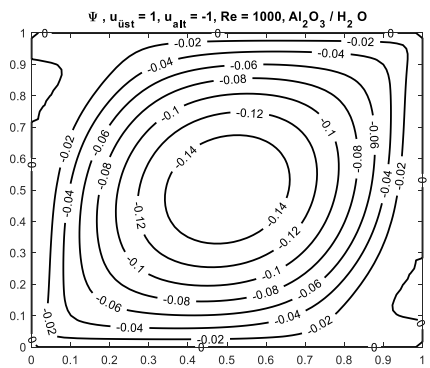
(c)



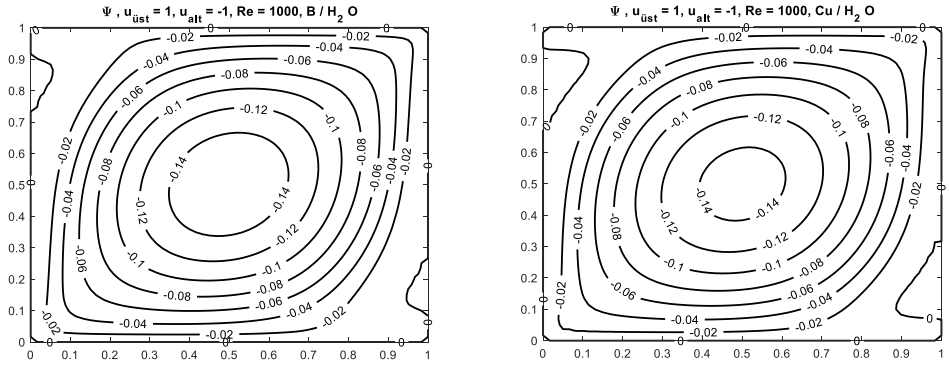
(d)

Şekil 4.13. Alt ve üst duvarı zıt yönde hareket eden karesel bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su





(a) (b)

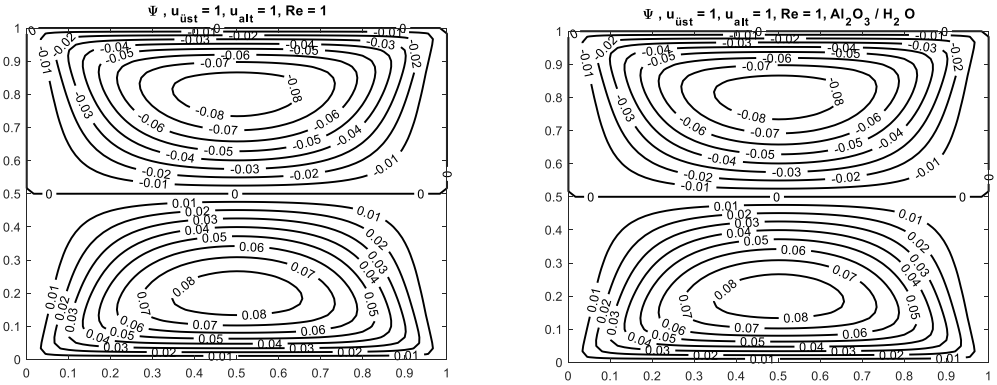


(c) (d)

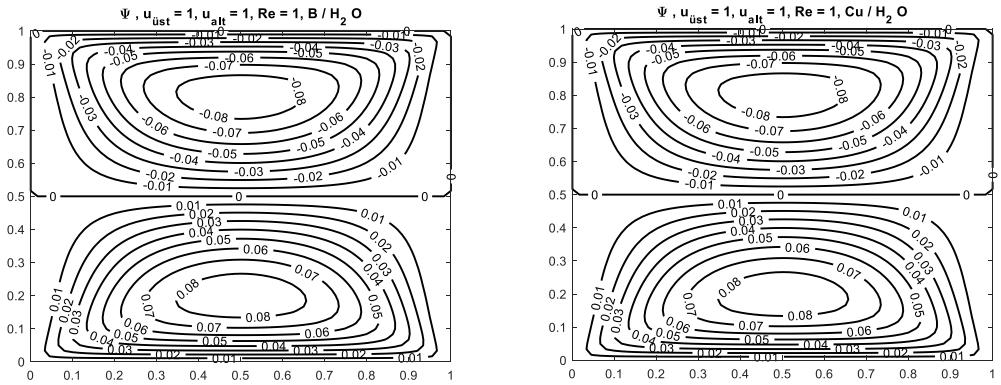
Şekil 4.14. Alt ve üst duvarı zıt yönde hareket eden karesel bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

$Re = 1$ ve $Re = 1000$ durumunda alüminyum oksit, bakır ve bor nanoakışkanlarının akım grafiklerinde fark oluşmazken $Re = 100$ durumunda kullanılan nanoakışkanın farklı etkisi Şekil 4.13'de görülmektedir. Elde edilen grafiksel sonuçlar test durumunda literatür ile tam uyumludur (Chien, et. al., 1986; Demir, 1996; Çilingir Süngü, 2011).

Çukur bölgede üçüncü durum olarak alt ve üst duvarın aynı yönde hareketi ele alınmıştır. Bölüm 3'te geometrisi Şekil 3.1 ile verilen problemin (3.29)-(3.30) denklemleri ve (3.31) sınır koşulu $u_{üst} = 1$ ve $u_{alt} = 1$ alınarak elde edilen akım çizgilerinin grafikleri Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de gösterilmektedir. Test durumunda grafikler hem nicelik hem de nitelik olarak literatür ile tam uyumludur (Chien, et. al., 1986; Demir, 1996; Çilingir Süngü, 2011). Nanoakışkanlara ait grafikler incelendiğinde bakır-su nanoakışkanın diğer akışkanlara oranla nitelik ve nicelik olarak ufak farklılıklar gösterdiği gözlenmektedir.

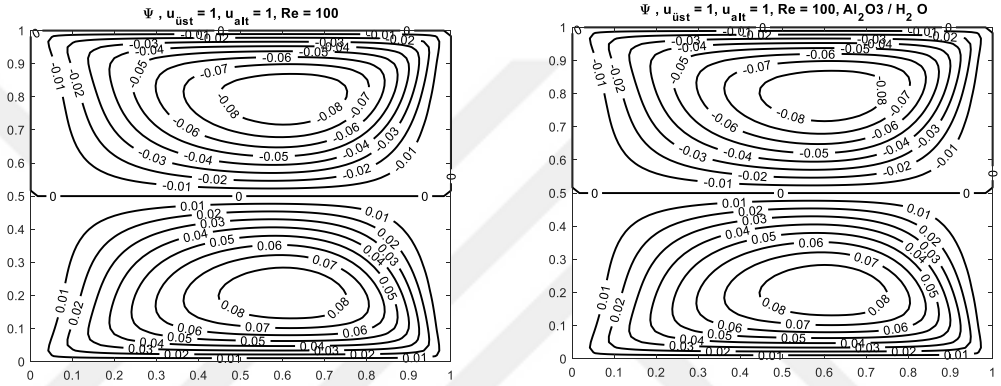


(a) (b)

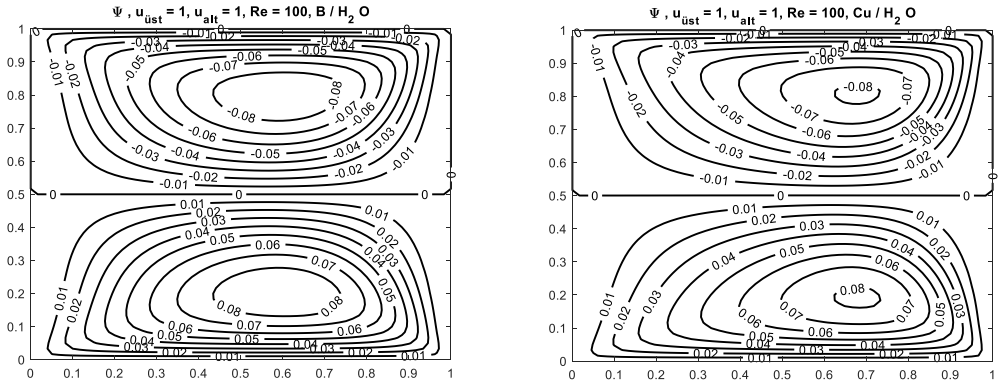


(c) (d)

Şekil 4.15. Alt ve üst duvarı aynı yönde hareket eden karesel bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

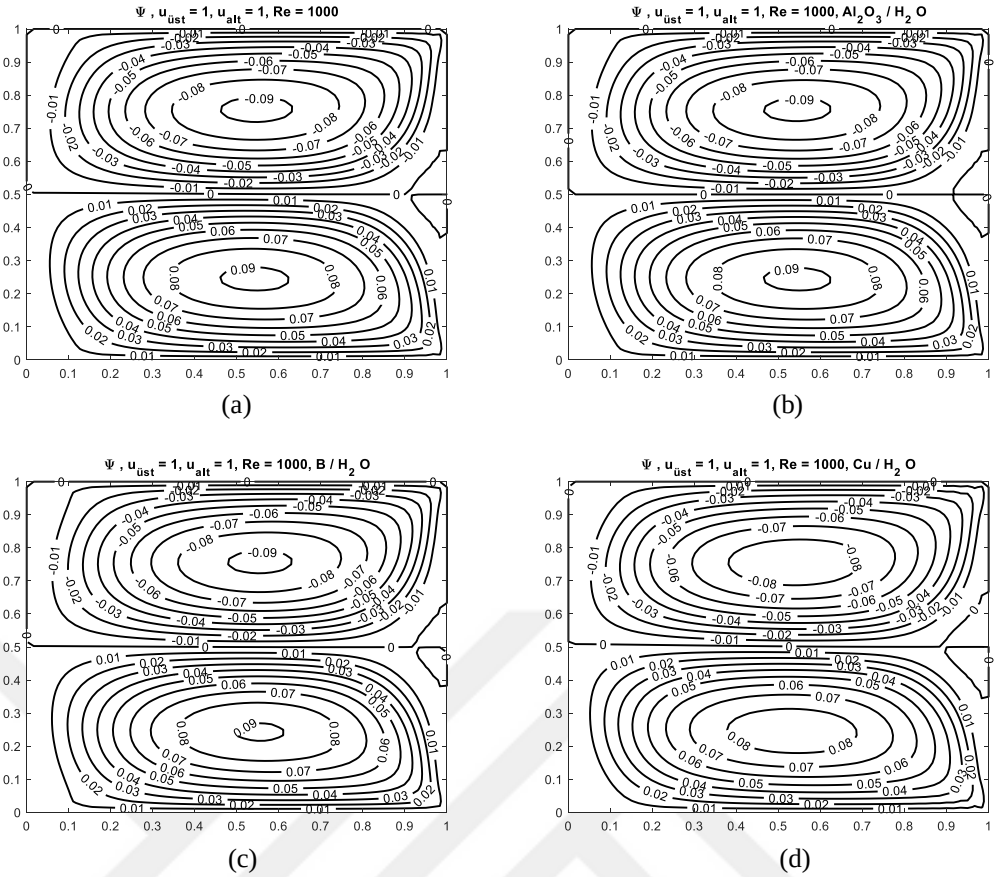


(a) (b)



(c) (d)

Şekil 4.16. Alt ve üst duvarı aynı yönde hareket eden karesel bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

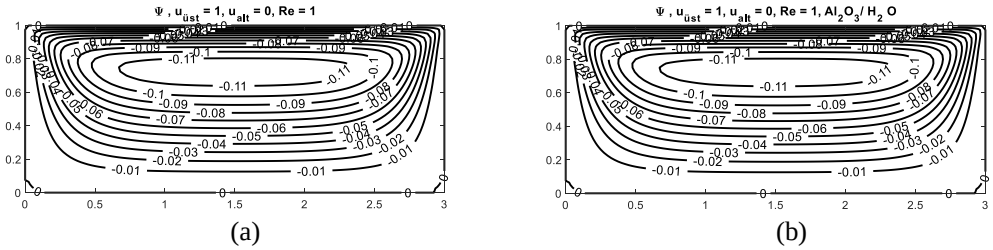


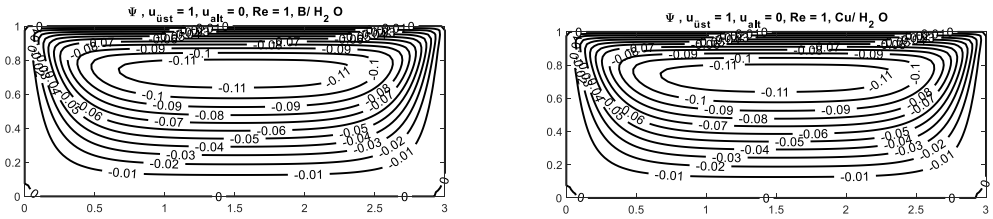
Şekil 4.17. Alt ve üst duvarı aynı yönde hareket eden karesel bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

4.2. Dikdörtgensel Bölgede Duvar Hareketli Akım

Bu bölümde (3.29)-(3.30) denklemleri (3.31) sınır koşulları kullanılarak $K \neq L$ durumunda çözülmüştür. Bu problemde boy-en oranı 0.33, 0.5, 1.33, 2 olan bölgede sadece üst duvar hareketli akım, üst ve alt duvarı zıt yönde hareketli akım ve üst ve alt duvarı aynı yönde hareketli akım, test durumu ve farklı nanoakışkanlar için Reynolds sayısının 1, 100 ve 1000 değerlerinde incelenmiştir. Test durumu literatür sonuçları ile tam uyum göstermektedir (Jana, et. al., 1994; Demir, 1996).

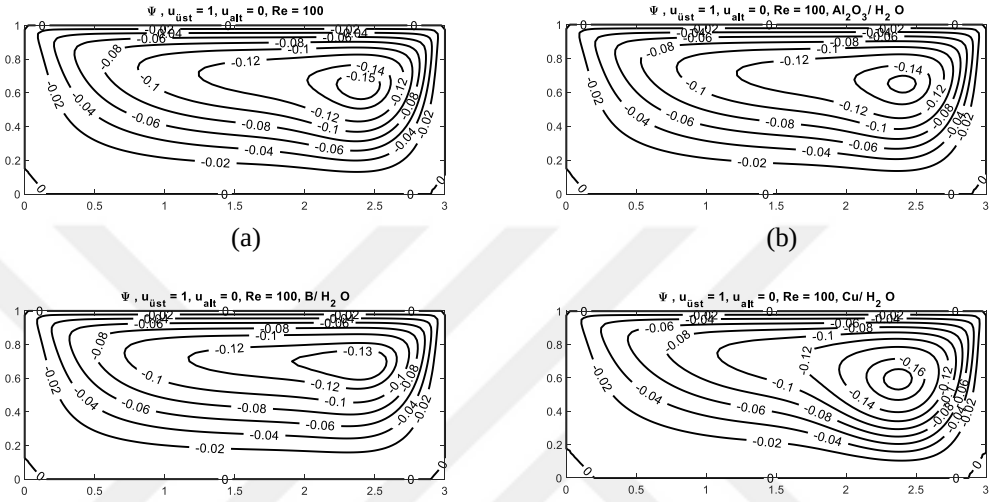
Sadece üst duvarı hareketli boy-en oranı 0.33 olan dikdörtgensel çukur bölgede $Re = 1,\ Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir.





(c) (d)

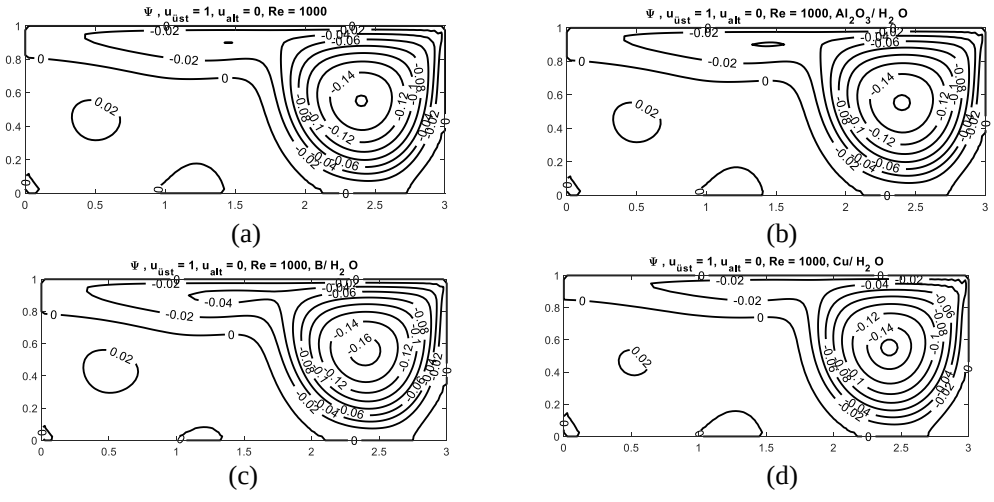
Şekil 4.18. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



(a) (b)

(c) (d)

Şekil 4.19. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



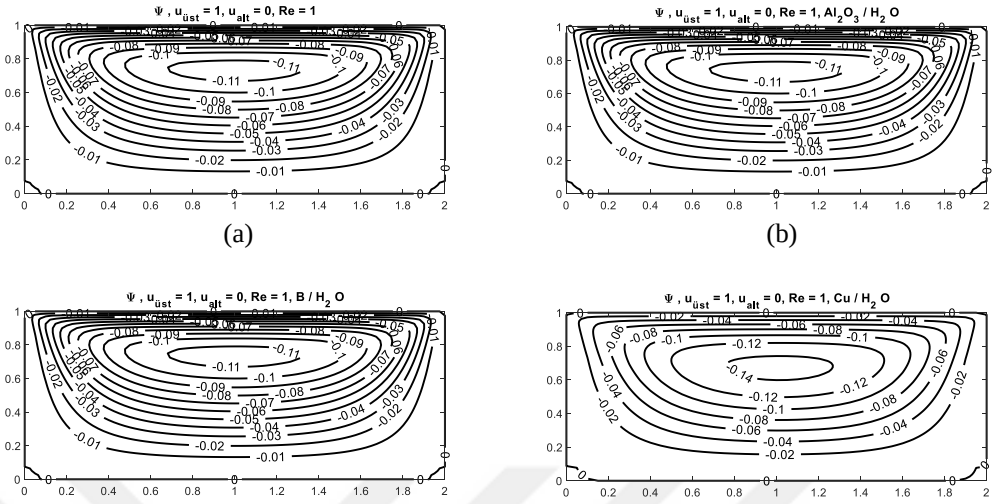
(a) (b)

(c) (d)

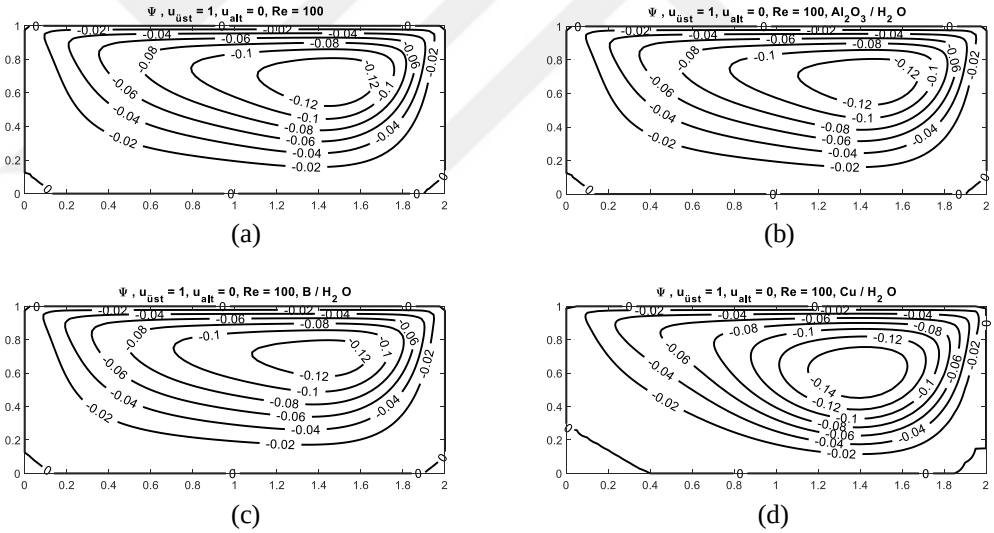
Şekil 4.20. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

Boy-en oranı 0.5 olan sadece üst duvar hareketli çukur bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ değerleri için akım grafikleri Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23' de verilmiştir. Nanoakışkanlara ait grafikler incelendiğinde bakır-su nanoakışkanın

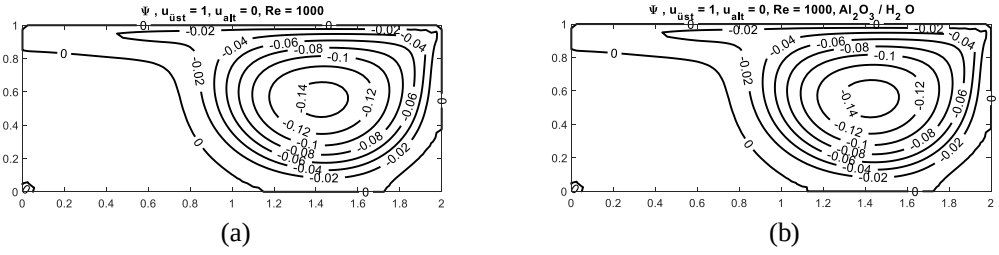
Reynolds sayısının incelenen değerlerinde diğer akışkanlara oranla nitelik ve nicelik olarak farklılıklar gösterdiği gözlenmektedir.

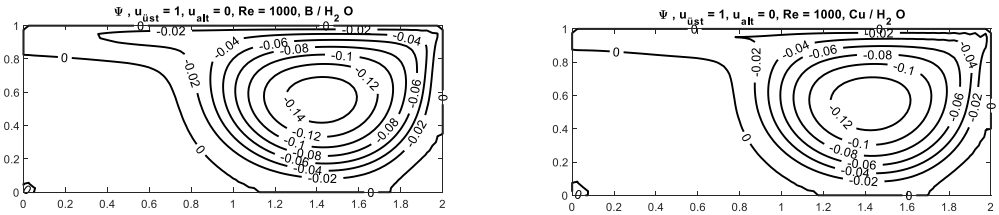


Şekil 4.21. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a)Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



Şekil 4.22. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

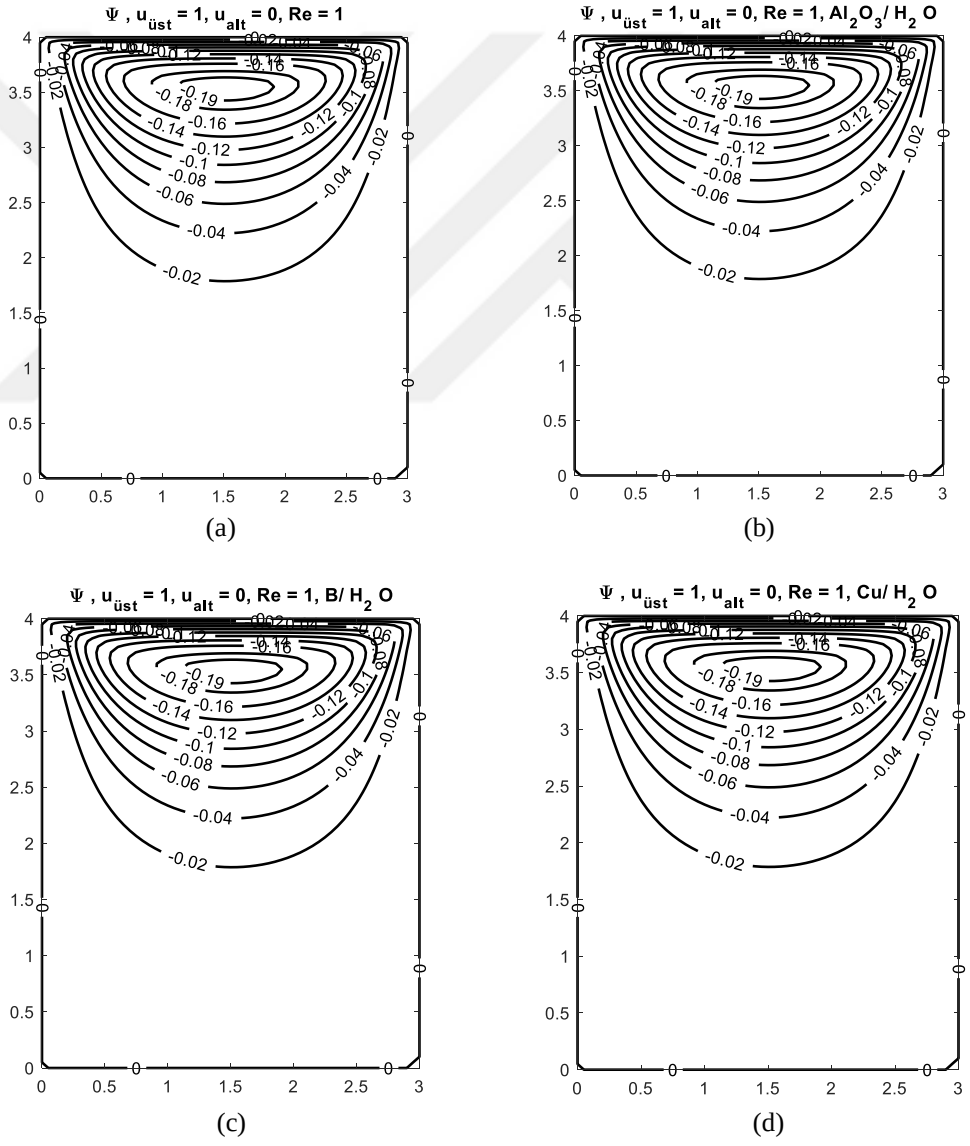




(c) (d)

Şekil 4.23. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

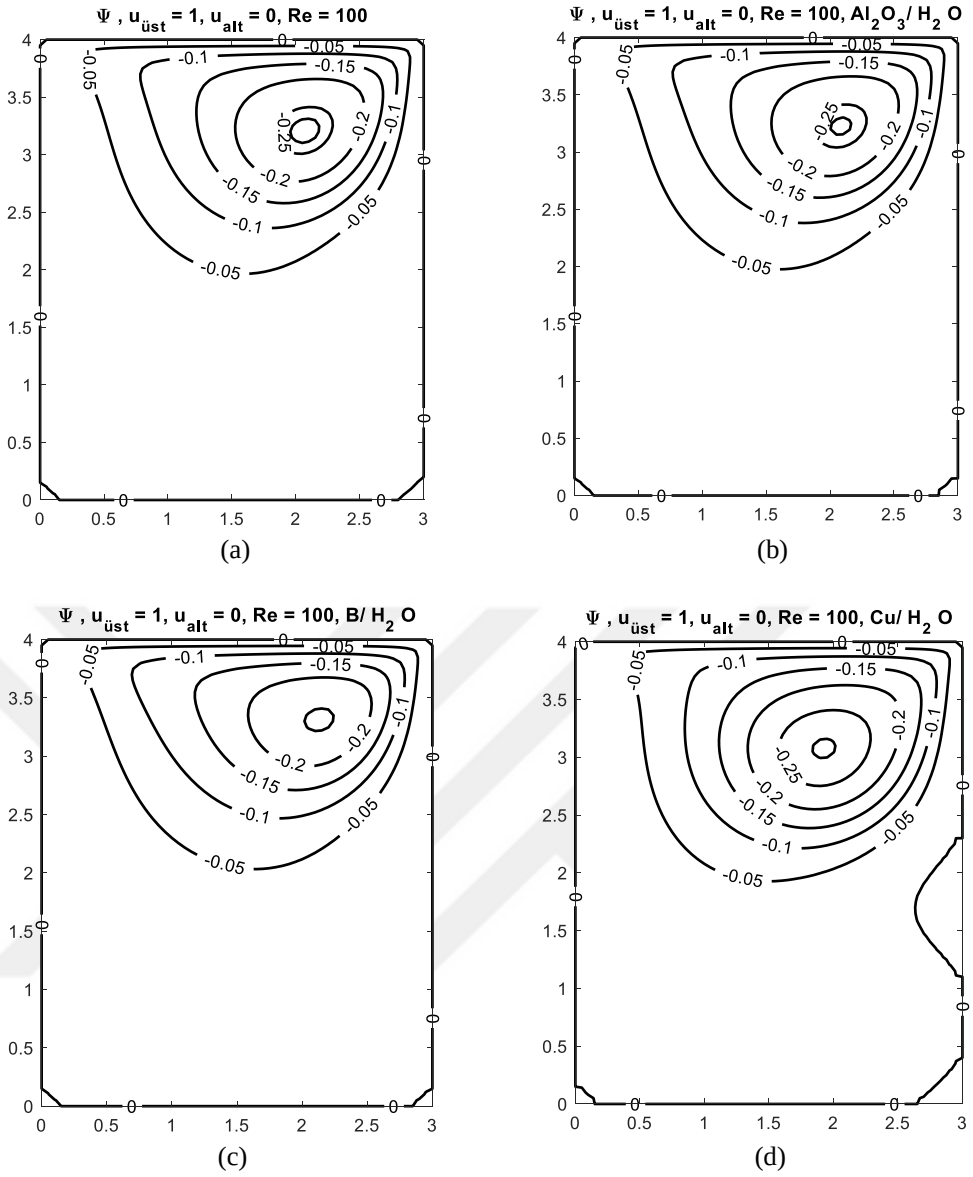
Boy-en oranı 1.33 olan dikdörtgesel çukur bölgede üst duvar hareketli akım çizgileri $Re = 1,\ Re = 100$ ve $Re = 1000$ için Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmiştir.



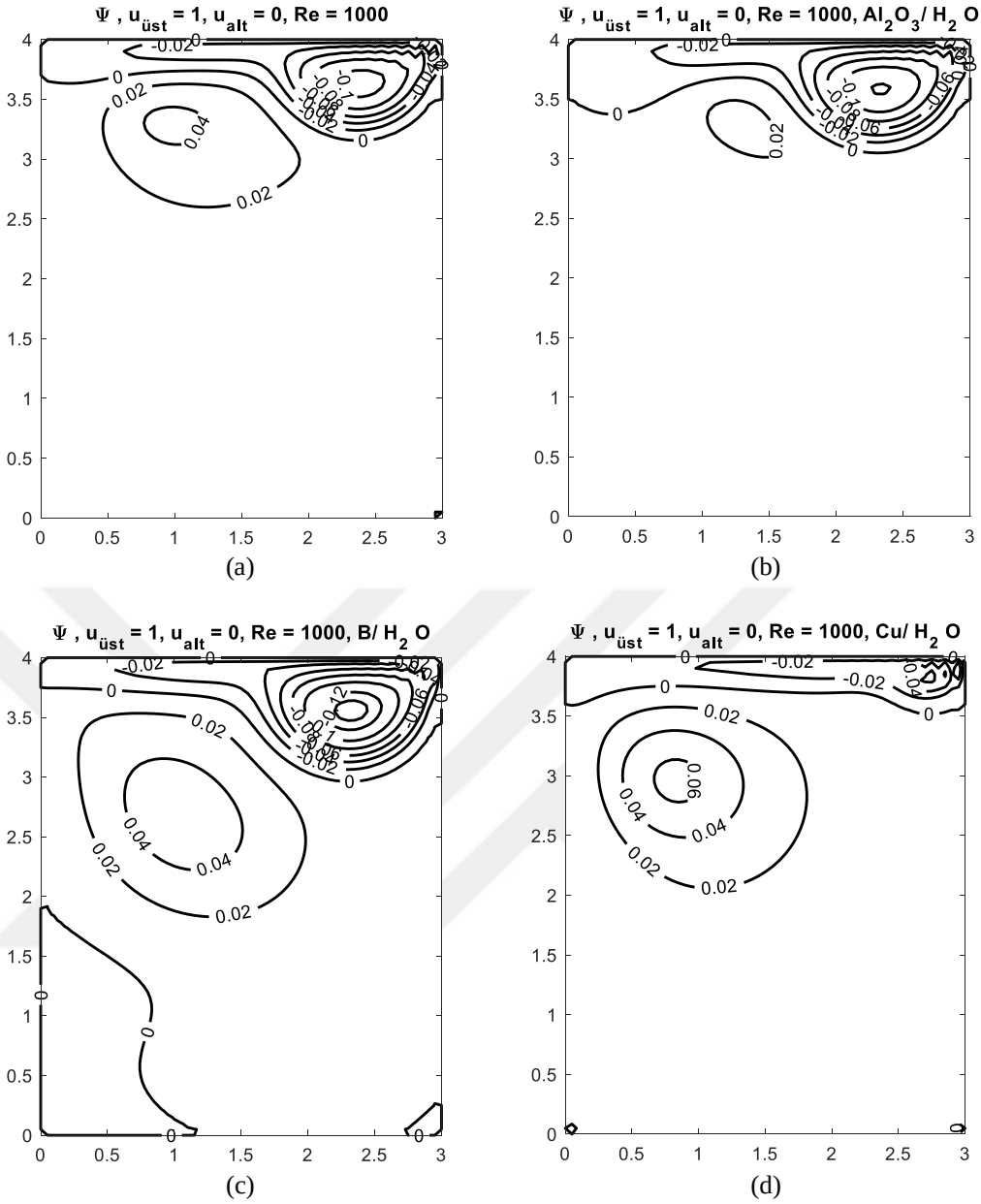
(a) (b)

(c) (d)

Şekil 4.24. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

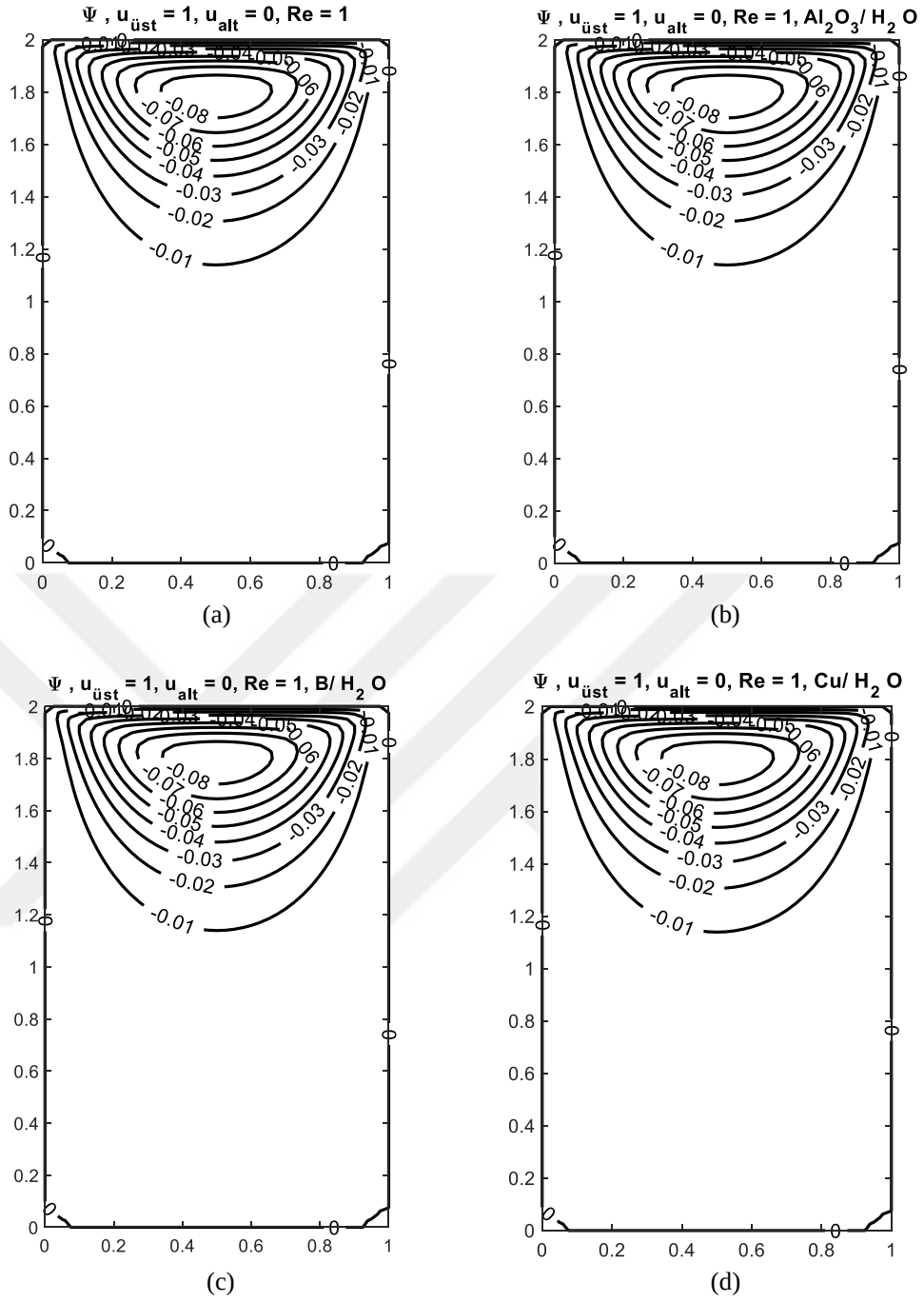


Şekil 4.25. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

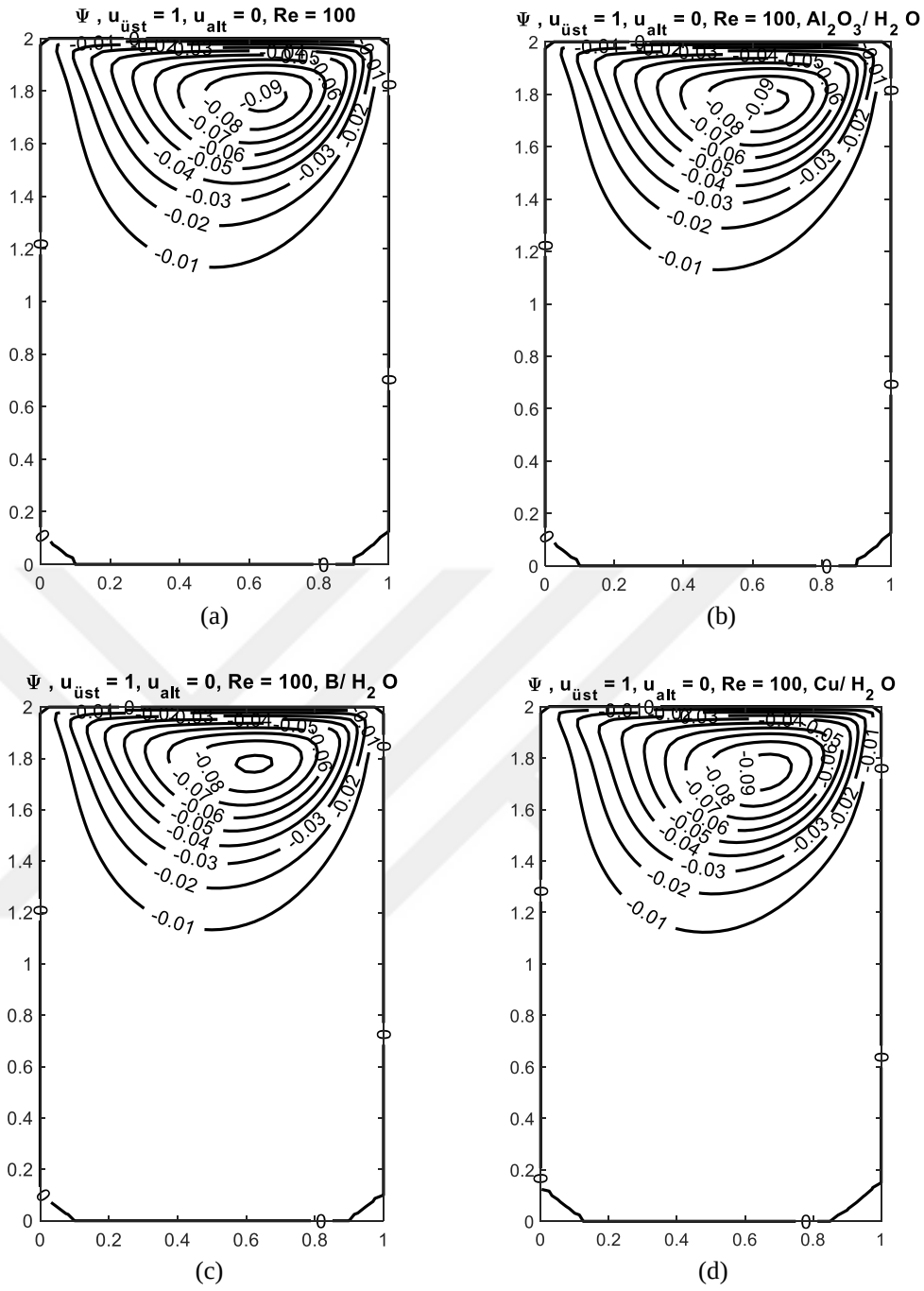


Şekil 4.26. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

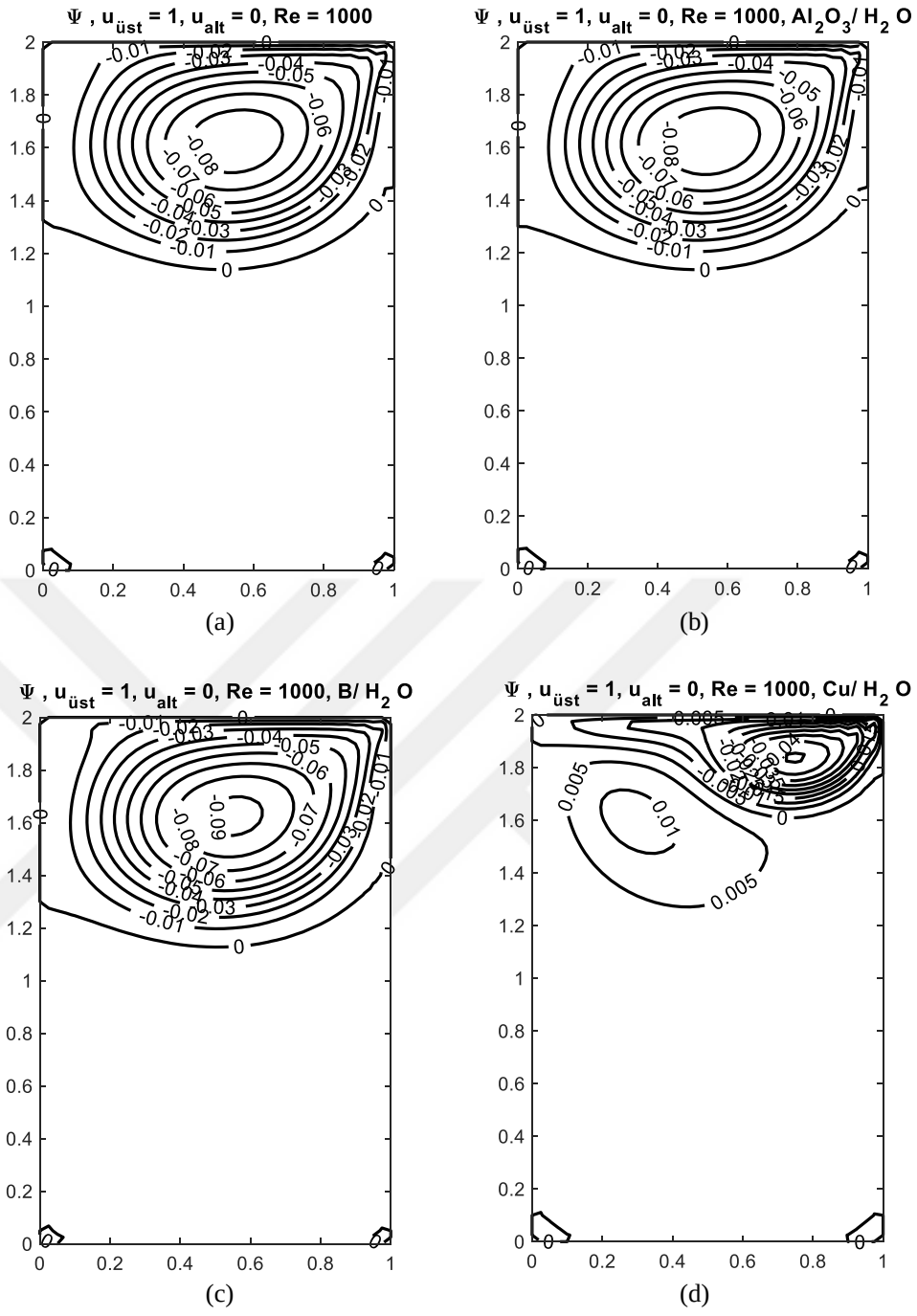
Boy-en oranı 2 olan dikdörtgensel çukur bölgede üst duvar hareketli akım çizgileri $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ için Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.27. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

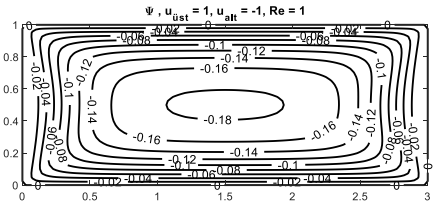


Şekil 4.28. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

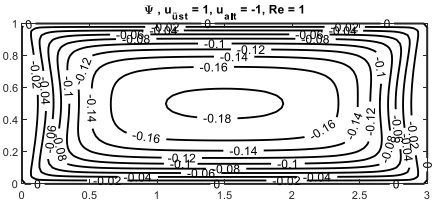


Şekil 4.29. Sadece üst duvarı hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

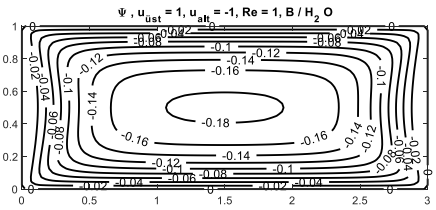
(3.29)-(3.30) denklemlerinin (3.31) sınır koşulunda üst ve alt duvarı zıt yönde hareket ettirilerek boy-en oranı 0.33 olan dikdörtgensel çukur bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgilerinin grafikleri Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



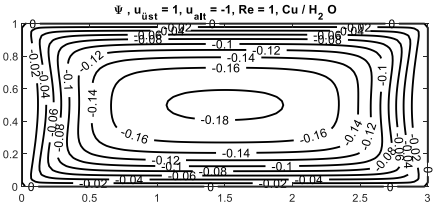
(a)



(b)

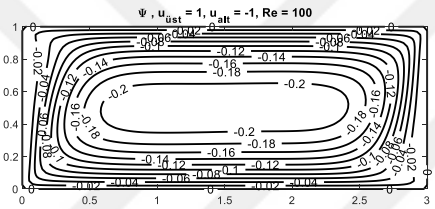


(c)

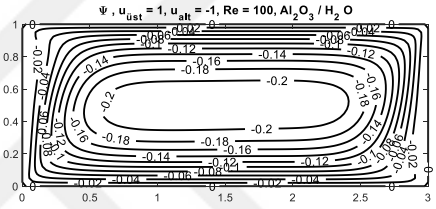


(d)

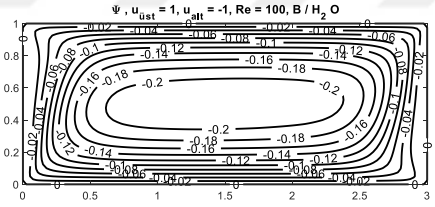
Şekil 4.30. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



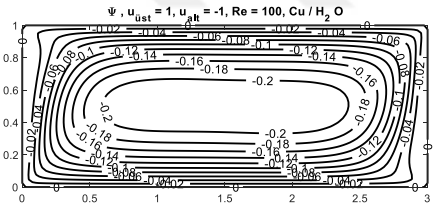
(a)



(b)

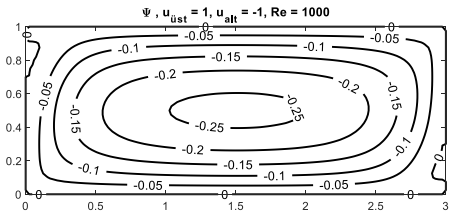


(c)

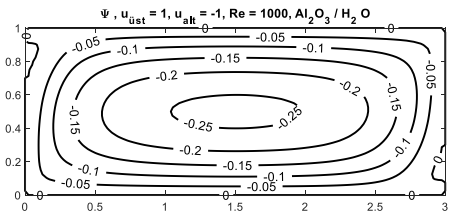


(d)

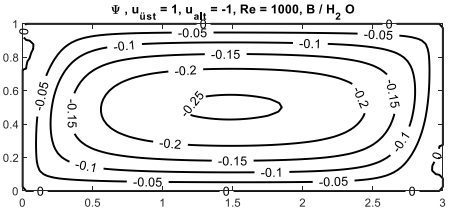
Şekil 4.31. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



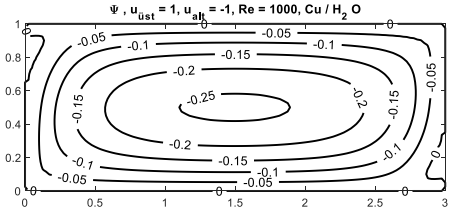
(a)



(b)



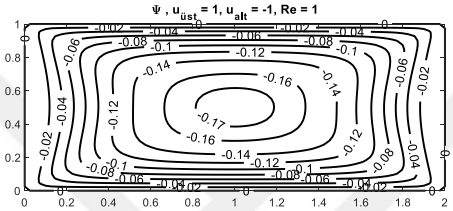
(c)



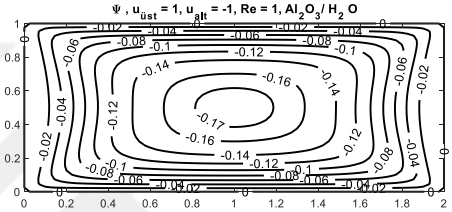
(d)

Şekil 4.32. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

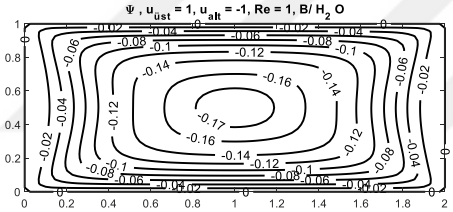
Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan dikdörtgensel çukur bölgede $Re = 1,\ Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de gösterilmiştir.



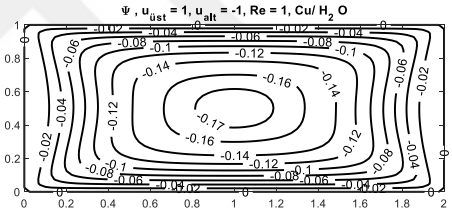
(a)



(b)

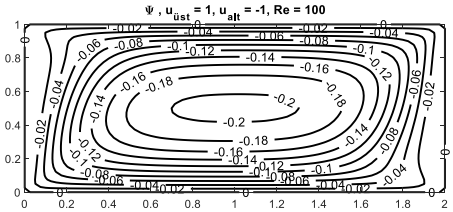


(c)

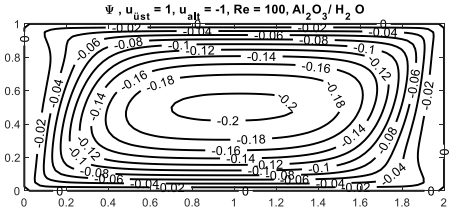


(d)

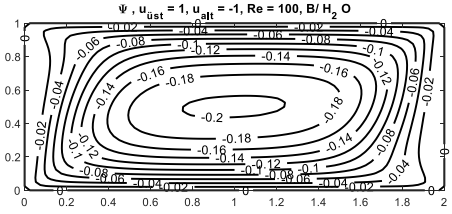
Şekil 4.33. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



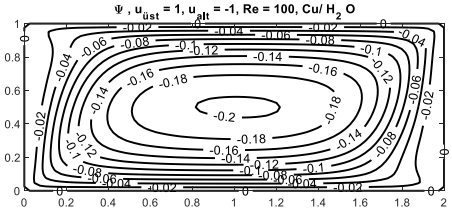
(a)



(b)

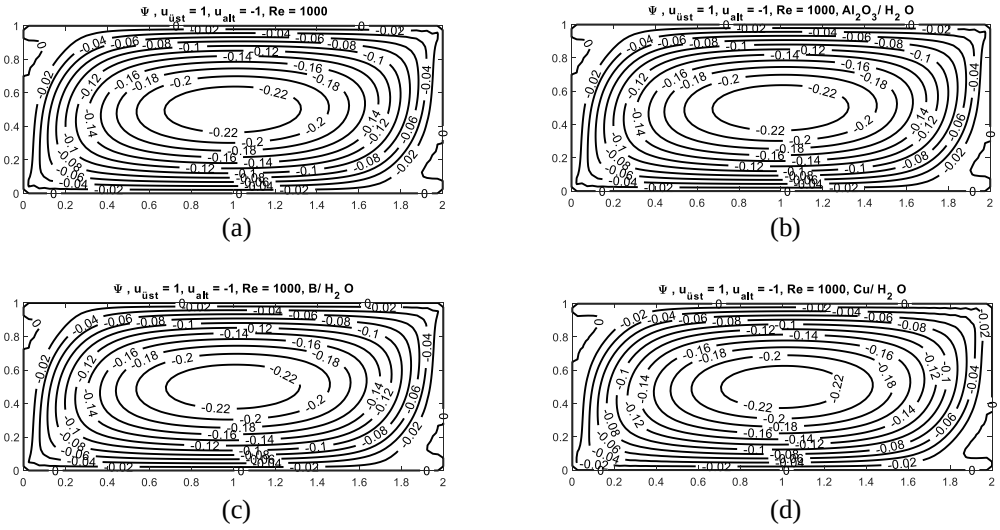


(c)



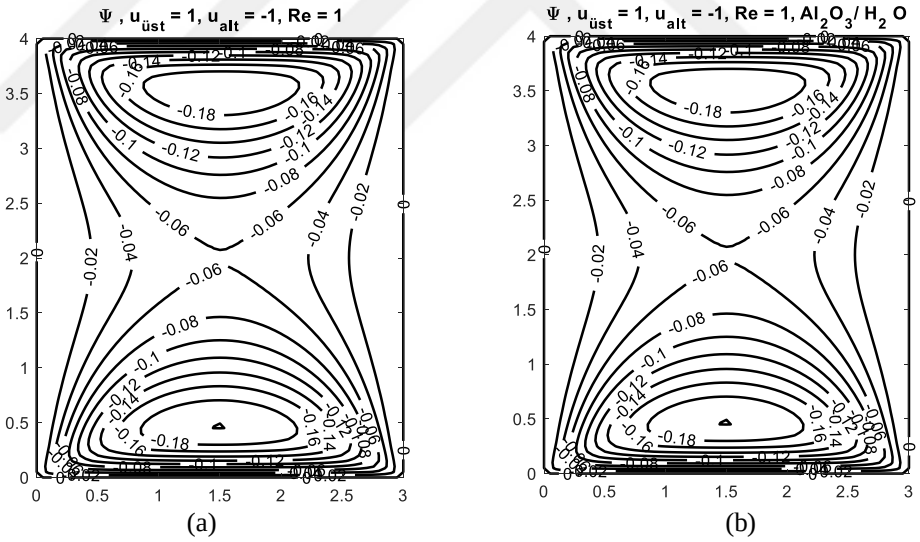
(d)

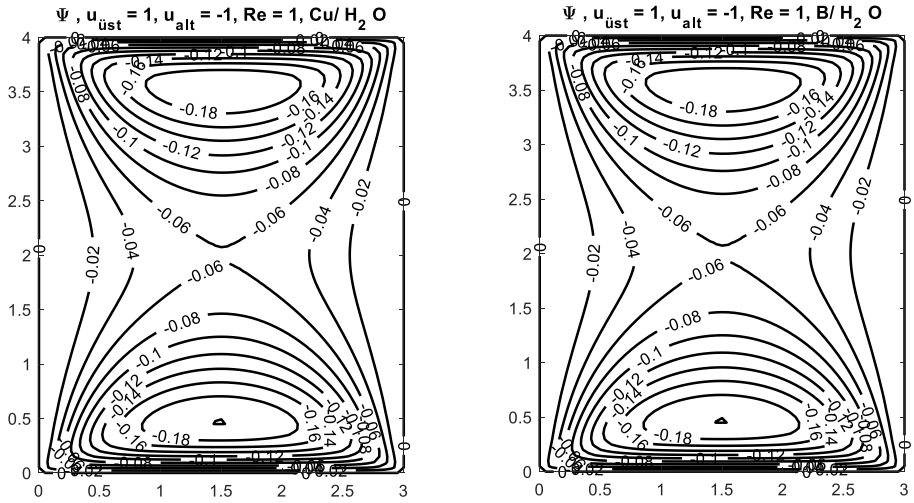
Şekil 4.34. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



Şekil 4.35. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

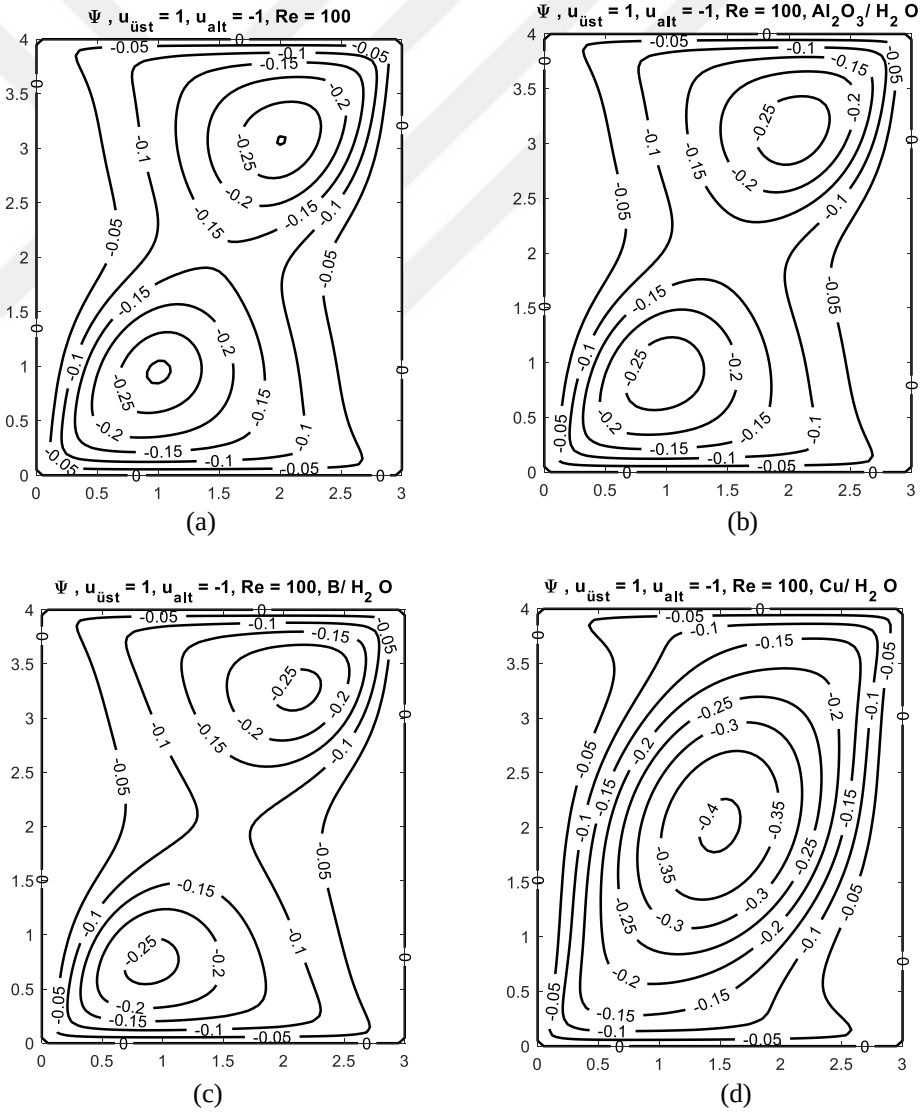
Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan dikdörtgensel çukur bölgede $Re = 1,\ Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38'de gösterilmiştir.





(c) (d)

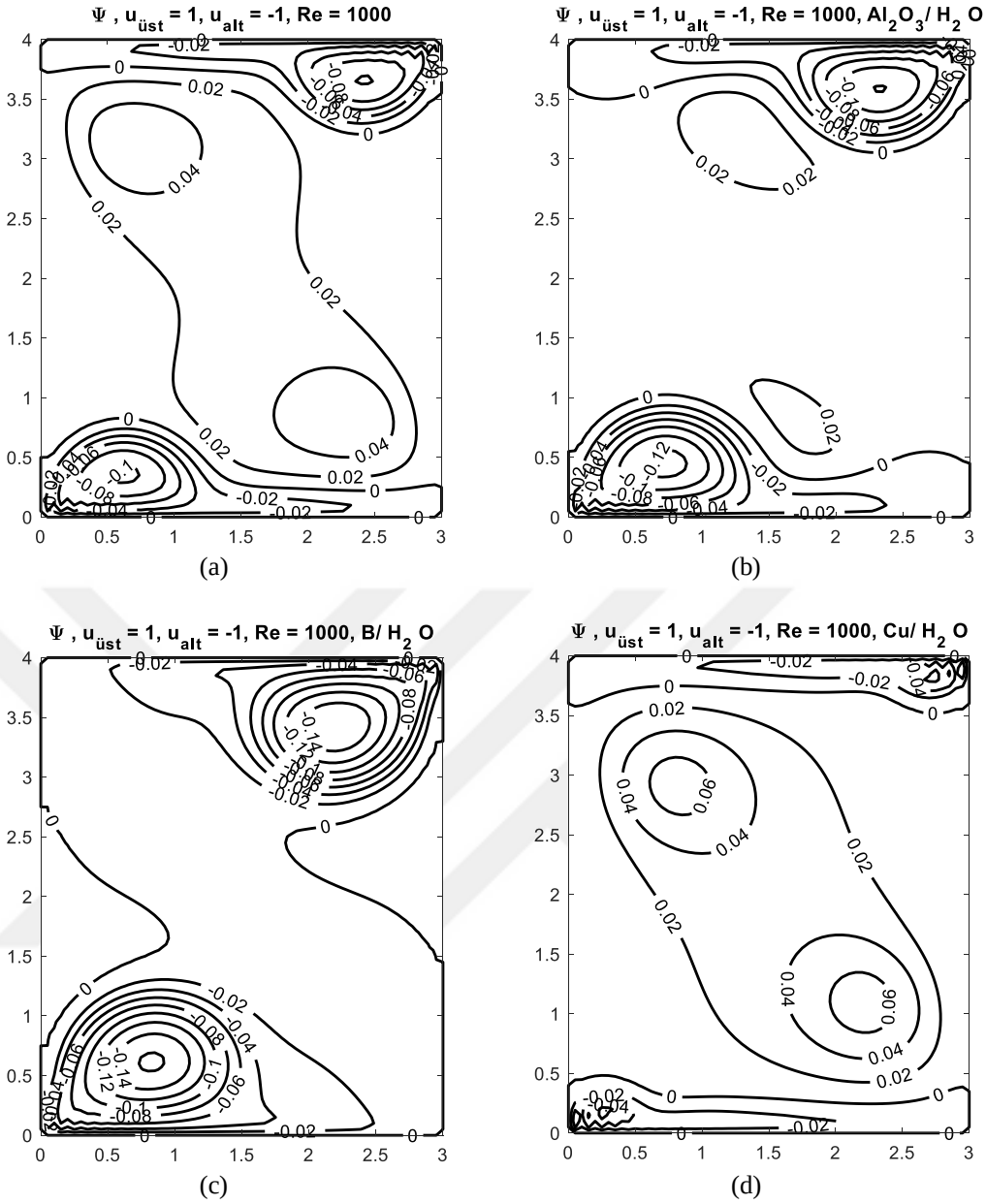
Şekil 4.36. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



(a) (b)

(c) (d)

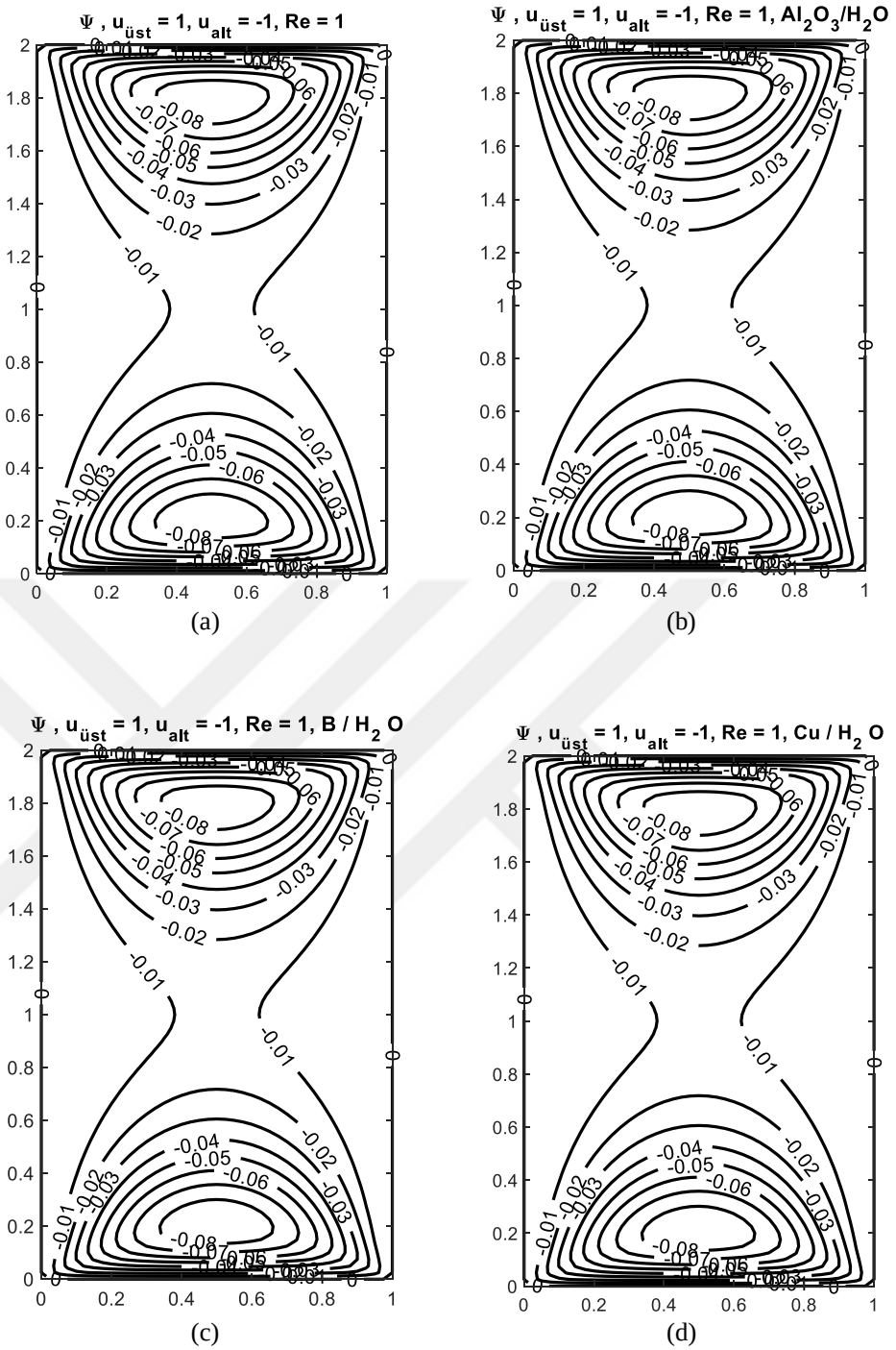
Şekil 4.37. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



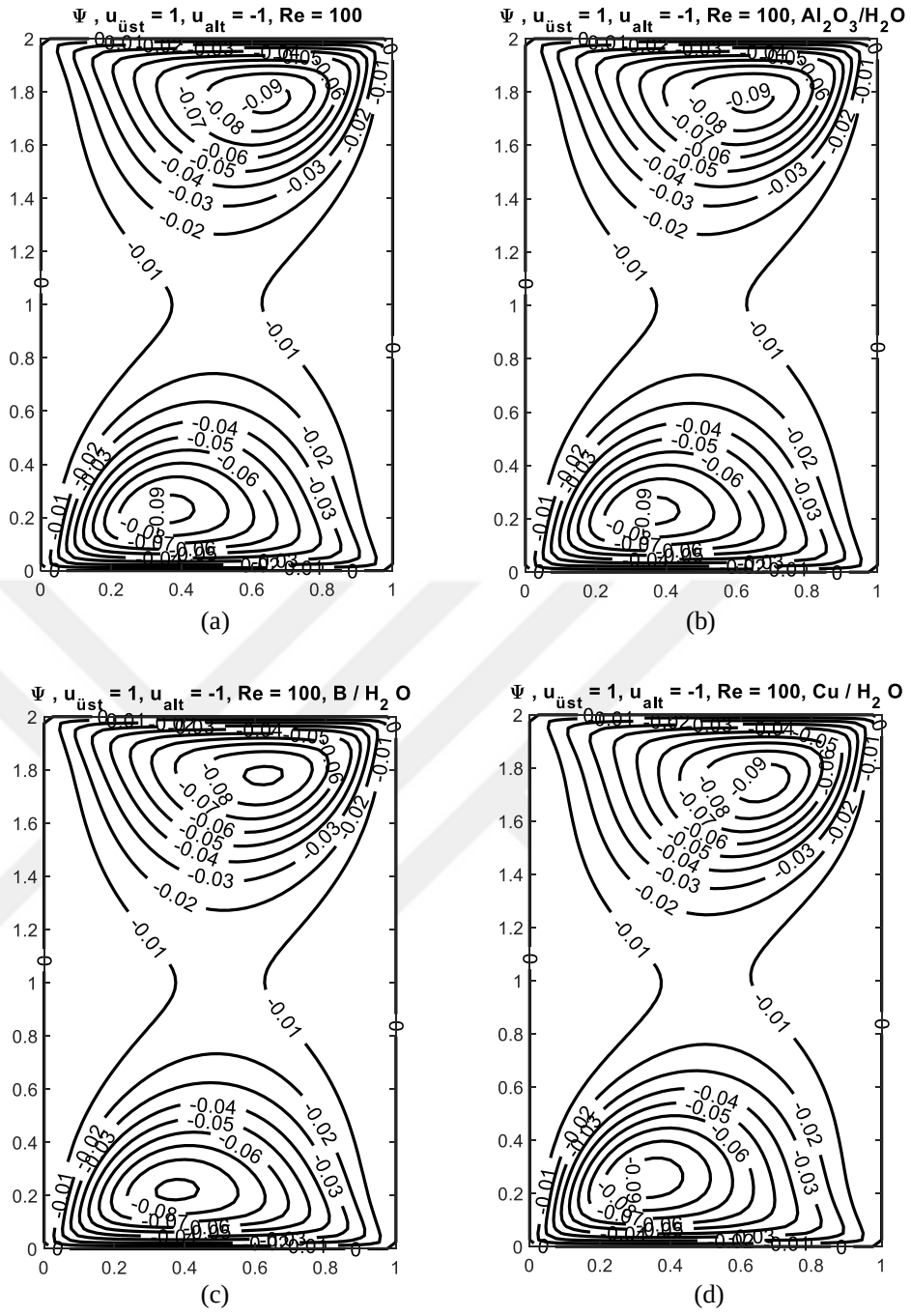
Şekil 4.38. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

Şekillerden görüldüğü üzere boy-en oranı 1.33 olduğunda farklı nanoakışkanlar zıt yön hareketine oldukça farklı tepkiler vermişlerdir. Özellikle $Re = 1000$ değerinde çukur bölgenin orta kısmında yeni girdaplar oluşmuştur.

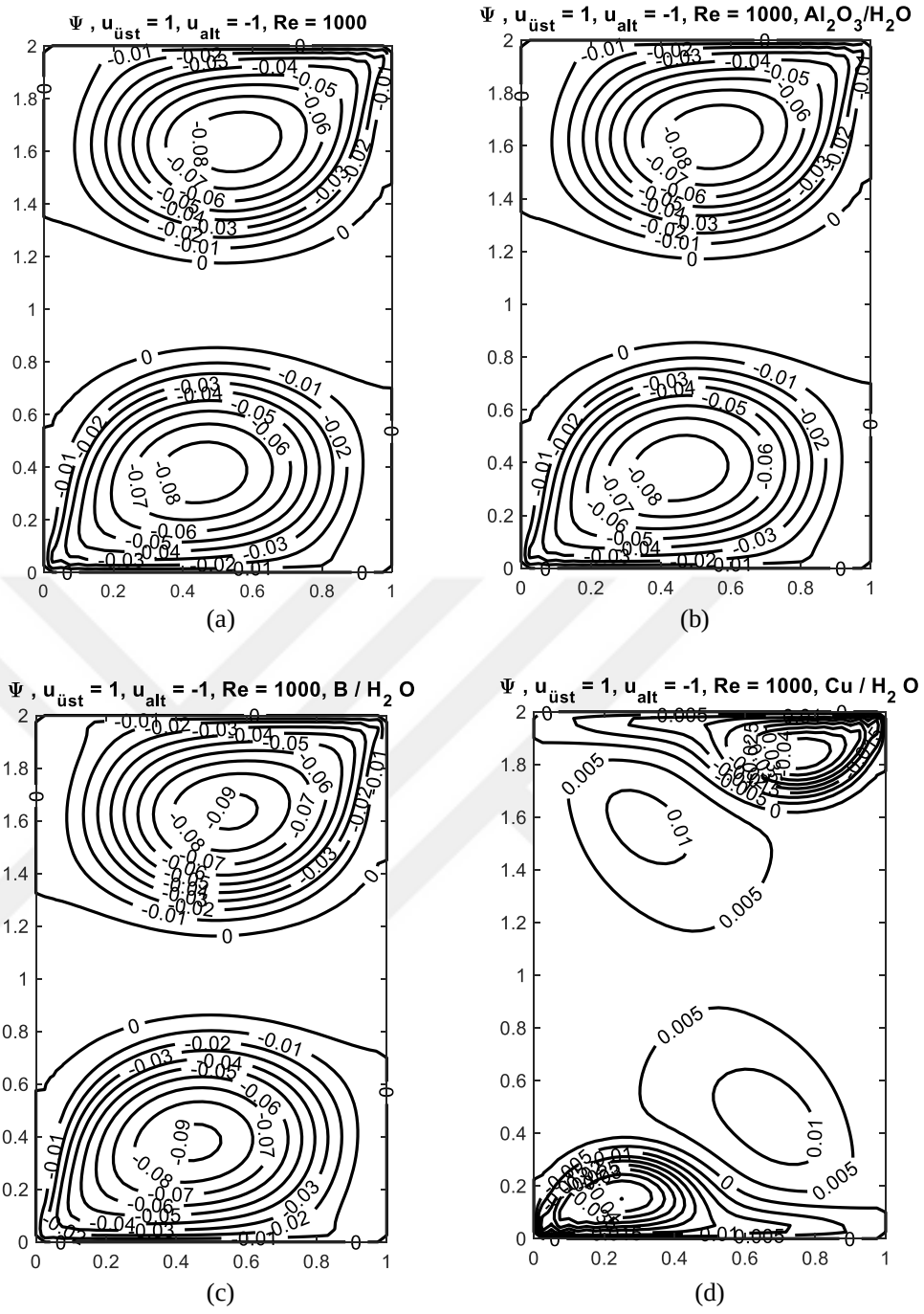
Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan dikdörtgensel çukur bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de gösterilmiştir.



Şekil 4.39. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



Şekil 4.40. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

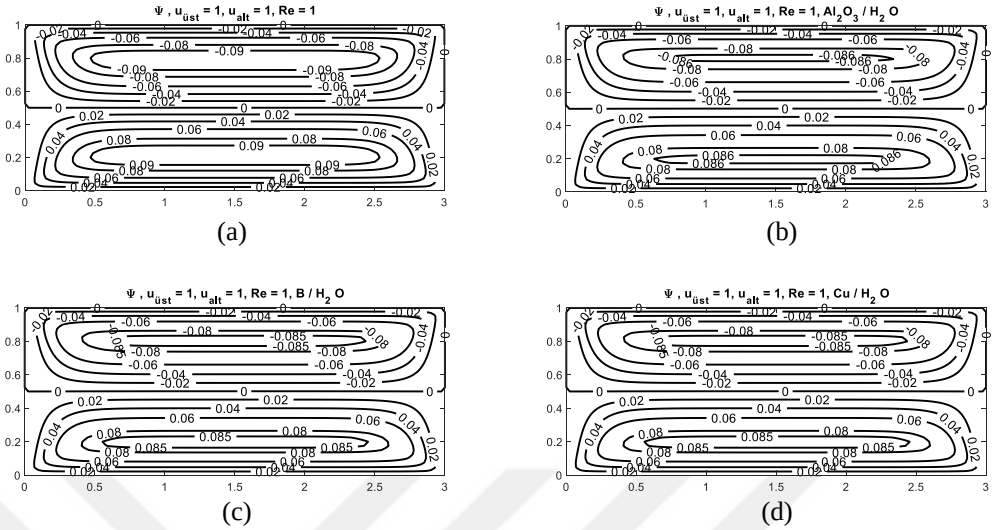


Şekil 4.41. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

Görüldüğü üzere boy-en oranı 2 olduğunda bakır-su ve bor-su nanoakışkanları diğer nanoakışkanlardan farklı tepkiler vermişlerdir.

(3.29)-(3.30) denklemlerinin (3.31) sınır koşulları üst ve alt duvarı aynı yönde hareket edecek şekilde boy-en oranı 0.33 olan dikdörtgensel çukur bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgilerinin grafikleri Şekil 4.42,

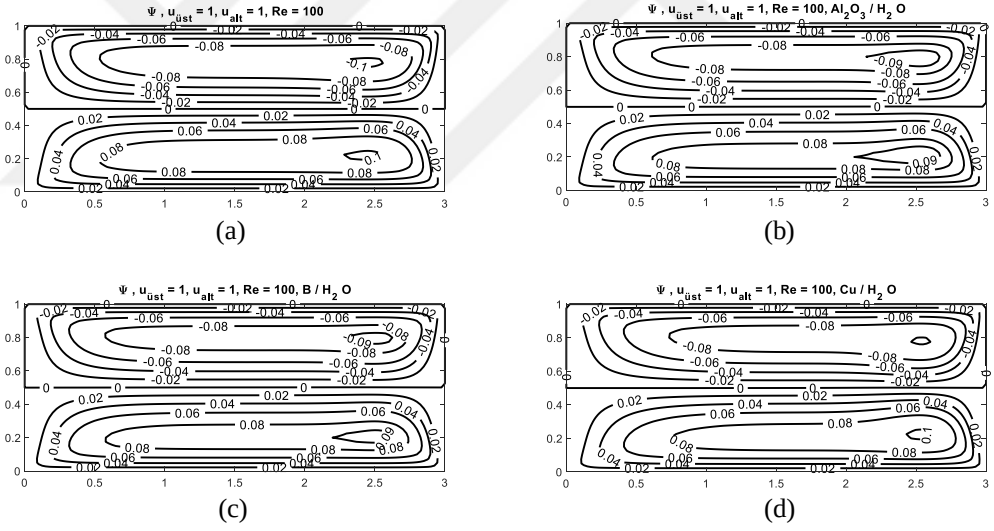
Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'de gösterilmiştir. Grafiklerde ufak farklılıklar göze çarpmaktadır.



(a) (b)

(c) (d)

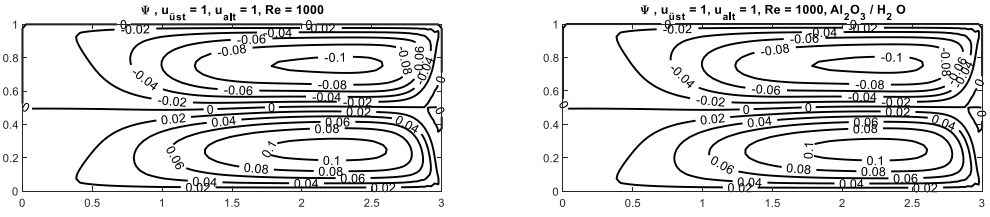
Şekil 4.42. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



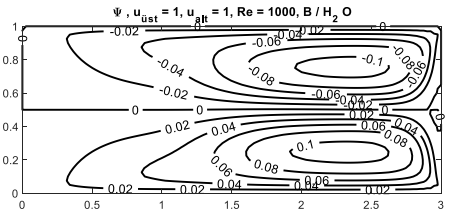
(a) (b)

(c) (d)

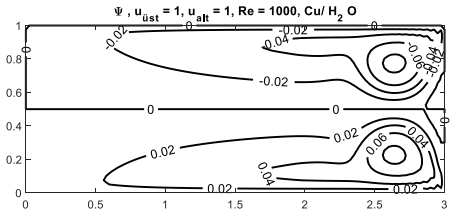
Şekil 4.43. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



(a) (b)



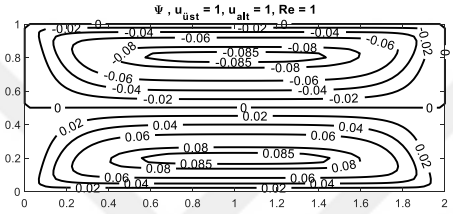
(c)



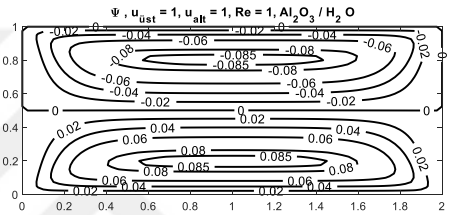
(d)

Şekil 4.44. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

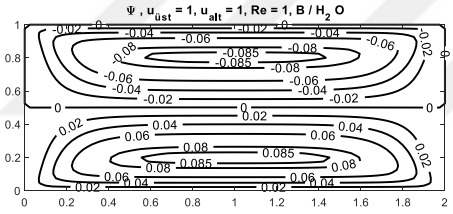
Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan dikdörtgensel çukur bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.45, Şekil 4.46 ve Şekil 4.47'de gösterilmiştir.



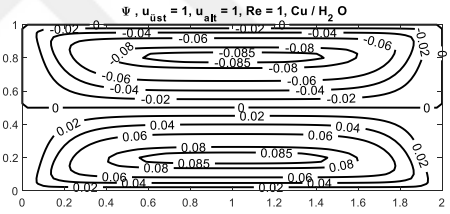
(a)



(b)

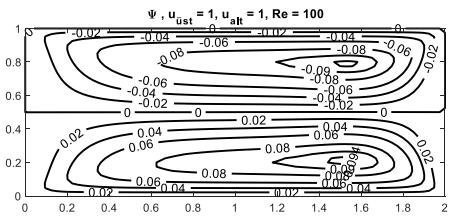


(c)

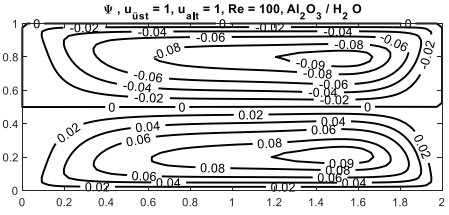


(d)

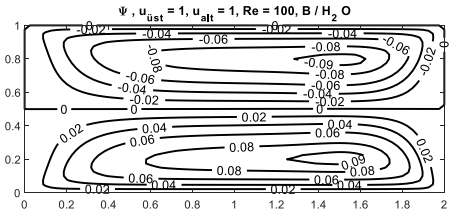
Şekil 4.45. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



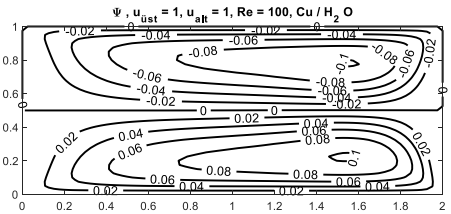
(a)



(b)

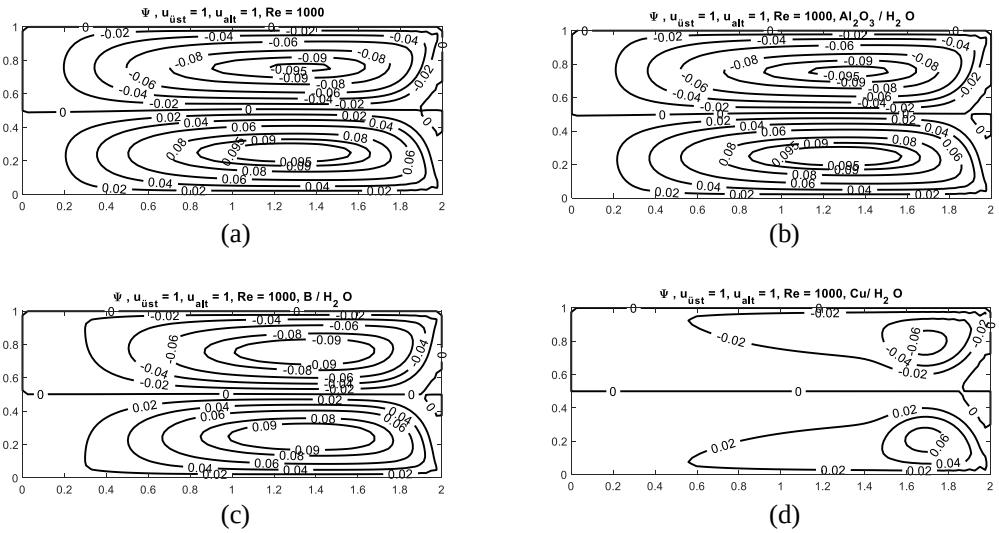


(c)



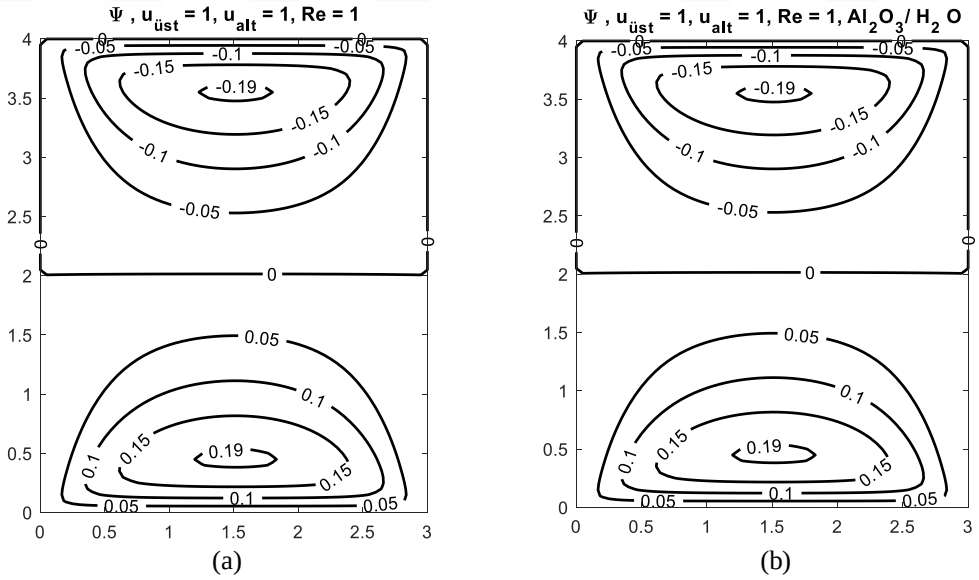
(d)

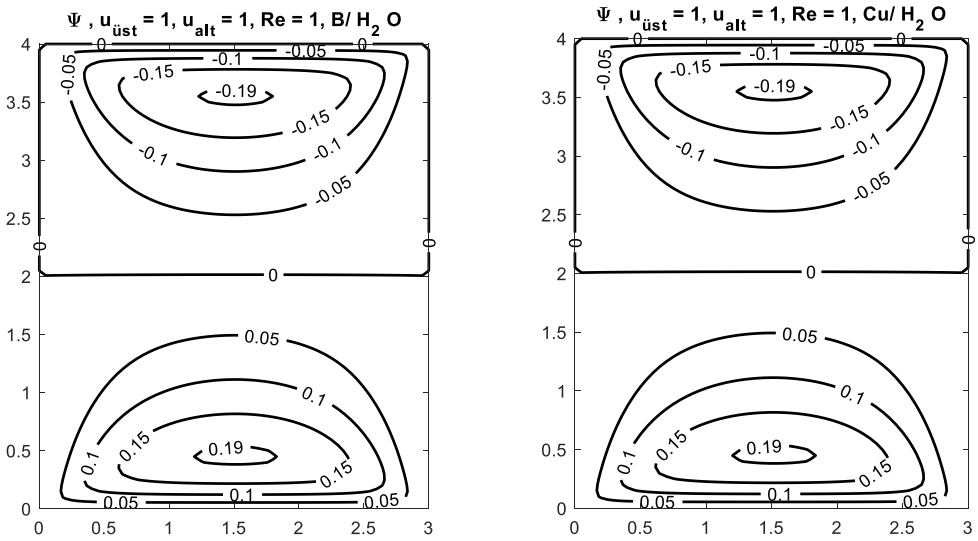
Şekil 4.46. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



Şekil 4.47. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 0.5 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

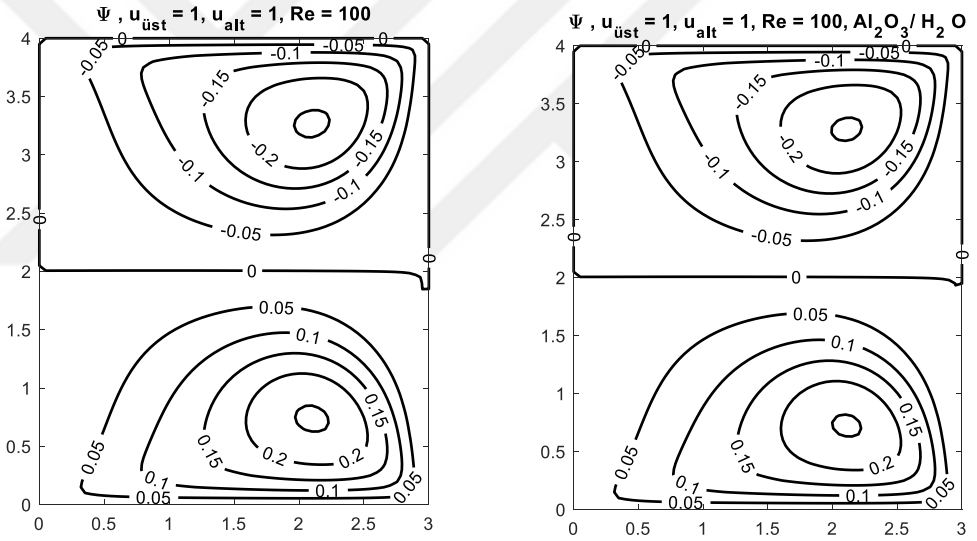
Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan dikdörtgensel çukur bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50'de gösterilmiştir. Reynolds sayısı arttıkça bor ve bakır elementinin hareket etkisine verdiği tepkinin diğerlerinden farklı olduğu gözlemlenmiştir.



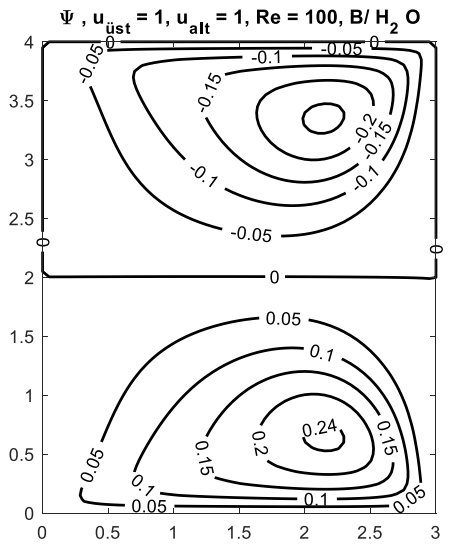


(c) (d)

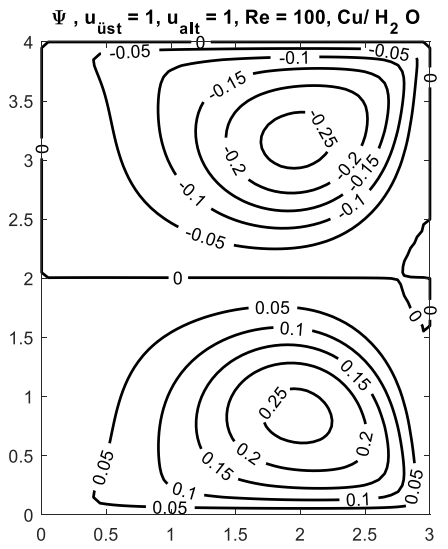
Şekil 4.48. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



(a) (b)

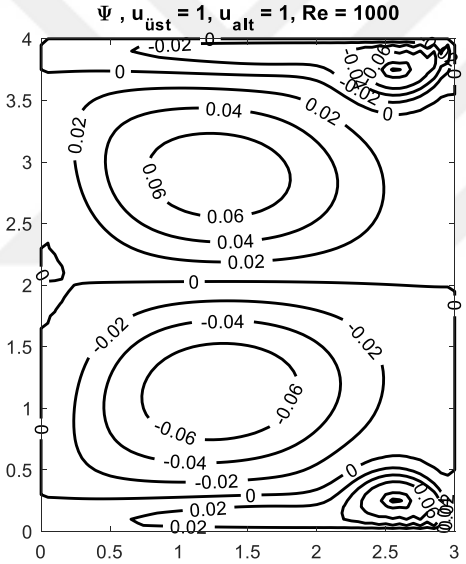


(c)

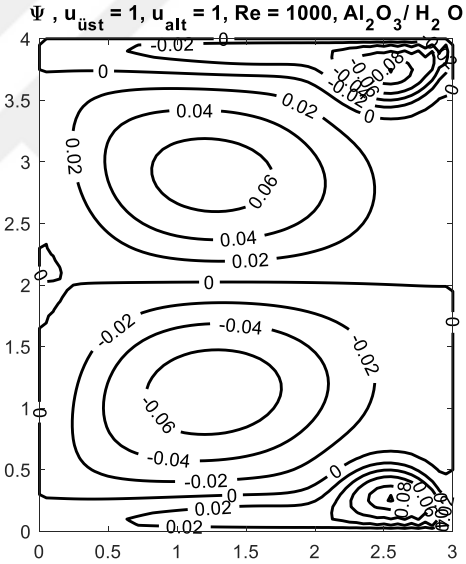


(d)

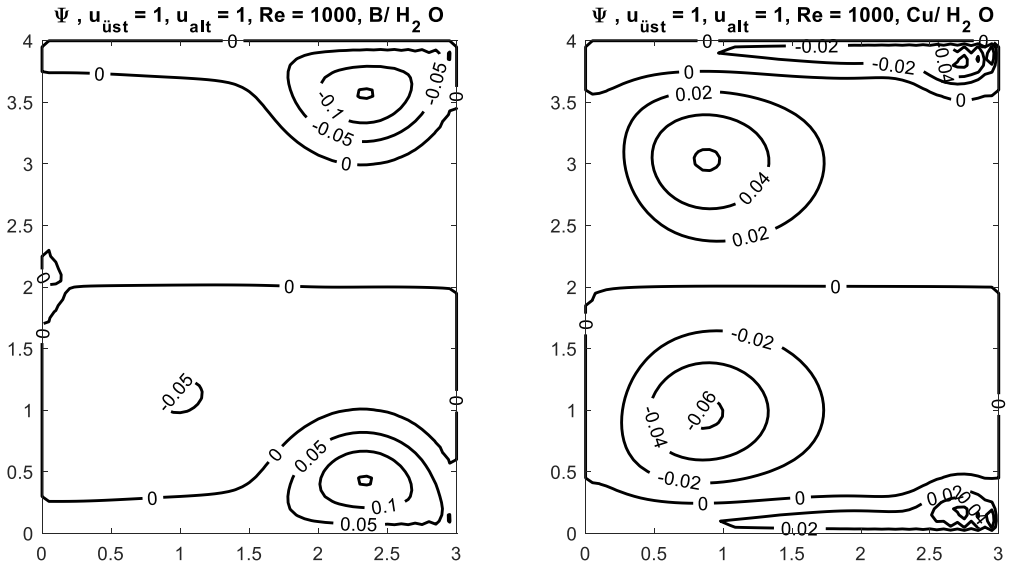
Şekil 4.49. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



(a)



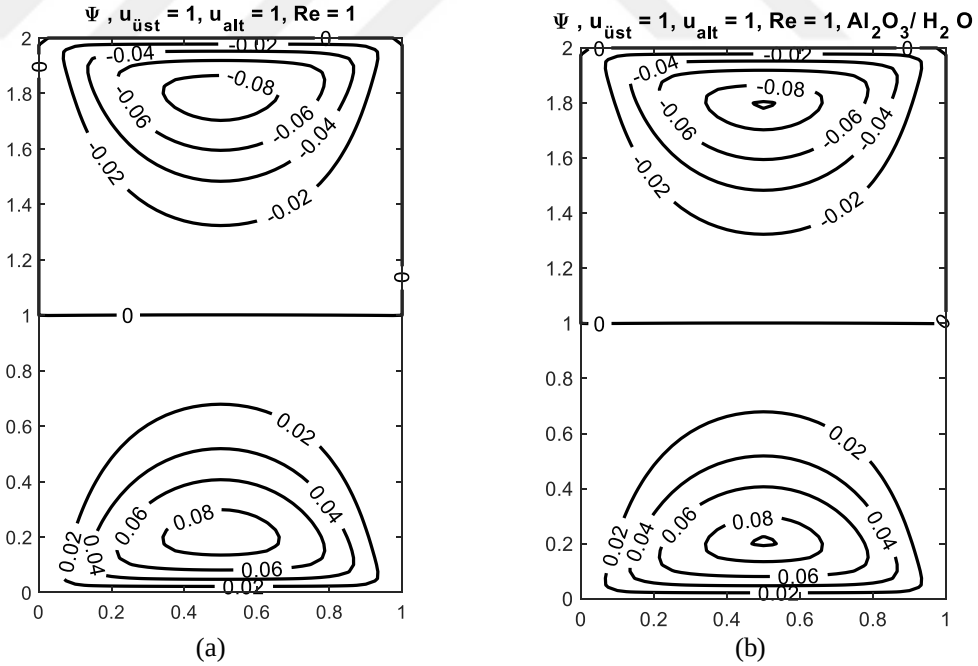
(b)



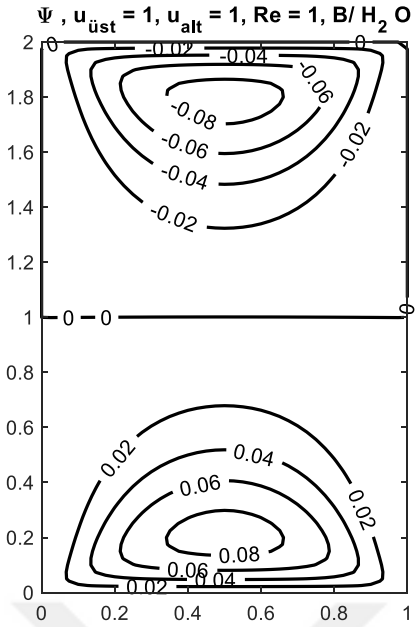
(c) (d)

Şekil 4.50. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

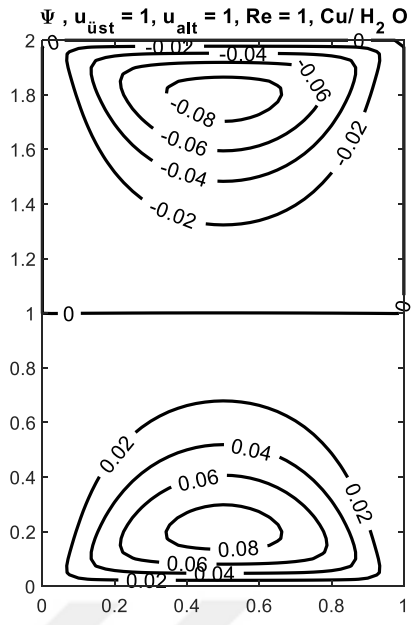
Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan dikdörtgensel çukur bölgede $Re = 1,\ Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.51, Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'de gösterilmiştir.



(a) (b)

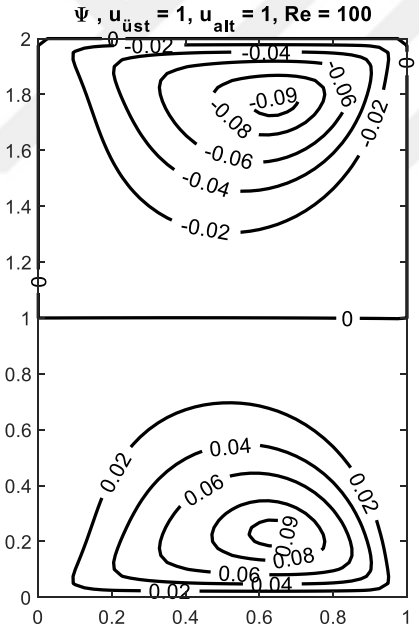


(c)

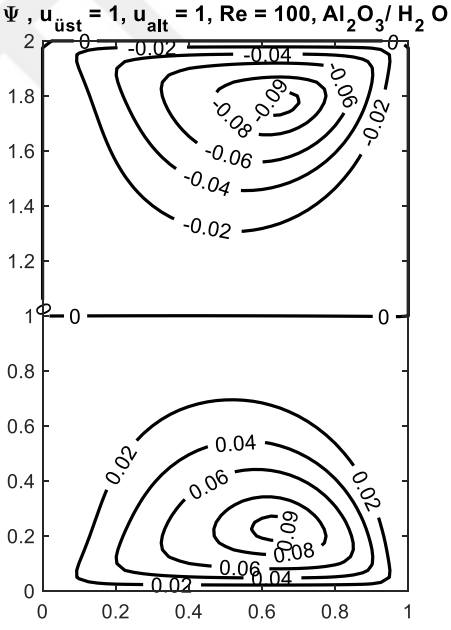


(d)

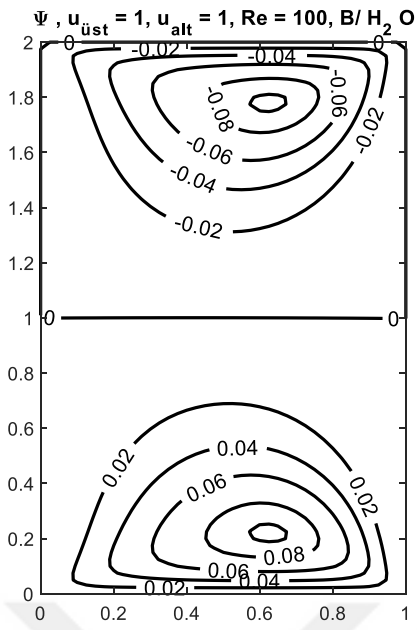
Şekil 4.51. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



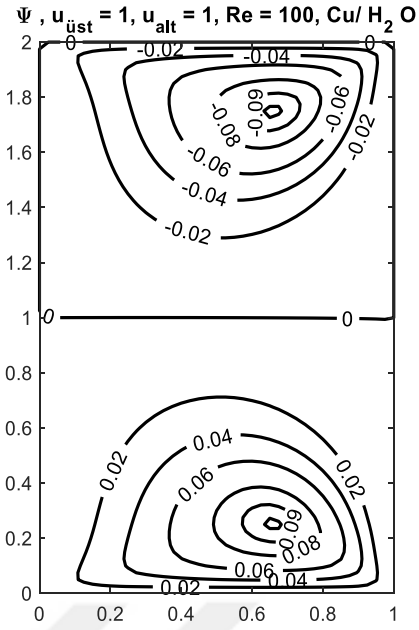
(a)



(b)

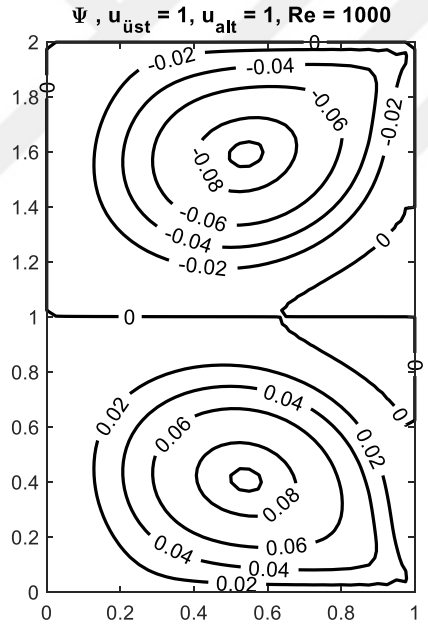


(c)

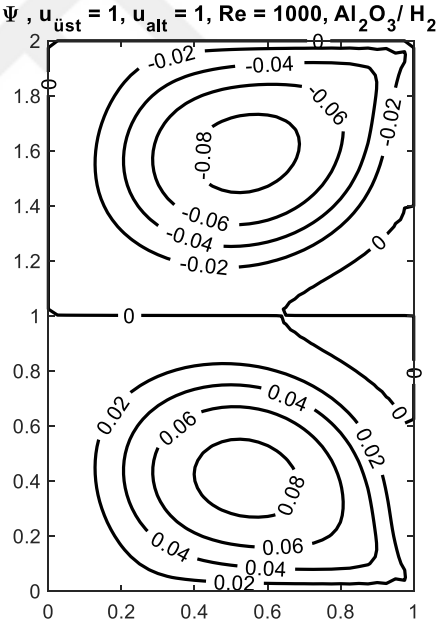


(d)

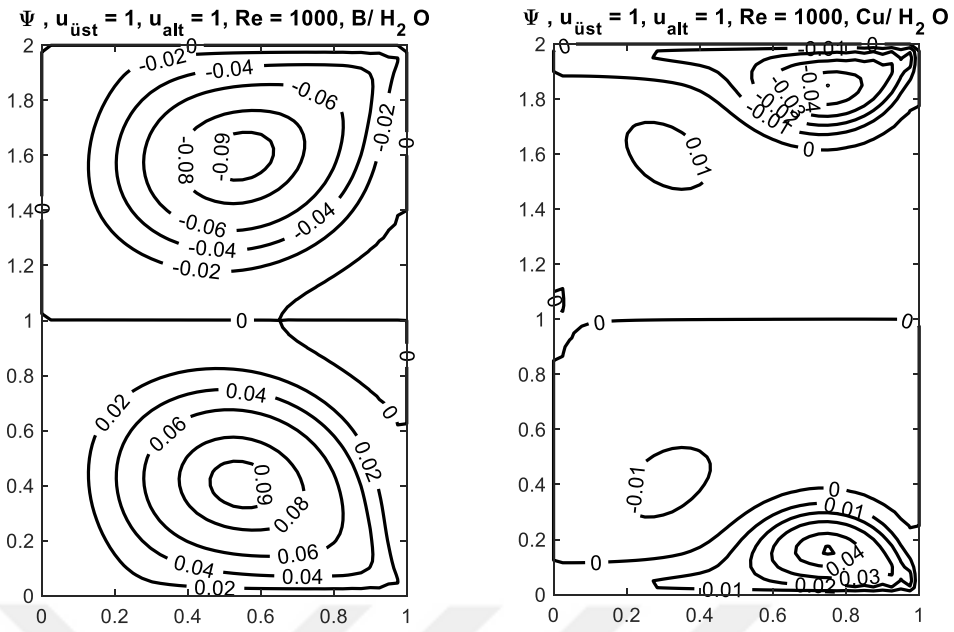
Şekil 4.52. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



(a)



(b)



(c) (d)

Şekil 4.53. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

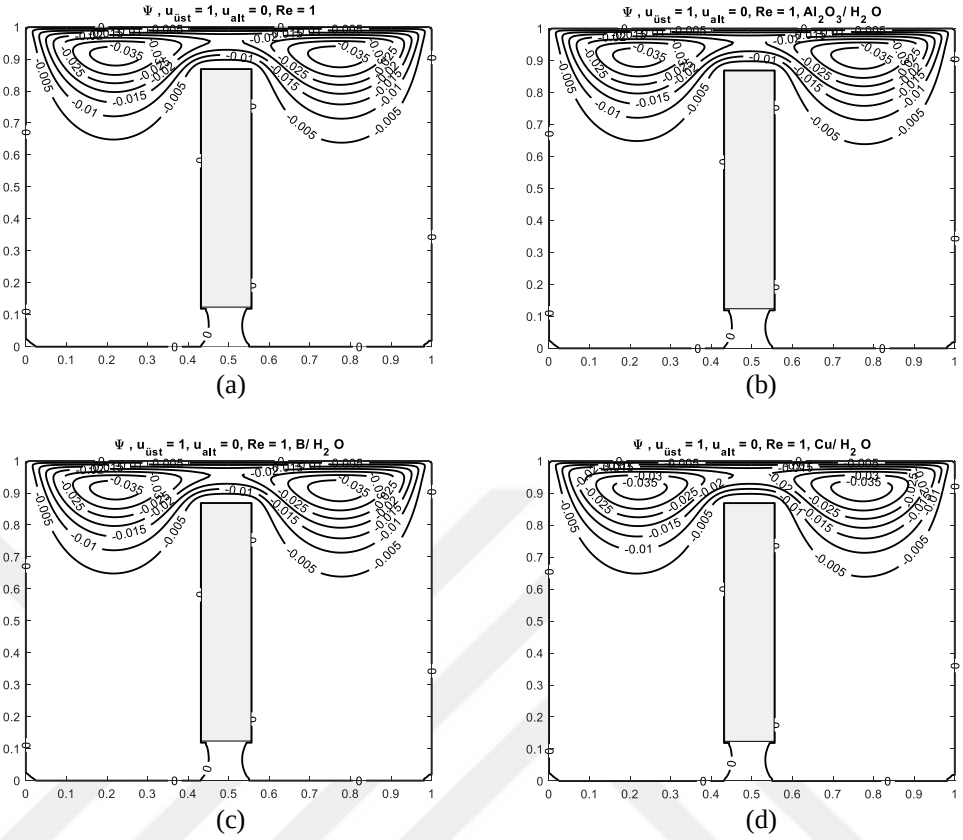
Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden boy-en oranı 2 olan bölgede Reynolds sayısının $Re = 1$ ve $Re = 100$ değerlerinde ciddi bir değişim gözlemlenmezken $Re = 1000$ değerinde bor ve bakır ihtiva eden nanoakışkanların akım grafikleri farklılaşmıştır.

4.3. İçerisinde Engel Bulunan Çukur Bölgede Duvar Hareketli Akım

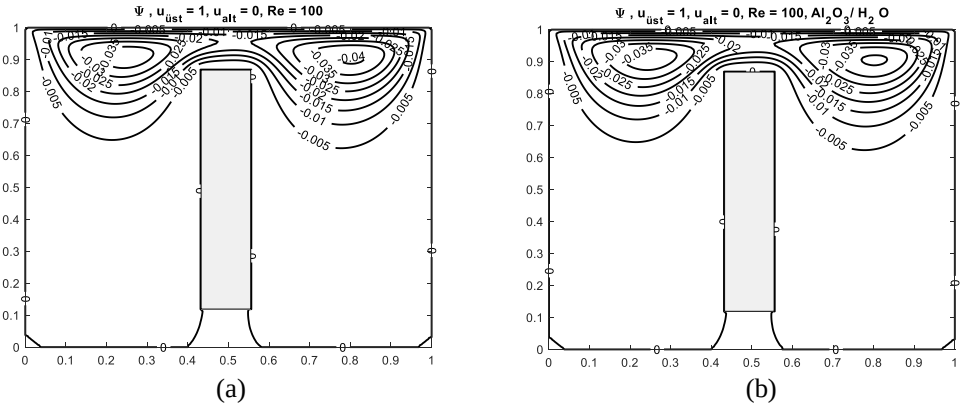
Bu bölümde Şekil 3.2 ile geometrisi verilen içerisinde sabit bir engel bulunan ve farklı boy-en oranlarına sahip olan bölgede (3.29)-(3.30) denklemleri ile (3.31) sınır koşulları sadece üst duvar hareketli akım, üst ve alt duvarı aynı yönde hareketli akım ve üst ve alt duvarı zıt yönde hareketli akım durumları ele alınarak farklı nanoakışkanlar için Reynolds sayısının 1, 100 ve 1000 değerlerinde incelenmiştir. Çukur bölge boy-en oranı 1, 0.33, 1.33 ve 2 olarak alınmıştır. Ayrıca bölge içerisindeki sabit engel büyük ve küçük engel olarak iki farklı durumda ele alınmıştır.

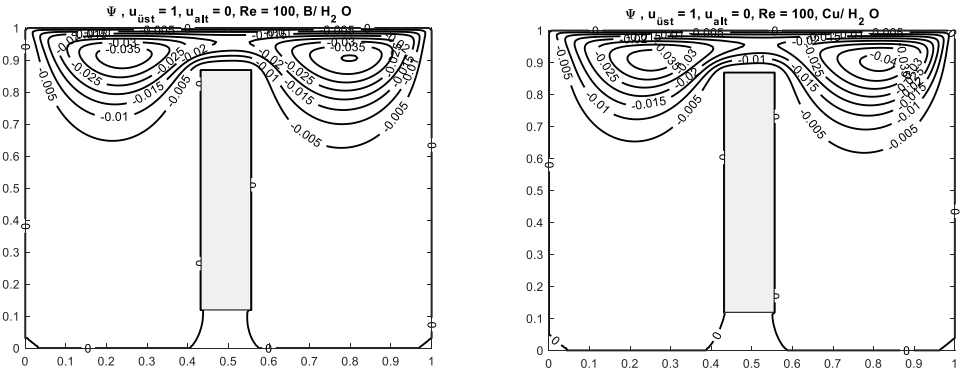
Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde engel bulunmayan karesel bölgede akım çizgilerinin grafiklerinin verildiği Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 ile sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede akım çizgilerinin verildiği Şekil 4.54, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56 sırasıyla kıyaslandığında $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ değerlerinde uzun dikdörtgensel engelin bölgedeki

akımı tek girdap merkezli durumdan iki girdap merkezli duruma değiştirdiği görülmektedir.



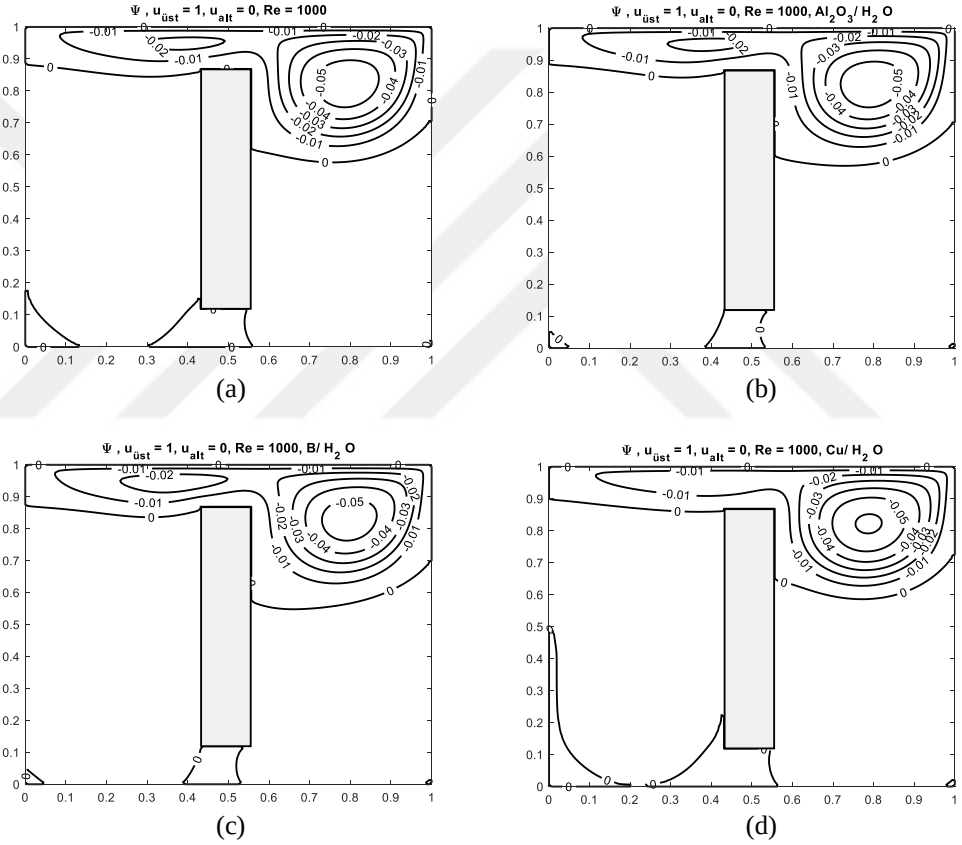
Şekil 4.54. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su





(c) (d)

Şekil 4.55. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

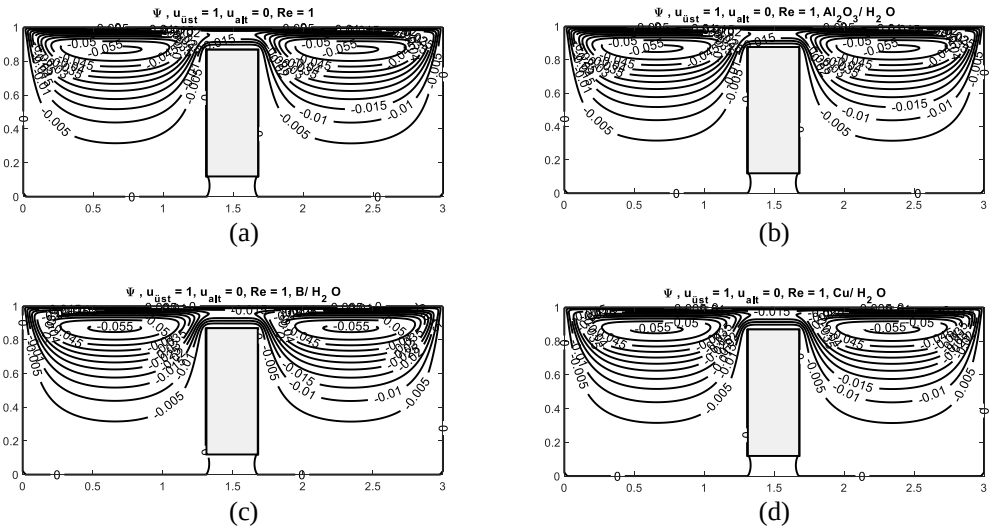


(a) (b)

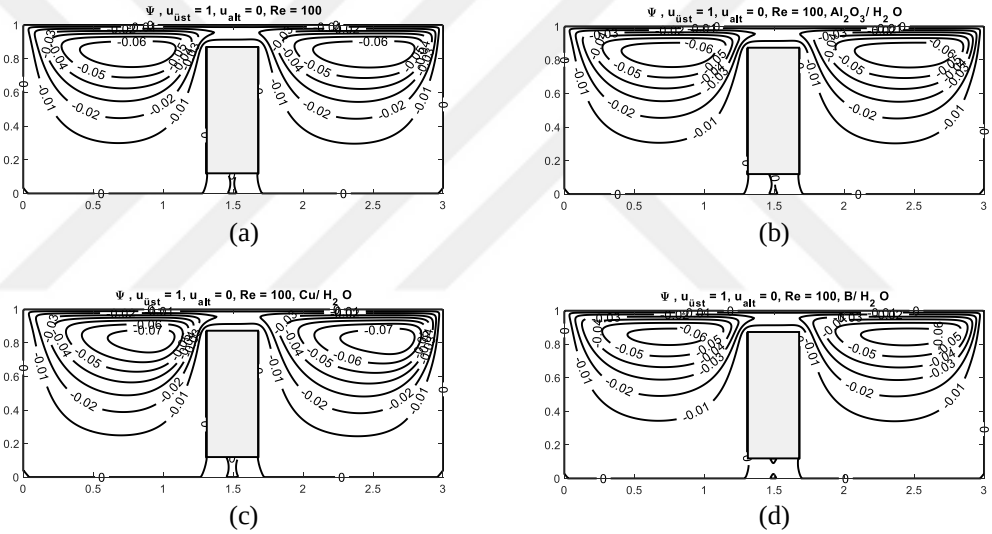
(c) (d)

Şekil 4.56. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

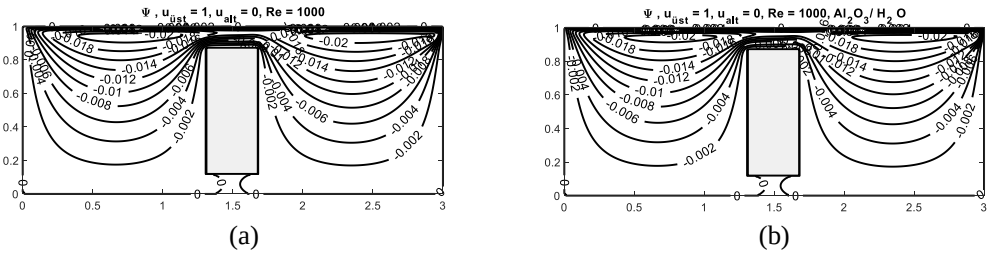
Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan boy-en oranı 0.33 olan dikdörtgensel çukur bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.57, Şekil 4.58 ve Şekil 4.59'da gösterilmiştir. Boy-en oranı 0.33 olan bölgede yer alan uzun dikdörtgen engelin akımı iki girdap merkezli duruma getirdiği görülmektedir.

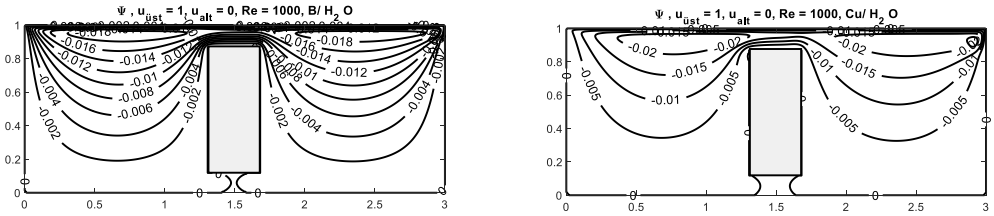


Şekil 4.57. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölged $Re = 1$e için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



Şekil 4.58. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

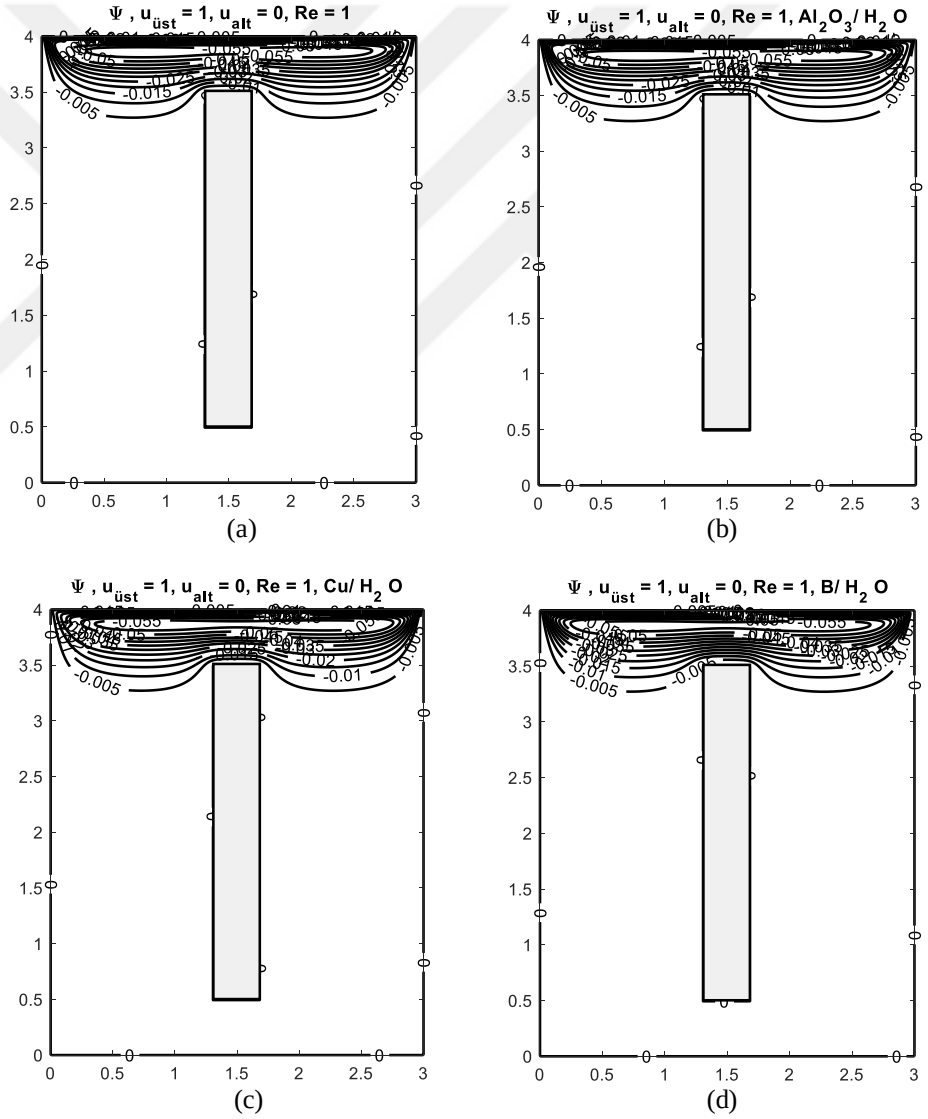




(c) (d)

Şekil 4.59. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

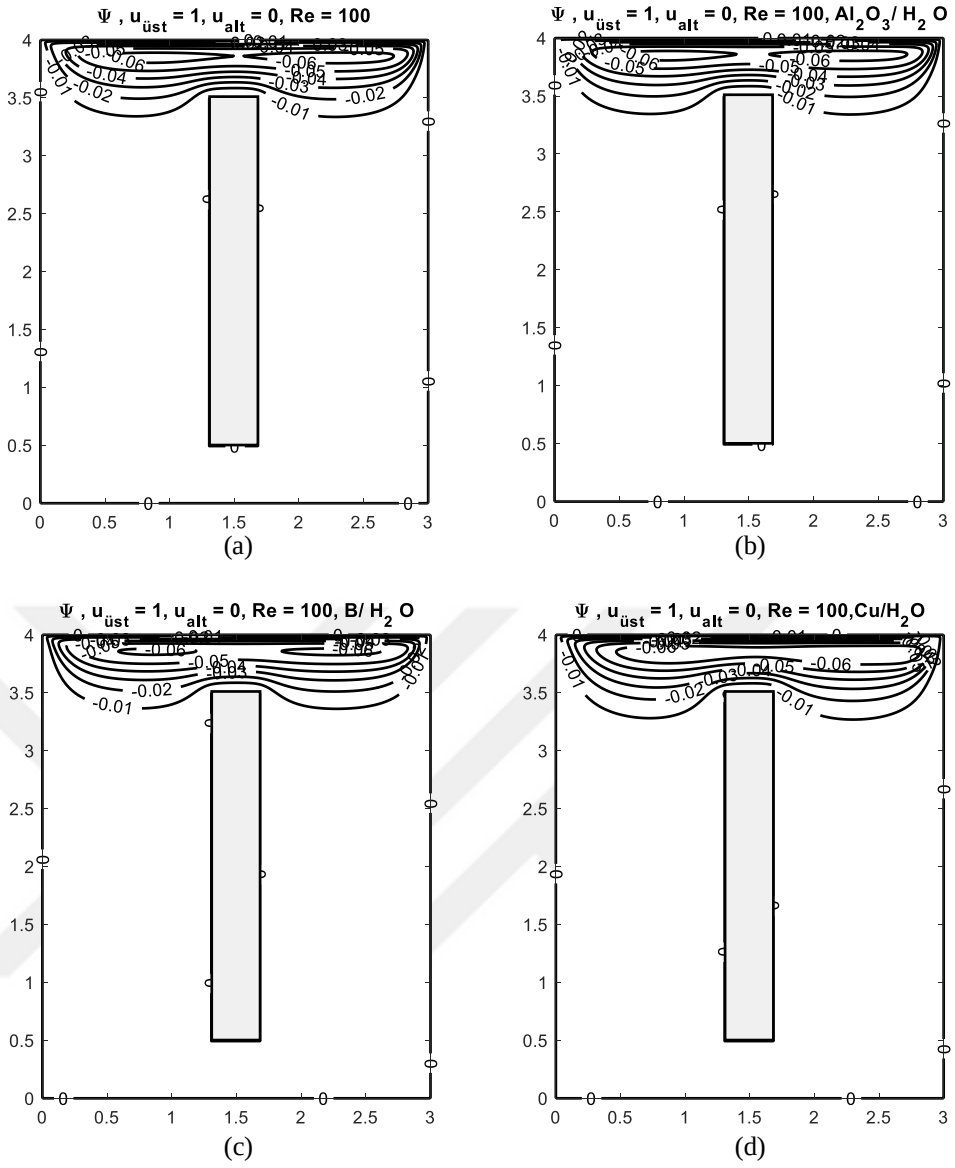
Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.60, Şekil 4.61 ve Şekil 4.62'de ifade edilmiştir.



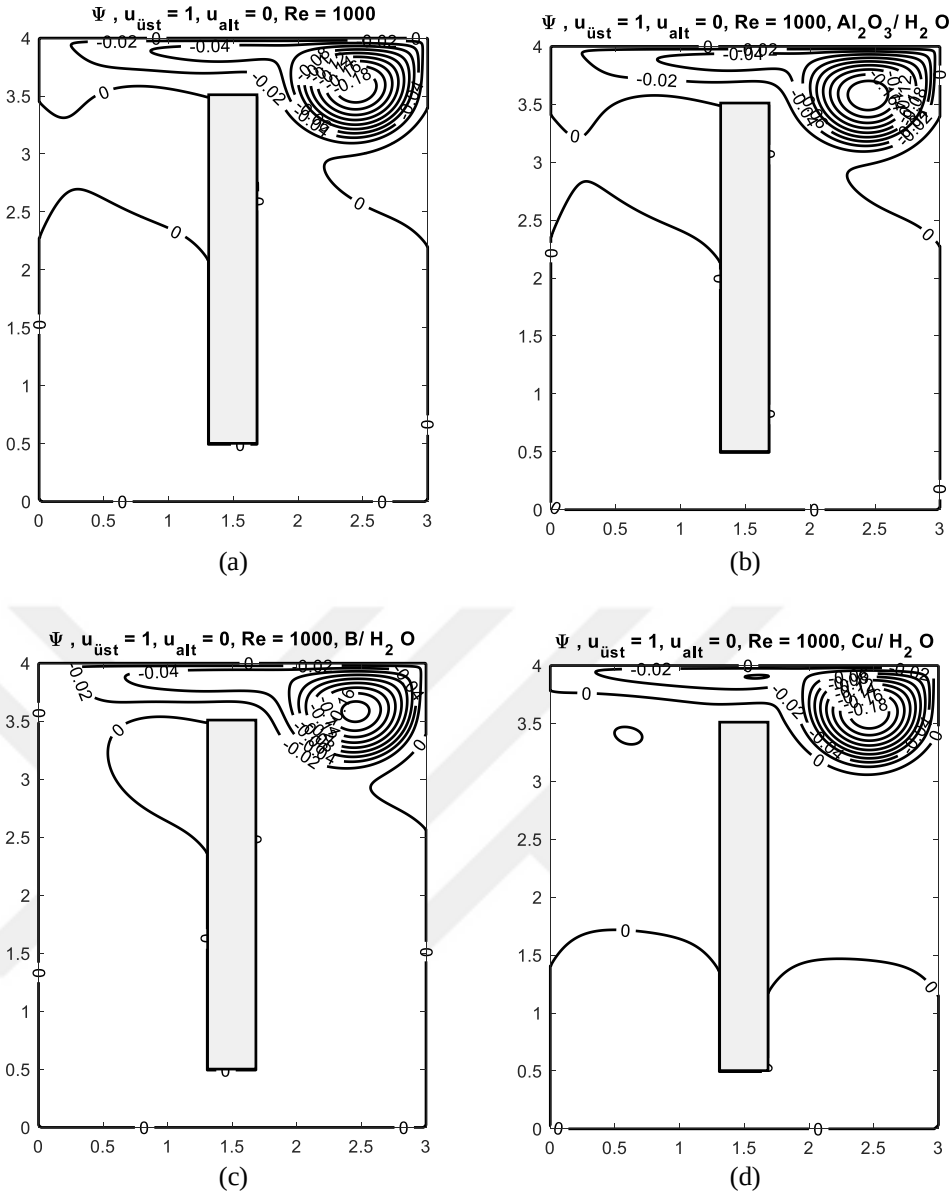
(a) (b)

(c) (d)

Şekil 4.60. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

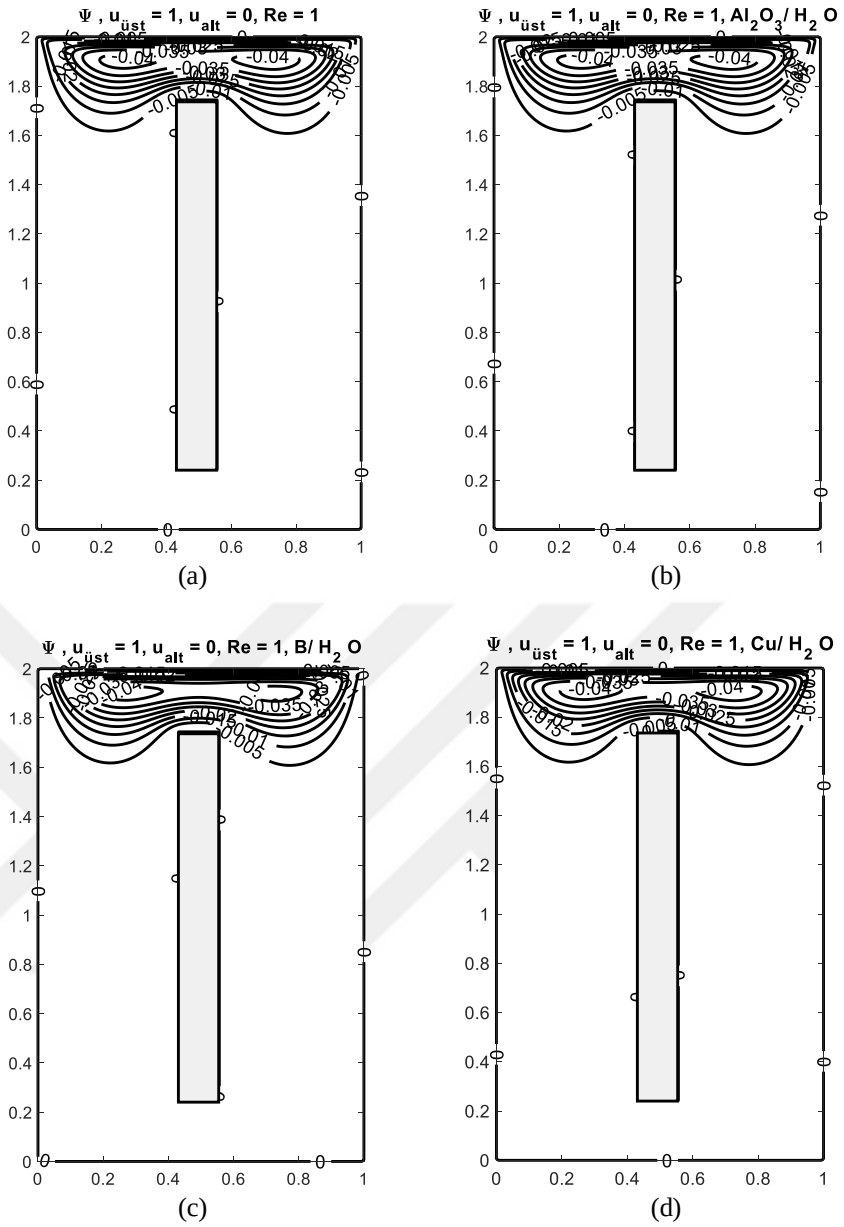


Şekil 4.61. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

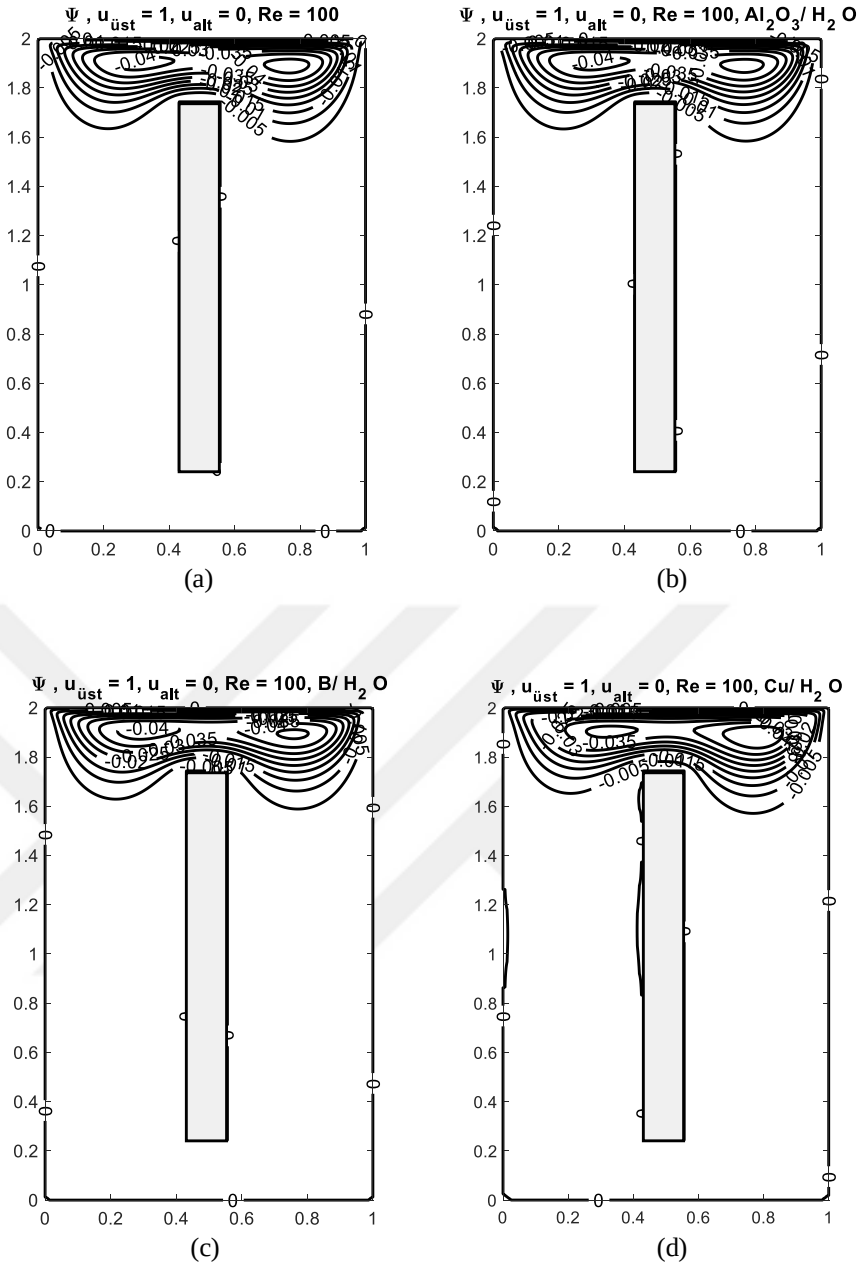


Şekil 4.62. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

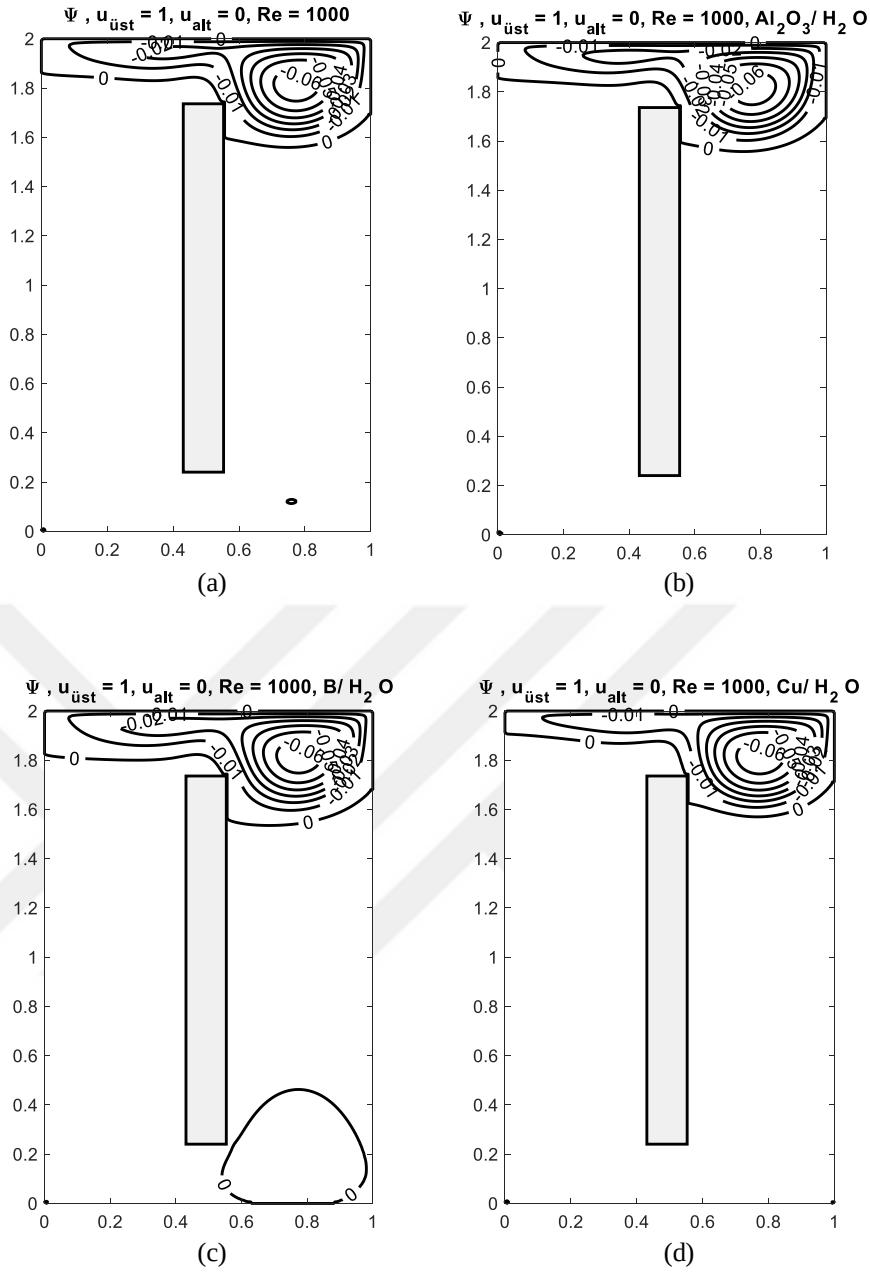
Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.63, Şekil 4.64 ve Şekil 4.65'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.63. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

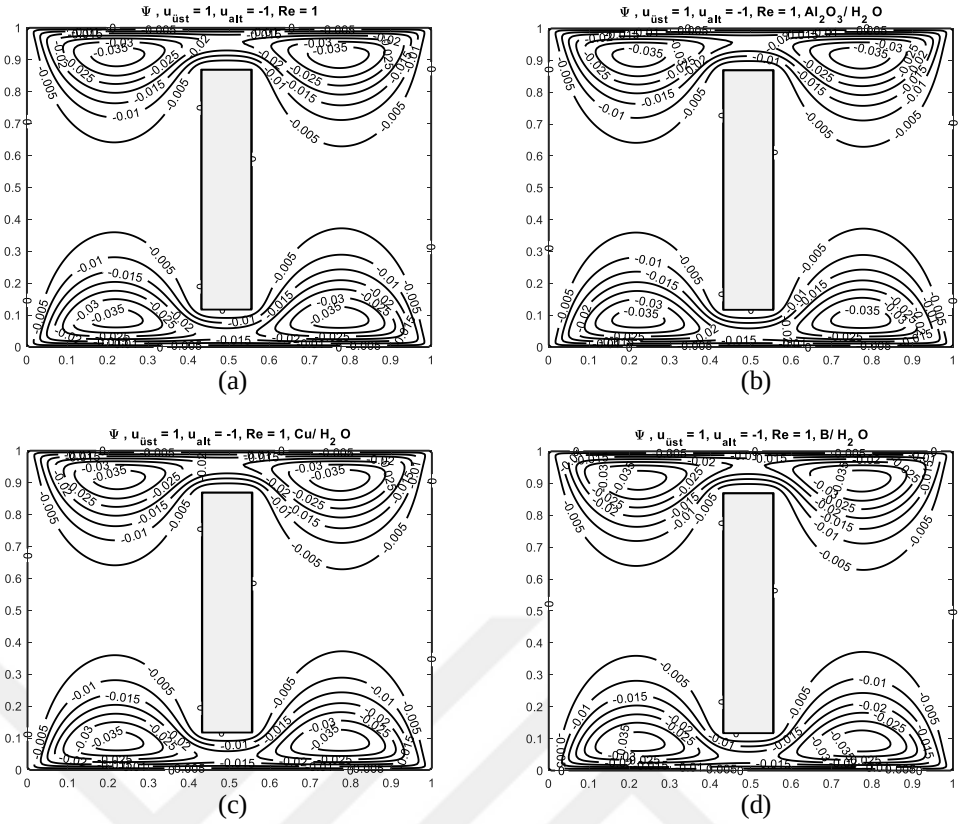


Şekil 4.64. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

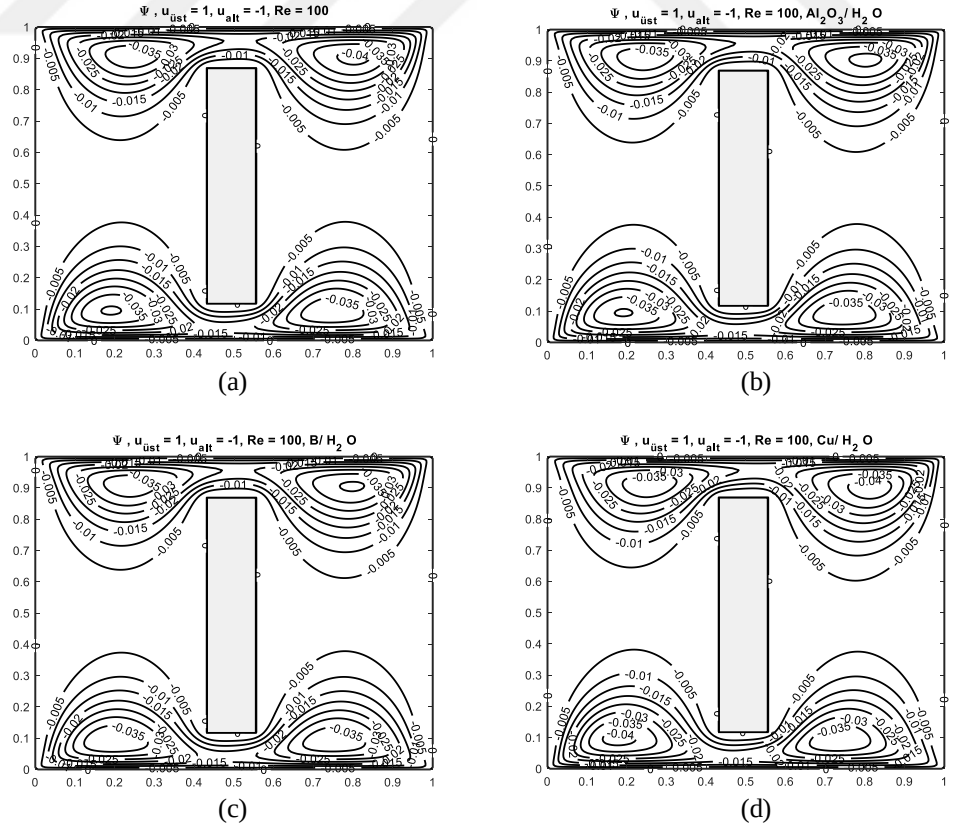


Şekil 4.65. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

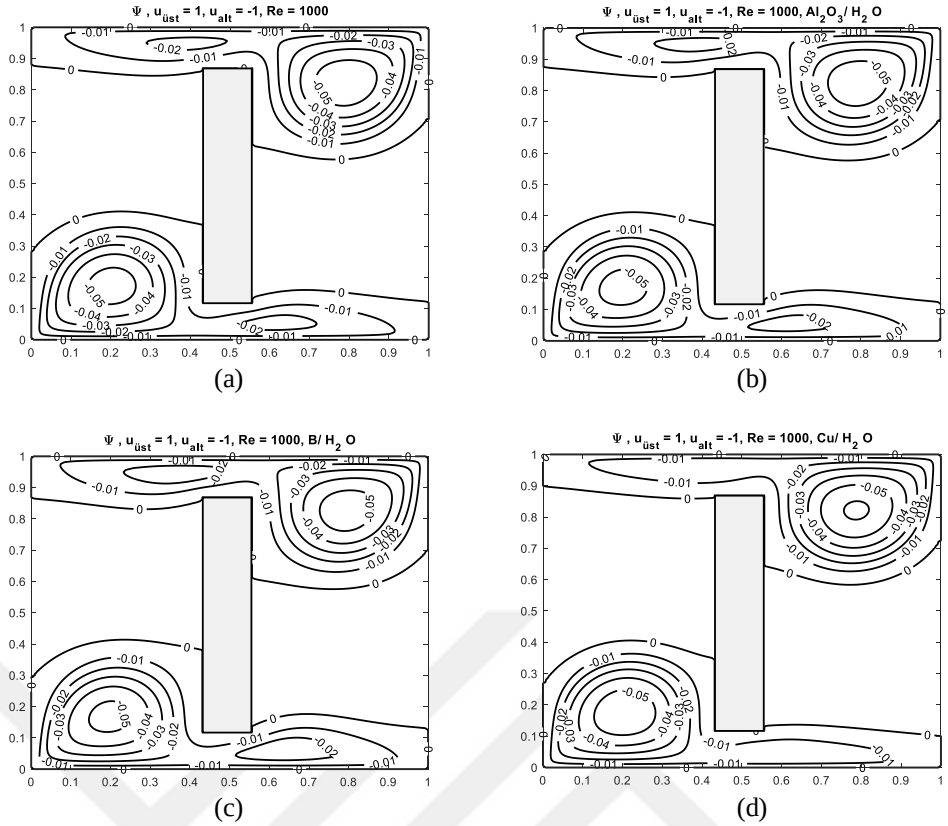
Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.66, Şekil 4.67 ve Şekil 4.68'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.66. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

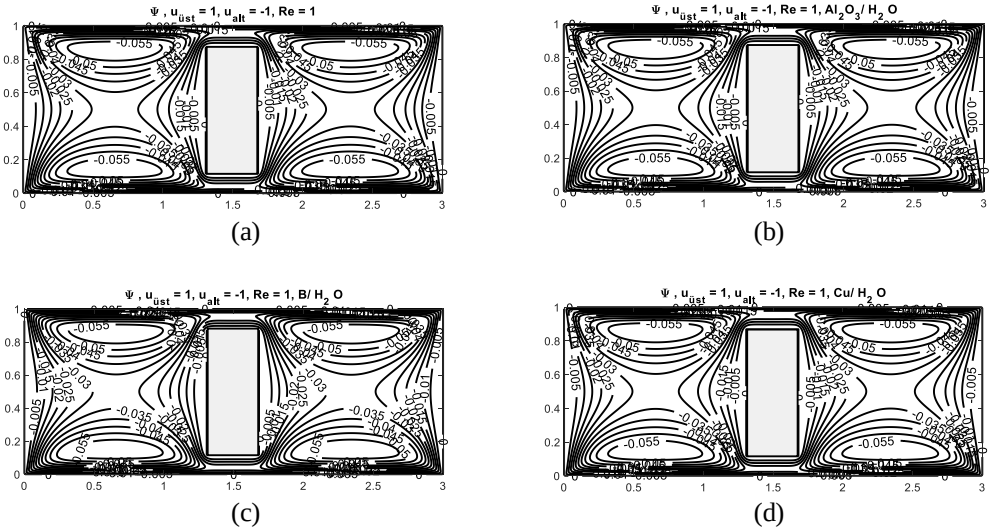


Şekil 4.67. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

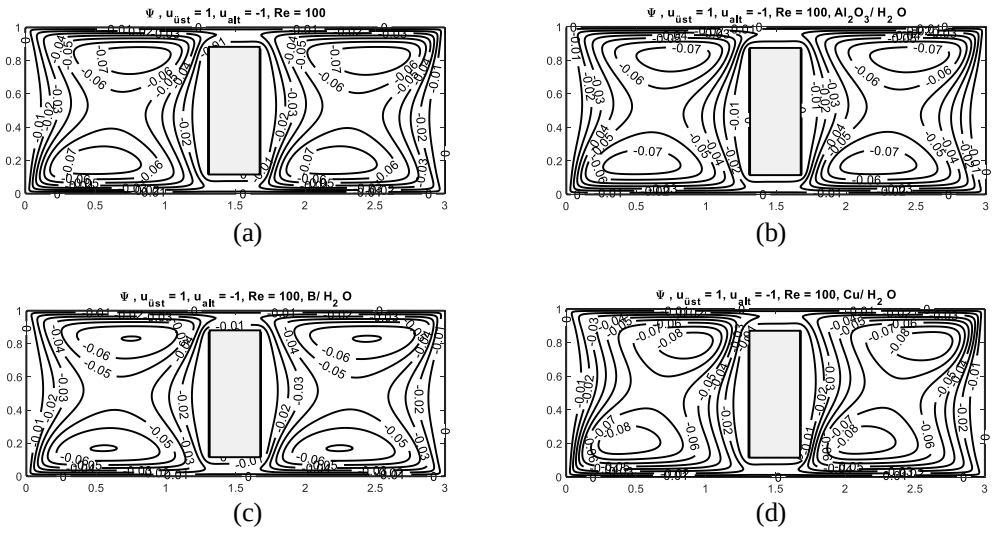


Şekil 4.68. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

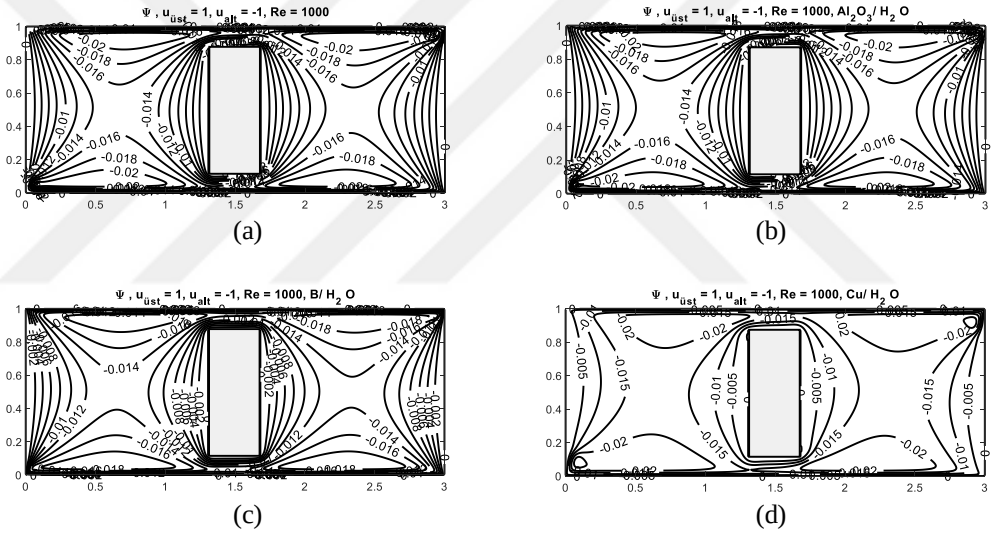
Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.69, Şekil 4.70 ve Şekil 4.71'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.69. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

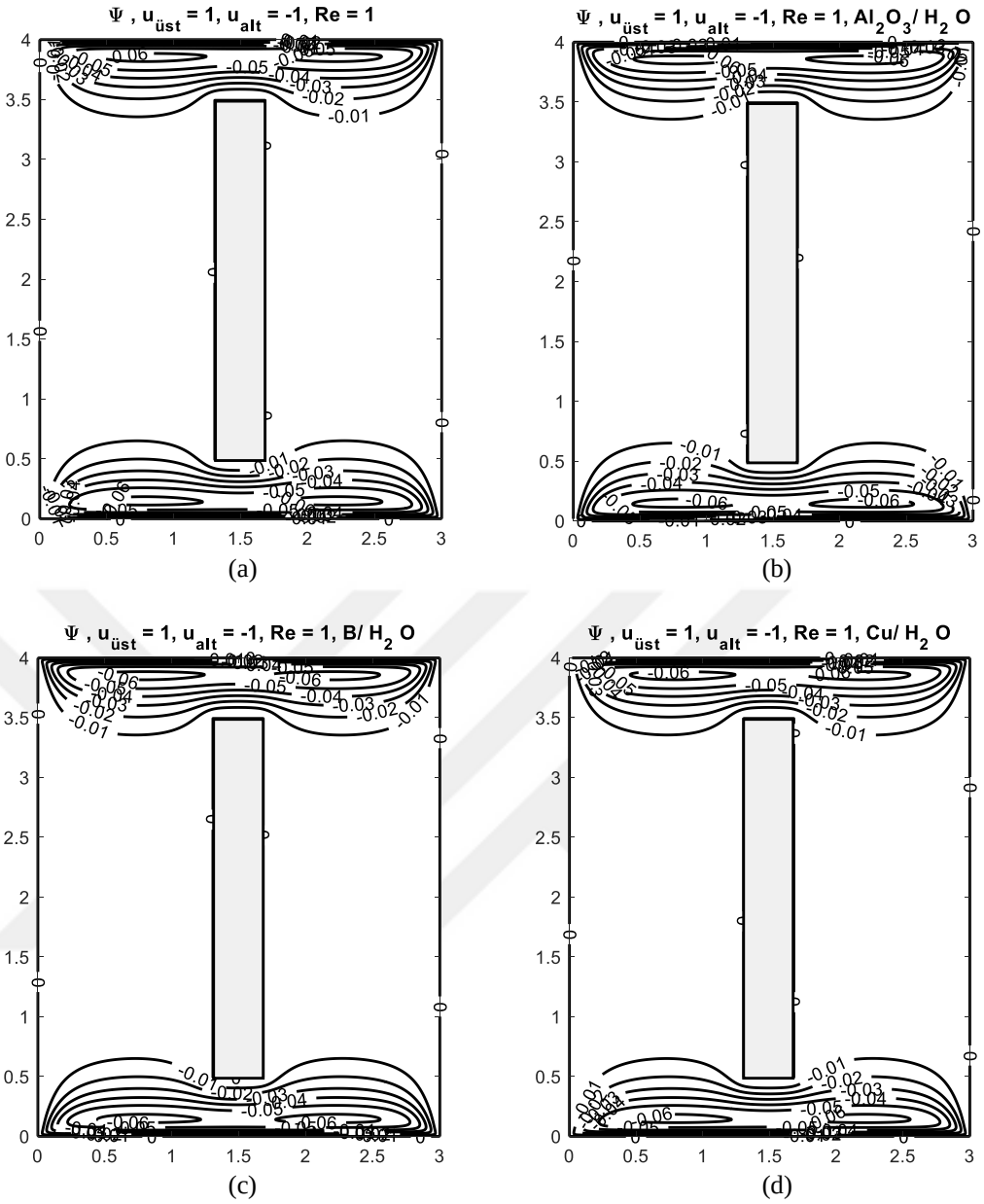


Şekil 4.70. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

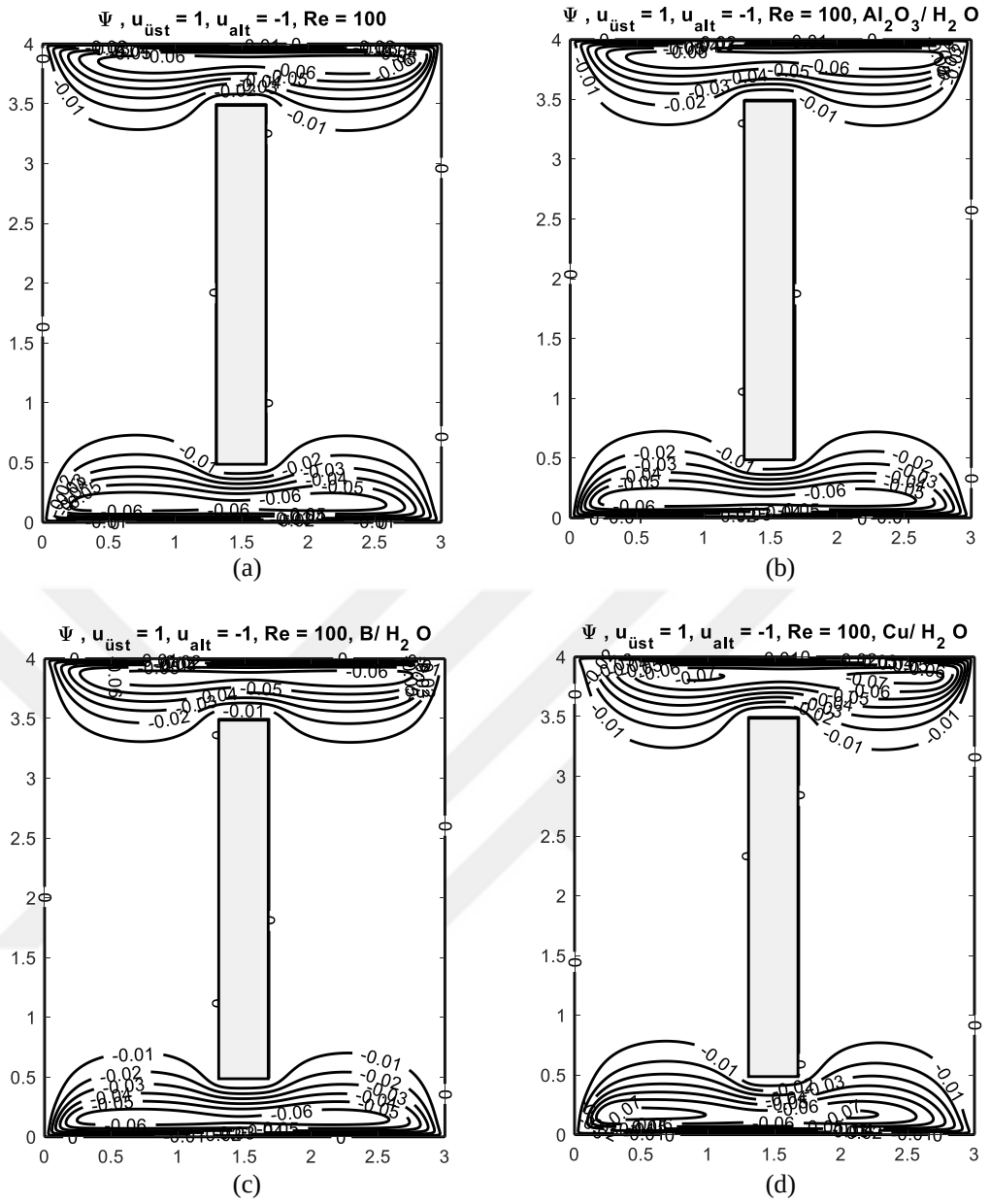


Şekil 4.71. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

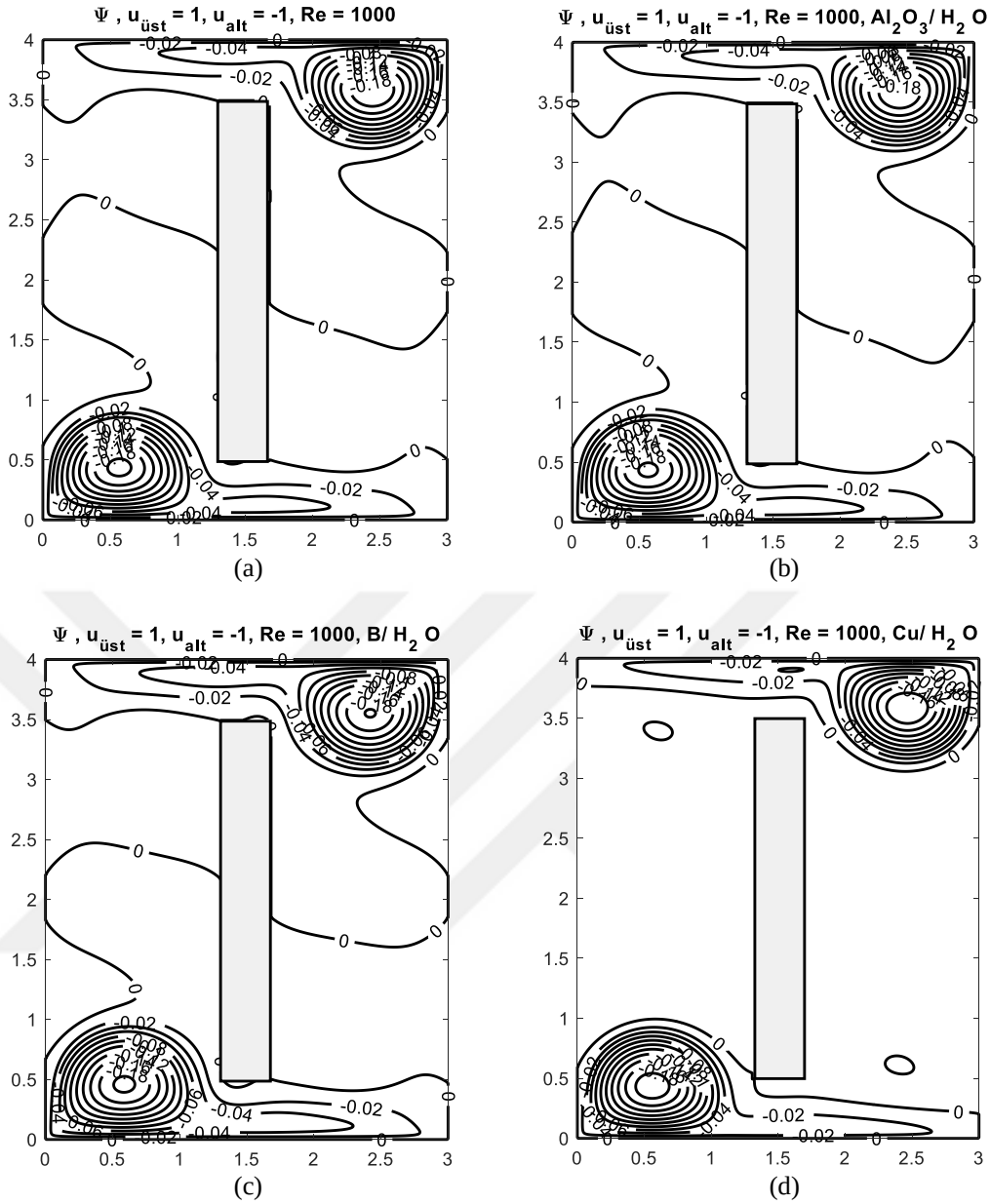
Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.72, Şekil 4.73 ve Şekil 4.74'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.72. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

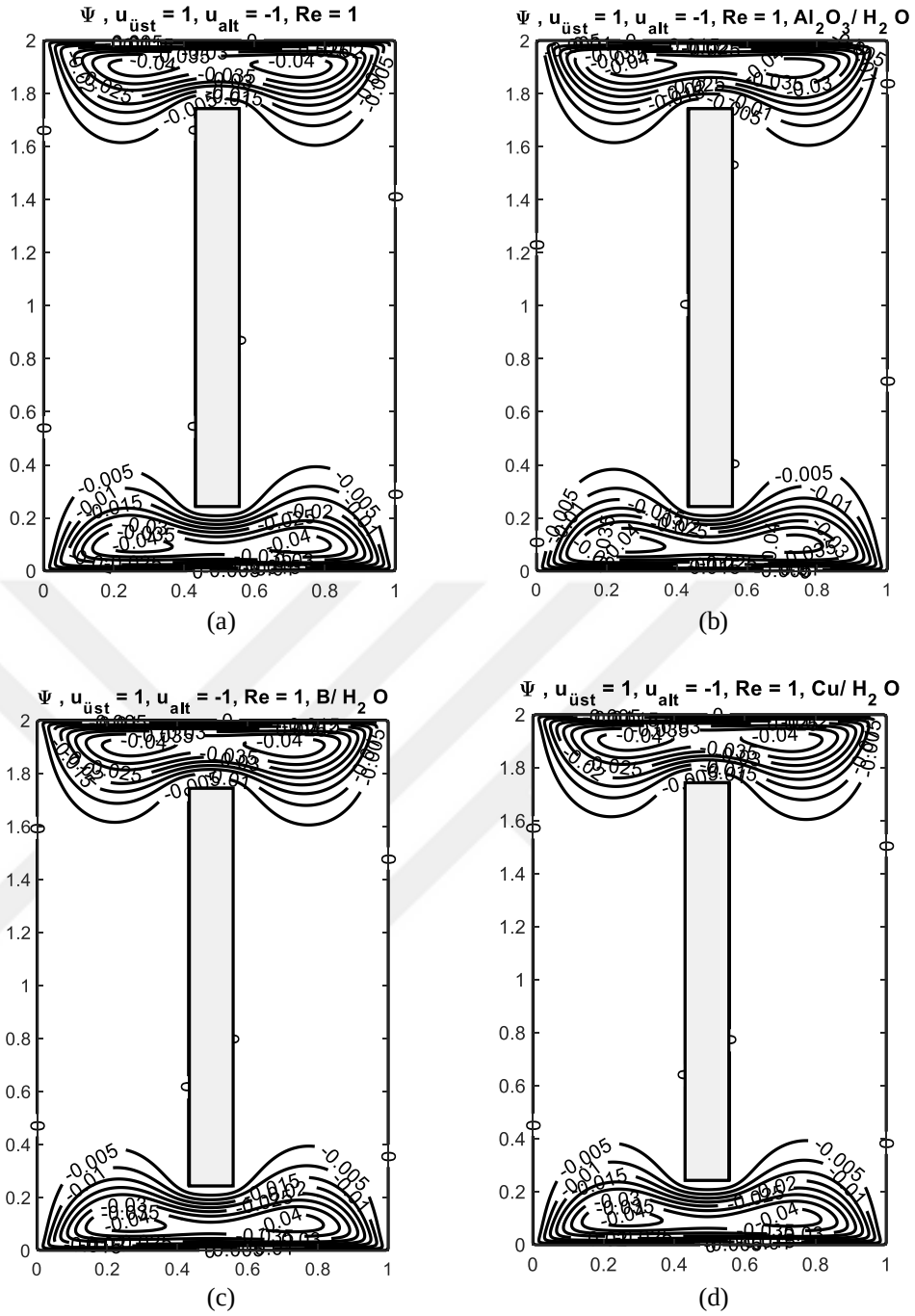


Şekil 4.73. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

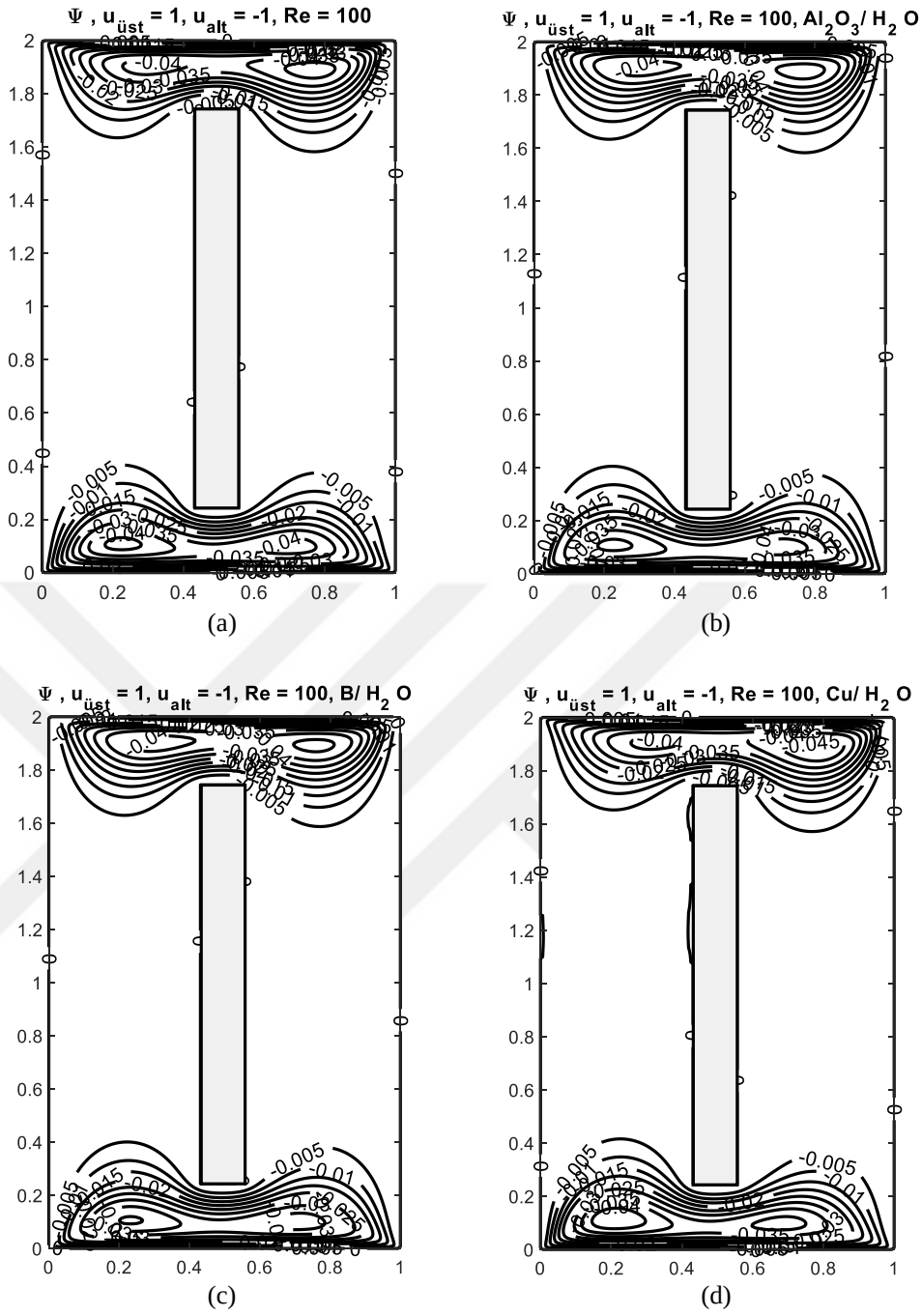


Şekil 4.74. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

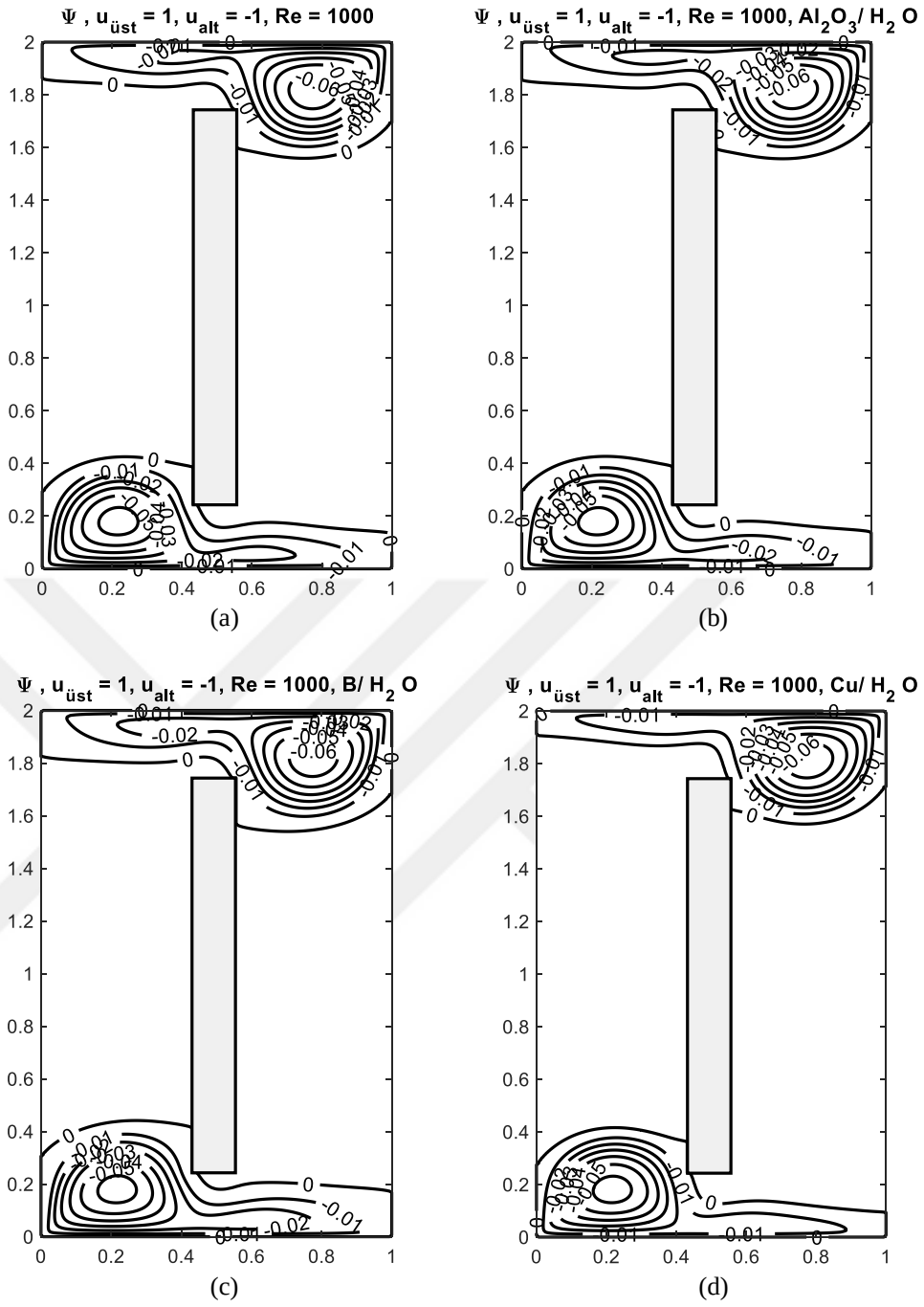
Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.75, Şekil 4.76 ve Şekil 4.77'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.75. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

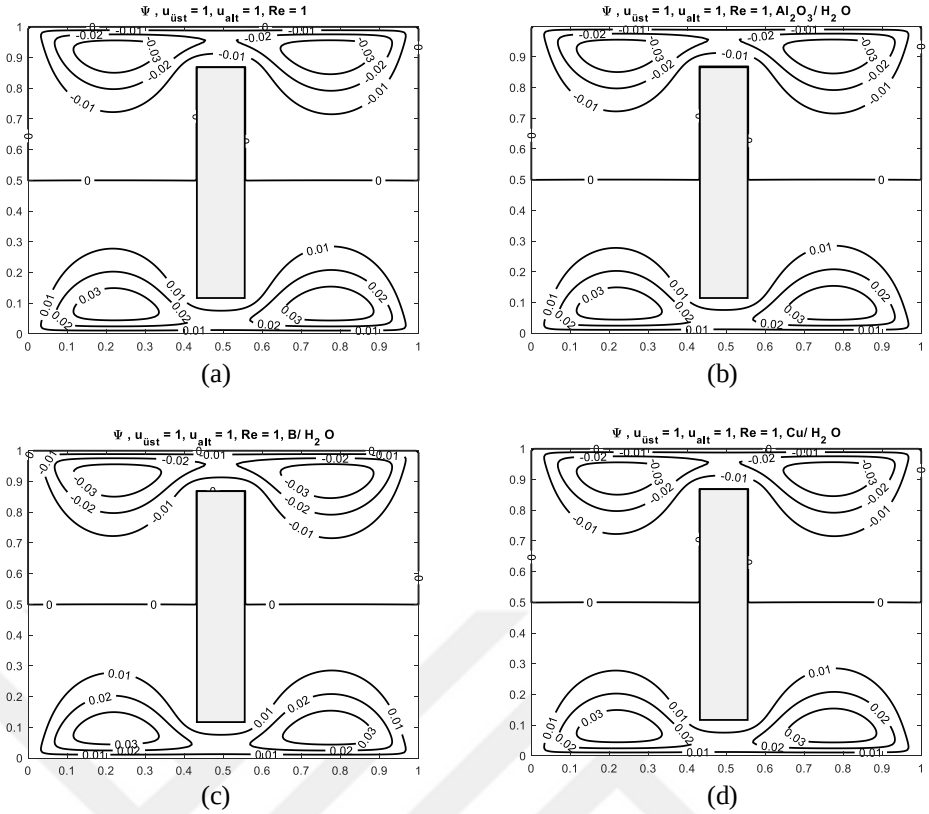


Şekil 4.76. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

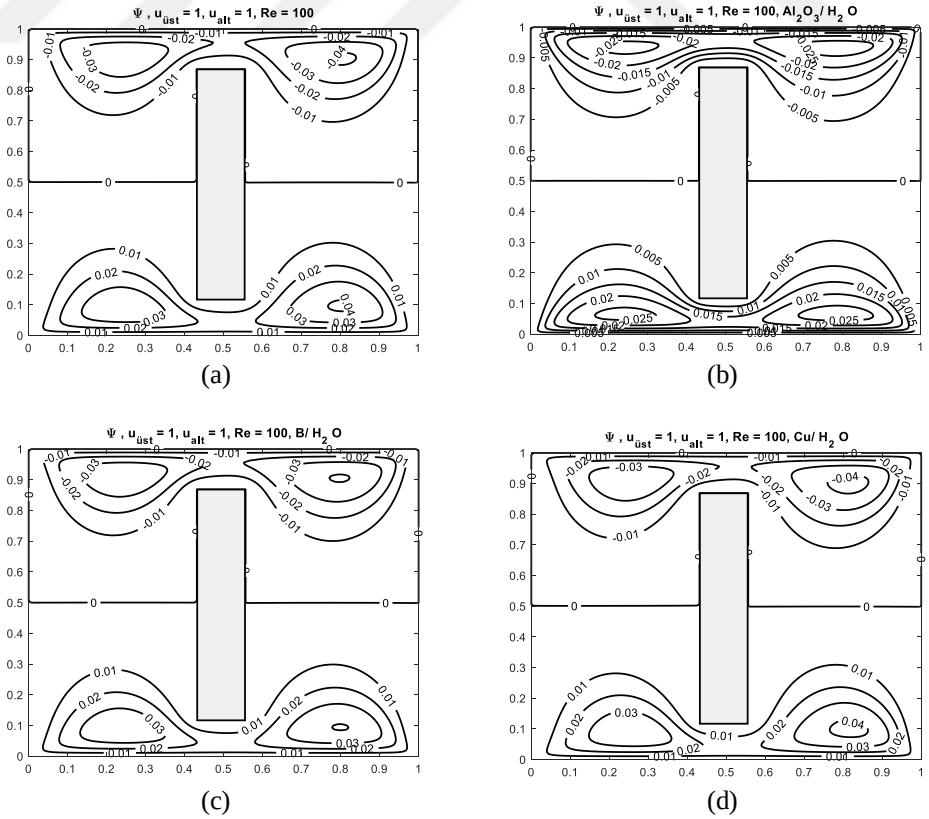


Şekil 4.77. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

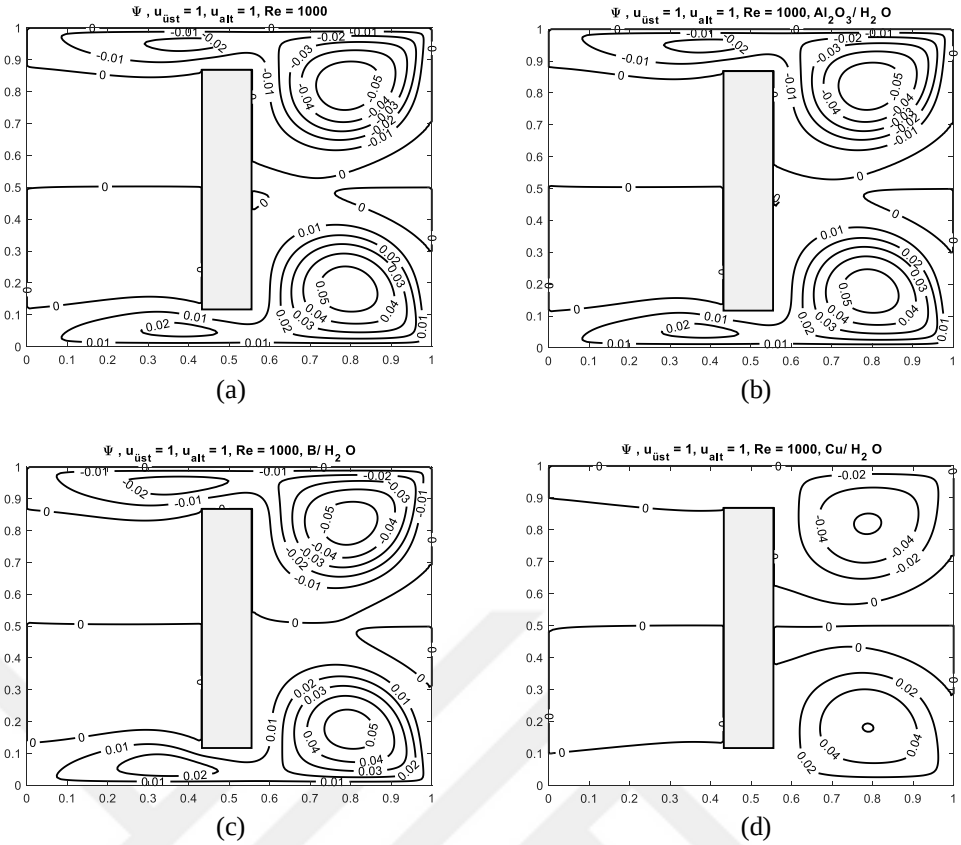
Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.78, Şekil 4.79 ve Şekil 4.80'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.78. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

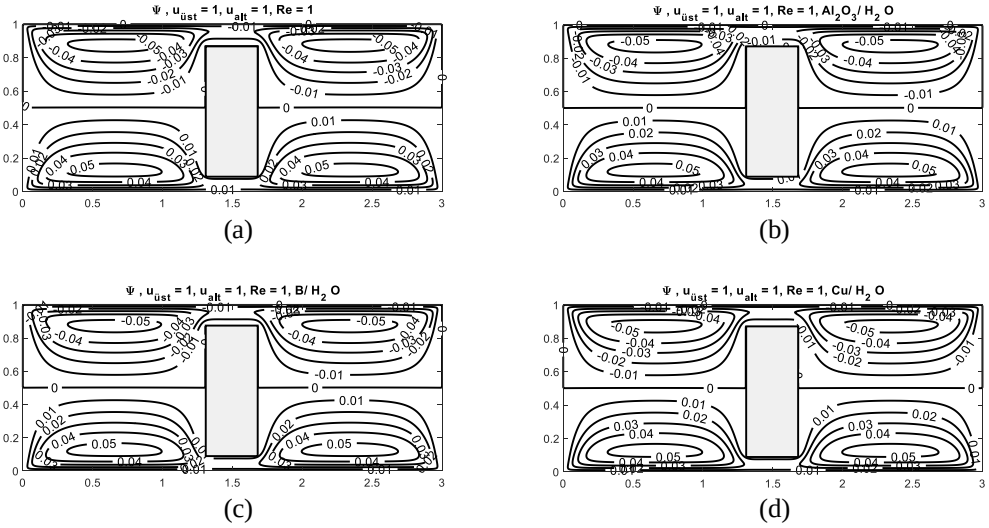


Şekil 4.79. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

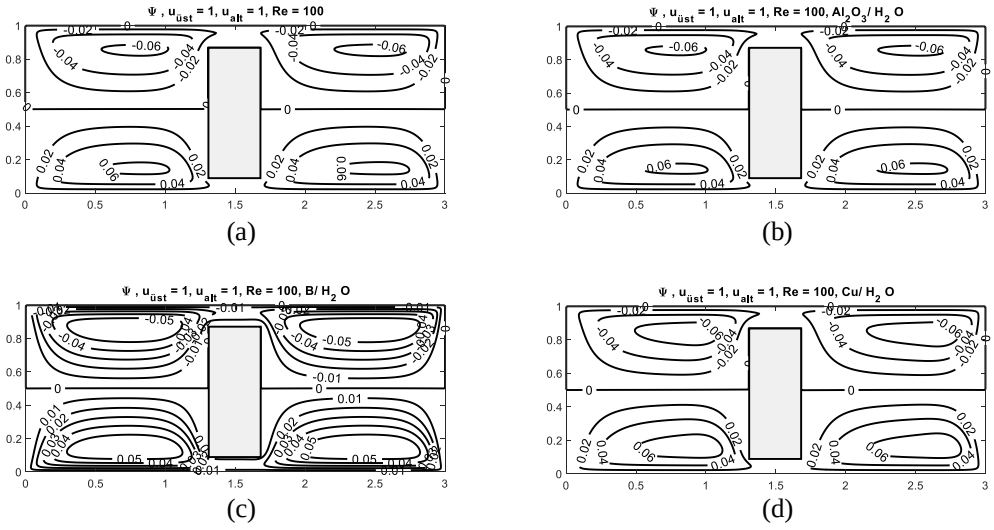


Şekil 4.80. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

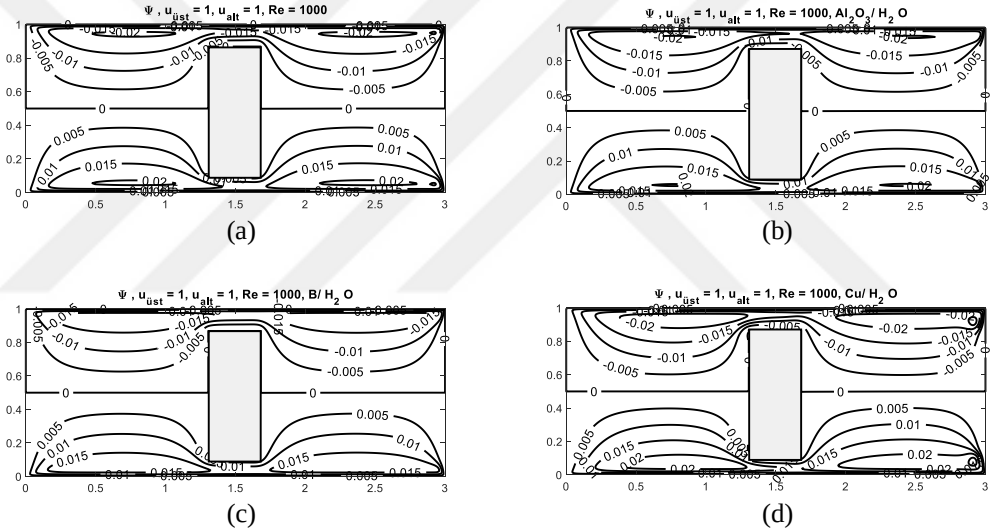
Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.81, Şekil 4.82 ve Şekil 4.83'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.81. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

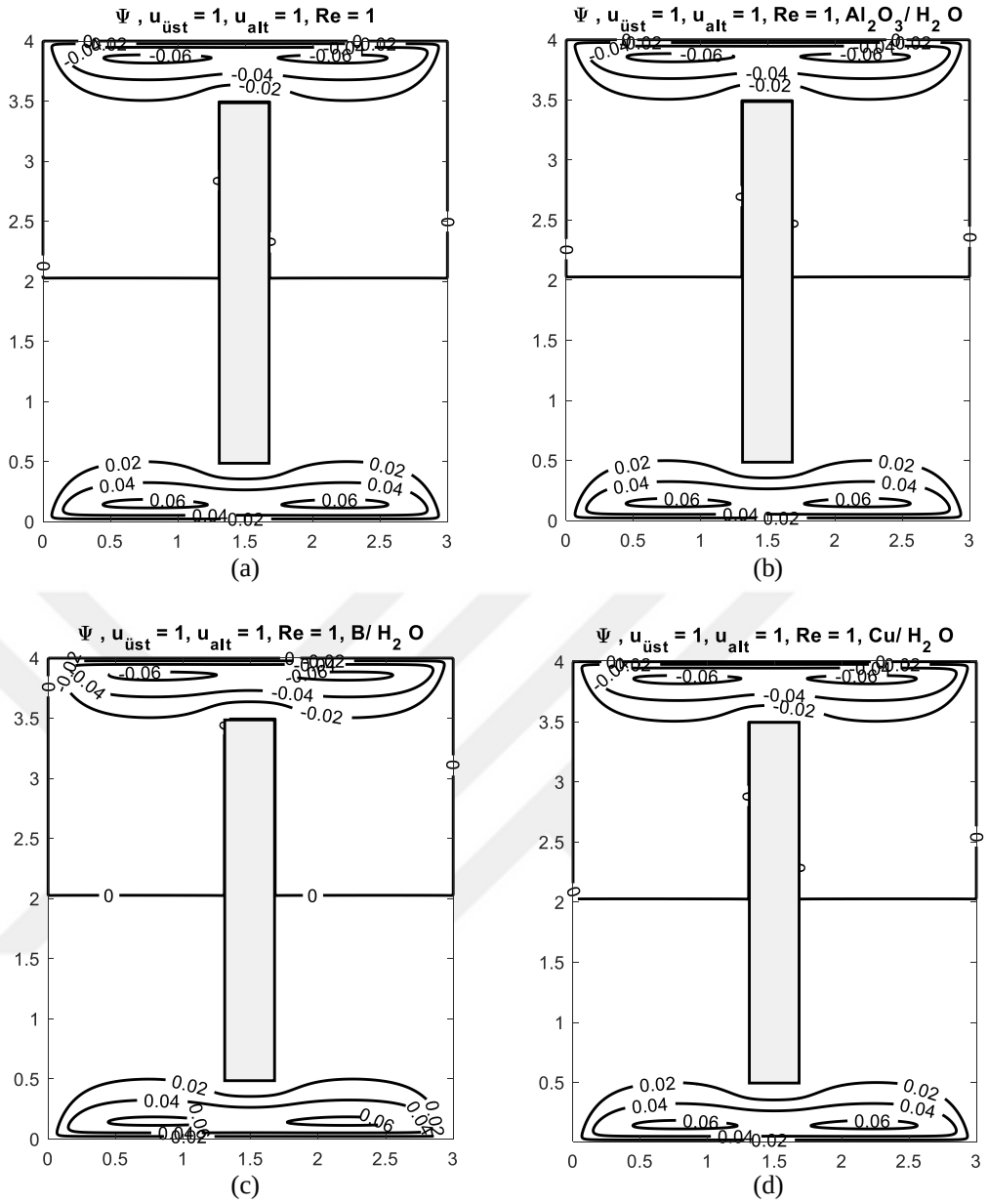


Şekil 4.82. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

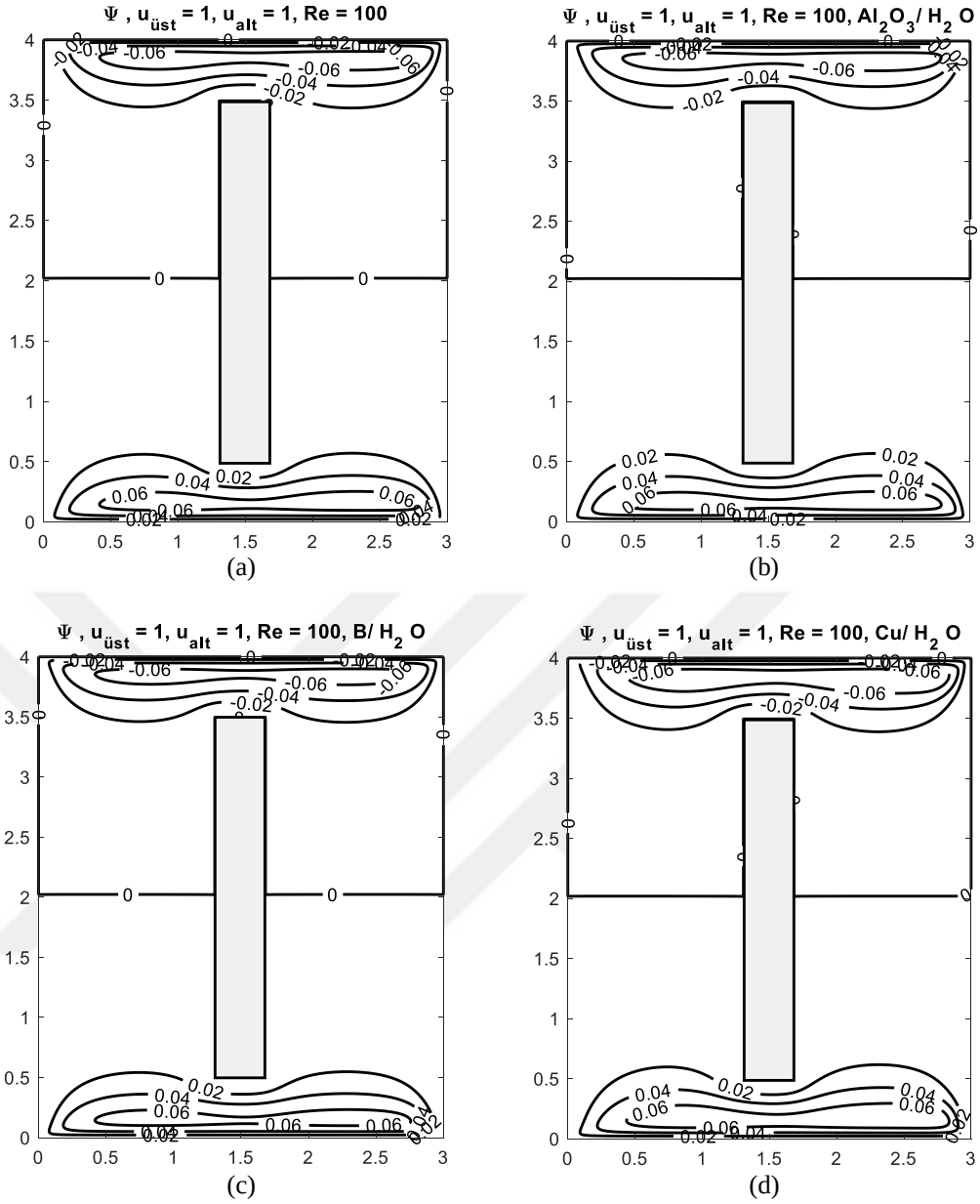


Şekil 4.83 Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

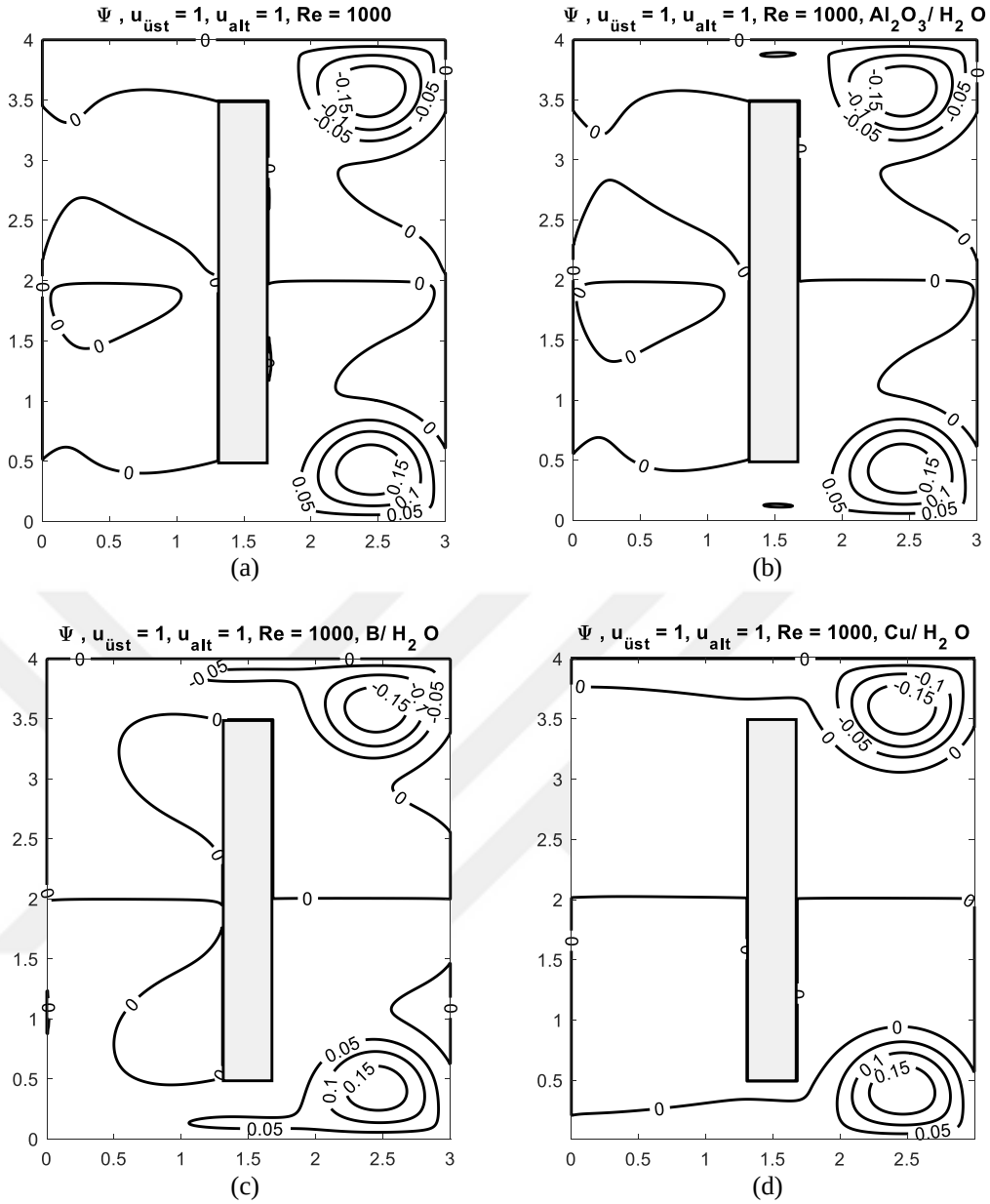
Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.84, Şekil 4.85 ve Şekil 4.86'da ifade edilmiştir.



Şekil 4.84. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

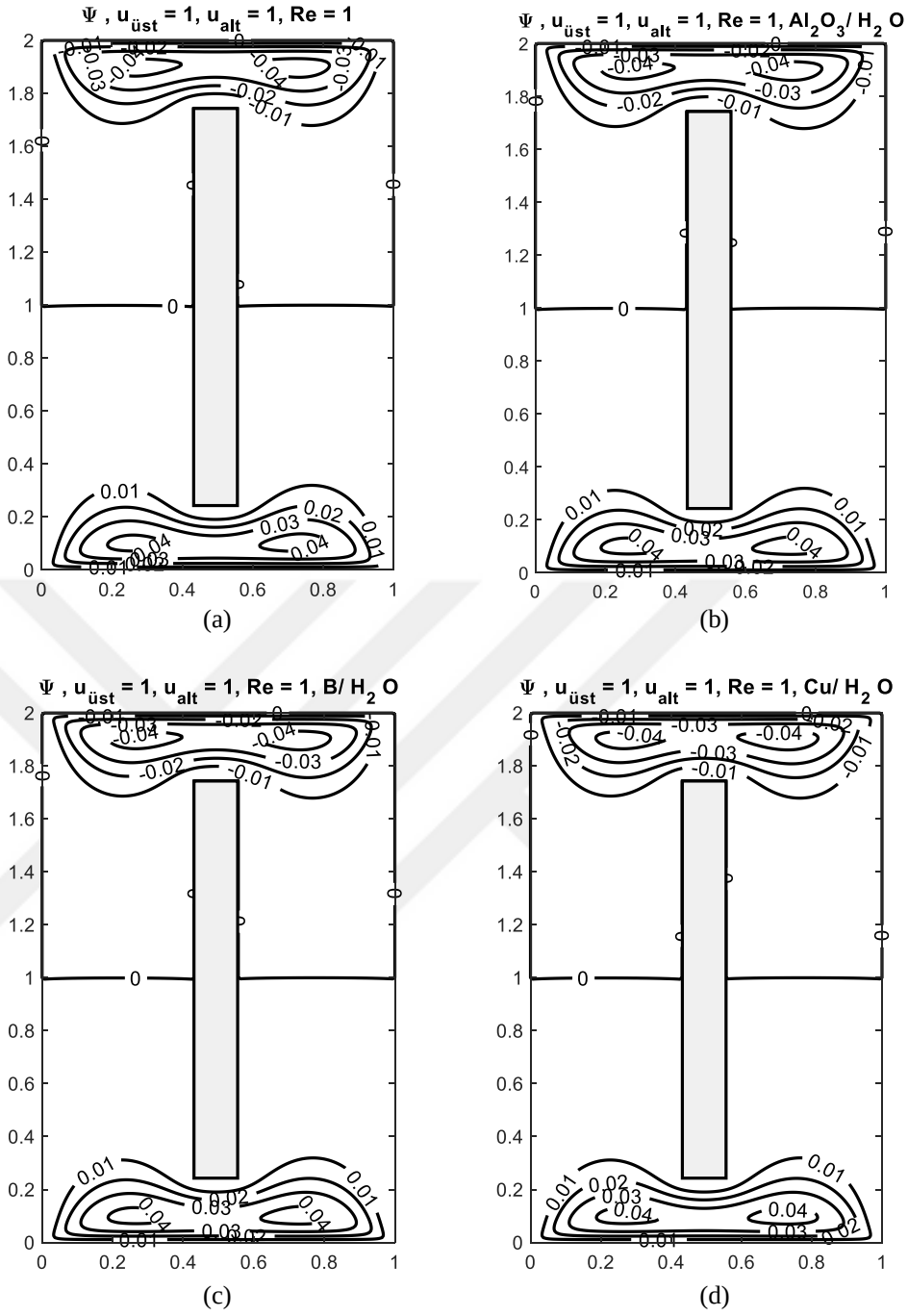


Şekil 4.85. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

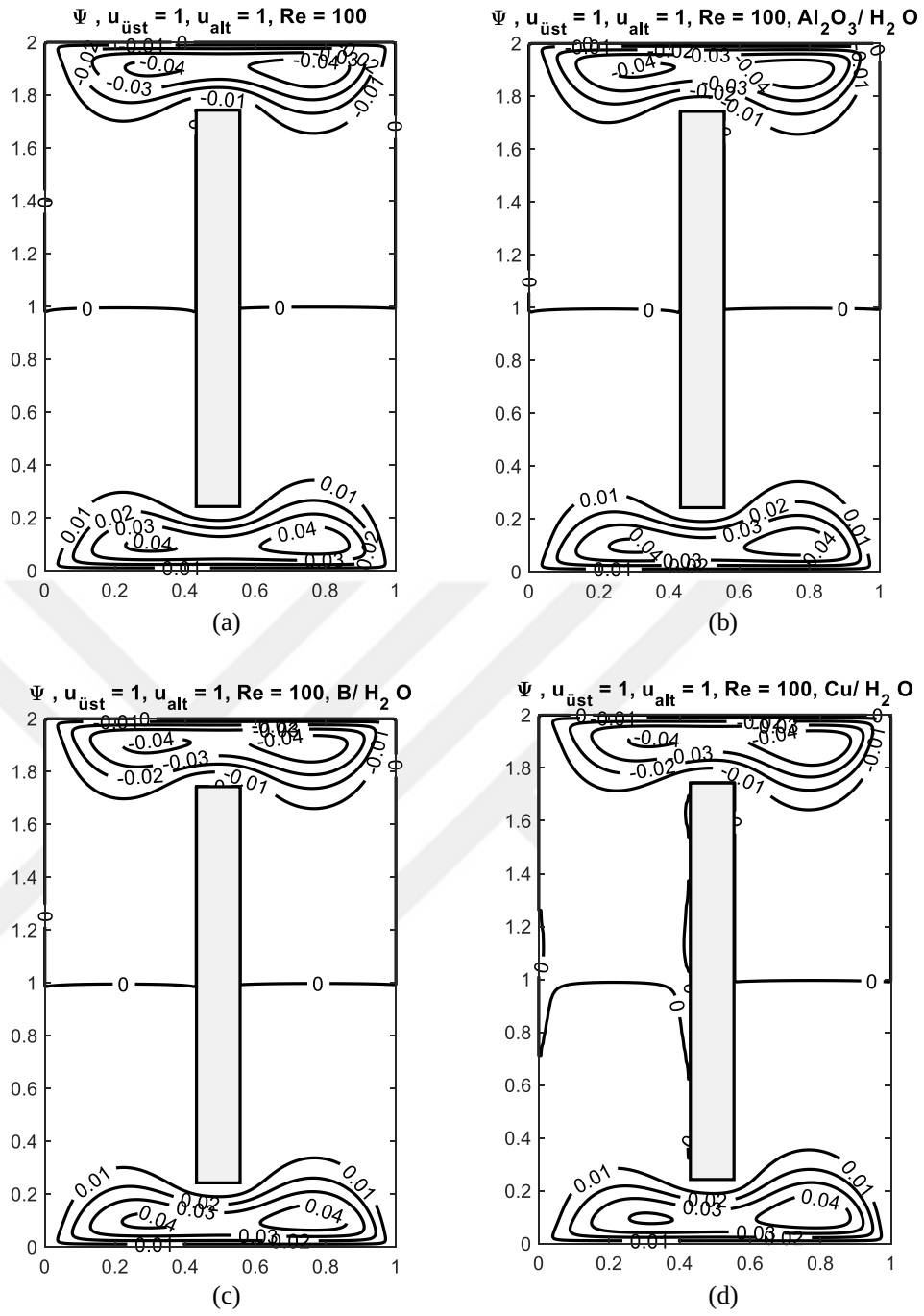


Şekil 4.86. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

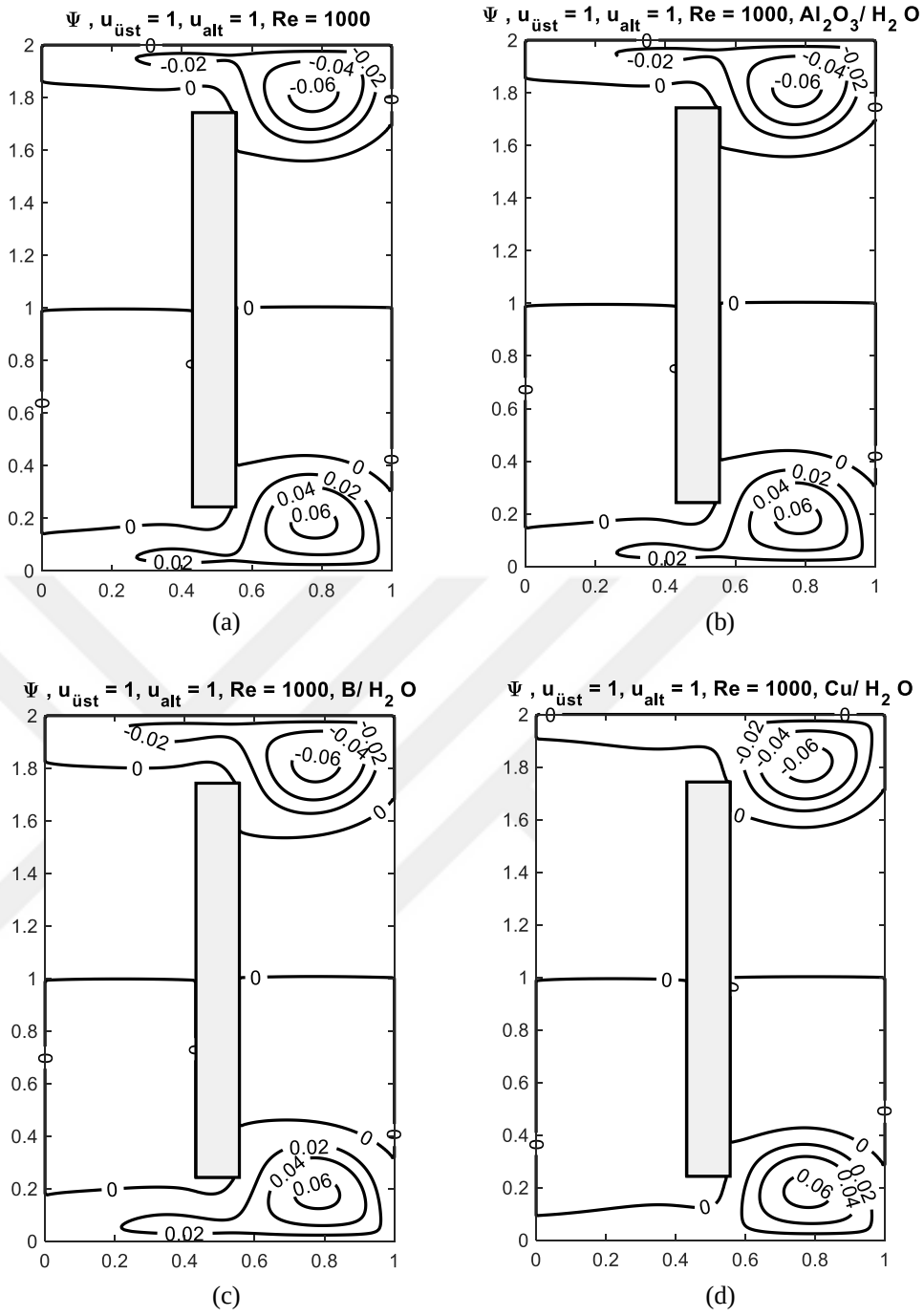
Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1,\ Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.87, Şekil 4.88 ve Şekil 4.89'da ifade edilmiştir.



Şekil 4.87. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



Şekil 4.88. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

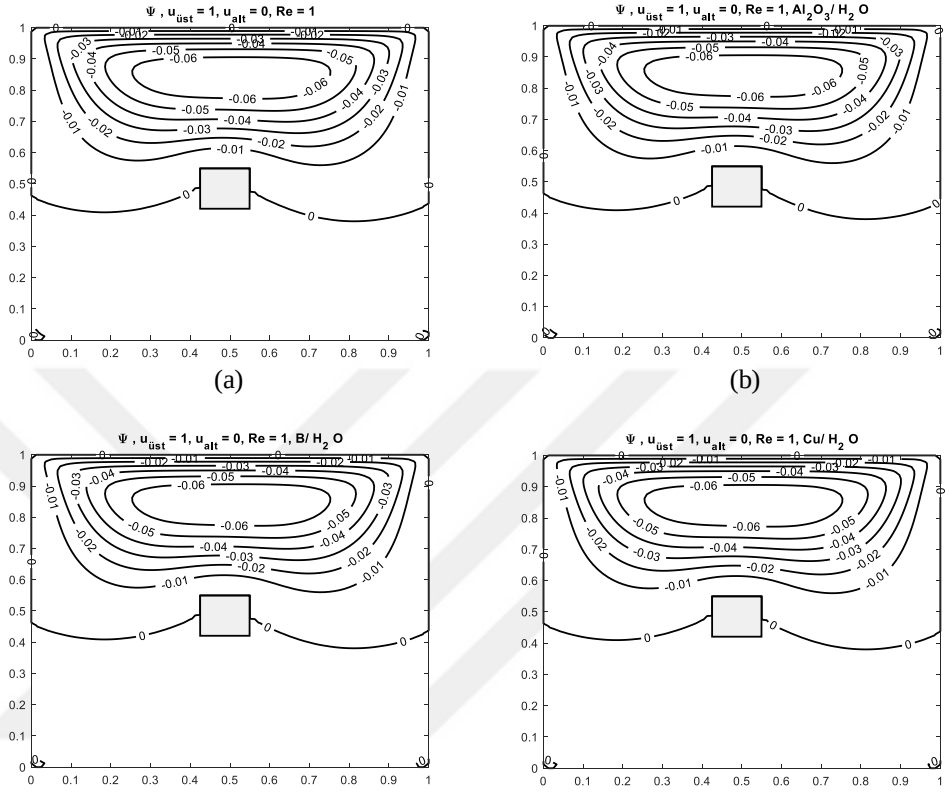


Şekil 4.89. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde büyük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

Farklı boy-en oranlarına sahip ve içerisinde küçük engel bulunan bölgede Reynolds sayısının farklı değerlerinde engelin bölgedeki akımı nitelik ve niceliksel olarak değiştirdiği gözlemlenmiştir.

Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde büyük engel bulunan karesel bölgede akım çizgilerinin verildiği Şekil 4.54, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56 ile sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede akım çizgilerinin

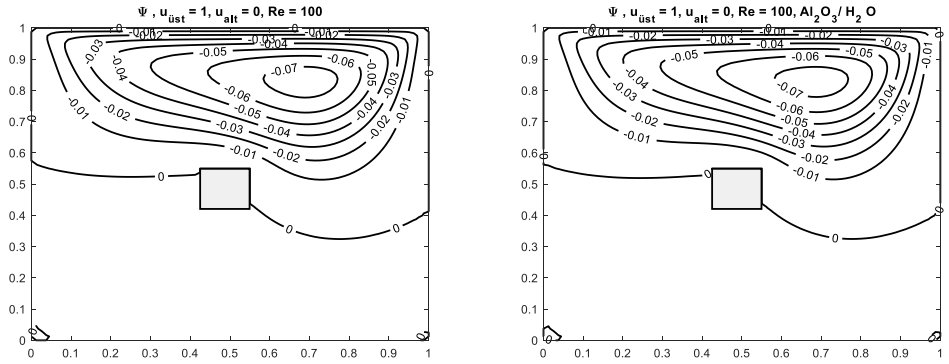
verildiği Şekil 4.90, Şekil 4.91 ve Şekil 4.92 sırasıyla kıyaslandığında $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ değerlerinde küçük engelin bölgedeki akımı tek girdap merkezli durumdan iki girdap merkezli duruma değiştirmediği bununla birlikte bölgedeki akım çizgilerini büyük engele göre daha az etkilediği görülmektedir.



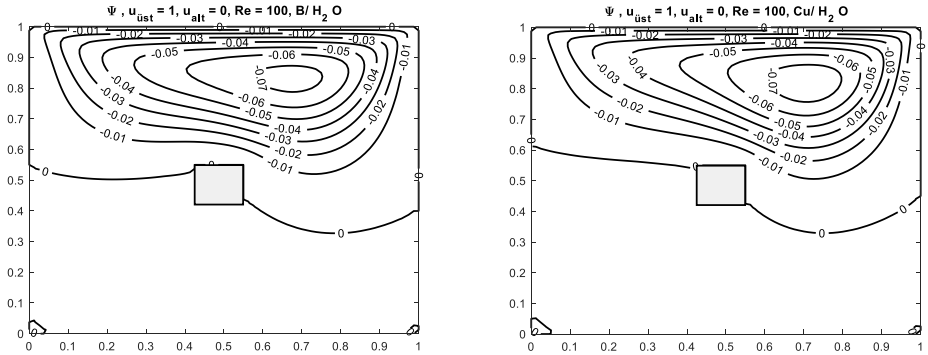
(a) (b)

(c) (d)

Şekil 4.90. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

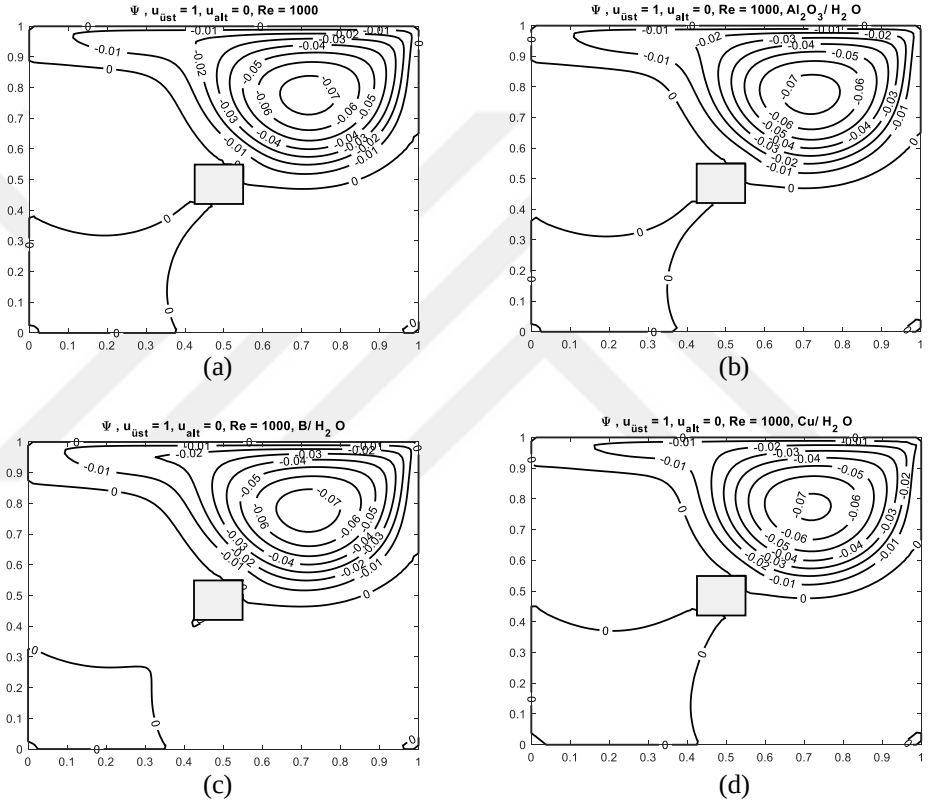


(a) (b)



(c) (d)

Şekil 4.91. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

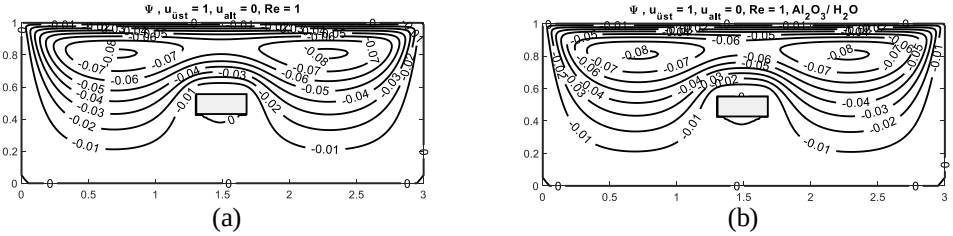


(a) (b)

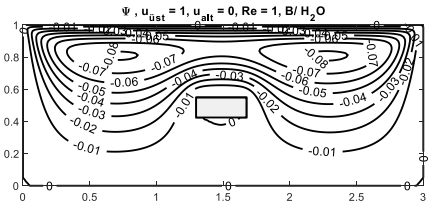
(c) (d)

Şekil 4.92. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

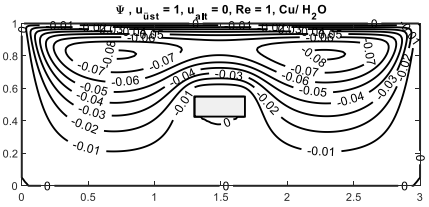
Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.93, Şekil 4.94 ve Şekil 4.95'de ifade edilmiştir.



(a) (b)

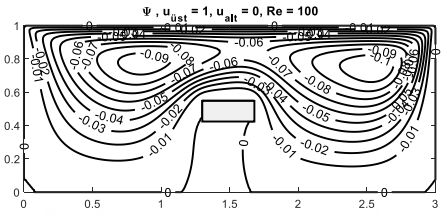


(c)

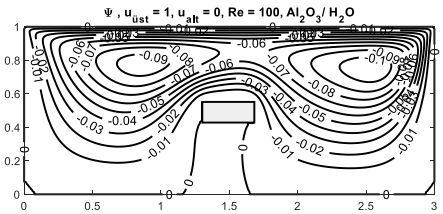


(d)

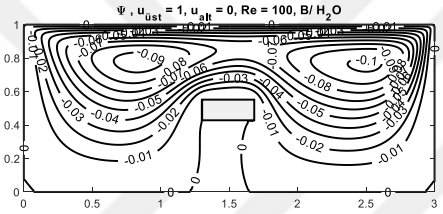
Şekil 4.93. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



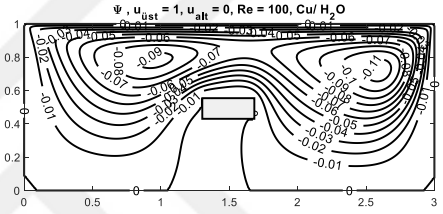
(a)



(b)

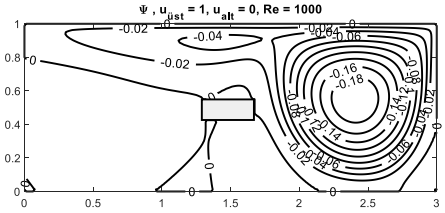


(c)

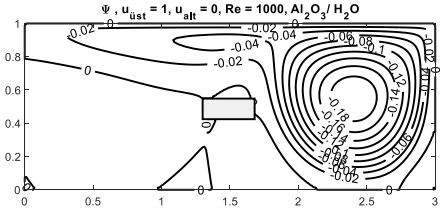


(d)

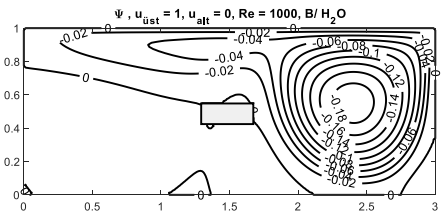
Şekil 4.94. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



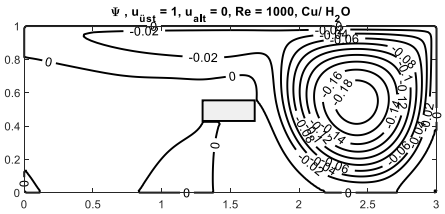
(c)



(d)



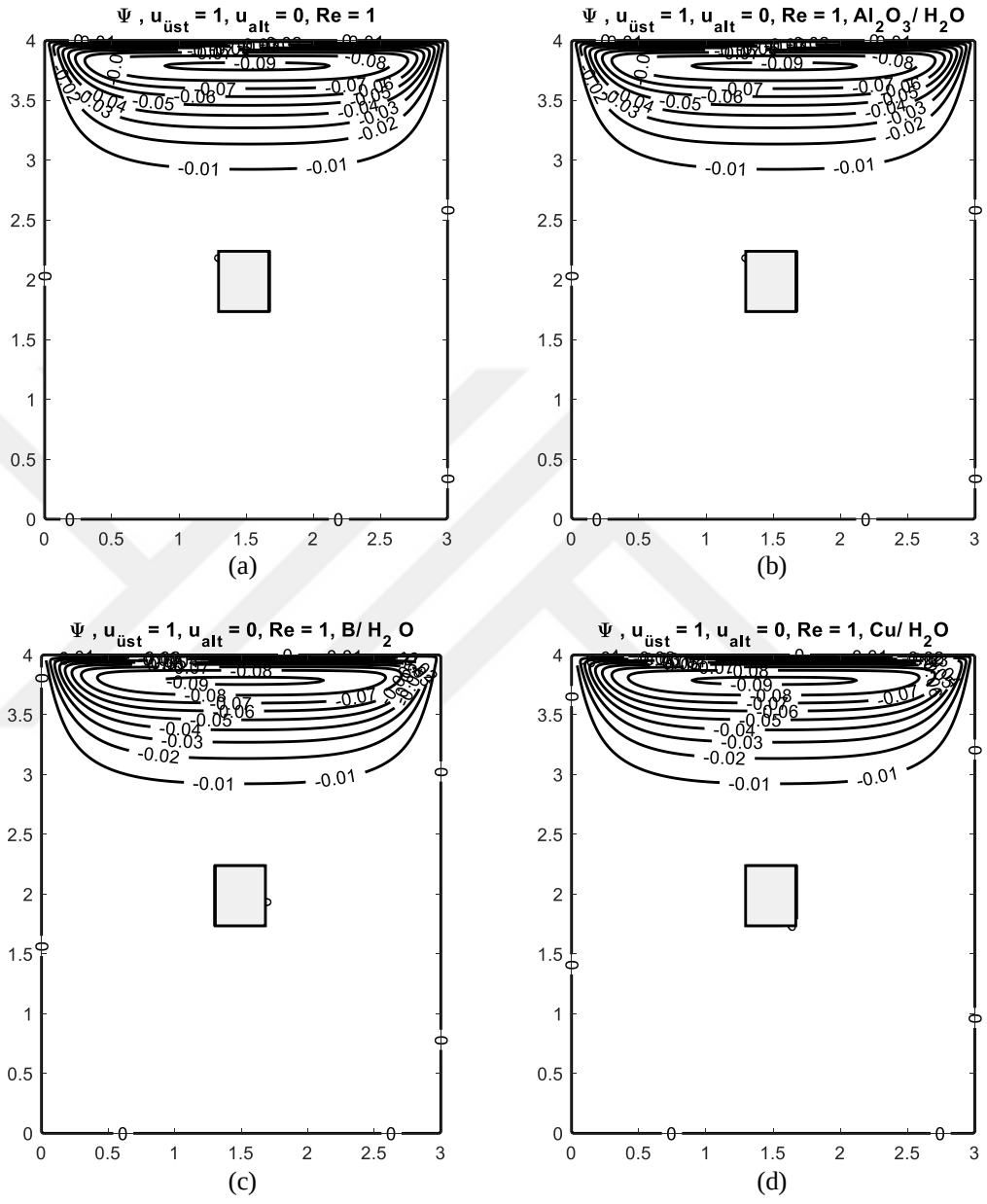
(c)



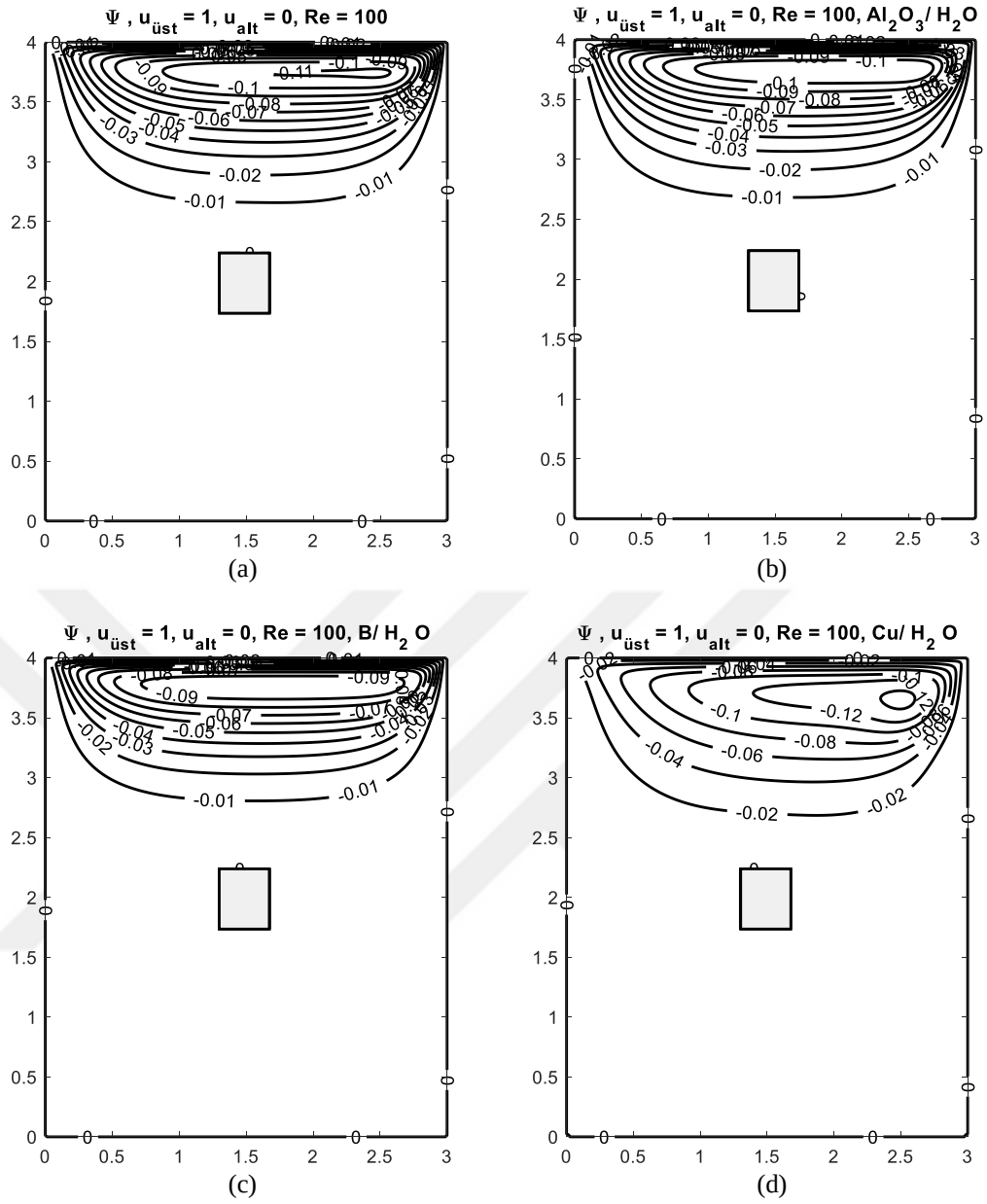
(d)

Şekil 4.95. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

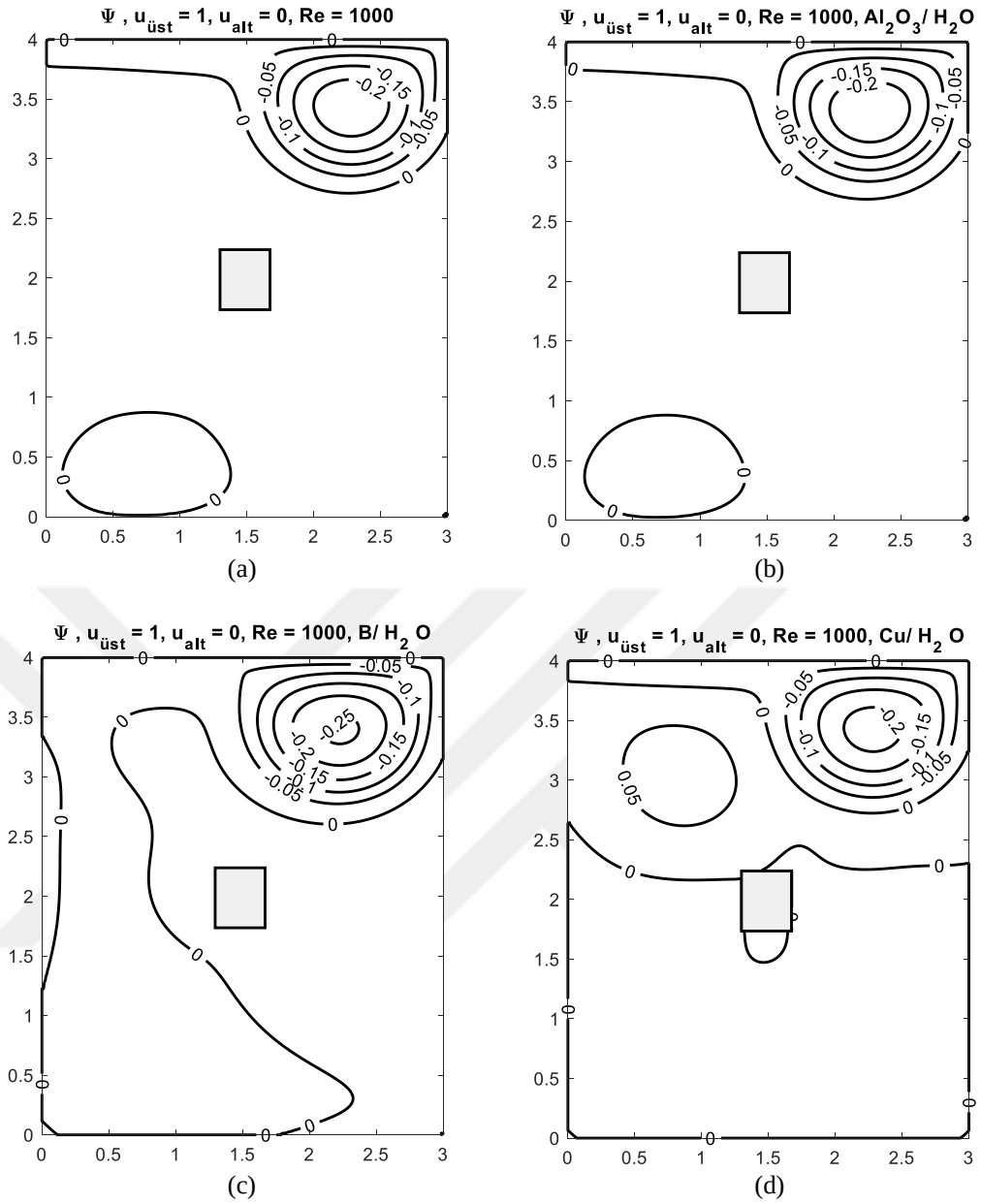
Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.96, Şekil 4.97 ve Şekil 4.98'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.96. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

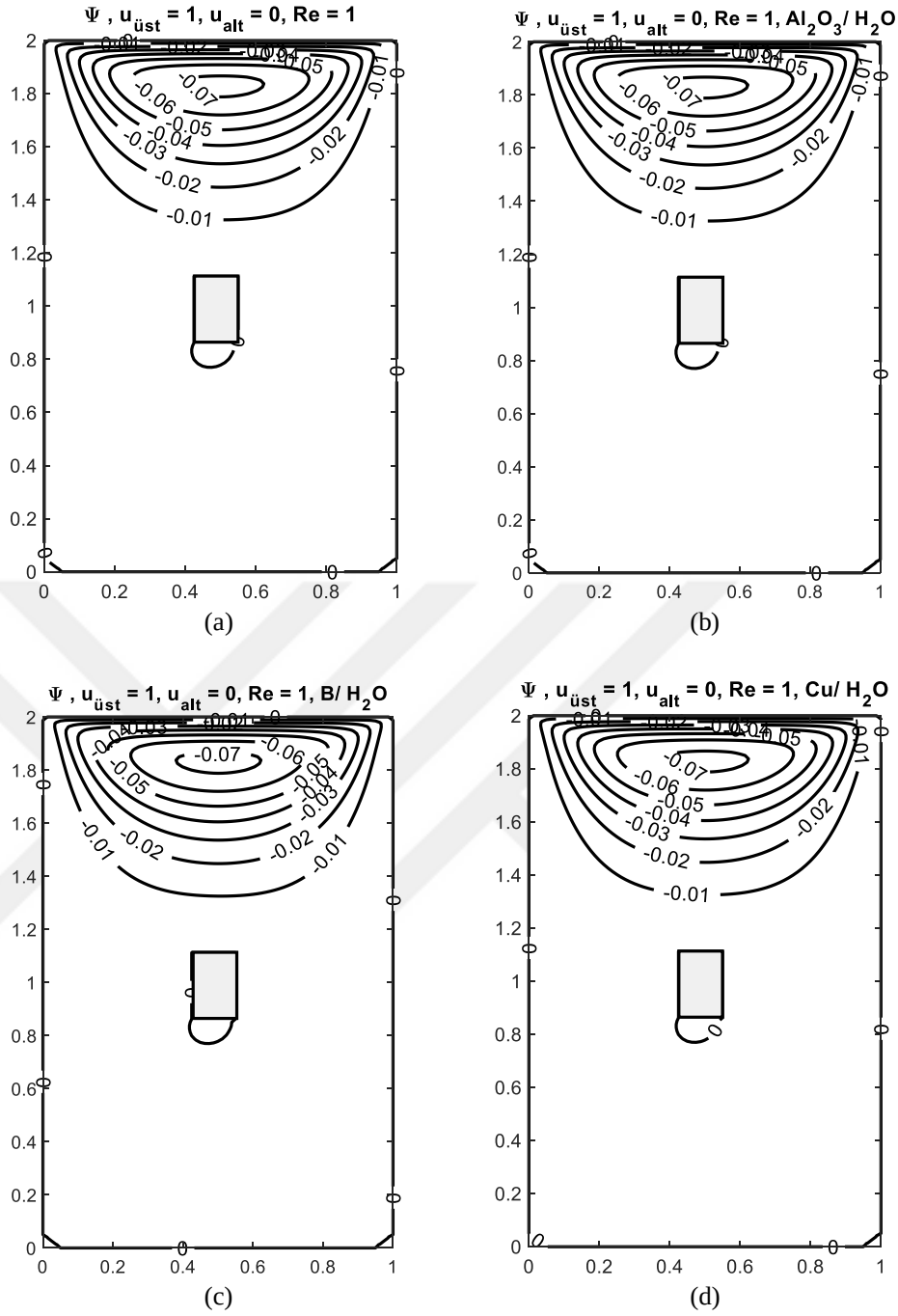


Şekil 4.97. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

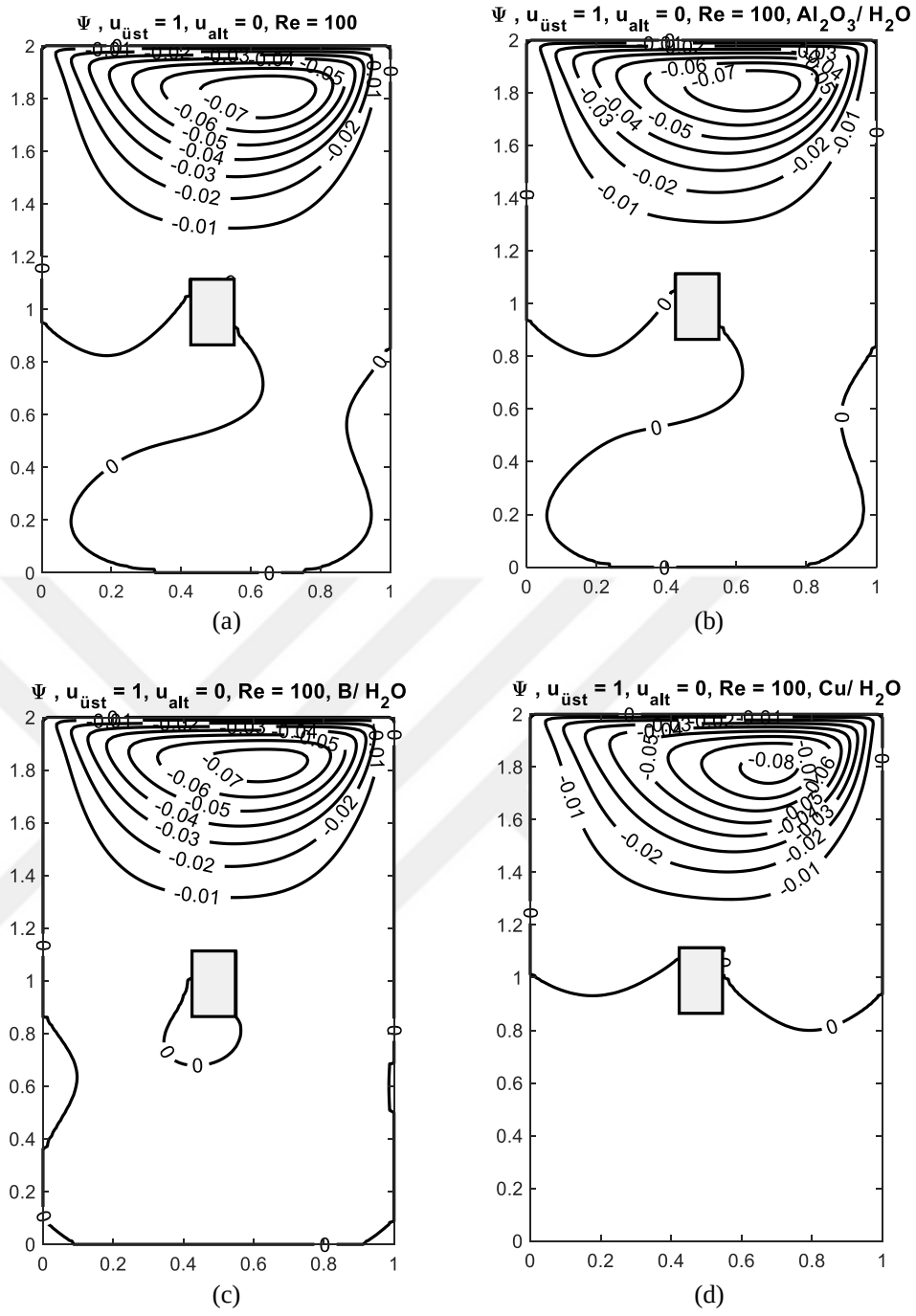


Şekil 4.98. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

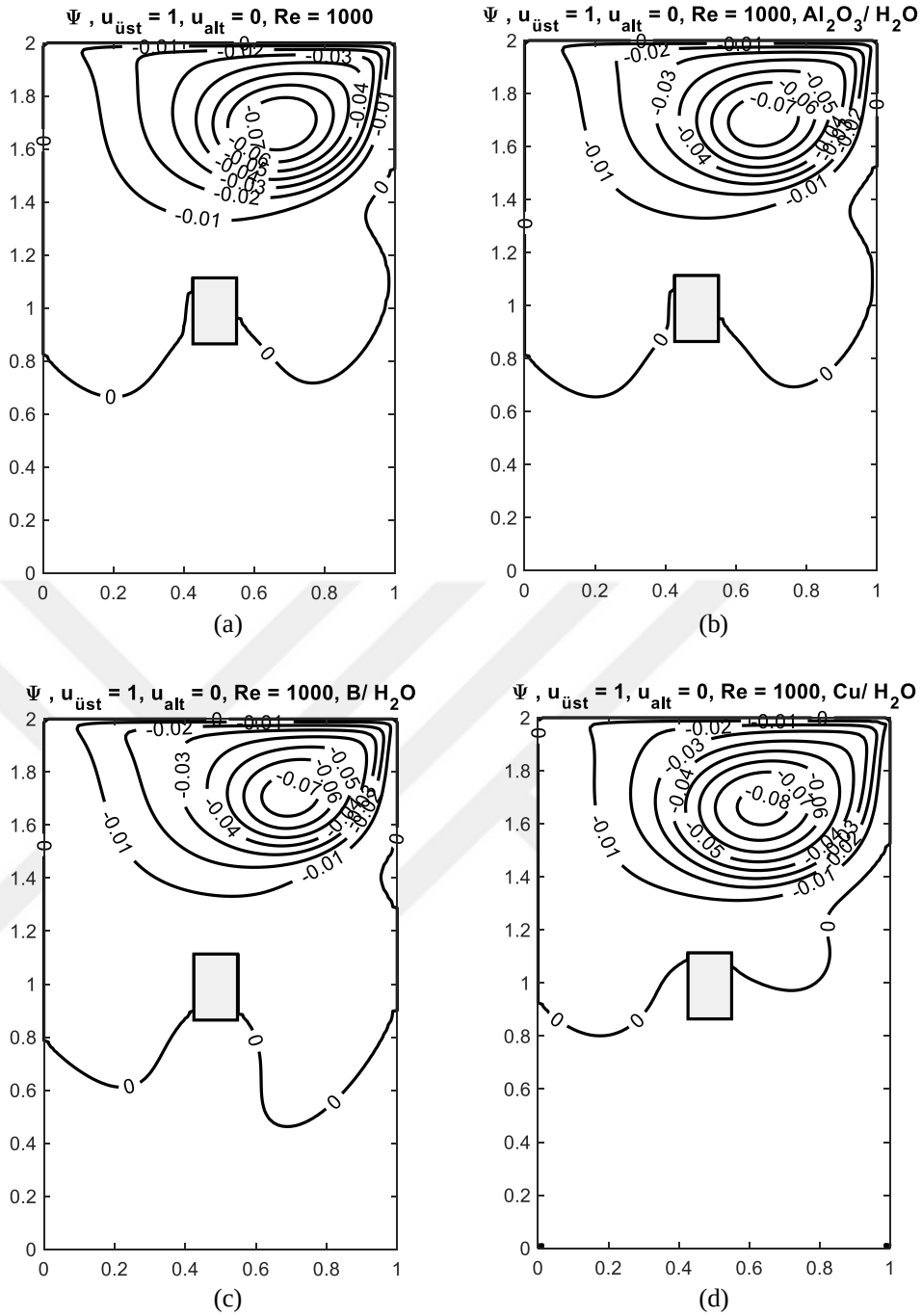
Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1,\ Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.99, Şekil 4.100 ve Şekil 4.101'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.99. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

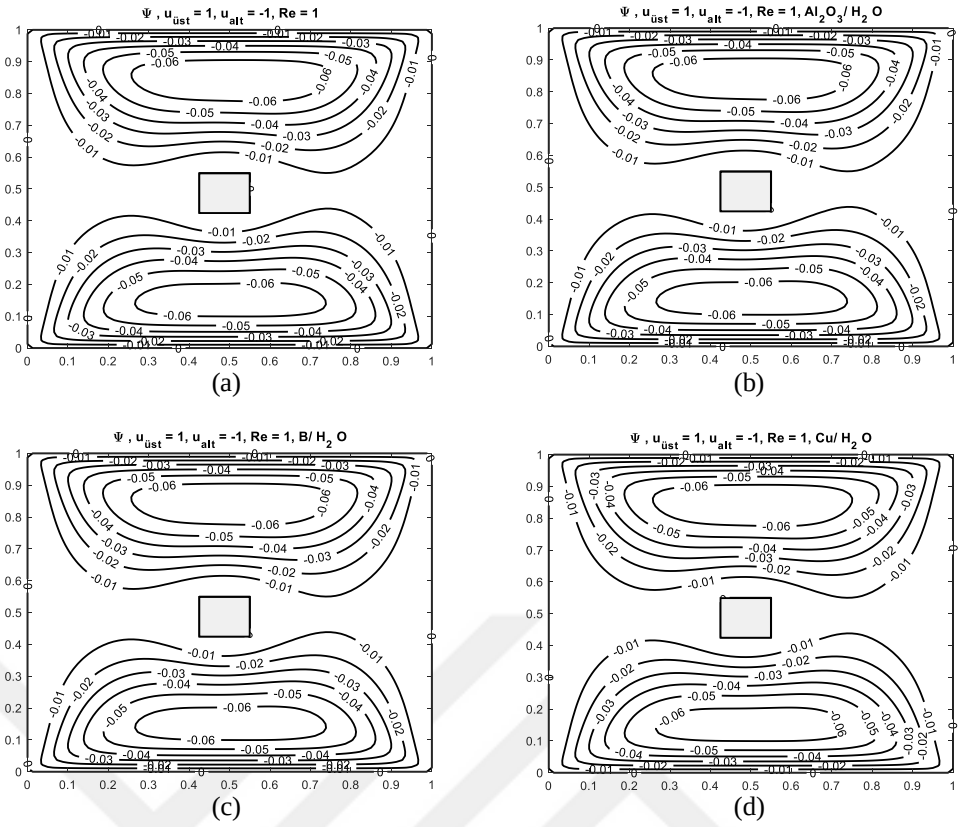


Şekil 4.100. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

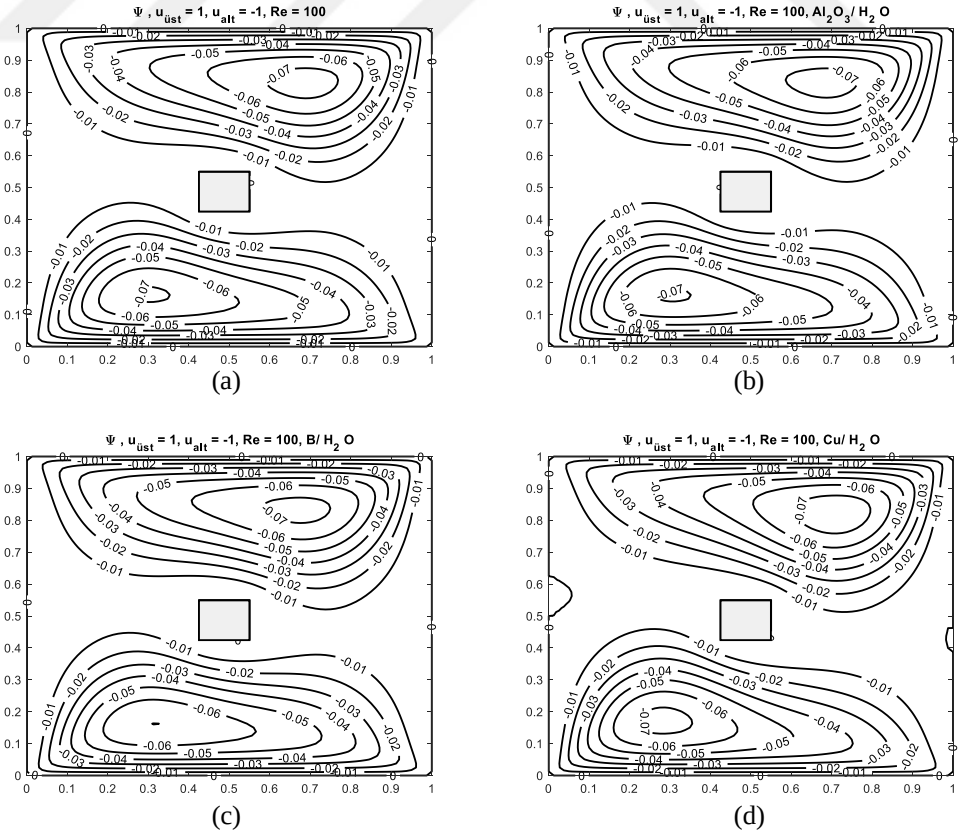


Şekil 4.101. Sadece üst duvarı hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

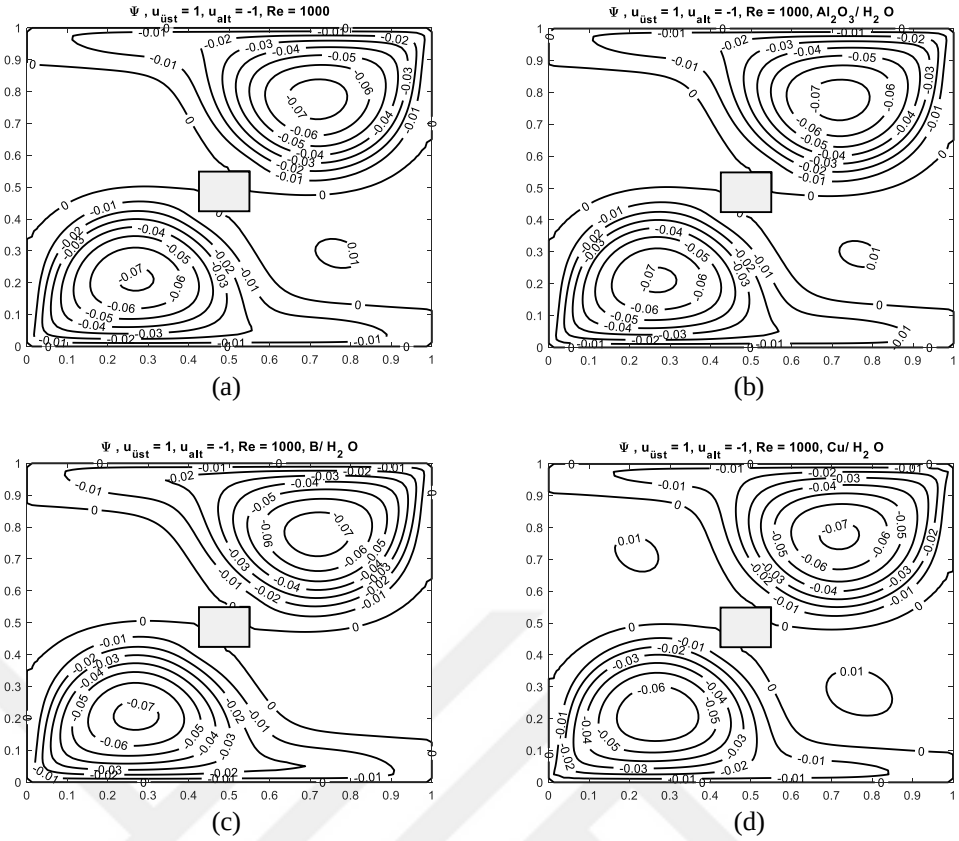
Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.102, Şekil 4.103 ve Şekil 4.104'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.102. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

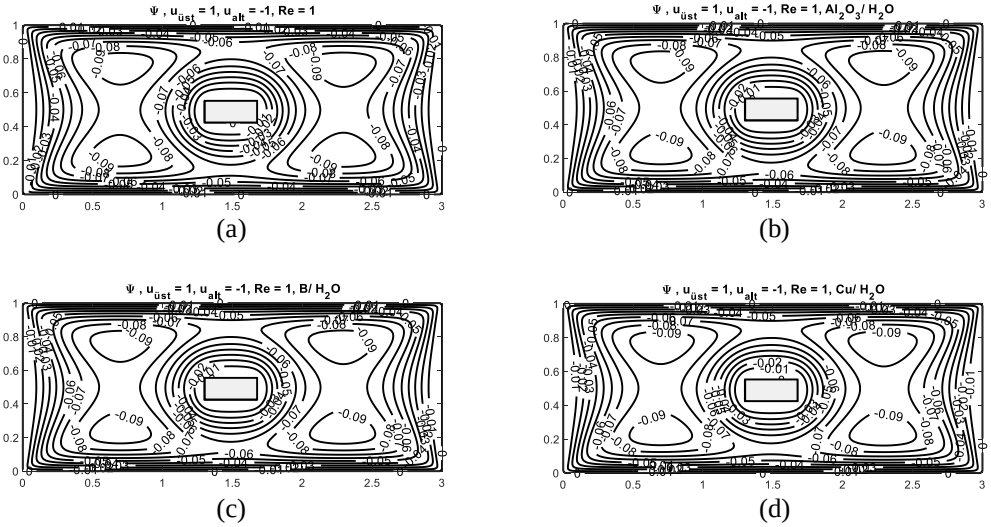


Şekil 4.103. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

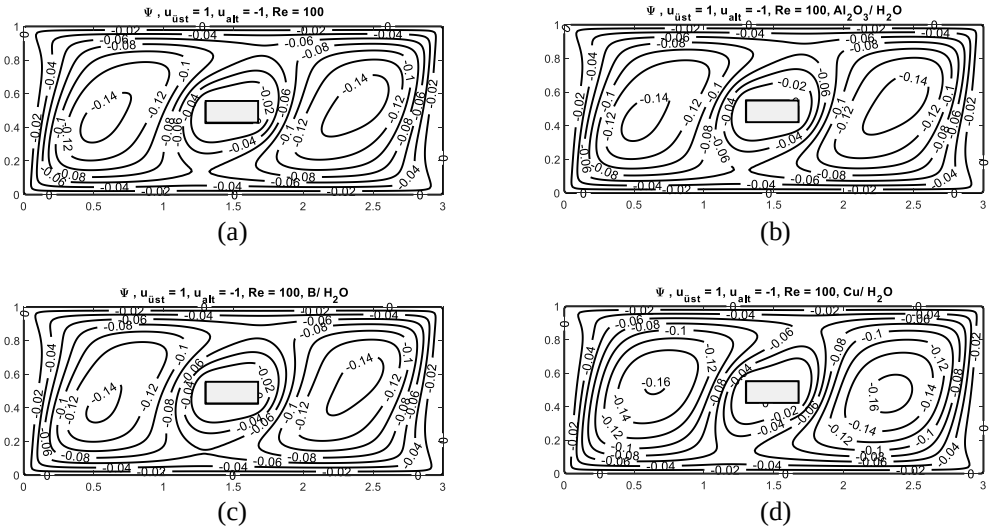


Şekil 4.104. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

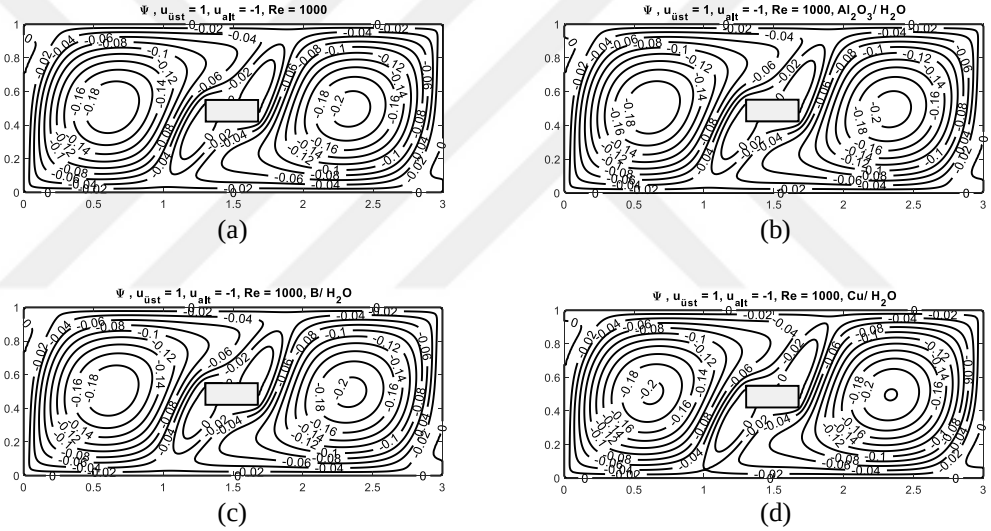
Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.105, Şekil 4.106 ve Şekil 4.107'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.105. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

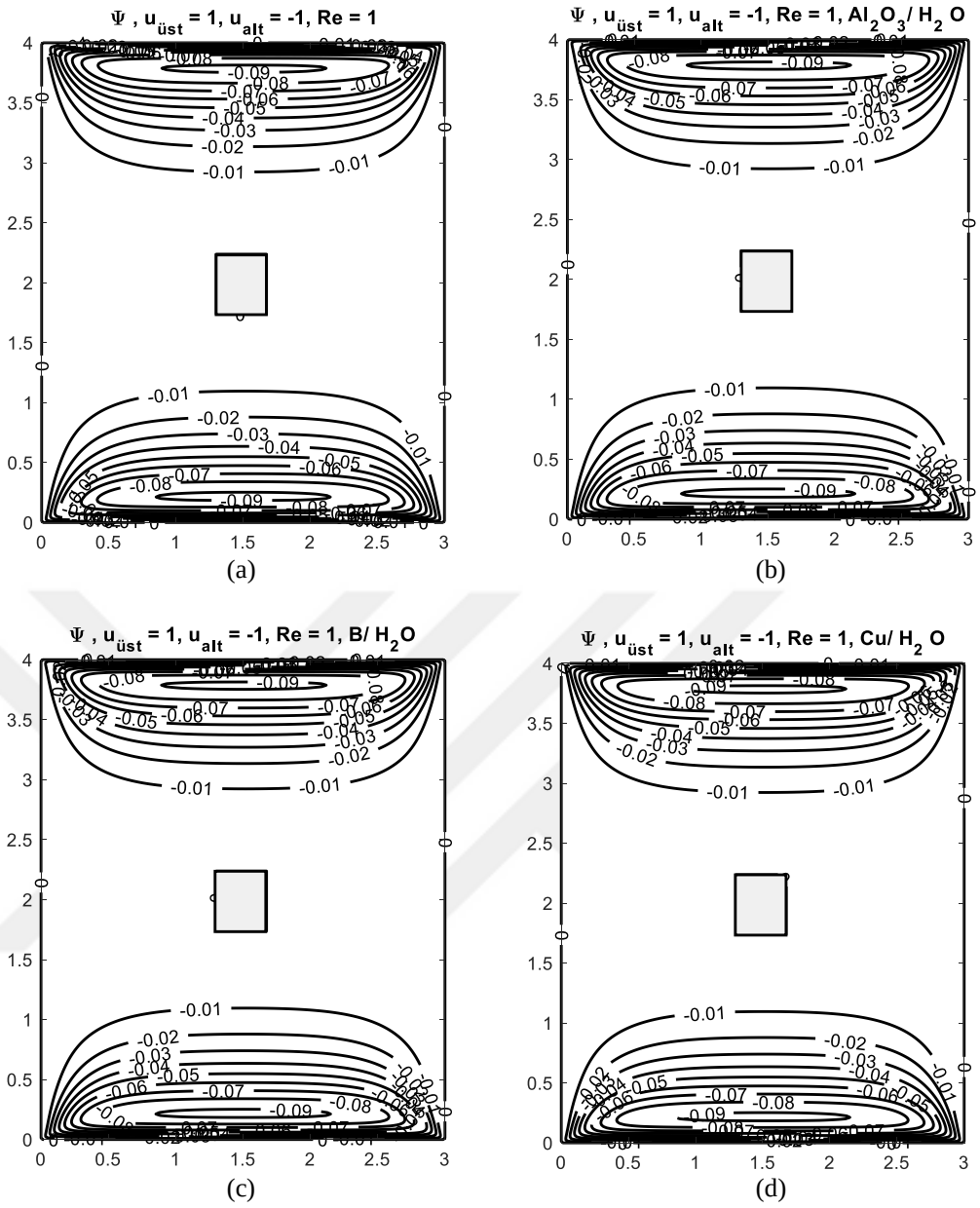


Şekil 4.106. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

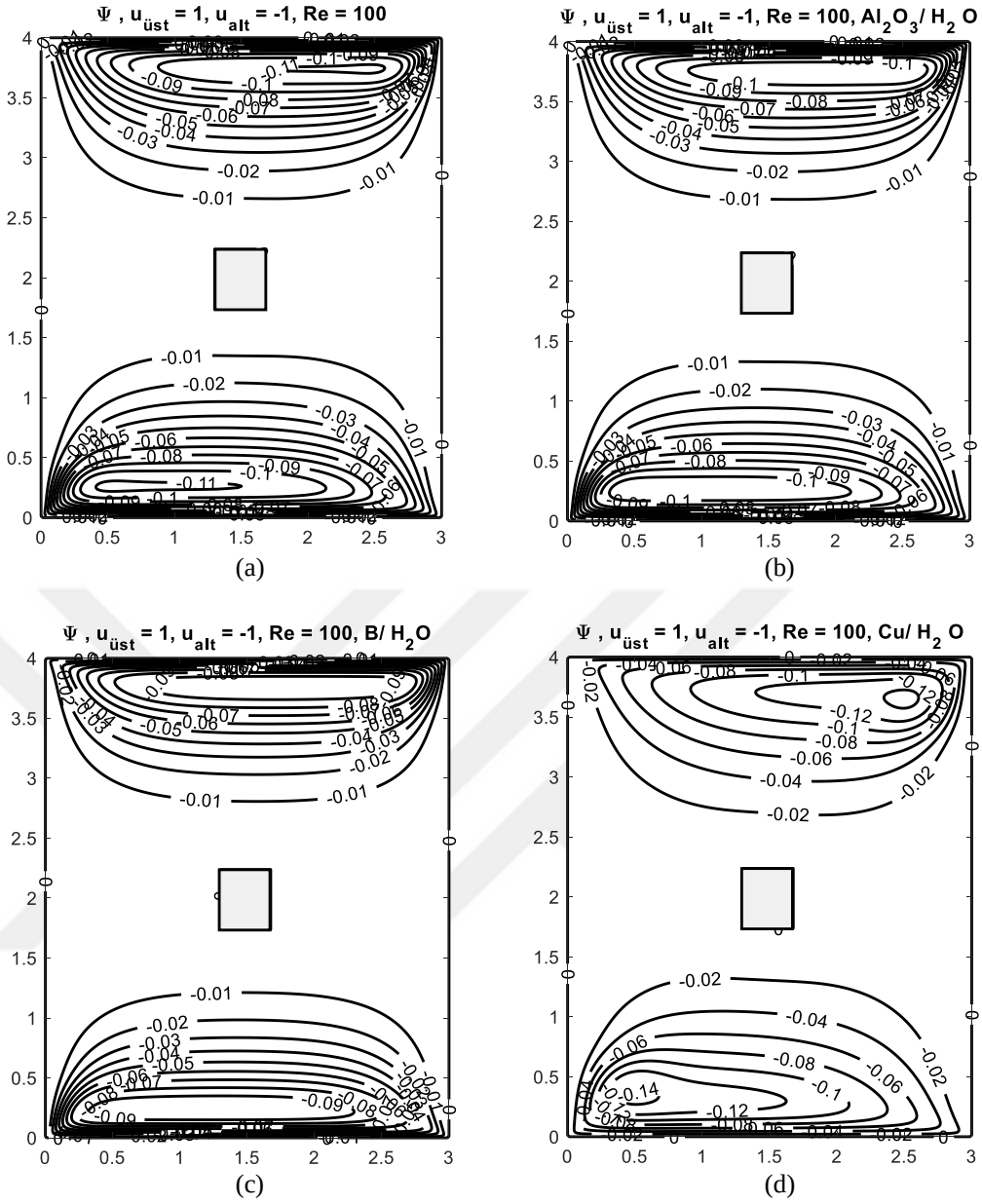


Şekil 4.107. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölged $Re = 1000$e için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

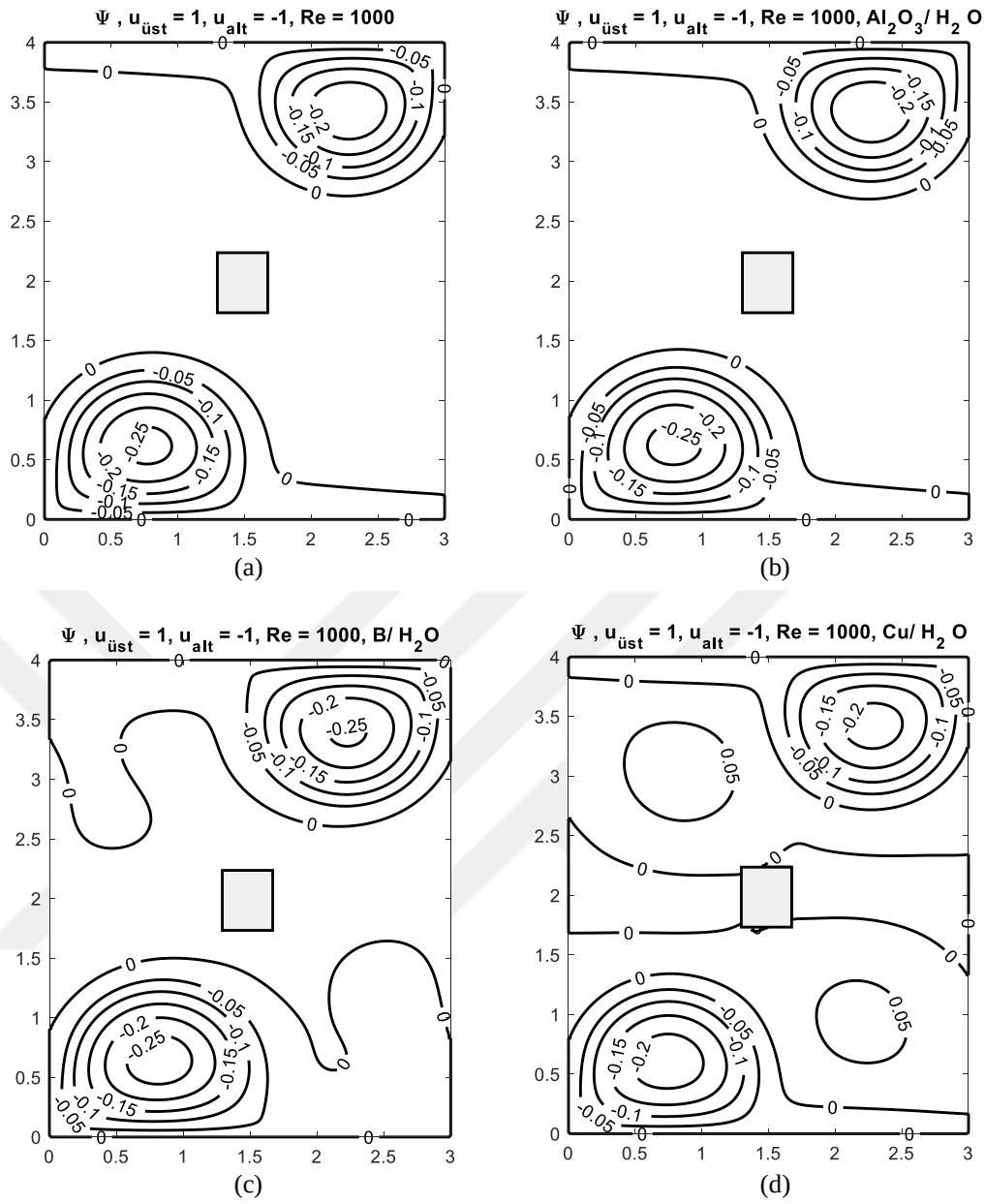
Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.108, Şekil 4.109 ve Şekil 4.110'da ifade edilmiştir.



Şekil 4.108. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

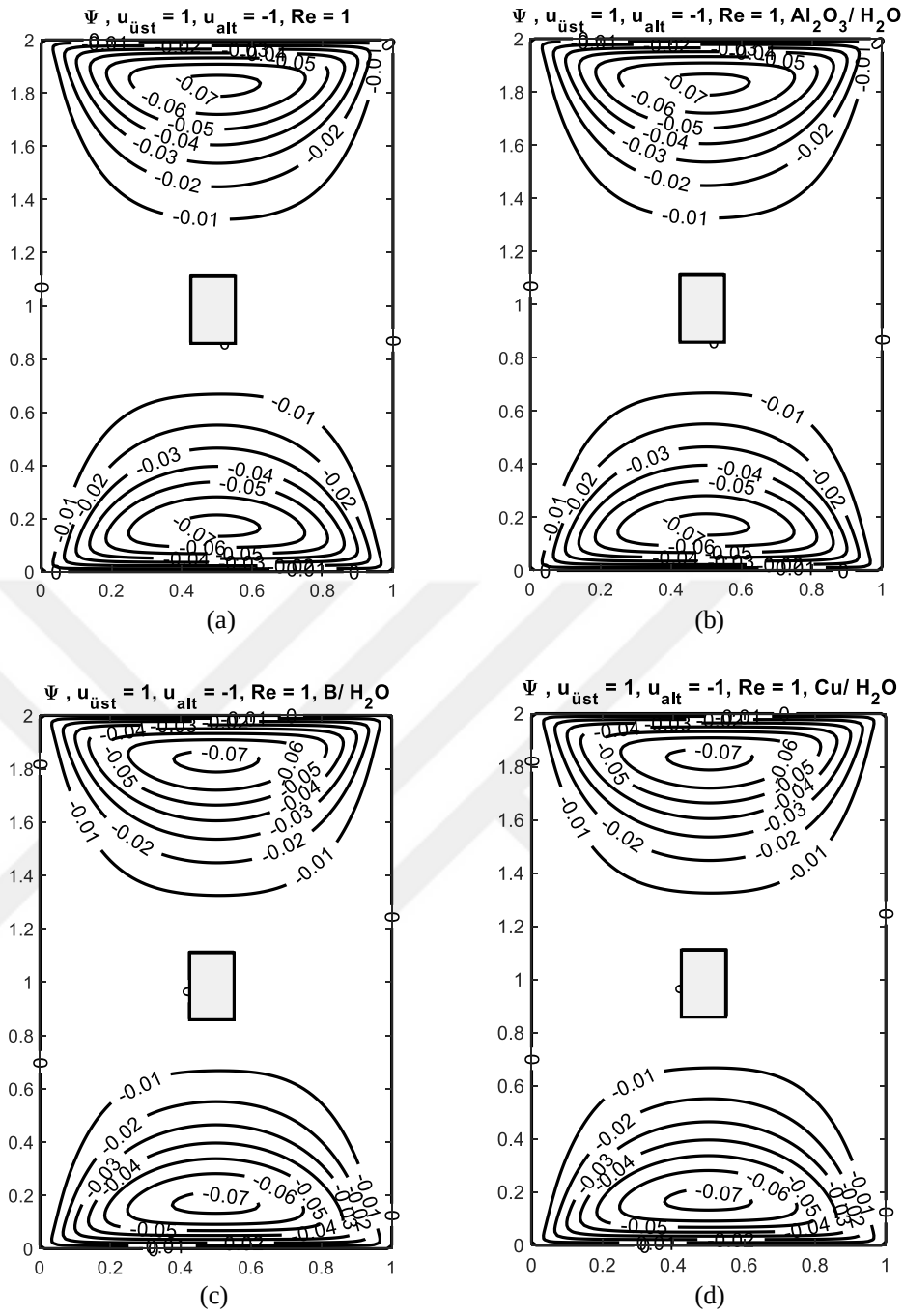


Şekil 4.109. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

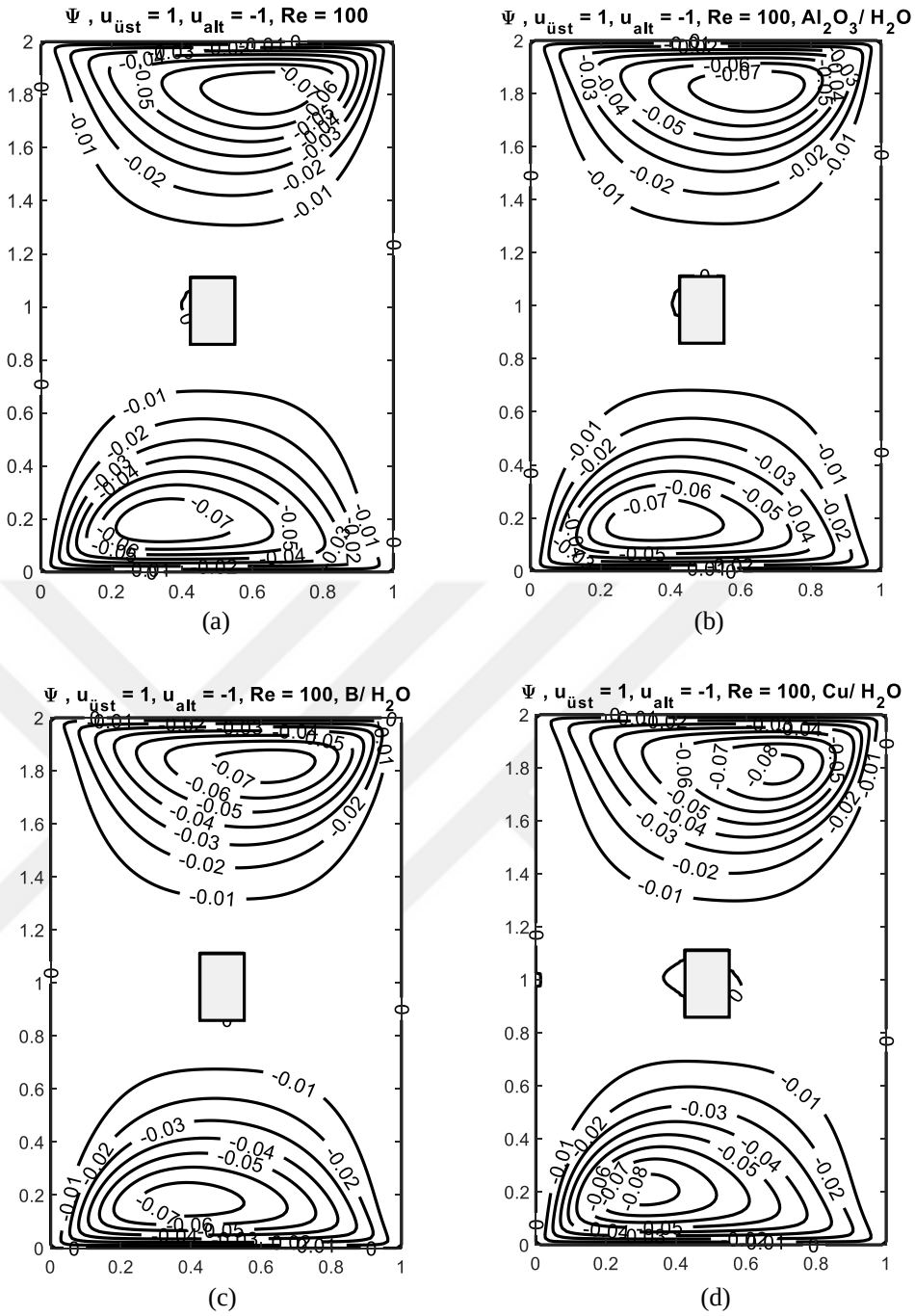


Şekil 4.110. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

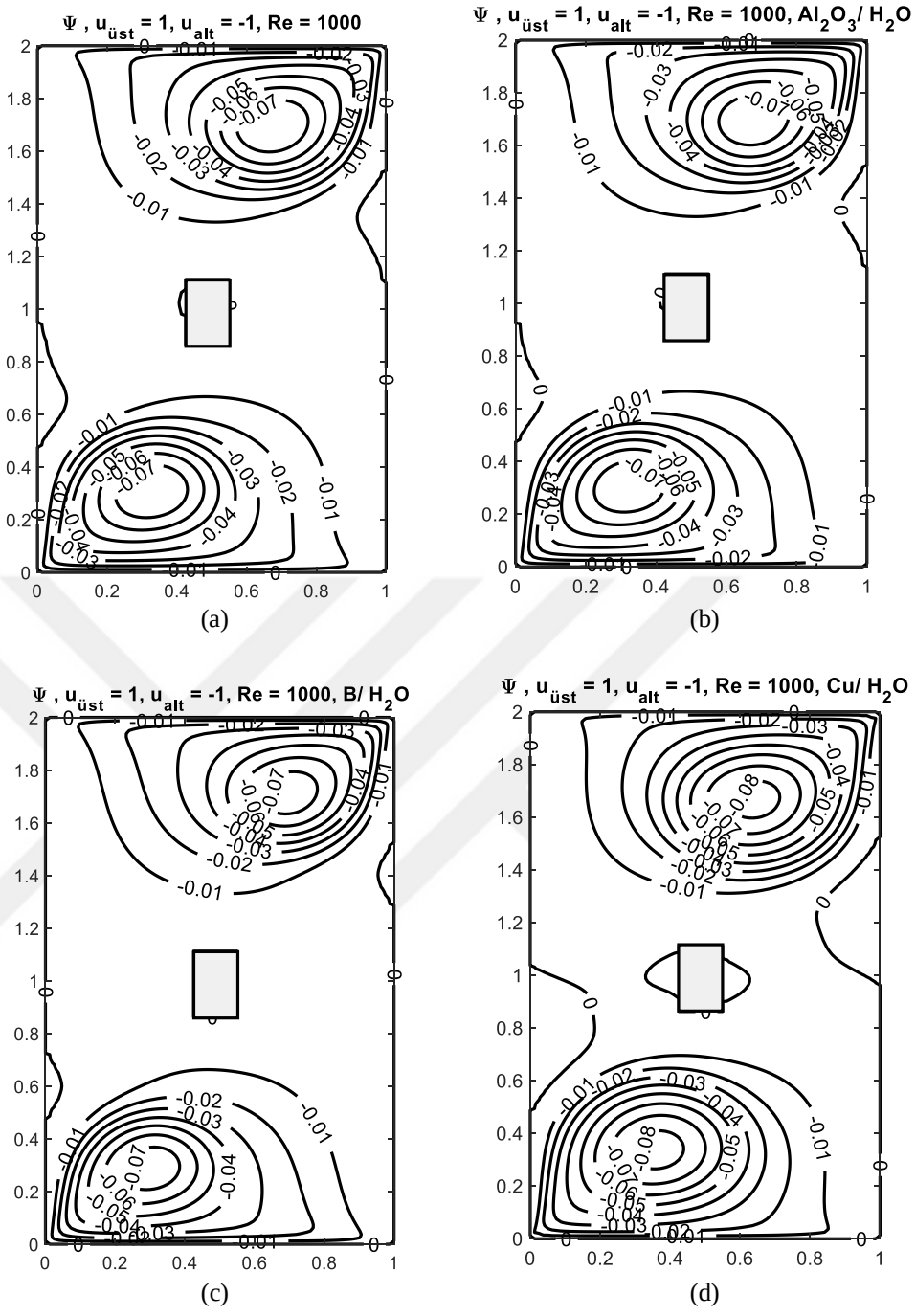
Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.111, Şekil 4.112 ve Şekil 4.113'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.111. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

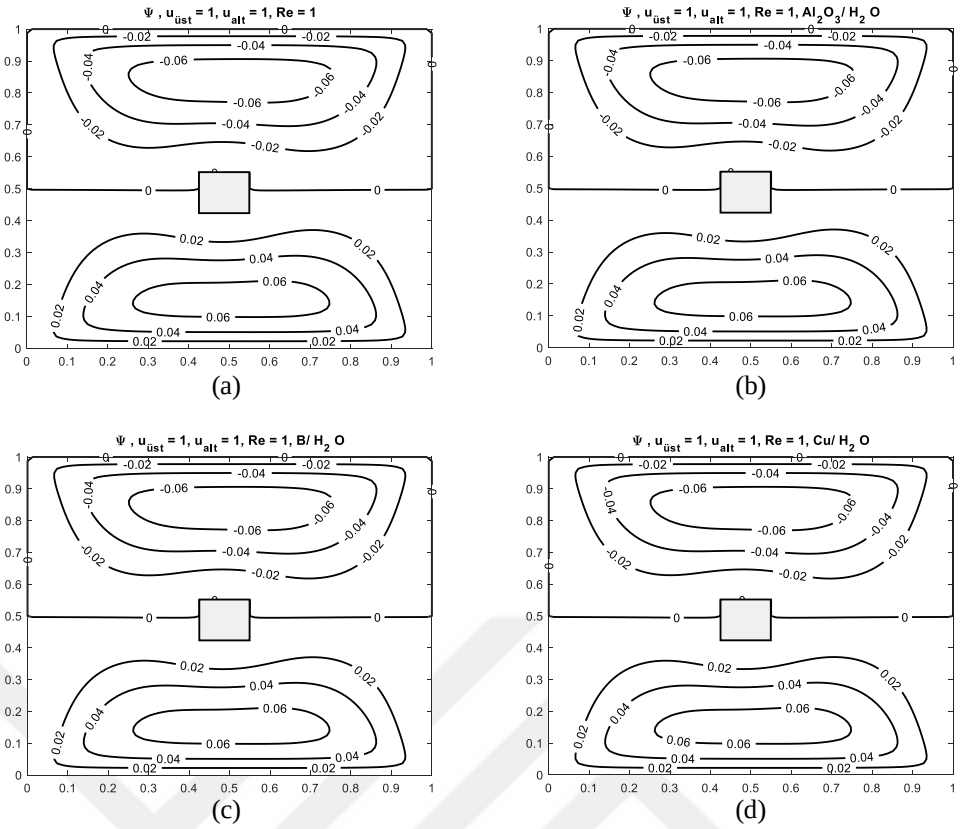


Şekil 4.112. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

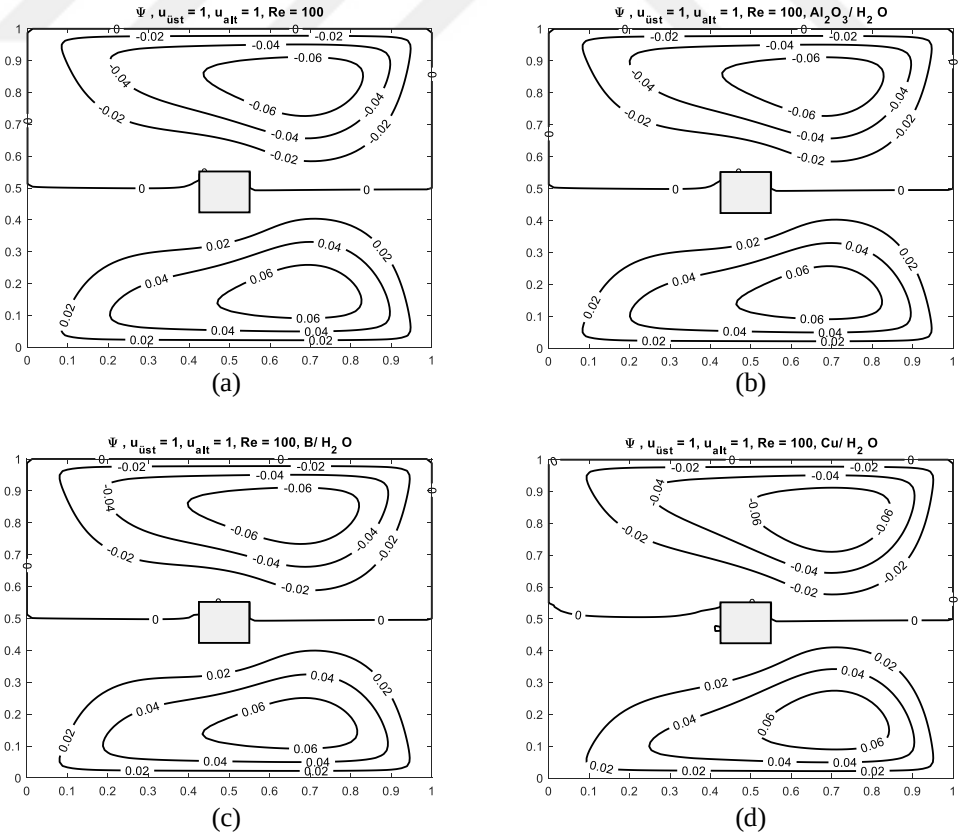


Şekil 4.113. Üst ve alt duvarı zıt yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

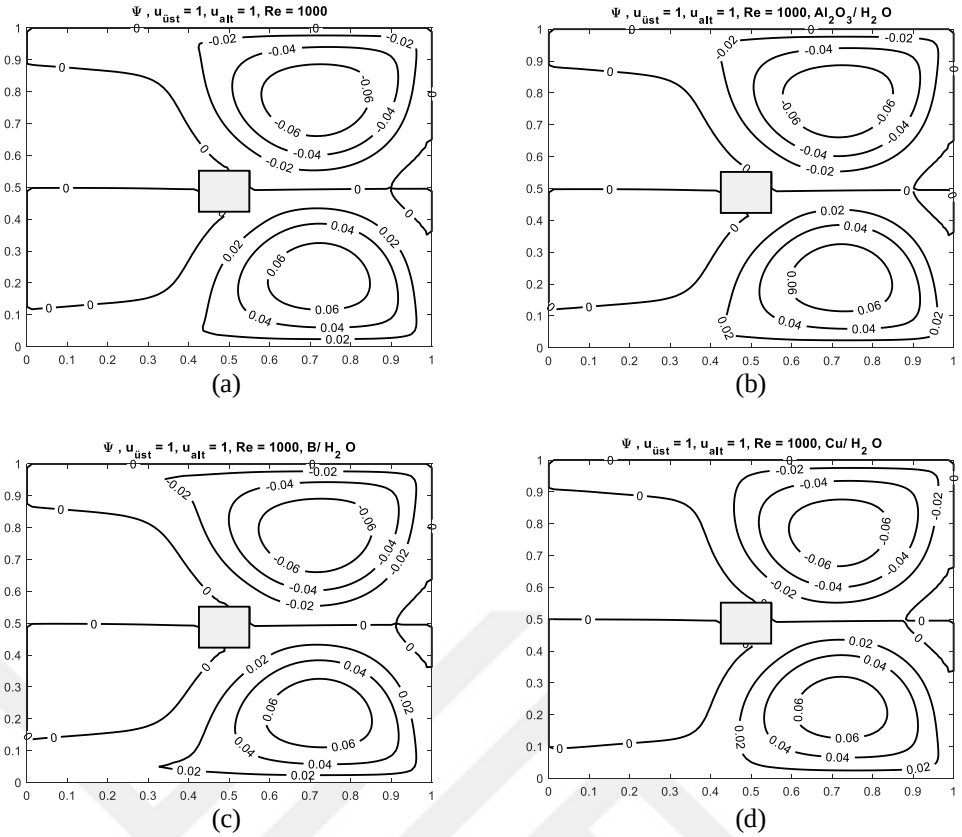
Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.114, Şekil 4.115 ve Şekil 4.116'da ifade edilmiştir.



Şekil 4.114. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

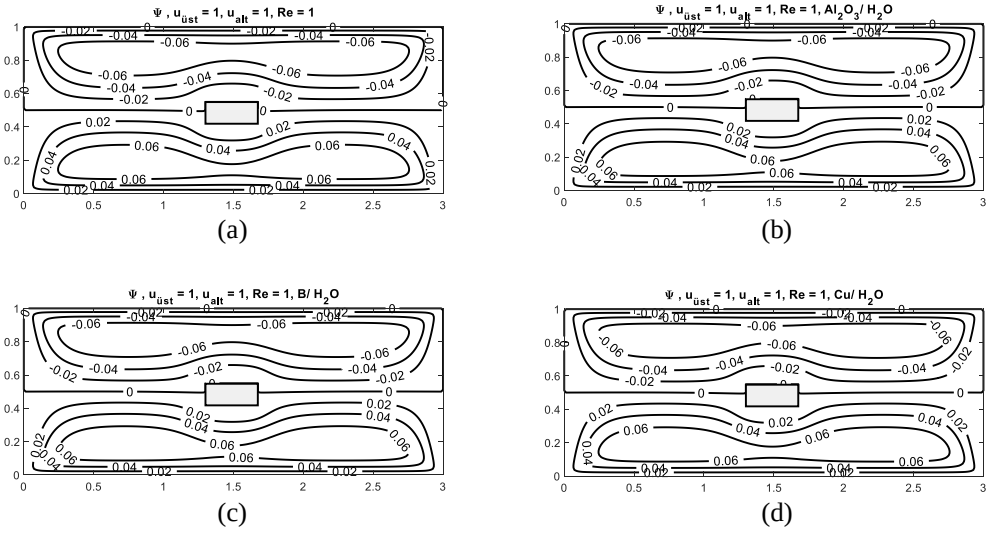


Şekil 4.115. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

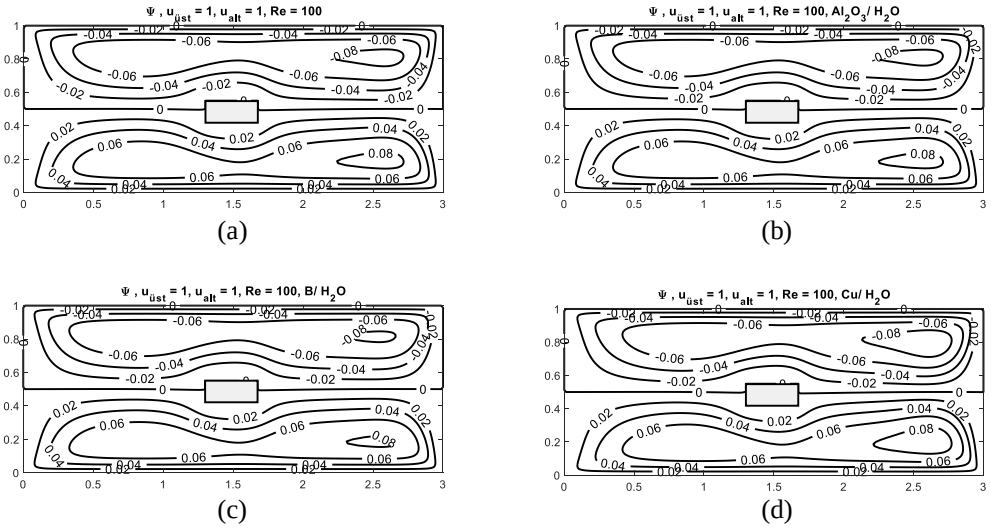


Şekil 4.116. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan karesel bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

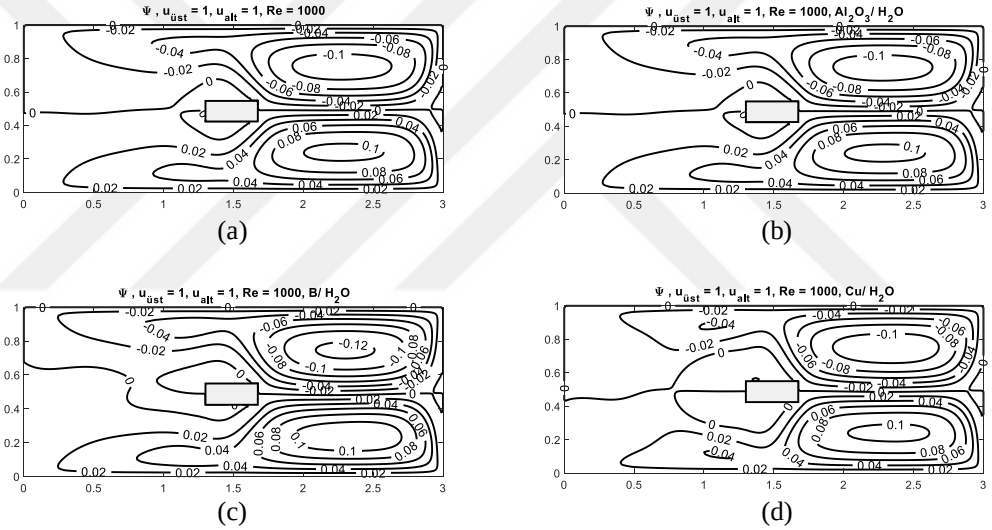
Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1,\ Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.117, Şekil 4.118 ve Şekil 4.119'da ifade edilmiştir.



Şekil 4.117. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

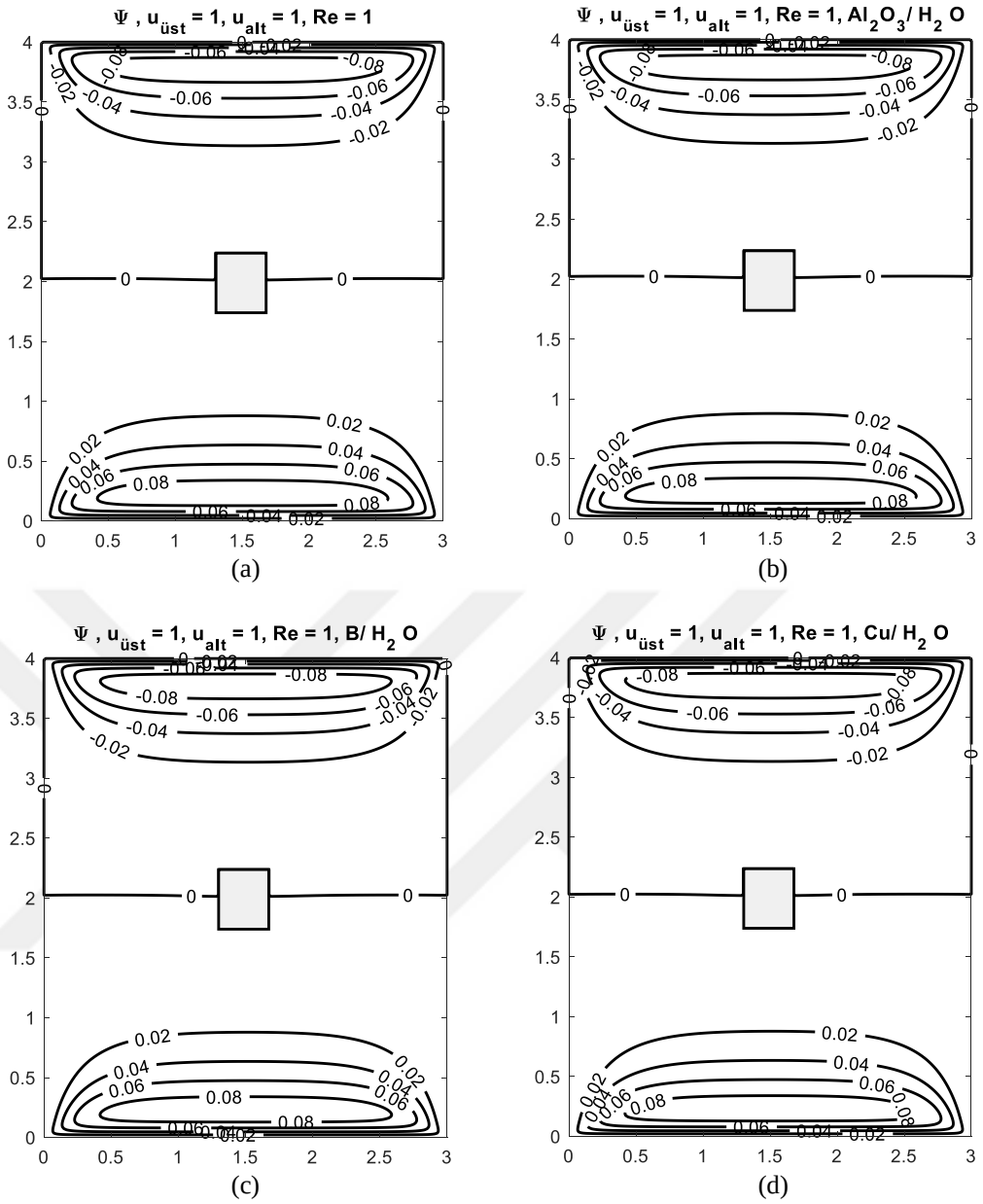


Şekil 4.118. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

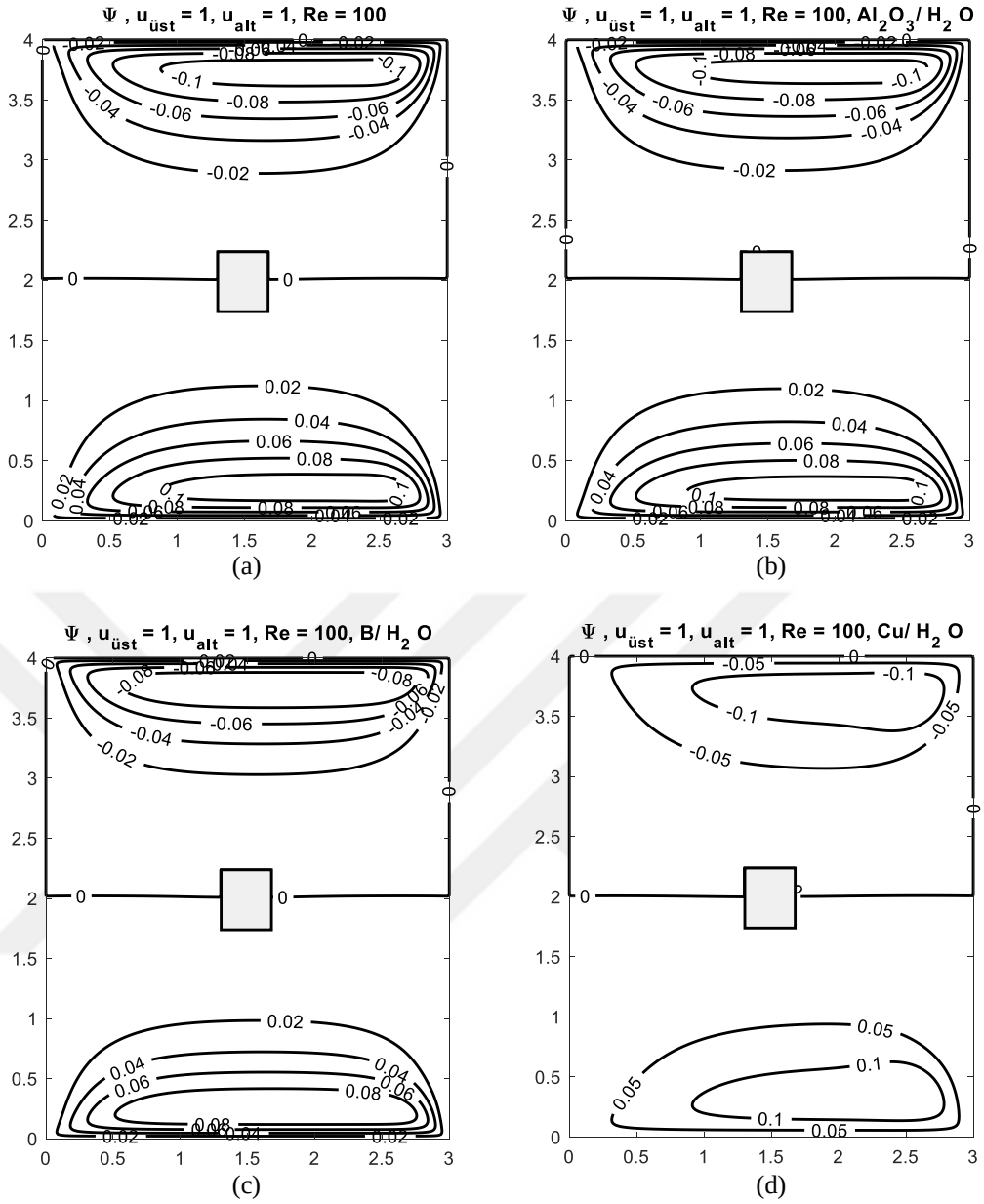


Şekil 4.119. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 0.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

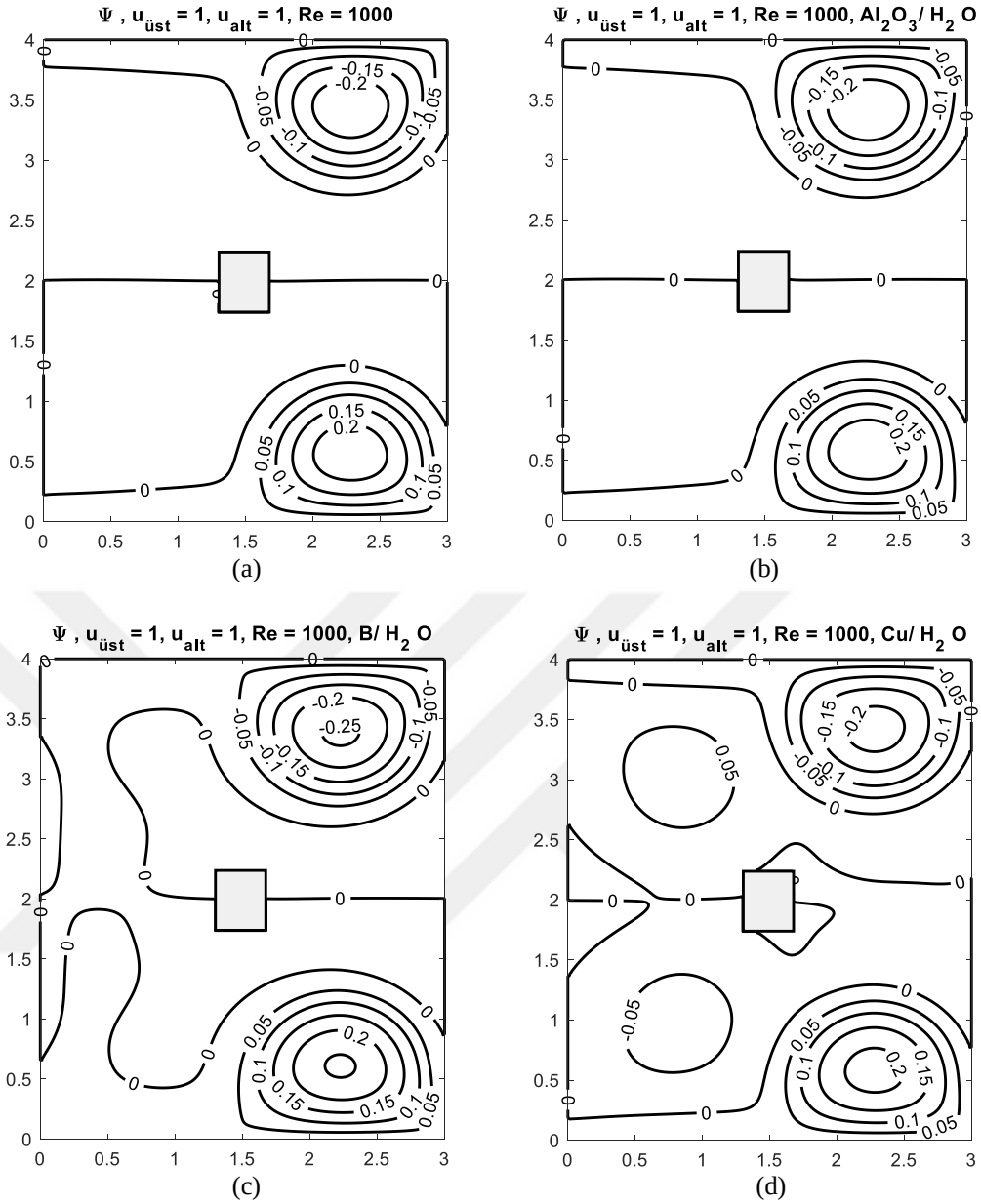
Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1,\ Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.120, Şekil 4.121 ve Şekil 4.122'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.120. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

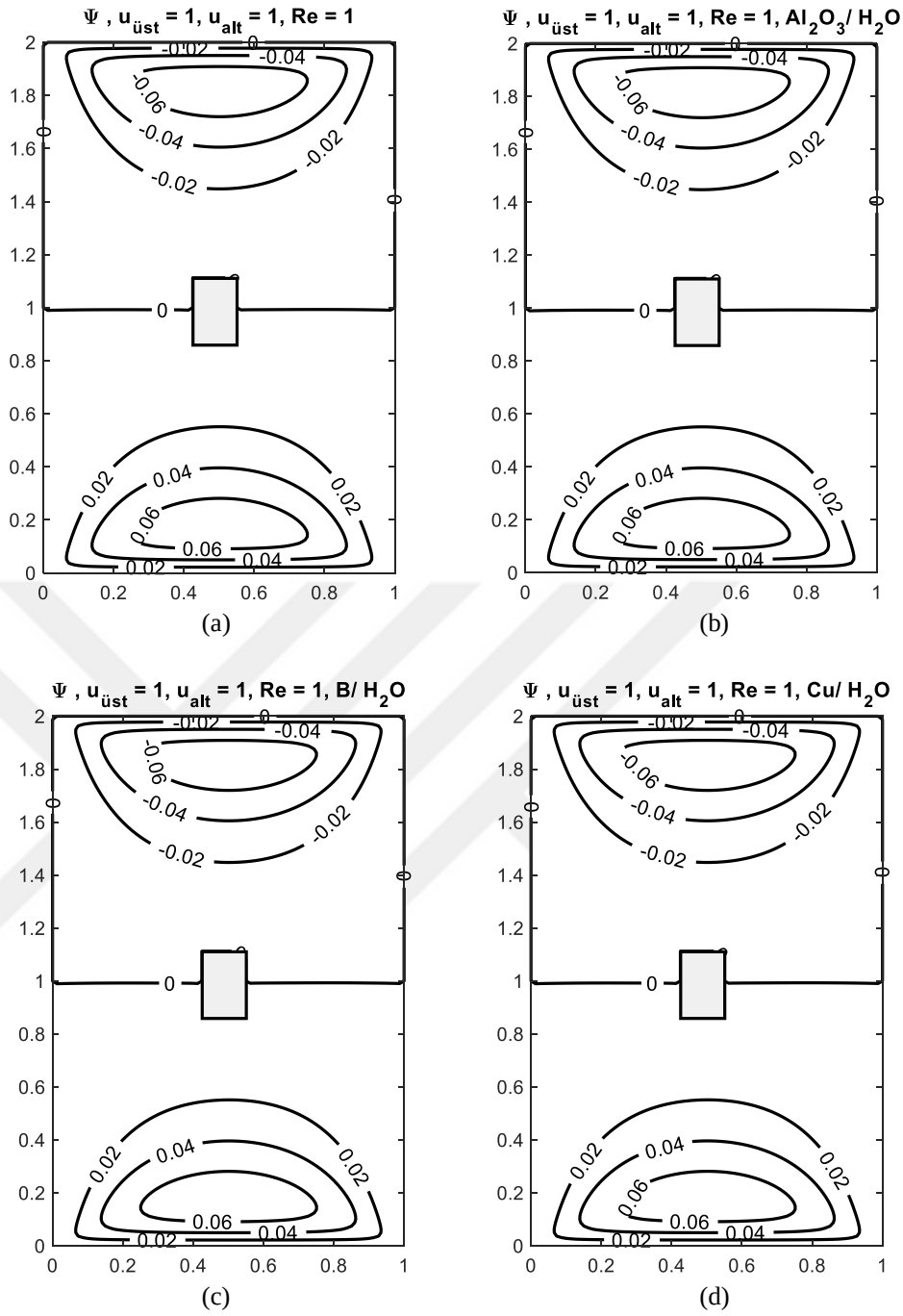


Şekil 4.121. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

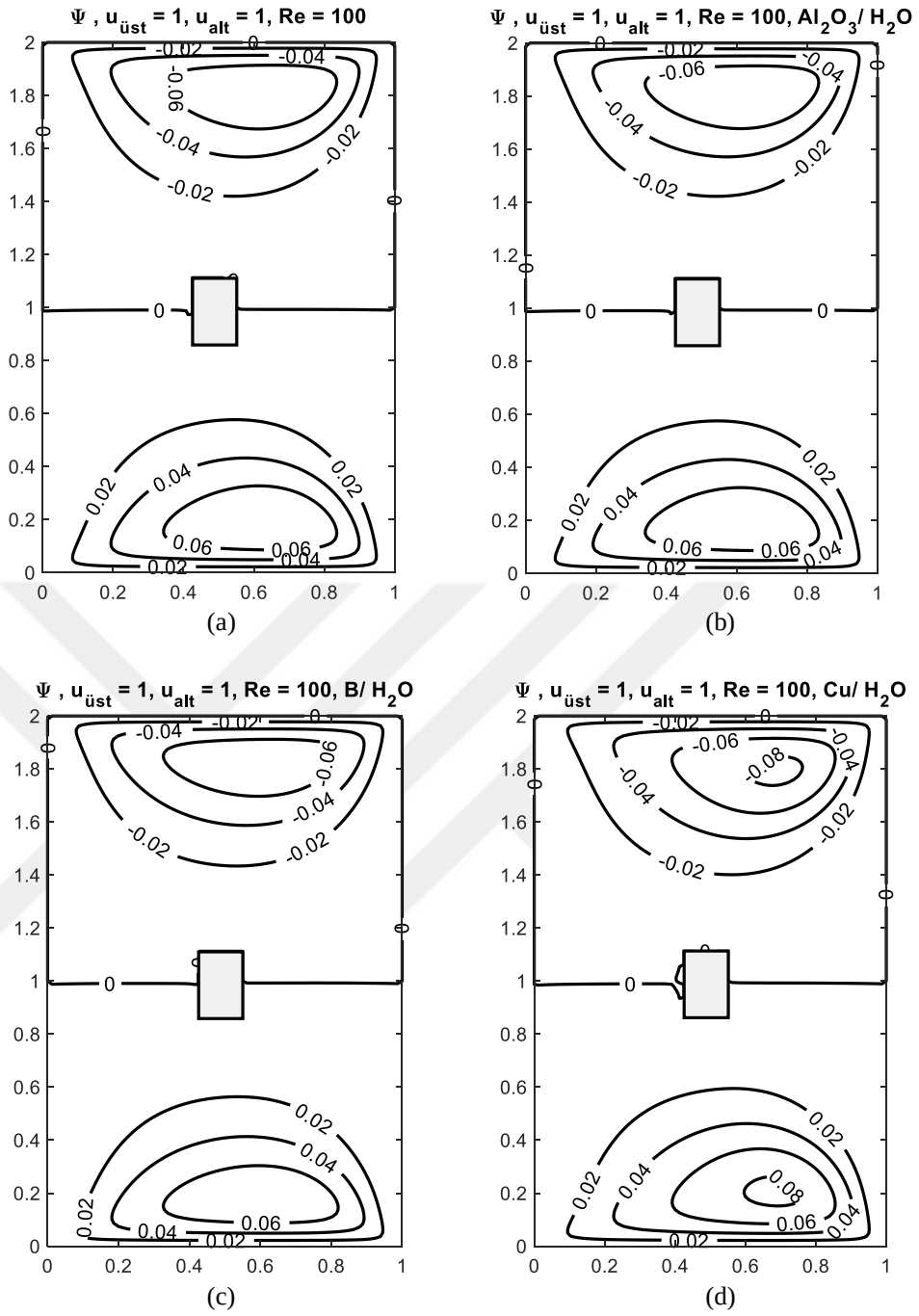


Şekil 4.122. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 1.33 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

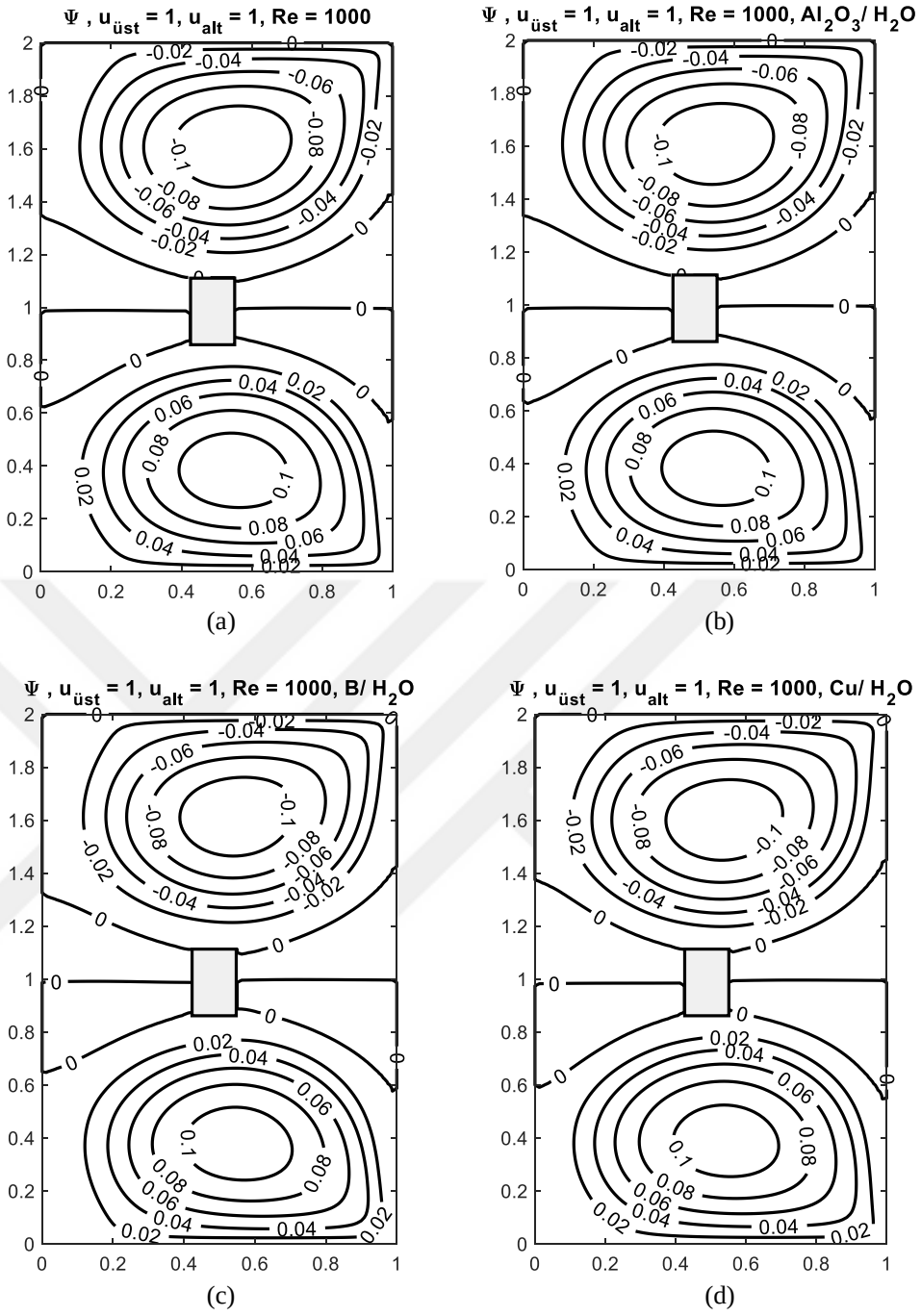
Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$, $Re = 100$ ve $Re = 1000$ alınarak elde edilen akım çizgileri grafikleri Şekil 4.123, Şekil 4.124 ve Şekil 4.125'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.123. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su



Şekil 4.124. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 100$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

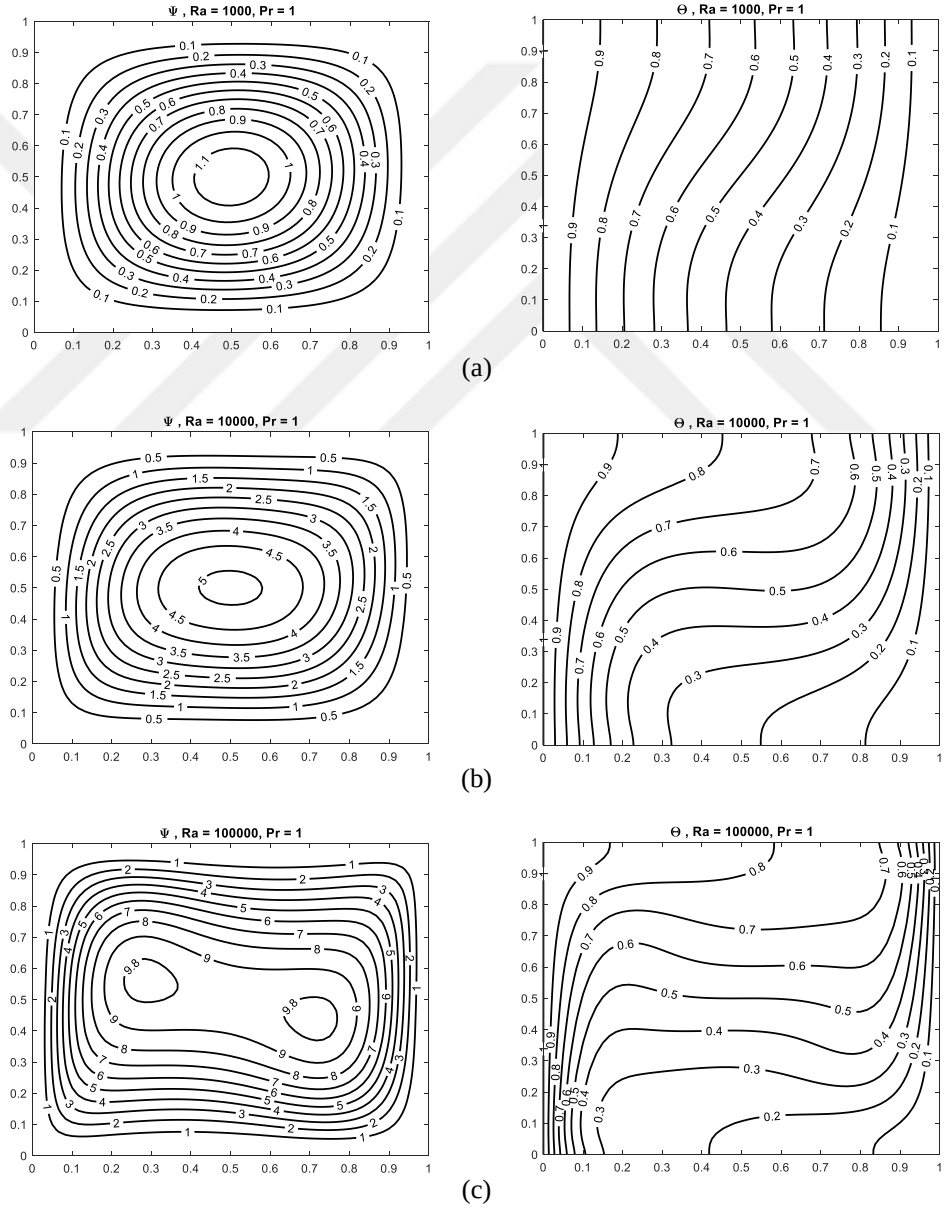


Şekil 4.125. Üst ve alt duvarı aynı yönde hareket eden içerisinde küçük engel bulunan ve boy-en oranı 2 olan bölgede $Re = 1000$ için akım çizgileri a) Newtonyen b) Alüminyum oksit-Su c) Bor-Su d) Bakır-Su

Farklı boy-en oranlarına sahip bölgenin ortasına yerleştirilmiş küçük engelin Reynolds sayısının farklı değerlerinde bölgedeki akımın şiddetini büyük engele göre daha az etkilemekte olduğu gözlemlenmiştir.

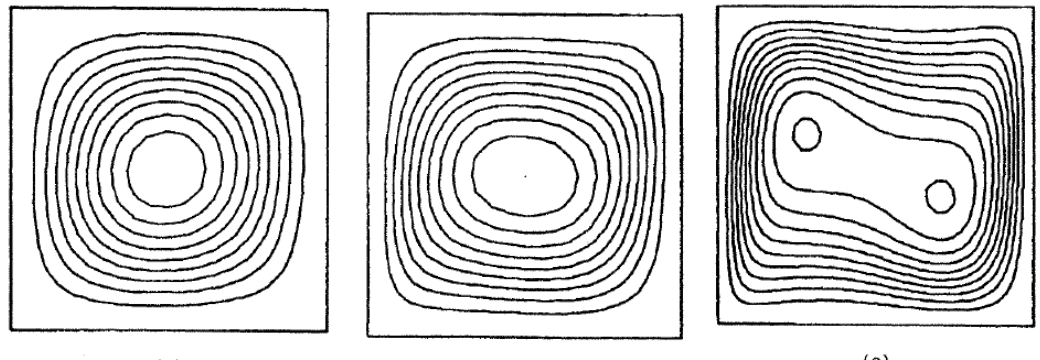
4.4. Çukur Bölgede Isı Yayılım Problemi

Bu bölümde soldan ısıtılan sağdan soğutulan çukur bölgedeki double glazing ısı yayılım probleminin sayısal çözümlemesi sonucunda elde edilen akım ve sıcaklık grafikleri verilmiştir. (3.33), (3.34) ve (3.35) denklemlerinin (3.36), (3.37) ve (3.38) sınır koşulları ile eş zamanlı çözülmesiyle elde edilen sonuçlar $Ra = 10^3$, $Ra = 10^4$ ve $Ra = 10^5$ durumlarında incelenmiştir. $K_2 = 1$, $K_3 = 1$ ve $K_4 = 1$ alınarak test durumu değerlendirilmiş elde edilen akım ve sıcaklık grafikleri Şekil 4.126'da verilmiştir. Farklı Rayleigh değerleri için elde edilen Nusselt sayıları ve literatürle karşılaştırılması Tablo 4.1'de verilmiştir.



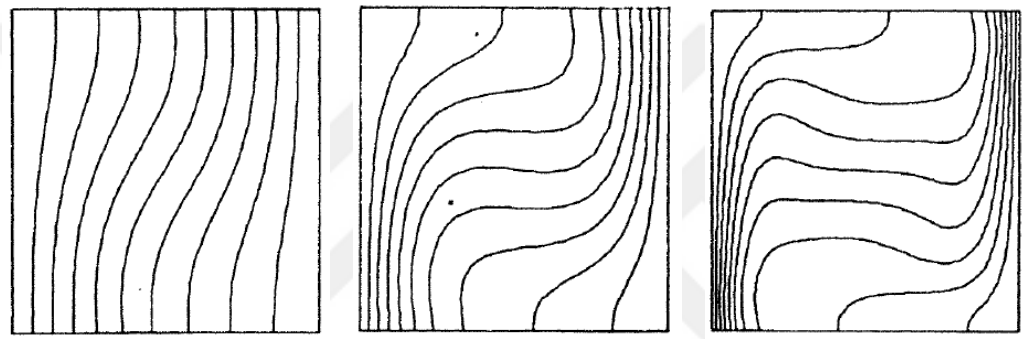
Şekil 4.126. Newtonyen akışkan için akım ve sıcaklık fonksiyonu grafikleri a) $Ra = 10^3$, b) $Ra = 10^4$, c) $Ra = 10^5$

De Vahl Davis'in 1983'de elde ettiği sonuçlar Şekil 4.127'de gösterilmiştir.



(a) (b) (c)

Contour maps of stream function ψ:
(a) Ra = 10^3; contours at −1·174(0·1174)0;
(b) Ra = 10^4; contours at −5·071(0·5071)0;
(c) Ra = 10^5; contours at −9·507, −8·646(0·9607)0;



(a) (b) (c)

Contour maps of temperature T:
(a) Ra = 10^3, (b) Ra = 10^4,
(c) Ra = 10^5
Contours at 0(0·1)1 in each case

Şekil 4.127. Newtonyen akışkan için akım ve sıcaklık fonksiyonu grafikleri (De Vahl Davis, 1983)

Şekil 4.126 ve Şekil 4.127 kıyaslandığında elde edilen sonuçların literatürle hem nitelik hem de nicelik olarak tam uyum gösterdiği görülmektedir.

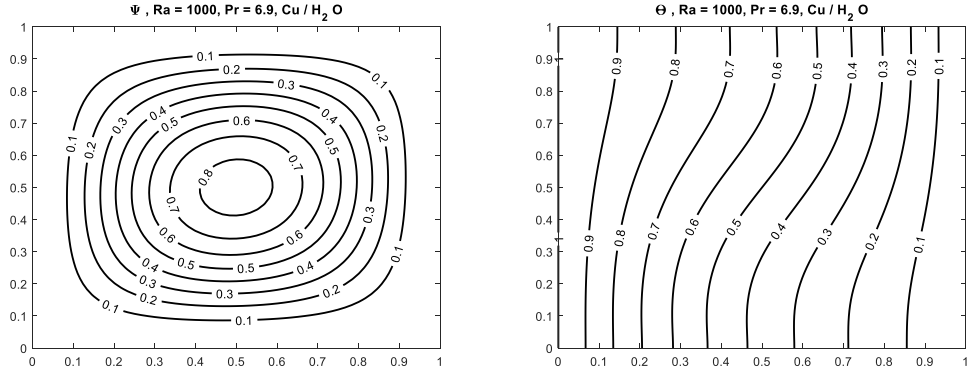
Nusselt sayısının incelenmesi için test durumunda $Ra = 10^3$, $Ra = 10^4$ ve $Ra = 10^5$ değerlerinde elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılmış ve yüksek uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen değerler ve karşılaştırılan literatür bilgileri Tablo 4.1'de ifade edilmiştir.

Tablo 4.1. Test durumunda Nusselt sayısının literatür ile karşılaştırılması (Mahmoodi et. al., 2014)

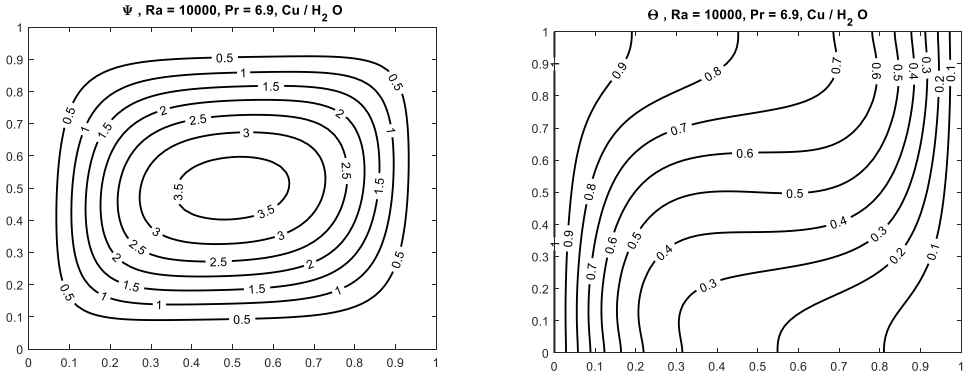
	$Ra = 10^3$	$Ra = 10^4$	$Ra = 10^5$
Test durumu	1.1155	2.2464	4.5641
De Vahl Davis	1.118	2.243	4.519
Mahmoodi et. al.	1.113	2.254	4.507
Barakos and Mitsoulis	1.114	2.245	4.510
Fusegi et. al.	1.105	2.302	4.646

Çukur bölgede su bazlı bakır, alüminyum ve bor nanoakışkan kullanılarak ısı problemi çözülmüş, akım ve sıcaklık grafikleri verilmiştir. Rayleigh sayısının etkisini gözlemleyebilmek için sonuçlar $Ra = 10^3$, $Ra = 10^4$ ve $Ra = 10^5$ değerleri için alınmıştır. Su bazlı akışkan kullanıldığından bu bölümde $Pr = 6.9$ alınmıştır.

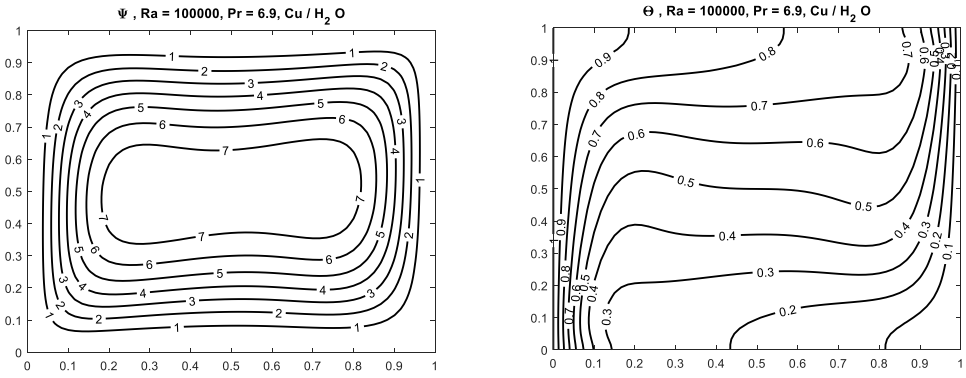
Su bazlı bakır nanoakışkan kullanılarak çukur bölgedeki ısı probleminin akım ve sıcaklık fonksiyonu grafikleri Şekil 4.128'de verilmiştir. Görüldüğü üzere bakır-su nanoakışkanı ısı etkisine newtonyen akışkandan daha az tepki vermiş ve akım değerinin artan Rayleigh sayısı ile artışı gözlenmiştir.



(a)



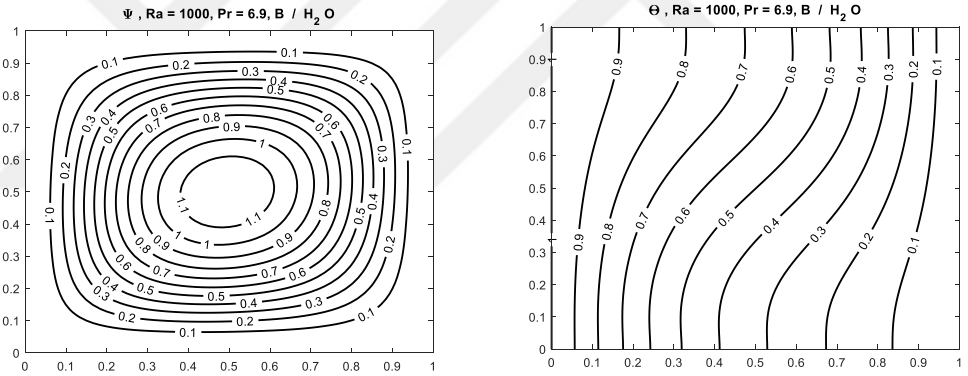
(b)



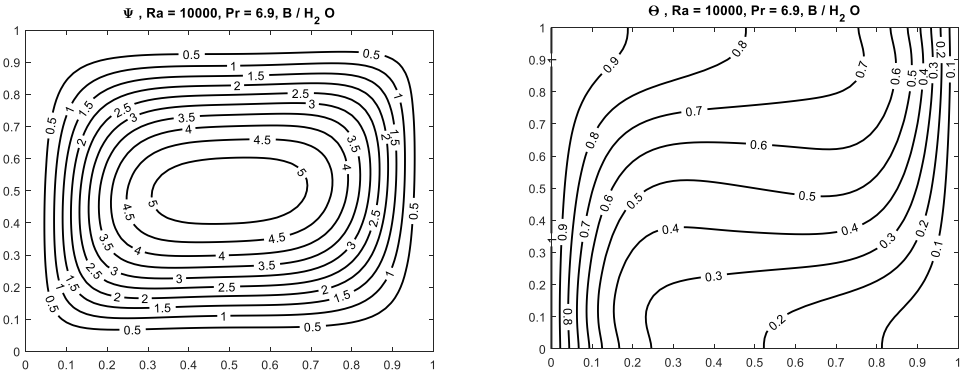
(c)

Şekil 4.128. Bakır-Su nanoakışkanı için akım ve sıcaklık fonksiyonu grafikleri a) $Ra = 10^3$, b) $Ra = 10^4$, c) $Ra = 10^5$

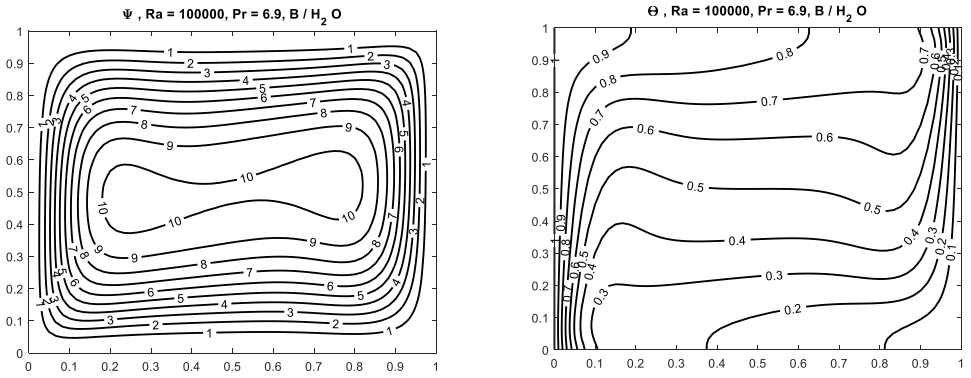
Su bazlı bor akışkan kullanıldığında akım ve sıcaklık grafikleri $Ra = 10^3$, $Ra = 10^4$ ve $Ra = 10^5$ için Şekil 4.129'da verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü üzere bor-su nanoakışkanına ait akım fonksiyonunun değeri diğer nanoakışkanlara göre artan Rayleigh sayısı ile çok daha hızlı artmıştır.



(a)



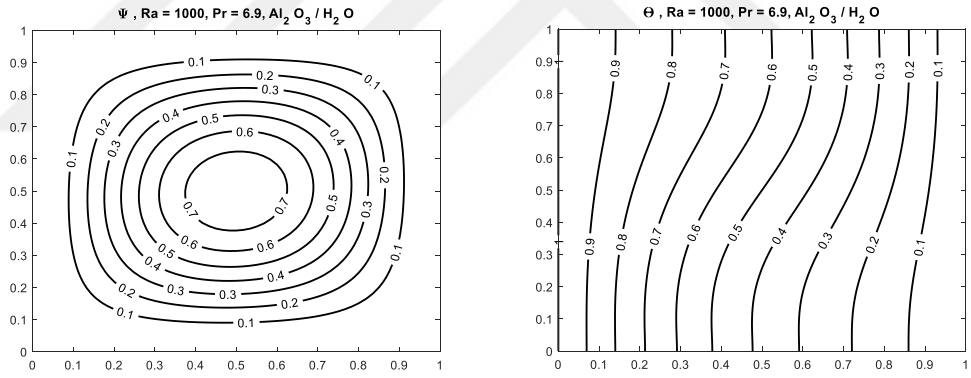
(b)



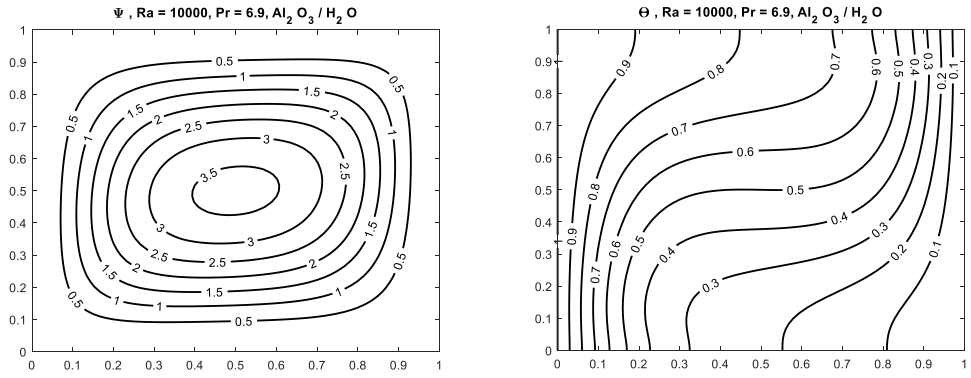
(c)

Şekil 4.129. Bor-Su nanoakışkanı için akım ve sıcaklık fonksiyonu grafikleri a) $Ra = 10^3$, b) $Ra = 10^4$, c) $Ra = 10^5$

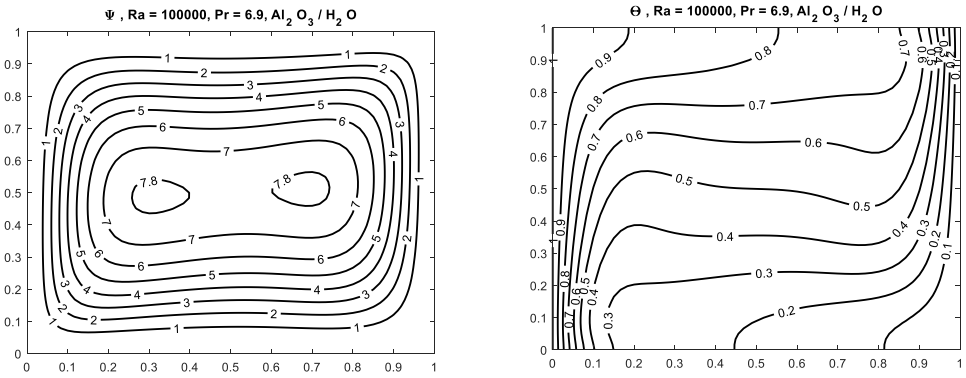
Su bazlı alüminyum oksit nanoakışkan kullanıldığında $Ra = 10^3$, $Ra = 10^4$ ve $Ra = 10^5$ için akım ve sıcaklık fonksiyon grafikleri Şekil 4.130'da verilmiştir. Artan Rayleigh sayısının etkisiyle akım fonksiyonunun değeri artmış olmasına rağmen diğer nanoakışkanlarla kıyaslandığında akım şiddetinin bakır-su nanoakışkanı ile paralel olduğu, bor-su nanoakışkanının daha düşük olduğu görülmektedir.



(a)



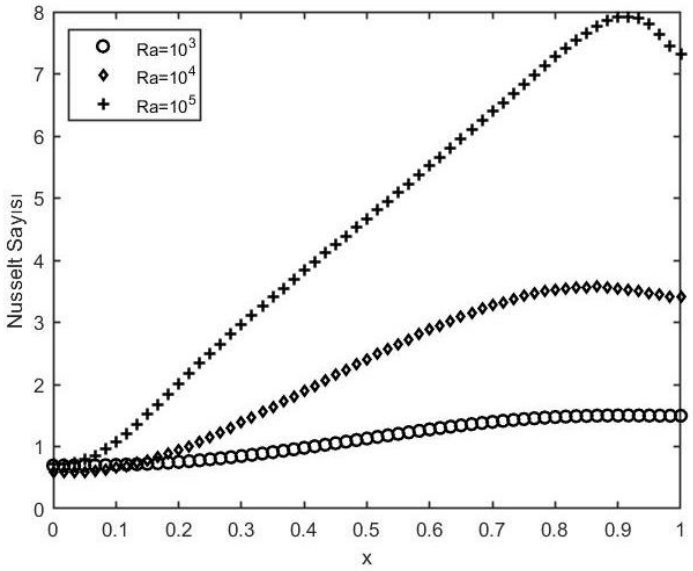
(b)



(c)

Şekil 4.130. Alüminyum oksit-Su nanoakışkanı için akım ve sıcaklık fonksiyonu grafikleri a) $Ra = 10^3$, b) $Ra = 10^4$, c) $Ra = 10^5$

Nusselt sayısının test durumunda elde edilen değerlerinin grafiği Şekil 4.131'de verilmiştir.

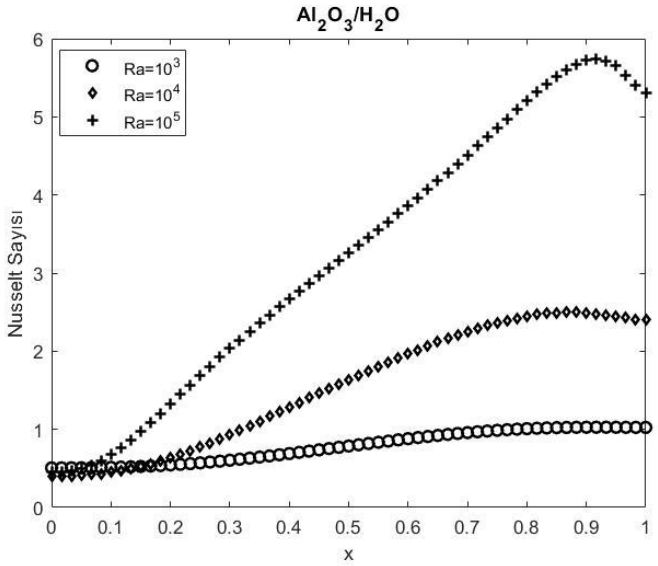


Şekil 4.131. $Ra = 10^3$, $Ra = 10^4$, $Ra = 10^5$ değerlerinde newtonyen akışkan için Nusselt sayısı değişimi

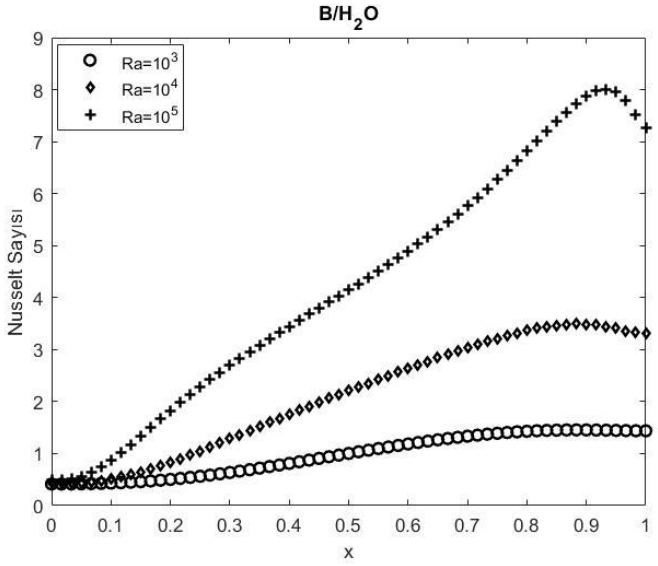
Farklı nanoakışkan türleri için Nusselt sayısın incelenmesi için elde edilen sayısal sonuçlar Tablo 4.2'de grafiksel sonuçlar ise Şekil 4.132, Şekil 4.133 ve Şekil 4.134'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Farklı türde nanoakışkanlar için Nusselt sayısının değişimi

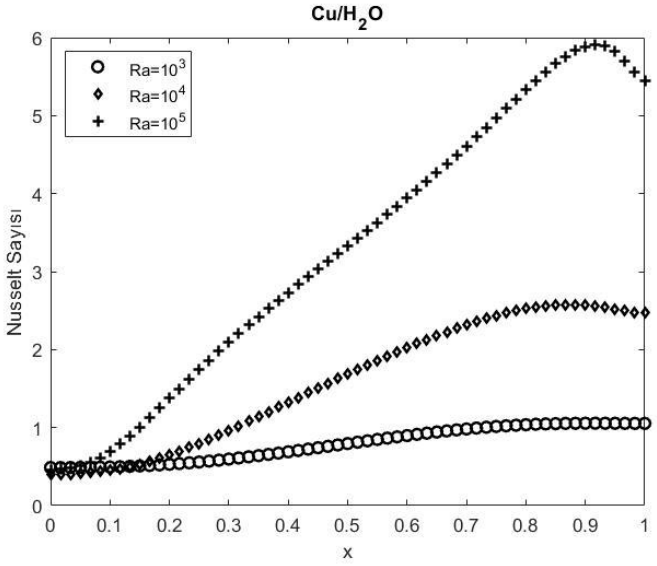
	$Ra = 10^3$	$Ra = 10^4$	$Ra = 10^5$
B / H_2O	0.9710	2.0953	4.2323
Cu / H_2O	0.7848	1.5933	3.2950
Al_2O_3 / H_2O	0.7777	1.5481	3.2147



Şekil 4.132. $Ra = 10^3$, $Ra = 10^4$, $Ra = 10^5$ değerlerinde Alüminyum oksit-Su nanoakışkan için Nusselt sayısı değişimi



Şekil 4.133. $Ra = 10^3$, $Ra = 10^4$, $Ra = 10^5$ değerlerinde Bor-Su nanoakışkan için Nusselt sayısı değişimi



Şekil 4.134. $Ra = 10^3$, $Ra = 10^4$, $Ra = 10^5$ değerlerinde Bakır-Su nanoakışkan için Nusselt sayısı değişimi

Grafiklerden görüldüğü üzere Nusselt sayısının karakteristik özellikleri farklı nanoakışkanlar kullanıldığında da değişmemektedir. Ancak bor-su nanoakışkanı çukur bölgede ısı etkisine daha farklı ve hızlı tepkiler vermiştir. Nusselt sayısı diğer nanoakışkanlara göre daha yüksektir. Alüminyum oksit-su ve bakır-su nanoakışkanlarının ısı etkisine verdiği tepki nicelik olarak ideal akışkan ile benzer olup nitelik olarak akış çizgilerinde ufak farklılıklar göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde nanoakışkanlar ve nanoakışkan problemleri birçok deneysel probleme konu olmuş, birçok çalışmada öncelikli olarak değerlendirilmiştir. Nanoakışkanlar oluşturulurken bakır, bor, alüminyum oksit, bakır oksit, titanyum oksit gibi katı parçacıklar göz önüne alınmış deneysel yollarla ve farklı geometrilerde incelenmişlerdir. Özellikle bor madeninin kuvvet ve ısı etkisi altındaki davranışı öncelikli araştırmalar listelerinde bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında temelde duvar hareketi ve ısı yayılım problemi olmak üzere iki farklı problem ele alınmıştır. Zamandan bağımsız nanoakışkan denklemleri sonlu fark metoduyla ayrıştırılmış ve SOR yöntemiyle Matlab programında kodlanarak çözülmüştür. Kuvvet etkisinin değerlendirilebilmesi amacıyla hareketli duvara sahip çukur bölge problemi ele alınmış %15 hacimsel karışım oranı ile alüminyum oksit, bakır ve bor kullanılarak oluşturulan su bazlı nanoakışkanların Reynolds sayısının farklı değerleri için sayısal olarak çözümlemesi yapılmıştır. Karesel ve farklı dikdörtgensel bölgeler şeklinde değişik çukur geometrileri ele alınarak nanoakışkan denklemlerine uyarlanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sadece üst duvarın, üst ve alt duvarın zıt ve aynı yönde hareketli olduğu karesel ve farklı dikdörtgensel bölgeler içerisine yerleştirilen büyük ve küçük engel durumlarında problemin sayısal çözümü elde edilmiş ve farklı nanoakışkanlar için sayısal çözümlemesi yapılmıştır. Bölge içerisine yerleştirilen farklı türdeki engellerin bölgedeki akımı nitelik ve niceliksel olarak değiştirdiği ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte gözlemlenen değişimlerin nanoakışkanların türüne göre de farklılaştığı sonucuna varılmıştır. Bu farklılaşmaya nanoakışkanların farklı yoğunluk değerlerine sahip olmasının neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrıca çukur bölgede ısı yayılım problemi farklı nanoakışkanlar için değerlendirilmiş akım ve sıcaklık grafikleri verilmiştir. Ele alınan koşullarda ısı etkisine en farklı tepkiyi veren nanoakışkanın bor olduğu ve yüksek Nusselt sayısına sahip olduğu görülmüştür.

Ayrıca tez çalışmasında geliştirilen Matlab programıyla sonlu fark metodunun zaman değişkeninden bağımsız nanoakışkan denklemleri için farklı geometriler ve farklı etkiler göz önüne alındığında da uygulanabilir olduğu, kararlı ve yakınsak sonuçlar verdiği elde edilmiştir. Termofiziksel özellikleri bilinen her türlü

nanoakışkan için sayısal çözümlemenin yapılabilmesi deneysel ortamda yapılabilecek olan birçok çalışmaya yön verebilecek niteliktedir.

İleri çalışma olarak çukur bölgede ısı yayılım problemi dikdörtgensel bölge ve içerisinde engel bulunduran farklı geometrilerde ele alınabilir, sayısal çözümü elde edilerek farklı nanoakışkanların bu durumdaki davranışları incelenebilir.

KAYNAKLAR

Abad, J. M. N., Alizadeh, R., Fattahi, A., Doranehgard, H., Alhajri, E., karimi, N. (2020). "Analysis of transport processes in a reacting flow of hybrid nanofluid around a bluff-body embedded in porous media using artificial neural network and particle swarm optimization", *Journal of Molecular Liquids,* 113492, 313.

Ahmed, S.E. (2013). "Numerical study of mhd natural convection in an ınclined rectangular cavity with ınternal heat generation filled with a porous medium under the ınfluence of joule heating", *Latin American Research,* 43, 67-71.

Akçaoğlu, E., Arıcı, M., Öğüt, E. B. (2012). "Bölmeli bir kare kapalı ortam içindeki nanoakışkanın doğal konveksiyonla ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(5), 359-366.

Arefmanesh, A. and Mahmoodi, M. (2011). "Effects of uncertainties of viscosity models for Al_2O_3 water nanofluid on mixed convection numerical simulations", *International Journal of Thermal Sciences,* 18. 1706-1719.

Barakos, G. and Mitsoulis, E. (1994). "Natural convection flow in a square cavity revisited: laminar and turbulent models with wall fraction", *Int. J. Numer. Methods Fluids* 18 (7), 695-719.

Batchelor, G. K. (1967). *An Introduction to Fluid Dynamics.* Cambridge: Cambridge University Press.

Batchelor, G. K. (1977). "The effect of brownian motion on the bulk stress in a suspension of spherical particles", *J. Fluidmech,* 83, 97-117.

Bayraktar, F. S., Köse, R., Şahin, M. (2021) "Bor bileşiklerinin solar tuzun termo-fiziksel özelliklerine etkileri", *Savunma Bilimleri Dergisi,* 39, 305-322.

Brinkman, H. C. (1952). "The viscosity of concentrated suspensions and solutions", *J. Chemistry Phy,* 20, 571-581.

Cacua, K., Buitrago-Sierra, R., Pabón, E.,Gallego Montoya, A., Hernandez, J. C. Z., Herrera, B. (2020). "Nanofluids stability effect on a thermosyphon thermal performance." *International Journal of Thermal* Sciences, 153, 106347.

Chien, W.L., Rising, H., Ottino, J.M. (1986). "Laminar Mixing and Chaotic Mixing in Several Cavity Flows", *J. Fluid Mech*., 170, 355-377.

Choi, S. U. S. and Eastman, J.A. (1995). "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles", *ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, November 12-17, San Fransisco, CA.

Corcione, M., (2011). "Empirical correlating equations for predicting the effective thermal conductivity and dynamic viscosity of nanofluids", *Energy Conversion and Management*, 52, 789-793.

Çengel, Y. A. ve Cimbala, J. M. (2015). *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları.* Tahsin Engin (çev. ed.), Ankara: Palme Yayıncılık.

Çiftçi, E. (2021). "Pool boiling heat transfer properties of water-based dilute fe+zno hybrid nanofluid under low heat flux condition: a numerical study"*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 84-94.

Çilingir Süngü, İ. (2011). *Kapalı Bölgede Duvar Hareketli Akış ve Doğal Taşınımla Isı Geçişinin Sayısal Çözümü.* Basılmamış Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Anabilim Dalı, 73, Samsun.

Dalvi, S. Karaliolios, E.C.J. , van der Meer, T. H., Shahi M. (2020). "Thermo-agnetic convection in a circular annulus filled with magnetocaloric nanofluid", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 104654, 116.

Das, S. K., Choi, S. U. S., Yu, W., Pradeep, T. (2008). *Nanofluids Science and Thechnology*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Publication.

Demir, H. (1996). *The stability properties of some rheological flows.* Unpublished Ph D. thesis, The University of Glamorgan, School of Accounting and Mathematics, Divison of Maths and Computing, 264, Wales (Galler), UK.

De Vahl Davis, G. (1983). "Natural convection of air in a square cavity: a benchmark numerical solution". *Int. J. for Numerical Methods in Fluids*, 3(3), 249-264.

Dirlik, A. (2018). *Nanoakışkanlarda Doğal Taşınımla Isı Transferinin Sayısal Olarak İncelenmesi*. Baslmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, 57, İstanbul.

Einstein, A. (1906). "A new determination of molecular dimensions, annalen der physik", 19(4), 289-306. Corrections, ibid., (1911). 34, 591-592.

Elçioğlu, E. B., Yazıcıoğlu, A. G., Kakaç, S. (2014). "Nanoakışkan viskozitesinin karşılaştırmalı değerlendirmesi". *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi.* 34 (1). 137-151.

Erdem, M., Varol, Y., Fırat, M. (2021). "*Soğuk Şartlar Altındaki Bir Boruda MHD Nanoakışkanın Zorlanmış Taşınım ile Isı Transferi*", 33(1), 303-313.

Ferdows, M. and Alzahrani, F. (2020). "Dual solutions of nanaofluid forced convective flow with heat transfer and porous media past a moving surface.", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 551, 124075.

Fornalik-Wajs, E., Roszko, A. , Donizak, J. (2020). "Nanofluid flow driven by thermal and magnetic forces - experimental and numerical studies", Energy 201, 117658, 201.

Fusegi, T., Hyun, J. M., Kuwahara, K., Farouk, (1991). B. "A numerical study of tree-dimensional natural convection in a differentially heated cubical enclosure", *International Journal of Heat Mass Transfer*, 34(6), 1543-1557.

Ganji, D. D. and Kachapi, S. H. H. (2015). *Application of Nonlinear Systems in Nanomechanics and Nanofluids Analytical Methods and Applications*. Oxford: William Andrew&Elsevier.

Giles, R. V., S. B., S. M. (1980). *Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik.* Kadri Örencik (çev.), Ankara: Güven Kitabevi Yayınları.

Haq, R., Soomro, F.A. and Hammouch, Z. (2017). "Heat Transfer Analysis of Cuo-Water Enclosed in a Partially Heated Rhombus With Heated Square Obstacle", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118, 773-784.

İlbilgi, L., (2010). *Nano Akışkanlı Bir Tüp İçerisinde Zorlanmış Konveksiyonla Isı Transferinin Sayısal Olarak İncelenmesi*, Basılmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 189, Ankara, 2010.

Jana, S.C., Metcalfe, G., Ottino, J.M. (1994). "Experimental and Computational Studies of Mixing in Complex Stokes Flows: the Vortex Mixing Flow and Multicellular Cavity Flows", *J. Fluid Mech.*, 269, 199-246.

Kahan, W. (1958). *Gauss-Seidel Methods of Solving Large Systems of Linear Equations*. Unpublished Ph.D. thesis, University of Toronto, Toronto, Canada.

Karabulut, K. (2015) *Isı Değiştiricilerde Isı Aktarımının Nanoakışkanlar Kullanılarak Arttırılması,* Basılmamış Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 126, Sivas.

Kılıç, M. ve Gökçek, M. (2021) "Yüksek ısı akılı hareketli bir plakadan olan ısı transferine nanoakışkanların ve çarpan jetlerin müşterek etkisinin sayısal incelenmesi", *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 365-371.

Korpyś, M., Dzido, G., Al-Rashed, M. H., Wojcik, J. (2020). "Experimental and numerical study on heat transfer intensification in turbulent flow of CuO-water nanofluids in horizontal coil", *Chemical Engineering&Processing: Process Intensification*, 107983, 153.

Krieger, I. M. and Dougherty, T. J. (1959). "A mechanism for non-newtonian flow in suspensions of rigid spheres", *Trans. of The Society of Rheology*, 3, 137-152.

Lappa, M. (2022). "Incompressible flows and the Boussinesq approximation: 50 years of CFD", *Comptes Rendus Mécanique*, 350, 10.5802/crmeca. 134.

Mahmoodi, M., Abbasian Arani, A. A., Mazrouei Sebdani, S., Nazari, S. Akbari, M. (2014). "Free convection of a nanofluid ın a square cavity with a heat source on the bottom wall and partially cooled from sides". *Thermal Science*, 18 (2). 283-300.

Masoumi, N., Sohrabi, N. and Behzadmehr, A. (2009). "A New Model for Calculating The Effective Viscosity of Nanofluids", *J. Phys. D: Appl. Phys*, 42, 055501, 1-6.

Mehryan, S.A.M., Ghalambaz, M. and Izadi, M. (2018) "Conjugate natural convection of nanofluids inside an enclosure filled by three layers of solid, porous medium and free nanofluid using Buongiorno's and local thermal non-equilibrium models", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135, 1047-1067.

Olabi, A.G., Elsaid, K., Sayed, E. T., Mahmoud, M. S., Wilberforce, T., Hassiba, J. R. Abdelkareem, M. A., (2021). "Application of nanofluids for enhanced waste heat recovery: A review", *Nano Energy*, 105871, 84.

Örs, H. (1999). *Akışkanlar Mekaniği*. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınları.

Reza-E Rabbi, Sk., Ahmmed, S.F., Arifuzzaman, S.M. , Sarkar, T., Khan, Md. S. (2020). "Computational modelling of multiphase fluid flow behaviour over a stretching sheet in the presence of nanoparticles", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23, 605-617.

Soğukoğlu, M. (1991). *Akışkanlar Mekaniği.* İstanbul: Yaylacık Matbaası.

Smith, G.D. (1978). *Numerical Solution of Partial Differential Equations Finite Difference Methods*. Oxford: Clarendon Press.

Şahin, B. (2020). "Bor nanoparçacıklarının doğal taşınımla ısı transferinde nanoakışkan olarak kullanımının incelenmesi ve karşılaştırılması", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(66), 701-714.

Tosaka, N. and Kakuda, K. (1994). "Development of BEM for Convective Viscous Flow Problems". *International J. of Solids and Structures*, 31, 1847-1859.

Umur, H. (2009). *Akışkanlar Mekaniği*. Bursa: Dora Yayınları.

Yükselen, M.A. (2008). HM504 Uygulamalı Sayısal Yöntemler Ders Notları, Bölüm 1- Lineer denklem takımlarının çözüm yöntemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi.

ÖZ GEÇMİŞ

Yücel BALTÜRK, Samsun Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Cumhuriyet Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Ortaöğretim Matematik Öğretmenliği bölümünden 2010 yılında mezun oldu. 2012 yılında OMÜ LEE Matematik Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi ve 2016 yılında bitirdi, 2017 yılında Matematik ABD doktora programına başladı. 2011 yılından itibaren MEB'de öğretmen olarak görev yapan Yücel BALTÜRK, orta derecede İngilizce bilmektedir (YDS:71,25). Temel ilgi alanları, bilişim ve teknoloji (06.01.2023).

İletişim Bilgileri

ORCID ID : *0000-0002-6030-3893*

Yayınlar:

1. Demir, H. and Baltürk, Y., (2017). "On Numerical Solution Of Fractional Order Boundary Value Problem With Shooting Method", *ITM web of conferences 13*, 01032 .

2. Baltürk,Y., Demir, H., Çilingir Süngü, İ. (2022), "On Numerical Solution of Two Point BVPs with Linear Shooting Method", *6th International Conference on Computational Mathematics and Engineering Sciences (CMES)* 20-22 May, Ordu, Turkey, Book of Abstracts, p. 287.

3. Baltürk,Y., Demir, H., Çilingir Süngü, İ. (2022), "On Numerical Solution of Lid Driven Problem in a Square Cavity Filled with Nanofluid", *6th International Conference on Computational Mathematics and Engineering Sciences* (CMES) 20-22 May, Ordu, Turkey, Book of Abstracts, p. 88.