KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

DELİKLİ RANKİNE OVOİDİ HİDRODİNAMİĞİNİN ANALİTİK İNCELENMESİ

Münir SÜNER

KOCAELİ 2013

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

DELİKLİ RANKİNE OVOİDİ HİDRODİNAMİĞİNİN ANALİTİK İNCELENMESİ

Münir SÜNER

Prof.Dr. Kadri Süleyman YİĞİT
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Prof.Dr. Şakir BAL
Jüri Üyesi, İTÜ. .....

Doç.Dr. Hasan KARABAY
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Doç.Dr. Cenk ÇELİK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Yrd.Doç.Dr. İlyas KANDEMİR
Jüri Üyesi, GYTE. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 25.10.2013

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, bir tünel içinde akışkan ortamında hareket eden içi oyuklu sıra dışı bir geometriye sahip denizaltı modelinin "Tünel denizaltı modeli" boyut analiz ve iki-boyutlu, üç-boyutlu potansiyel akım teorisi ile kaynak-kuyu, duble, genel akım yardımıyla katı cisim modeli oluşturularak hidrodinamik tasarımı yapılmıştır. Denizaltının etrafındaki hız, basınç, kuvvet analizleri yapılmıştır. Daha sonra yapılan analitik çözümler karşılaştırılmıştır.

Bana bu konuda çalışma imkânı verip benim farklı bir boyuta gitmemi sağlayan ve yetişmemde çok önemli katkıları olan değerli Hocam Sayın Prof. Dr. S. Aydın ŞALCI'ya, konunun devam ettirilmesinde destek olan değerli Hocam Prof. Dr. Kadri Süleyman YİĞİT'e, çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünden Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR'e bu konuda desteklerini daima yanımda hissettiğim aileme, MATLAB programında bana değerli vakitlerini ayırıp yardımcı olan Kocaeli Üniversitesinden Doç. Dr. Melih İNAL'a ve İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde araştırma görevlisi olarak görev yapan Şenol PİŞKİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekim-2013 Münir SÜNER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR....i
İÇİNDEKİLER....ii
ŞEKİLLER DİZİNİ....iv
TABLOLAR DİZİNİ....viii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR....ix
ÖZET....xi
ABSTRACT....xii
GİRİŞ....1
1. TÜNEL DENİZALTISI İÇİN BOYUT ANALİZİ PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ....13
1.1. Çözümleme Yöntemi....13
1.2. Tünel Denizaltısı için direnç yasası....13
1.2.1. Buckingham Yöntemi ile çözümleme....15
1.2.2. Rayleigh Yöntemi ile çözümleme....17
1.2.3. Benzerlik koşulları....18
2. MATEMATİK MODELLEME....20
2.1. Problemin Tanımı....20
2.1.2. Hipotezler....21
2.1.3. Süreklilik denklemi....21
2.1.4. Sınır koşulları....22
2.2. İki-boyutlu Potansiyel Akım Teorisi....22
2.2.1. Genel akım....23
2.2.2. Kaynak – kuyu....27
2.2.3. Duble....34
2.2.4. Genel akım ile duble....43
2.2.5. Rankine ovali....46
2.3. Delikli Rankine Ovali....55
2.3.1. Delikli Rankine ovalinin dış cidarı....55
2.3.2. Delikli Rankine ovali iç cidarı....58
2.3.4. Delikli Rankine ovalinin iç ve dış cidarının birleştirilmesi....61
2.3.5. Tünel....66
2.4. Tünel İçinde Delikli Rankine Ovali....68
3. FARKLI GEOMETRİLERDE VE EKSENDEN KAYMALARDA TÜNEL DUVARINA ETKİYEN BASINÇLAR....77
4. DELİKLİ RANKİNE OVOİDİNİN OLUŞTURULMASI (ÜÇ-BOYUTLU)....99
4.1. Üç Boyutlu Potansiyel Eksenel Simetrik Potansiyel Akım Teorisi....99
4.1.1. Genel bilgiler....99
4.1.2. Üç-boyutlu eksenel simetrik genel akım....99
4.1.2. Üç- boyutlu eksensel simetrik duble....101
4.1.3. Üç-boyutlu eksenel simetrik genel akım ile duble....102
4.1.4. Üç-boyutlu eksenel simetrik Rankine ovoidi....105
4.2. Delikli Rankine Ovoidi....106
4.2.1. Delikli Rankine ovoidinin ϕ potansiyel ve ψ akım fonksiyonu....106
4.2.2. Delikli Rankine Ovoidi üzerindeki hız dağılımı....108

4.3. Delikli Rankine Ovoidi' nin bir Tünel İçindeki Hareketi 120
4.3.1. Delikli Rankine ovoidi' nin bir tünel içindeki hareketinin hız dağılımı 124
4.3.2. Tünel içinde delikli Rankine ovoidi üzerindeki basınç dağılımı 134
4.3.3. Tünel içinde delikli Rankine ovoidi üzerindeki kuvvet dağılımı 137
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 139
KAYNAKLAR 143
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 148
ÖZGEÇMİŞ 149

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.2. Denizseviyesinden farklı bir yükseklikte bulunan göl tabanındaki tünelin genel görünüşü 13
Şekil 1.2. Problemin geometrik tanımı 14
Şekil 2.1. Rankine ovoidinin sınırsız akışkan içinde hareketi……..……..... 17
Şekil 2.2. Rankine ovoidinin sınırlı akışkan ortamında hareketi……..…… 21
Şekil 2.3. Yatayla belli bir açı altında genel akıma ait potansiyel çizgileri 24
Şekil 2.4. Yatayla belli bir açı altında genel akıma ait akım çizgileri 25
Şekil 2.5. Yatayla $50^{0'}$lik bir açı altında genel akıma ait hız dağılımı 26
Şekil 2.6. Yatayla belli bir açı altında genel akıma ait basınç dağılımı 26
Şekil 2.7. Yatayla belli bir açı altında genel akıma ait basınç dağılımı 27
Şekil 2.8. Kaynağın potansiyel çizgileri 28
Şekil 2.9. Bir kaynağın akım çizgileri 29
Şekil 2.10. Bir kaynak üzerindeki hız dağılımı 29
Şekil 2.11. Bir kaynak üzerindeki hız dağılımı 30
Şekil 2.12. Bir kaynakta mutlak basıncın x'e göre değişimi 30
Şekil 2.13. Bir kaynakta hızın u bileşeninin y' ye göre değişimi 31
Şekil 2.14. Bir kaynakta hız bileşeni v' nin x'e göre değişimi 31
Şekil 2.15. Bir kaynakta mutlak basınç dağılımı 32
Şekil 2.16. Bir kaynakta mutlak basıncın x'e göre değişimi 33
Şekil 2.17. Bir kaynakta mutlak basıncın y'e göre değişimi 33
Şekil 2.18. Merkezi (1,1) konumunda ve yatayla $50^{0'}$ yapan bir dubleye potansiyel çizgileri 34
Şekil 2.19. Merkezi A(1,1) konumda bulunan ve yatayla $130^{0'}$lik açı yapan bir dublenin akım çizgileri 35
Şekil 2.20. Merkezi (2,2) konumunda bulunan ve yatayla $130^{0'}$lik açı yapan bir dublenin hız dağılımı 36
Şekil 2.21. Bir dublede hız bileşeni u'nun y'ye göre değişimi 37
Şekil 2.22. Bir dublede hız bileşeni u'nun x'e göre değişimi 37
Şekil 2.23. Bir dublede hız bileşeni v'nin dağılımı 38
Şekil 2.24. Bir dublede hız bileşeni v'nin y'ye göre değişimi 38
Şekil 2.25. Bir dublede hız bileşeni v'nin x'e göre değişimi 39
Şekil 2.26. Bir dublede hız bileşeni v'nin y'ye göre değişimi 39
Şekil 2.27. Bir dublede dinamik basınç P'nin y'ye göre değişimi 40
Şekil 2.28. Bir dublede dinamik basınç P'nin x'e göre değişimi 40
Şekil 2.29. Bir dublede mutlak hız V'nin x e göre değişimi 41
Şekil 2.30. Bir dublede mutlak hız V'nin yüzeysel değişimi 41
Şekil 2.31. Bir dublede hız bileşeni u'nun dağılımı 42
Şekil 2.32. Merkezi (2,3) da bulunan ve yatayla $130^{0'}$lik açı yapan bir dublenin mutlak basınç dağılımı 42
Şekil 2.33. A(0,0) da bulunan bir duble ile genel akımın a) potansiyel çizgileri ve b) akım çizgileri 44
Şekil 2.34. Duble ile genel akımda akım çizgileri ve hız dağılımı 44
Şekil 2.35. Duble ile genelde akımın hız dağılımı 45
Şekil 2.36. Duble ile genel akımın mutlak hız dağılımı 45

Şekil 2.37. Duble ile genel akımda mutlak basınç 46
Şekil 2.38. Rankine ovali etrafındaki potansiyel çizgileri 47
Şekil 2.39. Rankine ovali etrafındaki akım çizgileri 48
Şekil 2.40. Rankine ovali etrafındaki potansiyel, akım çizgileri ile hız vektörü 48
Şekil 2.41. Rankine ovali etrafındaki akım 49
Şekil 2.42. Rankine ovalinin 0 akım çizgisi 50
Şekil 2.43. Kaynak ile kuyunun merkezleri A(-2,0), B(2,0) de bulunan Rankine ovalinin a) vektörel hız dağılımı b) kaynak çıkışı c) kuyu girişi 51
Şekil 2.44. Kaynak ile kuyunun merkezleri A(-2,0), B(2,0) de bulunan Rankine ovalinin mutlak hız V'nin x'e göre değişimi 52
Şekil 2.45. Kaynak ile kuyunun merkezleri (-2,0), B (2,0) da bulunan Rankine ovalinin etrafında basınç dağımı 53
Şekil 2.46. Kaynak ile kuyunun merkezleri (-2,0) B (2,0) da bulunan Rankine ovalinin etrafında mutlak hız V'nin dağılımı 53
Şekil 2.47. Kaynak ile kuyunun merkezleri (-2,0) B (2,0) da bulunan Rankine ovalinin etrafında v nin X'e göre değişimi 54
Şekil 2.48. Delikli Rankine ovalinin dış cidar potansiyel çizgileri 56
Şekil 2.49. Delikli Rankine ovalinin dış cidar akım çizgileri 57
Şekil 2.50. Delikli Rankine ovalinin iç cidar potansiyel çizgileri 59
Şekil 2.51. Delikli Rankine ovalinin iç cidar akım çizgiler 60
Şekil 2.52. Delikli Rankine ovalinin dış cidar potansiyel çizgileri 62
Şekil 2.53. Oyuklu Rankine ovalinin a) çok sıkı, b) aralıklı, c) orta sıkılıktaki dublelerle akım çizgilerinin oluşturulması 63
Şekil 2.54. Tünelin potansiyel çizgileri ve hız dağılımları 67
Şekil 2.55. Tünelin akım çizgileri ve hız dağılımları 68
Şekil 2.56. Delikli Rankine ovalinin civarında potansiyel çizgileri 69
Şekil 2.57. Tünel içinde delikli Rankine ovalinin civarında akım çizgileri 69
Şekil 2.58. Sınırlandırılmış iki cidar arasında delikli Rankine ovalinin akım çizgileri 70
Şekil 2.59. Sınırlandırılmış ortamda delikli Rankine ovali akım çizgileri radyasyonu 70
Şekil 2.60. Sınırlandırılmış iki cidar arasında delikli Rankine ovalinde mutlak hız V'nin x'e göre değişimi 71
Şekil 2.61. Sınırlandırılmış iki cidar arasında delikli Rankine ovalinde hız bileşeni u' nun ve v nin değişim haritası 71
Şekil 2.62. Sınırlandırılmış iki cidar arasında delikli Rankine ovalinde hız bileşeni v'nin ve bileşke hız V'nin değişim haritası 72
Şekil 2.63. Sınırlandırılmış iki cidar arasında delikli Rankine ovali cidar üzerindeki mutlak basınç dağılımının görünüşü 73
Şekil 2.64. Delikli Rankine ovalinin a) açık ortam, b) sınırlandırılmış akım alanı ve akım alanında hız basınç haritası 74
Şekil 2.65. Rankine ovalinin delik çapı ve kanal çapına bağlı olarak basınç değişimi 75
Şekil 2.66. Deliksiz ve delikli Rankine ovalinin çapı değişen bir kanalda duvara etkiyen basınçlar 76
Şekil 3.1. Farklı geometrilerde kullanılan model kesitleri a) kanalda Rankine ovali, b) içi delikli Rankine ovali, c) kanal içinde delikli Rankine ovali, d) alyuvar, e) içi delikli alyuvar 77

Şekil 3.2. Sınırlandırılmış akışkan ortamında Rankine ovali etrafındaki, a) yoğun, b) seyrek akım 79
Şekil 3.3. Sınırlandırılmış akışkan ortamında a) tünel merkezinde, b) merkezden kayık Rankine ovali, c) Rankine ovali etrafındaki akım (kayma yok) 80
Şekil 3.4. Sınırlandırılmış akışkan ortamında Rankine ovali etrafındaki akım (eksensel kayma 0.9 m) 81
Şekil 3.5. Sınırlandırılmış akışkan ortamında Rankine ovali etrafındaki akımda cidar üzerinde basınç değişimi (kayma yok) 81
Şekil 3.6. Sınırlandırılmış akışkanda kaymaya bağlı olarak basınç değişimi 82
Şekil 3.7. Sınırlandırılmış akışkan içinde a) kayma ekseni, b) kaymaya bağlı olarak duvar üstünde oluşturduğu basınç değişimi 83
Şekil 3.8. Sınırlandırılmış akışkan ortamında a) simetri ile tünel oluşturma, b) katı duvarın üstünde basınç dağılımı (y = - 80m ile y = + 80m). 84
Şekil 3.9. Sınırlandırılmış akışkan ortamında Rankine ovali için katı duvarın radyasyon ile oluşturulması (y = 100 m - y = 148 m) 85
Şekil 3.10. Sınırlandırılmış akışkan ortamında Rankine ovali için katı duvarın radyasyon ile oluşturulması değişimi(y = 140 m - y= 148 m) 85
Şekil 3.11. İçi kapalı alyuvarın a) açık, b) sınırlı akışkan ortamında akım çizgileri 86
Şekil 3.12. Açık ortamda alyuvar için tünel duvarı üzerindeki basınç değişimi 87
Şekil 3.13. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi açık alyuvar akım çizgileri 87
Şekil 3.14. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi açık alyuvar akım çizgileri (duvar etkisi) 88
Şekil 3.15. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi açık düz alyuvarın duvar üzerinde yarattığı basınç değişimi 88
Şekil 3.16. Sınırlandırılmış akışkan ortamında kapalı alyuvar akım çizgileri 89
Şekil 3.17. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi delikli alyuvar 89
Şekil 3.18. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi delikli alyuvar etrafında akım çizgileri ve hız sağılımı 90
Şekil 3.19. Açık akışkan ortamında içi delikli düz-alyuvar etrafında akım çizgileri 91
Şekil 3.20. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi açık Rankine ait basınç dağılımı 91
Şekil 3.21. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi delikli düz- alyuvar etrafında akım çizgileri 92
Şekil 3.22. Sınırlandırılmış akışkan ortamında alyuvarın kanal duvarı üzerinde oluşturduğu basınç değişim oranı 92
Şekil 3.23. Bir kanalda delikli alyuvar, delikli düz alyuvar, delikli Rankine ovoidinin duvar üzerinde basınç değişimi 93
Şekil 3.24. Değişik geometrilerde cidar üzerindeki basınç karşılaştırmalar 94
Şekil 3.25. Geometriye bağlı, duvar üzerindeki basınç değişimleri (Rankine ovali karşılaştırmalar) 95
Şekil 3.26. Delik çapı (d) etkisi 96
Şekil 3.27. Kanal çapı (D_o) etkisi 97
Şekil 3.28. İç delik cidarında duble debisinin etkisi 98
Şekil 4.1. Üç-boyutlu eksensel simetrik akışın akım çizgileri. 100
Şekil 4.2. Üç-boyutlu eksensel simetrik akışın a) akım yüzeyi, b) akım çizgileri, c) akım yüzeyleri 100

Şekil 4.3. Üç-boyutlu eksensel simetrik akışta a) potansiyel yüzey, b) yüzeyleri 101
Şekil 4.4. Dublenin a) akım çizgileri, b) yz düzlemi, c) xy düzlemi 101
Şekil 4.5. Duble ile genel akımın, a) akım çizgileri, b) yz izdüşümü, c) xy iz düşümü 103
Şekil 4.6. Duble ve genel akımın oluşturulması a) dubleler, b) genel akım ile duble 104
Şekil 4.7. Delikli Rankine ovoidinin a) önden akım yüzeyi, b) karşıdan akım yüzeyi a) karşıdan akım yüzeyleri b) yandan akım yüzeyleri 107
Şekil 4.8. Hızın u bileşenin a) önden, b)yandan, c) çaprazdan, d) çapraz aşağı görünüşü 110
Şekil 4.9. Hızın v bileşenin a) önden, b)yandan, c) çaprazdan, d) çapraz aşağı e) karesinin önden, f) yüzey yoğunlunun dağılımı 113
Şekil 4.10. Rankine ovoidi üzerindeki basınç dağılımının, a) önden, b)yandan c) çaprazdan, d) çapraz aşağı, e) karesinin önden, f) yüzey yoğunlunun dağılımı, g) bir kesit haldeki durumu. 119
Şekil 4.11. Bir tünel delikli Rankine ovoidinin potansiyel yüzeyi ve çizgilerinin; a) öncapraz, b) tam önden, c) yandan, d) yan çapraz, e) çaprazdan görünüşü 121
Şekil 4.12. Bir tünel içinde delikli Rankine ovoidinin akım yüzeyinin ve çizgilerinin, a) önden görünüşü, b) yandan görünüşü, c) karşıdan görünüşü 122
Şekil 4.13. Bir tünel içinde delikli Rankine ovoidinin akım yüzey ve çizgilerinin a) önden görünüşü, b) yandan görünüşü, c) karşıdan görünüşü, d) sıfır yüzeyi 124
Şekil 4.14. Tünel içinde Rankine ovoidi üzerinde hızın u bileşeni dağılımının, a) xy düzleminden, b) üç-boyutlu, c) d) yz düzleminden değişimi 126
Şekil 4.15. Tünel içinde Rankine ovoidi üzerinde hızın *v* bileşeninin dağılımının a) önden b)yandan c) çaprazdan d) çapraz aşağı, e) karesinin önden, f) Yüzey yoğunlunun dağılımı, g) bir kesit halindeki durumu h) yz düzleminde karesinin dağılımı 129
Şekil 4.16. Tünel içinde Rankine ovoidi üzerinde bileşke hızın dağılımının, a) önden b)yandan, c) çaprazdan, d) çapraz aşağı, e) karesinin önden, f) yüzey yoğunlunun dağılımı, g) bir kesit halindeki durumu, h) yz düzleminde karesi 133
Şekil 4.17. Tünel içinde Rankine ovoidi üzerindeki basınç dağılımının a) sıfır (0) basınç yüzeyi, b) sıfır (0) yz yüzeyi, c) yz yüzüeyi, d) xz basınç dağılımı, e) hafif çaprazdan basınç dağılımı 137

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Problemi Yöneten Fiziksel Parametreler…… 14

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

a	: Kaynak ve kuyunun eksenden uzaklığı, (m)
b	: Kanal genişliği, (m)
C	: Dublelerinin x ekseninden olan uzaklığı, (m)
C_R	: Direnç sayısı, (-)
d	: Denizaltı oyuk çapı, (m)
D	: Denizaltı gövde dış çapı, (m)
D_0	: Tünel çapı, (m)
Eu.	: Euler sayısı, (-)
F(z)	: Kompleks potansiyel fonksiyonu, (m)
g	: Yerçekimi ivmesi, (m/s^2)
i	: Katı yüzeyin seri toplamında kullanılan aralık sayısı, (-)
j	: Katı yüzeyin rijit kanalı oluşturulurken kullanılan kanal sayısı, (-)
h	: Tünelin baraj su seviyesinden derinliği, (m)
H	: Barajın su seviyesinin deniz seviyesinden yüksekliği, (m)
k	: Buckingham analizinde kullanılan boyutsuz bir katsayı, (-)
L	: Denizaltı karakteristik boyu (tam boy), (m)
m	: Üç boyutlu duble şiddeti, (m^3/s)
n	: Cidar üzerinde cidarın iki uç noktası arasındaki kısım sayısı, (-)
$\vec{n}$	: Yüzey normali birim vektörü, (-)
q	: İki boyutlu duble şiddeti, (m^2/s)
Q	: Kaynak ve kuyunun debi şiddeti, (m^3/s)
P	: Basınç, (N/m^2)
P_{atm}	: Deniz seviyesindeki basınç atmosfer basıncı, (N/m^2)
P_0	: Ortam basıncı, (N/m^2)
P_∞	: Tünel içindeki gerçek basınç, (N/m^2)
R	: Denizaltı toplam direnci, (N/m^2)
Re.	: Reynolds sayısı, (-)
u	: Hızın x ekseni üzerindeki bileşeni, (m/s)
$\bar{U}_\infty$	: Tünel içinde akışkan hızı, (m/s)
$\vec{V}$	: Denizaltı ilerleme hızı, (m/s)
y(i)	: y-ekseni üzerindeki dublenin konumu, (m)
α	: Geometrik benzerlik oranı, (-)
θ	: x-ekseni ile olan açı, (^{0})
φ	: Fonksiyon belirteci, (-)
ϕ	: Potansiyel fonksiyonu (hız potansiyeli), (m)
Ψ	: Akım fonksiyonu, (m)
μ	: Akışkanın dinamik (mutlak) viskozitesi, (Pas)

Π	: Buckingham teorisinde kullanılan boyutsuz bir sayı, (-)
ρ	: Akışkanın yoğunluğu, (kg/m^3)
ρ'	: Havanın yoğunluğu, (kg/m^3)
σ	: Normal yönde yüzeysel alanı, (m^2)
w	: Hızın z ekseni üzerindeki bileşeni, (m/s)
J_0	: Sıfırıncı mertebeden Bessel fonksiyonu(-)
J_1	: Birinci mertebeden Bessel fonksiyonu (-)
υ	: Hızın y ekseni üzerindeki bileşeni, (m/s)
ψ	: Akım fonksiyonu, (m^3/s)
	: Akışkanın kinematik viskozitesi, (m^2/s)
ϖ	: y-z düzlemi üzerindeki değişken yarıçap, (m)
ϖ (i)	: y-z düzlemi üzerindeki i sayıdaki dublenin konum yarıçapı, (m)

Alt İndisler

D_0C	: Tünel cidarı
DC	: Delikli Rankine ovali dış cidarı
dC	: Delikli Rankine ovali iç cidarı
j	: Benzerlik sayısı
m	: Model
p	: Prototip
ROC	: Rankine Ovoidi cidarı

Kısaltmalar

M-L-T	: Kütle-Uzunluk-Zaman
AUV	: Autonomous Underwater Vehicle (Otonom Sualtı Aracı)

DELİKLİ RANKİNE OVOİDİ HİDRODİNAMİĞİNİN ANALİTİK İNCELENMESİ

ÖZET

İnsanoğlunun olmazsa olmazlarının başında su ve enerji gelmektedir. Bunların taşınması boru ve tünel hatları ile mümkündür. Su tünelleri, su boruları, kanalizasyon hatları, petrol ve doğal gaz boru hatları vb. içinde hareketli akışkan bulunan sistemlerde, bakım-tutum-kontrol çalışmalarını yapabilecek ve böylece sistemin ömrünü uzatabilecek bir tünel denizaltısı tasarımının teknolojik açıdan büyük yararlar sağlayacağı düşünülmektedir. Böcek denizaltılar insanların içine giremeyeceği boru şebekelerinde oluşabilecek problemlerin çözümünde de kullanılabilir. Bu çalışmada; bir tünel içinde sabit veya hareketli akışkan ortamında, akışkan ile ayni veya ters yönde hareketli, oyuklu Rankine ovoidinin şeklinde özel bir forma sahip denizaltının hidrodinamik dizaynı incelenmektedir. Bu çalışmada sıra dışı geometriye sahip tünel denizaltısı modeli hidrodinamik dizaynı, boyut analizi ve potansiyel akım teorisiyle analitik olarak incelenmiştir. Önce boyut analizi ile incelenmiş ve olayı yöneten bağımsız-boyutsuz parametrelerin bulunmasına çalışılmıştır. Tünel denizaltısına etki eden direnç kuvvetinin bağlı olduğu yasa bulunarak, problem için benzerlik koşulları elde edilmiştir. Tünel denizaltısının matematiksel modeli; iki ve üç-boyutlu potansiyel akım teorisi kullanılarak yapılmış ve denizaltının etrafındaki hız, basınç ile kuvvet alanları analitik olarak elde edilmiştir. Rankine ovoidinin oyuklu hali için genel akım, kaynak-kuyu dublelerden yararlanılarak akım fonksiyonu ve buna bağlı olarak basınç, hız ve kuvvet alanları elde edilmiştir. Daha sonra sayısal çözümlere geçilerek elde edilen analitik çözümler matlab programı kullanılarak katı cisim modeli gösterilmiştir. Ayrıca denizaltının etrafındaki hız, basınç, kuvvet dağılımları grafiksel olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrodinamik Dizayn, Oyuklu Rankine Ovoidi, Potansiyel Akım Teorisi ile Katı Model, Sıradışı Taşıtlar, Tünel Denizaltısı.

ANALYTICAL ANALYSYS OF HYDRODYNAMICS OF PERFORATED RANKINE OVOID

ABSTRACT

Water and energy come first in the list of indispensables. They are possible to carry via pipes and tunnel lines. It is thought that technologically, in the moveable fluid systems such as water tunnels, water pipes, sewage line, oil and natural gas pipe lines, a tunnel submarine will be of great help to be able to carry out maintenance-repair-control work, and thus to enhance its durability longer in lines that are inaccessible to humans.

In this study, in a tunnel in a fixed or fluids environment, the design of submarines of unique perforated Rankine ovoid form that can move in the fluid or opposite direction was examined. In this study, the hydrodynamics design of tunnel submarine, its dimension analysis and potential current theory were examined analytically. Firstly, it was examined in terms of dimension. Analysis and independent non-dimensional parameters were tried to be found, finding the law that the resistant affecting the tunnel submarine depends on. Mathematical model of the tunnel submarine has been made analytically by using two and three dimensional current theory and the speed, power and power areas surrounding the submarine. General current for the hollowed form of the Rankin ovoid, spring water doubles were used to obtain current function and its independence pressure, speed and power areas. After that, numerical solutions were tried, and the results were examined by using the matlab program to show the solid material form. Furthermore, pressure, speed and power ranges around submarine were obtained graphically.

Keywords: Hydrodynamics Design, Perforated Rankine Ovoid, Solid Model with Potential Theory, Extreme Vehicle, Tunnel Submarine.

GİRİŞ

Binlerce yıldır doğaya hükmetmeye çalışan insanoğlu, doğadan yararlanma konusunda inanılmaz bir hızla yol almaktadır. Yararlandığı ve tanımaya çalıştığı alanların başında okyanuslar, denizler, göller ve nehirler gibi su kaynakları gelmektedir. Sudan, deniz ve deniz ürünlerinden yararlanmak için, önce basit kayıklar yapılmış, ardından her türlü suüstü ve sualtı gemileri geliştirilmiş, deniz derinliklerinden yararlanma yoluna gidilmiştir. İnsanoğlu bu sistemleri geliştirirken, önceleri gözlemlerden yararlanmış, daha sonra bilimin ilerlemesiyle bilimsel çözüm yöntemlerini kullanmıştır. İnsan refahını arttırmak ve insanın daha fazla sudan yararlanmasını sağlamak amacıyla günden güne daha karmaşık sistemler icat edilmiş ve çözülemeyen problemlere çözüm üretme yoluna gidilmiştir.

Dünyamızın 4/5 nin suyla kaplı olmasından kaynaklanan problemlerin önemi de büyüktür. Su ihtiyacını karşılamak amacıyla, su kanalları ve tünelleri kullanılmaktadır. Atık su taşınımı ise, kanalizasyon sistemleri ile yapılmaktadır. Su tünelleri, su boruları, kanalizasyon hatları, petrol ve doğal gaz boru hatları vb. içinde hareketli akışkan bulunan sistemlerde, bakım-tutum-kontrol çalışmalarını yapabilecek ve böylece sistemin ömrünü uzatabilecek sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, oyuklu Rankine ovoidi biçiminde bir tünel denizaltısı dizaynının teknolojik açıdan büyük yararlar sağlayacağı düşünülmektedir.

Yapılan literatür araştırmasında, sınırlı sayıda yayın dikkat çekmektedir. Bu tez içinde konuya en yakın çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada (Reynold ve diğerleri, 1973) basınca dayanıklı bir denizaltı gövdesinin ağırlığı yapı özellikleri, titreşim gerilme, kararlılık analizi ve yapısal yorulma gerçekliğinin analizi bilgisayar programı ile yapılmıştır. Bununla ilgili giriş verileri ve grafiksel gösterimler verilerle birlikte, fizibilite çalışmaları son bilgisayarda hesaplanan bilgisayar devresi aşamaları bilgisayar programları ve tasarım prosedürlerinin hızlandırılması tartışılmıştır. Sonuçta altı çizilen, gelişen bilgisayar programlarının çalışma orijininde kullanılmaları, gerilme, titreşim ve

kararlılık analizlerinde ve yapılarında önceki aşamalarda yorulma ve gerçeklik analizleri açıklanmaktadır.

Sharp ve Sullivan (1976) yaptıkları bir araştırmada; derin araştırma gemisi Alvin ve yüzey gemisi için uygun kullanımı olan bir salınım ölçme aleti geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem bağıl olarak ağır salınıma sahip ve viskoz sönümleme sisteminde istenmeyen hareketleri azaltmak için yapılmıştır.

Yapılan (Ohring ve Telste, 1980) bir çalışmada, 2-3 boyutlu batmış bir cisimde normal gradyant kullanılarak hız potansiyelini çözmek amacı ile doğrudan matris ve yerleştirme tekniği kullanılmıştır. Çalışmada cisimler, geniş ve dikdörtgen kutu bölgelerinde kartezyen ızgaralarda yerleştirilmiştir. Çözümler potansiyel akım problemlerine tasarlanan çözümler için ihtiyaç duyulan ızgaraların parçalarından elde edilmiştir. Bir kanaldaki blokaj etkisi düşünülmüştür.

Blair ve diğerleri (1982) biyoloji kirliliğin kaldırılması ve diğer amaçlar için yüzey üzerinde dönebilen balık kafes sistemli denizaltı yeni çeşidinin konstrüksiyonu ve yapım aşamalarını açıklamışlardır. Çalışmada dikdörtgen yapılar prefabrik parçalardan hazır biçimde elde edilebilen bir rijit çerçeve üzerine temel oturtulmuştur. Operasyonun batma ve yüzme modu seçilebilmektedir.

Tsuji (1982) yaptığı bir çalışmada, iki küre arasındaki etkileşim deneyi, özellikle yoğun faz içinde iki fazlı akımla ilgili temel bilgileri elde etmek için yapılmıştır. Bu deneyde iki- üç küre bir tünel içinde boyuna olacak şekilde, Re =1000 sayılarında yerleştirilmiştir. Yoğun süt kullanılarak gözlem yapılmış etkileşime neden olan girdaplar canlandırılmıştır.

Durgun (1983) yaptığı doktora tez çalışmasında, serbest yüzeyli, dikdörtgen kesitli bir kanalın yan duvarları ve dibi direnç üzerindeki etkileri, diğer bir değişle blokaj etkisini incelemiş ve gemi formu için elipsoid, oval, Rankine ovoidi gibi geometrileri deneysel ve teorik olarak ΔV hız artışlarının hesaplanması düşünülmüştür. Hız artışı dikdörtgen kesitli kanal için narin cisim yaklaşımına göre formüle edilmiştir. Kanal için teorik ve deneysel olarak bulunan direnç eğrileri karşılaştırılmıştır. Değişik boyutlu kanallarda, değişik hızlar için bulunan hız artışları narin cisim yaklaşımına göre formüle edilmiştir. Bulunan hız artışları eğri

uydurma kullanılarak hız artışının blokaj oranı derinlik Froude sayısı ve hıza bağlı bir denklemi elde edilmiştir. Teorik ve deneysel sonuçlar grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Yapılan bir çalışmada (Zubarev, 1984) sıkıştırılamaz bir akışkanda sabit hızla hareket eden Rankine Ovalinin üzerinde sürekli artan laminar sınır tabakanın tasarımı sayısal olarak ortaya konulmuştur. Farklı hızlarda hareket eden cidar için silindir yüzeyi üzerinde sürtünme gerilmesinin dağılımı bulunmuştur. İhtiyaç duyulan basınç ve sürtünme direnci üzerinden sayısal entegral çalışılmıştır. Ayrılma olması durumunda, sürüklenme bölgesinde duvarda basınç ve sürtünme stresinin sabit ve sınır tabaka denklemlerinin tek noktasal çözümlere karşılık gelen değerlerle eşit olduğu varsayımıyla hesaplanmıştır.

Yang ve diğerleri (1990) tarafından yapılan çalışmada yüksek Reynolds sayılarında asimetrik gövde etrafındaki akım alanlarının düzenli hali için hesaplamalar eğrisel koordinatlarda üç boyutlu sıkıştırılamaz bir akışkanın Navier Stokes denkleminin çözümünü sağlayan ikinci derece implicit çözünürlüğe sahip kullanılarak bir deniz altındaki üç boyutlu akımın sayısal simülasyonu yapılmıştır.

Yapılan bir çalışmada (Mraccek ve arkadaşları, 1992) Alternatif yaklaşım ile kapalı cisimlerin üzerinde sıkıştırılamaz, potansiyel akım tahmini yapılmıştır. Yöntemde doğrusal bir şekilde değişen yüzey hızı ile üçgen paneller kullanılır. Kısıtlanacak kontrol noktalarında girdap diverjansları cisimdeki çıkış akımını minimize ederek üçgenin hızı elde edilmiştir. Kullanılan yöntem ile elde edilen analitik ve deneysel sonuçların paralellik sağladığı görülmüştür.

Szymczak ve arkadaşları (1993) tarafından bir denizaltı gövdesinin ağırlığı yapı özellikleri, titreşim, gerilme ve kararlılık analizi ve yapısal yorulma gerçekliği analizi bilgisayar analizi bilgisayar programı ile yapılmıştır.

Sahin ve Hyman (1993) yaptıkları çalışma ile serbest su yüzeyi altında belli derinlikte hareket eden Rankine ovoidinin etrafındaki akım potansiyel akım teorisi ile hesaplanılmıştır. Orijinde yerleştirilen bir kaynakla üretilen hız alanı yüksek etki kullanımı ve quardrature uyumu ile hesaplanılmıştır. bu çözüm cisim ekseni

boyunca eşit şiddette kayna ve kuyu yerleştirilerek bir Rankine ovoidi için kullanılmış ve literatür ile paralellik sağlandığı görülmüştür.

Huggins ve Packwood (1994) tarafından uyarlanabilir bir su altı aracının hacim araştırması yapılmıştır. Uygun boyutlar, Atlantik okyanusuna ait derine dalan, otonom, düşük sürükleme katsayılı bir denizaltı için bulunmuştur. Elde edilen sonuçlarda düşük güç tüketimi sağlanmıştır.

Virgin ve Erickson (1994) tarafından yapılan çalışma, yüzen cisimlerin dinamik davranışlarını daha kesin ve doğru olarak ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Buradaki yaklaşımdan bir kararlılık sınırı üzerine kurulan tipik yarı denizaltının emniyet kuvveti, gemi salınımı kullanılarak bir yaklaşım kriteri açıklanmıştır. Çalışmada yeni yaklaşımın kullanım ve kesinliği, yaklaşım kriteri ile sayısal simülasyonu kararlılık kaybının karşılaştırılması ile elde edilmiştir.

Sahin ve arkadaşları (1994) tarafından yayınlanan makalede, üç boyutlu akım teorisi ile belli derinlikte batmış a-simetrik bir cisim etrafındaki üç boyutlu akım akım, Green fonksiyonu üzerinde oluşturulan analitik ve sayısal bir metod ile hesaplanmıştır. Üç-boyutlu akım için sonuçlar farklı Freud sayılarıyla birçok farklı Rankine ovoidinin basınç işaretlerinin değerlendirilmesi için uygulanılmıştır. Burada kullanılan cisim Rankine ovoidi şeklinde düşünülerek süper pozisyon teorisi kullanılmış ve kaynak kuyu genel akım ile elde edilmiştir. Çalışmada quadrit kullanılarak bu entegraller değerlendirilmiştir. Akım çizgileri sonlu farklar algoritması ile hesaplanmıştır. Bilinen akışkan geometrisinde şekil bozulması, incelik ve lineerlik yaklaşımları isabetsiz olduğunda bu algoritmanın önemli olduğu tespit edilmiştir.

Modern bir deniz altının kontrolü, statik kararlılığı, hidrodinamik performans kontrol sistemi gibi hayati önem taşıyan çok yönlü dinamik problemlerin bileşimini veren bir çalışma (Papoulias ve diğerleri tarafından, 1995). Bu çalışmada yüksek ve orta hızlarda karalılık kaybı, lineer olmaya Hopf Çatallaşma Analizi kullanılarak hesaplanılmıştır.

Bir başka çalışmada (Narendra, Fengshi, 1995), genel ve bilgisayar destekli bir yöntem kullanılarak Rankine ve benzeri geometriler üzerinde durulmuştur. Yöntem

iki-boyutlu sıkıştırılamaz, vizkoz olmayan bir akışkanın bir daire ve Rankine ovali etrafındaki akımı için çalışmada gösterilmiştir. Rankine ovali etrafında basınç, hız üzerinde durularak analitik yöntemle sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Carl-Erik (1997) yaptığı bir çalışmada potansiyel akım panel yöntemlerini kullanarak, kaldırma ile serbest yüzey akımlarının hesabını yapmıştır. Buna göre; İki lineer olmayan Rankine kaynağı, panel yöntemleri aynı bilgisayar ortamında geliştirilmiş ve uygulanılmıştır. Lineer olmayan ve lineer hesaplama karşılaştırılmıştır. Ayrıca gemi gövdelerinin otomatik şekil optimizasyonları için bir metot geliştirilmiştir.

Yapılan bir çalışmada, (Liang ve diğerleri, 1998), derine dalan deniz araçlarının basınca dayanımları ele alınmıştır. Derin dalgıç denizaltıların kullanıldığı birçok su aktivitelerinden, marina araştırması derin okyanus madenciliği, daha çok iç alan kullanmak için, derin dalan denizaltı basınç hali normalden yüksek dayanıklı çelik ve basit geometrik konfigürasyonu ile inşa edilir. Örneğin küresel eliptik ve silindirik şekiller. Çalışmada, malzeme özellikleri ağırlık/hacim oranı ve yüzey oranı basınç gövdelerinin dalış derinliğini etkilediği görülmüştür.

(Zungber ve Lee, 2000) sıkıştırılamaz bir akışkanda batmış durumda rijit bir cismin sınırlandırılmış üç-boyutlu akışkan bölgesinde rastgele hareketi incelenmiştir. Bu rijit cisim hareketine, rijit bir cisim ve akışkan üzerinde uygulanmış kuvvetlerin etkisi ile sebep olunmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda bu problemde zayıf çözümlerin global çıkışı kanıtlanmıştır.

Yapılan bir çalışmada, (Madsen ve diğerleri, 2000) bir denizaltı aracının dizaynı ve sistemin yönetim görevinin nasıl olacağı açıklanmıştır. Çalışma ayrıca fonksiyonel modelin oluşturulması işleminin nasıl yapıldığını içermektedir. Çalışma sonucunda mini denizaltı modeli, amaç sonuç şeceresi ile temel plan ve mantık diyagramı üzerine kurulmuştur.

Chen ve arkadaşları (2000) tarafından yapılan çalışmada, sınır elementi ile RANSFS metodu kullanılarak serbest yüzeyde bir gemi etrafında viskoz akımı çözmek için bir algoritma kullanılmıştır. Kullandıkları algoritma ile hesaplanmış sürüklenme

katsayıları ile deneysel katsayıların arasındaki farkın % 2 nin altında olduğunu göstermişlerdir.

Wu ve Chwang (2000) yaptıkları çalışmada, iki parçalı sualtı yedek çekme aracının üç-boyutlu hidrodinamik modeli çalışılmıştır. Burada kabloların ana denklemi Alow ve Schechter yöntemi üzerine kurulmuştur. İki bölümlü su çekme aracının sınır koşulları elde edilmiştir. Altı serbestlik dereceli olan hareket denklemi denizaltı benzeşimi için hidrodinamik performansı önceden bilinen bir yedek çekilmiş bir sualtı aracı geliştirilmiştir.

Kouh ve Suen (2001) üç -boyutlu potansiyel akım teorisi temeli üzerine oluşturulmuş ve tasarlanmış bir yüksek mertebeden panel yöntemi esas alınarak, çift dağılım ve Guasian alan hesabını potansiyel akım problemi için uygun hale getirmişlerdir. Makalede yöntemin potansiyel akımın optimal hesaplamasına uygun olduğunu göstermiştir.

Wu ve Chwang (2001) yaptıkları çalışmada, iki parçalı kolay manevra yapabilir, yedekte çekilen aktif yatay ve düşey kontrol yüzeyleri bulunan, birincil kabloya takılmış hidrodinamik su altı sitemi önermiş ve su altı aracının kütleleri 3- boyutlu potansiyel akım teorisinden bulmuşlardır. Basit ve bağıl kontrol ölçümleri ile iki parçalı su altı aracı manevra yapabileceğini, çektirilen aracın geniş bir aralıkta ve kararlı bir şekilde hareket etmesini sağladığını ve kullanılan model ile sualtı aracı ile hidrodinamik karakteristiklerin üzerinden etkili bir sayısal yaklaşım tanıdığı göstermişlerdir.

Xu ve diğerlerinin (2002) de yaptıkları çalışmada, Rankine ovoidiyle sabit hızla yatay hareketi sırasında üretilen sürükleme direnci deneysel olarak, Froud ve Reynolds sayısının bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Çalışmanın en önemli sonucu göstermektedir ki, büyük dalga üretiminin etki alanında hareket bölgesinde Foude sayısı 0.838 olduğunda sapma en yüksek değeri 0.05 e eşit olmaktadır.

Zakharov ve diğerleri (2002) konformal toplam ve Fourier kombinasyonu üzerinde temelini oluşturan iki-boyutlu bir yüzey ve potansiyel akımların nümerik çözümü için bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yönteme göre yerçekimi dalgaları içinde dalga

kırılmalarını ve dalga yanılgılarının formasyonunu içeren güçlü lineer olmayan etkilerin çözümü içindir.

Yapılan bir çalışmada, (Djerid ve arkadaşları, 2003), Reynolds sayısının 140 000de bir silindir etrafında, akışın türbülans özelliklerinin incelenmiştir. Şu an sonuçları gerçekleşebilen 3-boyutlu Navier-Stokes ile doğrudan kıyaslamak için blokaj ve yüzey oranı kullanılarak, ana ve türbülans hız alanlarının detaylı haritası elde edilmiştir.

Yapılan bir başka çalışmada (Park ve arkadaşları, 2003), cisimlere yüksek hızda su girişinin kuvvet etkisi ve cismin sekme davranışının hesabı için sayısal bir çalışma geliştirilmiştir. Burada iç etkinin çok kısa sürede gerçekleştiği ve viskozite faktörünün henüz etkiye sahip olmadığı varsayımı yapılmıştır. Çalışmada, akışkan ideal akım, potansiyel kabul edilerek çözüm gerekleştirilmiştir. Cisme su girişi üç ayrı şekilde kabul edilmiştir. Tam batmış, kısmi batmış ve su dışında kabul edilerek yapılmıştır. Kuvvet etkisini hesaplamak için silindirik bir disk ve oval profiller test edilmiştir. Hesaplamalar karşılaştırılmış ve iyi sonuçlar alınmıştır. Kuvvet etkisi hesaplandıktan sonra, serbest yüzeyin olduğu cismin sekmesi ile su girişi açısı ve cisim ağırlığının değişimi, dinamik denklemlerin bileşimi ile simüle edilmiştir.

Niazman ve Renksizbulut (2003) tarafından yapılan çalışmada, dalmış dönen bir küre etrafındaki viskoz akış incelenmiştir. Nawier Stokes denklemi üç boyutlu akım için zaman döngüleri küçük hacim metodu ile çözülmüştür. Partikül döngüsü ve yüzey üflemesi ile ilgili ilginç özellikte, yakın yapıyı öğle etkiler ki girdap akımı ile sabit olmayan üç-boyutlu dalga akışı küçük Reynolds sayılarında oluştuğu görülmüştür.

Mahfouz ve Haddara (2003) tarafından yapılan çalışmada, deniz yüzeyi seviyesinde rastgele dalgalarla yüzmekte olan bir su altı robot aracının hızlanma yavaşlama ve hidrodinamik parametrelerin toplam tahmini üzerinde etkisi incelenmiştir. Yaptıkları çalışma sonucunda kullandıkları RDLRNNT tekniği ile AUV'nin inme çıkma ve hatve (adım) hareketlerini tanımlayan denklemlerde bulunan parametreler için güvenilir sonuçları olduğunu bulmuşlardır.

Perrault ve arkadaşları (2003) tipik bir AUV cevap karakteristiğinin hidrodinamik parametrelerdeki değişime duyarlılığı yaptıkları çalışmada sınanmıştır. Analiz bu gün yaygın kullanılmakta olan AUV nin tipik bir modeli olan a-simetrik bilgisayar programı kullanılmıştır. Tamamen doğrusal olmayan bilgisayar programı, Newton Euler hareket denklemleri üzerine kurulmuştur. Hızlandırma kuvvetlerini açıklamak için Build-Up metodu bileşeni kullanılmıştır. Hidrodinamik parametreler bir bilgisayar modeli simülasyon serisi ile değişirler ve özel performans göstergeleri için cevap karakteristiği analiz edilmektedir.

Evans ve Nahon (2004) yaptıkları çalışmada bir su altı otonom sisteminin dinamik modellemesini açıklamış ve deniz altıya etkiyen dış kuvvetler kontrol düzlemi gibi 360^0 hücum açısı için değerlendirme yapmışlardır. Çalışmaya tam ayarlı itici gövde modeli simülasyonu eklenmiştir. Kullanılan model C-SCOUT AUV' nin iki konfigurasyonu bir simülasyon için kullanılmıştır. Bu iki konfigurasyonu geliştirmek ve performansını karşılaştırmak için sistemin bilimsel tahmini olarak simülasyon kullanılmıştır.

Gimanov ve Sotiropoulos (2005) yaptıkları çalışmada, geometrik karmaşık 3-boyutlu cisimlerde akımın simülasyonu için hibrit kartezyen bir yöntem geliştirmiş ve hareket eden 3-boyutlu sıkıştırılamaz düzenli olmayan Navier Stokes denkleminin keyfi geometrik karmaşık hareketin devamlı batmış tabakalarda kartezyen koordinatlardaki çözüm için kullanmışlardır. Metot 2. dereceden bir kesinlik sağlamaktadır. Metot sabit açısal hızda dönen bir küre ve kanat çırpma rüzgarı olan akımın için geçerli olup, balık ve benzeri yüzen cisimlerin similasyonunu göstermektedir.

Li ve Lee (2005) yaptıkları çalışmada, otonom bir su altı aracı (AUV) nin dalma davranışı için bir sinir ağı ile uyarlanabilir bir denetleyici tasarımı yapılmıştır. AUV nin dalma sırasında, dalma hareketinde hatve açısı küçük varsayılarak dalma denklemleri türetilmiştir. Simülasyon için bir kontrol şeması önerilmiş ve kontrol yasalarının bazı pratik özellikleri tartışılmıştır.

Jiamung Wu ve arkadaşları (2005) yedekte çekilen kontrol edilebilir bir sualtı sistemi için alternatif bir sistem üzerinde deneysel çalışarak yeni bir tip önermiş ve kullandıkları test sisteminin kontrol davranışlarını etkili olduğu bulmuşlardır.

Çalışma sonucunda, böyle bir tasarımla yedekte çekme aracının hızlı bir yörünge hesaplama ve bağıl olarak kararlı bir yedekte çekme amacını gerçekleştirebileceğini ortaya koymuşlardır.

Hsu ve arkadaşları (2005) açık sığ silindirik gövde ve derine dalan denizaltı araştırma aracı GUPPY'i yi incelemişlerdir. Çalışmada, eğim derecesi etkileri ve bozulma modlarının açık alanda stres konsantrasyonlarına etkisini analiz etmişlerdir. Hibbitt ve Carlsson metodolojisine dayanan üç element prosedürü kullanılmıştır.

Xu ve diğerleri (2006) Rankine ovoidiyle, ovoidin yatay hareketi sırasında üretilen iç dalgaların karakterini çalışmışlardır ve buradaki hız dağılım alanını teorik ve sayısal olarak elde etmişlerdir.

Xu ve diğerleri (2008) yaptıkları çalışmada, Rankine ovoidinin yatay, düzgün, hızlı, düzgün dikey tabakalı sıvı içindeki hareketi için dalga sürüklemesi üzerine teori, çalışmada sunulmuştur. Rankine ovoidi ve tabakalar arasındaki etkileşim incelenmiş ve Rankine ovoidi, küreye dönüştüğü andaki sonuçlar elde edilmiştir. Tek tip sıvı teorisi, kaynaklanan bir kitle kaynağı arasında etkileşim hidrodinamik bir dizaynı modellemek için kullanılmaktadır. Geniş iç Froude sayı aralığında elde edilen deneysel ve teorik sonuçlar paralel çıkmıştır. Teorik sonuçların geçerli olduğu bulunmuştur.

Liu ve diğerlerinin (2012) yaptığı çalışmada zamanla pervane üzerinde değişken kuvvetleri kontrol etmek amacı yapılmış ve bir bariyer ortaya konulmuştur. Bariyeri göstermenin amacı at nalı girdaplarının uyandırılmasıdır.

Rubin (2012) de yaptığı çalışmada kavitasyonun etkisini içeren uzun rijit bir Roket üzerindeki kavitasyon dağılımı için bir analitik formül geliştirmiştir. Artan V hızına ayrışma noktasını ileriye taşıdığı hatta merminin tipine bağlı olduğu, buna karşılık, kavitasyon genişleme modeli bu probleme uygulandığında sonuçlar göstermektedir ki ayrışma oluşamaz sürükleme kuvvetleri v nin tüm değerleri üzerindeki hızlara bağlıdır. Bu sonuçlarda altı çizilen mermi etrafındaki akış alanında modelin doğruluğu ve kesinliği önemlidir.

Literatürde yapılan çalışmalar genel hatları ile özetlenirse; Denizaltı ile ilgili potansiyel akımlar, viskoz akım, küre, Rankine ovali etrafındaki etkileşim, cisimlerin hareketleri, yüzey hareketleri, gemi benzeri simülasyonlar incelenmiştir. Ancak bu çalışmada oyuklu Rankine ovoidi ele alınmıştır. Literatürde normal ovoid ile ilgili çalışmalar olsa da oyuklu Rankine ovoidi ilktir.

Bu çalışmada; ağırlıklı olarak tünel denizaltısının hidrodinamik tasarımı öne çıkacaktır. Bu tür bir tasarım araştırmasının dünyada ilk örneği oluşturacağı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalardan anlaşılacağı gibi tünel içinde denizaltı çalıştırılması konusu, kavramsal olarak yenidir. Bu konuda, daha önceden yapılmış bir çalışmaya literatürde rastlanılmamıştır.

Büyük tünel sistemlerinin bakım-tutum ve kontrollerinin yapılması oldukça güç ve masraflı olup, aynı zamanda sistemin devre dışı kalmasına neden olmaktadır. Örneğin; Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında yapılmış bulunan ve dünyada bir benzeri olmayan Urfa Su Tünelleri gibi yapılarda, sistemin devre dışı kalması sulama ve üretimin uzun bir süre aksamasına yol açacak ve içindeki suyun boşaltılması halinde tünelin çalışma rejimindeki farklılıklar, yeni problemlerin ortaya çıkmasına neden olacaktır. Sistemin performansını korumak için, sistemin çalışma rejimini aksatmayacak çözümler üretilmelidir. Bu ise insanlı veya insansız bir (robotik) "Tünel Denizaltısı" ile sağlanabilir. Böyle bir çözümde iş ve zaman kaybı olmayacağı gibi, sistemin ömrü de uzamaktadır. Bu tür denizaltılar, tüneller içinde oluşabilecek yapısal problemleri tespit edip çözmek, kireçlenme vb. atıkları temizlemek, sistemin bakım-tutum ve kontrolü amacıyla tasarım edilebilirler. Dünyayı çevreleyen çeşitli akış şebekelerinde (büyük su boruları, su tünelleri, kanalizasyon hatları, petrol boru hatları, doğal gaz boru hatları, vb.) karşılaşılacak her tür problemlerin çözümünde böyle bir tasarım yeni bir aşama olacaktır. Ayrıca Tünel Denizaltısı ile; aynen uzay araştırmalarında uygulanan ve astronotların uzay gemisi dışına çıkarak çalışma yapmalarına benzer Şekilde, tünel içindeki bir bölgeye çalışma yapacak eleman nakli de gerçekleştirilebilir. Bunun yanı sıra yapılacak olan çalışma, ileri teknoloji ile desteklenmiş uzaktan kumandalı mini denizaltılar "böcek denizaltı" için bir başlangıç olabilir.

Böcek denizaltılar insanların içine giremeyeceği boru şebekelerinde oluşabilecek problemlerin çözümünde de kullanılabilir.

Bilindiği gibi; günümüzde tıp bilimi insan damarları içinde hareket edebilen mini kamera, damar temizleyici ve açıcı aparatlar vb. sistemleri kullanmaktadır. Bu uygulamaların gerçekleşmiş olması bize bu konuda da yeni ufuklar sunmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışmanın amacı; makro ve mikro mühendislik sistemlerinde içeriden her türlü araştırmayı yapabilecek düzeyde tünel denizaltılarının hidrodinamik problemlerinin analitik ve sayısal yöntemlerle çözümüdür.

Bu çalışmada; bir tünel içinde sabit veya hareketli akışkan ortamında, akışkan ile ayni veya ters yönde hareketli, özel bir forma sahip denizaltının hidrodinamik dizaynı incelenmektedir.

Konunun küçük ölçekli olarak düşünülmesinde ise, özellikle büyük yapıların içindeki su, gaz gibi boru hatlarının içten kontrol edilerek muhtemel sorunlu bölgelerin gözlemlenmesi ve önceden tespiti amaçlanmaktadır. Bu halde, uzaktan kontrol edilebilen adeta bir "böcek denizaltı" nın yapımı söz konusu olacaktır.

Denizaltının geometrik tasarımını, Rankine ovoidi şeklinde bir ana gövde ve bu gövdenin içinde eksensel simetrik dairesel silindirik bir oyuk oluşturmaktadır. Tünelin içindeki akan akışkana karşı gerek direnç yönünden projeksiyon alanını küçültmek ve gerekse sevki sağlayan pervane sistemini tünelin iç yüzeylerine çarpmaya karşı korumak için, pervaneler bu silindirik oyuk içine yerleştirilmiştir. Dizayndaki bu seçimin üçüncü bir avantajı ise, pervaneleri nozul (lüle) içinde çalıştırarak hidrodinamik performansını arttırmaktır.

Problem; Önce boyut analizi ile incelenmiş ve olayı yöneten bağımsız-boyutsuz parametrelerin bulunmasına çalışılmıştır. Daha sonra iki ve üç-boyutlu potansiyel akım teorisi ile matematik modelleme yapılmış ve ardından sayısal modelleme çalışmalarına geçilmiştir.

Birinci bölümde, problemin boyut analizi yöntemiyle direnç ve sevk yasaları oluşturulmuştur. Tünel Denizaltısına etki eden direnç ile pervanenin ürettiği itme kuvvetinin bağlı olduğu yasa bulunarak, problem için benzerlik koşulları elde

edilmiştir. İkinci bölümde, Rankine ovalinin kapalı tünel içindeki hidrodinamiği potansiyel akım teorisiyle incelenmiştir. Daha sonra Rankine ovalinin oyuklu hali için kaynak-kuyudan (dubleler) yararlanılarak akım fonksiyonu ve buna bağlı olarak hız, basınç ve kuvvet alanları analitik olarak elde edilmiştir.

Üçüncü bölümde, farklı geometriler (delikli alyuvar, alyuvar, Rankine ovalinin, delikli Rankine ovali) açık ve sınırlandırılmış akışkan ortamında meydana gelen basınç dağılımlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Eksenden kaymalar üzerinde durulmuştur.

Dördüncü bölümde ise problemin genel tanımı yapılarak potansiyel akım teorisiyle tünel denizaltısının katı cisim modelinin akım fonksiyonu elde edildikten sonra, oyuklu Rankine ovoidi şeklinde olan Tünel Denizaltısının yüzeyi üzerindeki hız, basınç ve kuvvet dağılımı analitik olarak bulunmuştur. Matlab programı ile analitik olarak elde edilen akım fonksiyonu, basınç, hız ve kuvvet alanları gösterilmiştir. Beşinci ve son bölümde ise; konuya yönelik sonuç ve öneriler yer almaktadır.

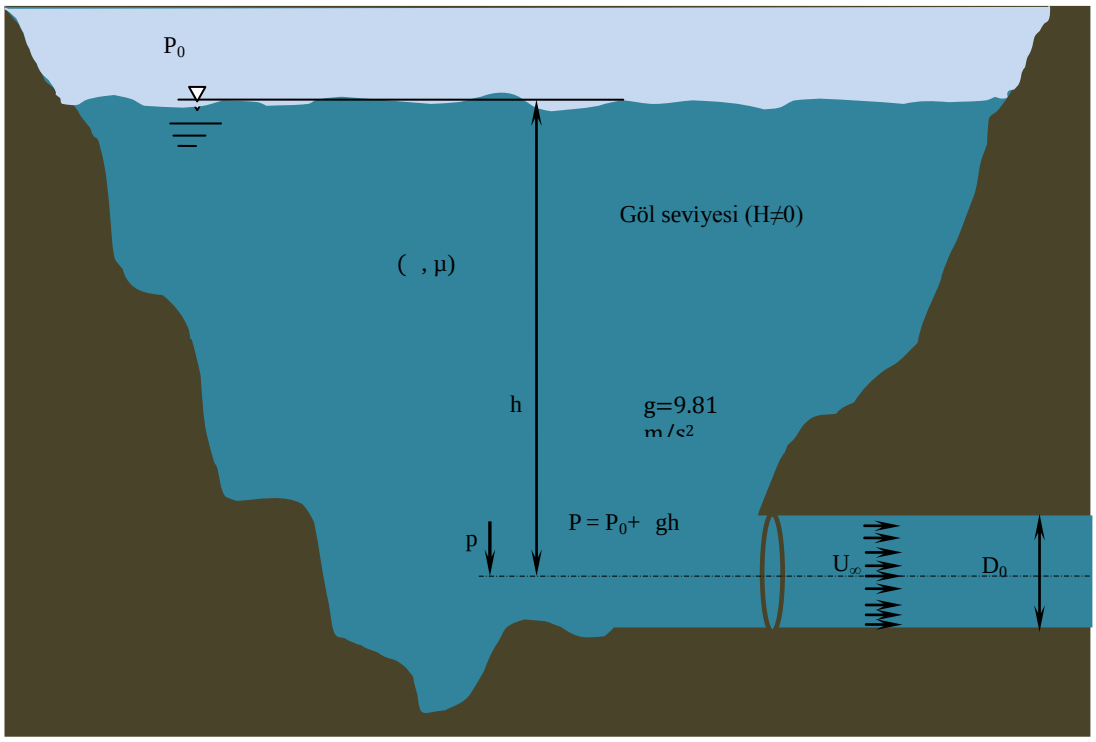
1. TÜNEL DENİZALTISI İÇİN BOYUT ANALİZİ PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

1.1. Çözümleme Yöntemi

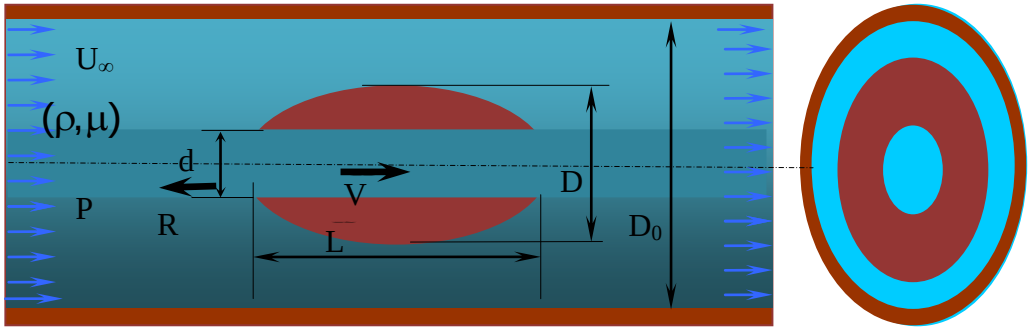
Boyut analizi yöntemi ile problemi yöneten fiziksel parametreler tespit edilerek, problemin bağlı olduğu direnç yasaları boyut analizi yöntemiyle elde edilecektir. Direnç yasası hem Buckingham hem de Rayleigh çözümleriyle elde edilecek ve benzerlik yasaları kurulacaktır.

1.2. Tünel Denizaltısı için Direnç Yasası

Delikli Rankine ovoidi geometrisine denizaltının sahip bulunduğu ortam ve ortamın parametreleri Şekil 1.1'de etki eden denizaltının bulunduğu ortamda ona etki eden parametreler Şekil 1.2'de görülmektedir.



Şekil 1.1. Deniz seviyesinden farklı bir yükseklikte bulunan göl tabanındaki tünelin genel görünüşü



Şekil 1.2. Problemin geometrik tanımı

Olayı yöneten fiziksel parametreler; D_0, L, D, d, U_∞, $U_\infty - V = \Delta V$, P, R, ρ, μ dür. Buna göre fiziksel parametre sayısı n = 10 olup, bunlar arasındaki fonksiyonel ilişki Denklem (1.1) veya Denklem (1.2) gibi yazılabilir.

$$\varphi(R,\ L,\ D_0,\ D,\ d,\ U_\infty, \Delta V,\ p,\ \rho,\ \mu) = 0 \qquad (1.1)$$

$$R = f(L,\ D_0,\ D,\ d,\ U_\infty, \Delta V,\ p, \rho,\ \mu) \qquad (1.2)$$

Problemin çözümünde, temel boyut sistemi olarak Kütle-Uzunluk-Zaman (M-L-T) boyut sistemi seçilmiştir. Buna göre boyut tablosu, Tablo 1.1 aşağıdaki gibi olacaktır.

Tablo 1.1. Problemi yöneten fiziksel parametreler

Boyut	Fiziksel parametreler									
	R	L	D_0	D	d	U_∞	ΔV	P	ρ	μ
M	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
L	1	1	1	1	1	1	1	-1	-3	-1
T	-2	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	-1

Buna göre boyut matrisinde 3x10 = 30 eleman vardır. Bu matristen çıkarılabilecek değeri sıfırdan farklı en büyük mertebeden (2. mertebe) bir kare matris (determinant) seçilirse Denklem (1.3) gibidir.

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & -2 \end{vmatrix} = -1.1 - 0.1 = -1 \neq 0 \quad (1.3)$$

Buna göre, boyut matrisinin rankı r =3 tür. Bağımsız-boyutsuz parametrelerin sayısı ise bu durumda Denklem (1.4) den elde edilir.

$$m = n - r = 10 - 3 = 7 \quad (1.4)$$

Boyutsuz parametreler arasındaki fonksiyonel ilişki Denklem (1.5) teki gibi olacaktır.

$$\psi(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7) = 0 \quad (1.5)$$

Boyut analizi ile çözümlemede, Buckingham veya Rayleigh çözümlemeleri kullanılabilir.

1.2.1. Buckingham Yöntemi ile çözümleme

Tünel denizaltısının direnci Denklem (1.5) sonsuz terimli bir kuvvet serisine açılırsa, Denklem (1.6) elde edilir.

$$R = f\left(L,\ D_0,\ D,\ d, U_\infty, \Delta V, p, \rho,\ \mu\right)$$

$$R = \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} k_i . L^{ai} . D_0^{bi} . D^{ci} . d^{ei} U_\infty^{fi} . \Delta V^{gi} . p^{hi} . \rho^{ji} . \mu^{li} \quad (1.6)$$

ve buradan boyut Denklemine (1. 7) geçilir.

$$[R] = [k].[L]^a.[D_0]^b.[D]^c.[d]^e.[U_\infty]^f.[\Delta V]^g.[p]^h.[\rho]^j.[\mu]^l \quad (1.7)$$

elde edilir. Burada k, boyutsuz bir katsayı olup [k]=1 dir.

$$MLT^{-2} = (L)^a (L)^b (L)^c (L)^e (LT^{-1})^f (LT^{-1})^g (ML^{-1}T^{-2})^h (ML^{-3})^j (ML^{-1}T^{-1})^l \quad (1.8)$$

Aynı tabandaki üsler eşitlenirse Denklem (1.9), (1.10), (1.11)

M tabanından,

$$1 = h + j + l \Rightarrow j = 1 - h - l \quad (1.9)$$

T tabanından,

$$-2 = -f - g - 2h - l \Rightarrow g = 2 - f - 2h - l \tag{1.10}$$

L tabanından,

$$1 = a + b + c + e + f + g - h - 3j - l \Rightarrow a = 1 - b - c - e - f - g + h + 3j + l \tag{1.11}$$

Denklem (1.9), (1.10) ve (1.11) düzenlenip (1.7) de yerine yazılırsa Denklem (1.12) elde edilir.

$$[R] = k[L]^{2-b-c-e-l}[D_0]^b.[D]^c[d]^e.[U_\infty]^f[\Delta V]^{2-f-2h-l}.[p]^g[\rho]^{1-h-l}.[\mu]^l \tag{1.12}$$

Buradaki Denklem(1.12) düzenlenirse, Denklem (1.13) halini alır.

$$[R] = k.\rho.L^2.(\Delta V)^2\left(\frac{D_0}{L}\right)^b\left(\frac{D}{L}\right)^c\left(\frac{d}{L}\right)^e\left(\frac{U_\infty}{\Delta V}\right)^f\left(\frac{p}{\rho(\Delta V)^2}\right)^h\left(\frac{\mu}{L\rho\Delta V}\right)^l \tag{1.13}$$

$\frac{D_0}{L}, \frac{D}{L}, \frac{d}{L}$ geometrik boyut oranlarını, $\frac{U_\infty}{\Delta V}$ kinematik hız oranını, $\frac{p}{\rho(\Delta V)^2} = Eu.$ Euler sayısını, $\frac{\mu}{L\rho\Delta V} = \mathrm{Re}^{-1}$. Reynolds sayısını göstermektedir. Buna göre,

$$[R] = k\rho L^2V^2\left(\frac{D_0}{L}\right)^b\left(\frac{D}{L}\right)^c\left(\frac{d}{L}\right)^e\left(\frac{U_\infty}{\Delta V}\right)^f(Eu.)^h(\mathrm{Re}.)^{-l} \tag{1.14}$$

$\frac{R}{\rho L^2V^2} = C_R$ direnç katsayısını gösterdiğinden, direnç katsayısı Denklem(1.15) teki halini alır.

$$C_R = f\left(\frac{D_0}{L}, \frac{D}{L}, \frac{d}{L}, \frac{U_\infty}{\Delta V}, Eu., \mathrm{Re}.\right) \tag{1.15}$$

Şu halde bağımsız boyutsuz parametreler Denklem (1.16) daki gibi bulunur.

$$\Pi_1 = \frac{D_0}{L},\ \ \Pi_2 = \frac{D}{L},\ \Pi_3 = \frac{d}{L},\ \Pi_4 = \frac{U_\infty}{\Delta V},\ \ \Pi_5 = Eu.,\ \Pi_6 = \mathrm{Re}.,\ \Pi_7 = C_R \tag{1.16}$$

1.2.2. Rayleigh Yöntemi ile çözümleme

Bağımsız boyutsuz parametre grupları için,

$$[\Pi_1]=[\Delta V]^{x_1}[\rho]^{y_1}[L]^{z_1}.[D_0]$$

$$[\Pi_2]=[\Delta V]^{x_2}[\rho]^{y_2}[L]^{z_2}.[D]$$

$$[\Pi_3]=[\Delta V]^{x_3}[\rho]^{y_3}[L]^{z_3}.[d]$$

$$[\Pi_4]=[\Delta V]^{x_4}[\rho]^{y_4}[L]^{z_4}.[U_\infty]$$

$$[\Pi_3]=[\Delta V]^{x_3}[\rho]^{y_3}[L]^{z_3}.[d_i]$$

$$[\Pi_6]=[\Delta V]^{x_6}[\rho]^{y_6}[L]^{z_6}.[\mu]$$

$$[\Pi_7]=[\Delta V]^{x_7}[\rho]^{y_7}[L]^{z_7}.[R] \qquad (1.17)$$

Burada denklemdeki üsler eşitlenerek ilgili *X,Y,Z* değerleri Denklem(1.18) den bulunur.

$$[\Pi_j]=M^0L^0T^0=1 \qquad (\text{j}=1,2,\ldots,7) \qquad (1.18)$$

$$M^0L^0T^0=\left(LT^{-1}\right)^{X_1}\left(LT^{-1}\right)^{Y_1}\left(ML^{-3}\right)^{Z_1}\left(L\right)$$

$$M:\ 0=Y_1$$

$$L:\ \ 0=X_1-3Y_1+Z_1+1$$

$$T:\ \ 0=Z_1$$

Buna göre bağımsız boyutsuz parametreler Denklem (1.19), ….,(1.24) gibi olur.

$$\Pi_1=\frac{D_0}{L} \qquad (1.19)$$

Benzer Şekilde, diğer bağımsız boyutsuz parametreler içinde aşağıdaki çözümler elde edilir. Burada oranı $\frac{d}{L}$ Rankine ovodinin delik çapının genel çapa oranı olup geometrik benzerlik oranıdır ve aynı akış koşullarında sağlanması gerektedir.

$$\Pi_2 = \frac{D}{L} \tag{1.20}$$

$$\Pi_3 = \frac{d}{L} \tag{1.21}$$

$$\Pi_4 = \frac{U_\infty}{\Delta V} \tag{1.22}$$

$$\Pi_5 = Eu. \tag{1.23}$$

$$\Pi_6 = \mathrm{Re}. \tag{1.22}$$

$$\Pi_7 = C_R \tag{1.25}$$

1.2.3. Benzerlik koşulları

Problemin modellemesinde göz önüne alınacak benzerlik koşulları Denklem (1.26) Denklem (1.27) de uygulanarak sağlanır.

$$(\Pi_j)_m = (\Pi_j)_p, \quad (\mathrm{j} = 1, 2, \ldots, 7) \tag{1.26}$$

$$\left(\frac{D_0}{L}\right)_m = \left(\frac{D_0}{L}\right)_p$$

$$\left(\frac{D}{L}\right)_m = \left(\frac{D}{L}\right)_p$$

$$\left(\frac{d}{L}\right)_m = \left(\frac{d}{L}\right)_p$$

$$\left(\frac{U_\infty}{\Delta V}\right)_m = \left(\frac{U_\infty}{\Delta V}\right)_p$$

$$(Eu)_m = (Eu)_p$$

$$(\mathrm{Re})_m = (\mathrm{Re})_p$$

$$(C_R)_m = (C_R)_p \tag{1.27}$$

İlk üç parametre geometrik, dördüncü kinematik ve son üç parametre ise dinamik benzerliği yönetmektedir. Benzerlik koşullarında ölçek göz ününe alınarak Re. sayıları Denklem (1.28) de eşitlenirse, daha sonra basınç sayısına (Eu.) geçilirse Denklem (1.29) elde edilir.

$\frac{L_p}{L_m} = \alpha$ geometrik benzerlik oranını göstermek üzere (model ölçeği: $\frac{1}{\alpha}$)

$$\frac{V_m L_m \rho_m}{\mu_m} = \frac{V_p L_p \rho_p}{\mu_p} \rightarrow V_p = \frac{V_m L_m \rho_m \mu_p}{\mu_m L_p \rho_p} = V_m \frac{\rho_m}{\rho_p}\frac{\mu_p}{\mu_m}\alpha^{-1} = V_m \frac{\nu_p}{\nu_m}\alpha^{-1} \tag{1.28}$$

Burada $\frac{\mu}{\rho} = \nu$ kinematik viskozite katsayısını göstermektedir.

$$\frac{p_m}{\rho_m V_m^2} = \frac{p_p}{\rho_p V_p^2} \rightarrow p_p = p_m \frac{\rho_p V_p^2}{\rho_m V_m^2} = p_m \frac{\rho_m}{\rho_p}\left(\frac{\mu_p}{\mu_m}\right)^2 \alpha^{-2} \tag{1.29}$$

$$\frac{R_m}{\rho_m V_m^2 L_m^2} = \frac{R_p}{\rho_p V_p^2 L_p^2} \rightarrow R_p = R_m \frac{\rho_p V_p^2}{\rho_m V_m^2}.\alpha^2 = R_m \frac{\rho_m}{\rho_p}\frac{\mu_p^2}{\mu_m^2} = R_m \frac{\rho_m}{\rho_p}\left(\frac{\mu_p}{\mu_m}\right)^2 \tag{1.30}$$

Böylece, tünel denizaltısına ait benzerlik koşulları elde edilmiş olur.

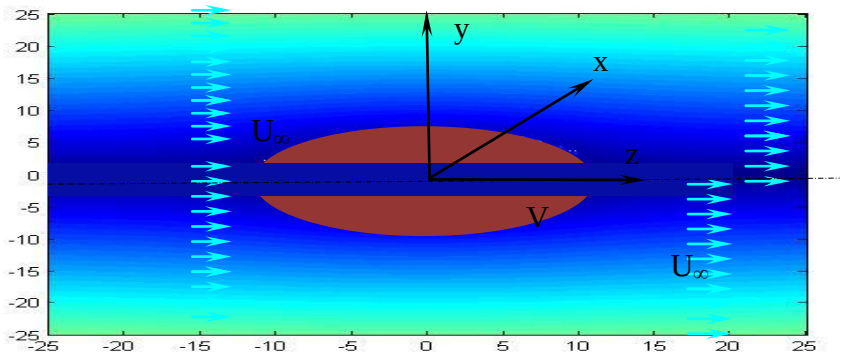
2. MATEMATİK MODELLEME

2.1. Problemin Tanımı

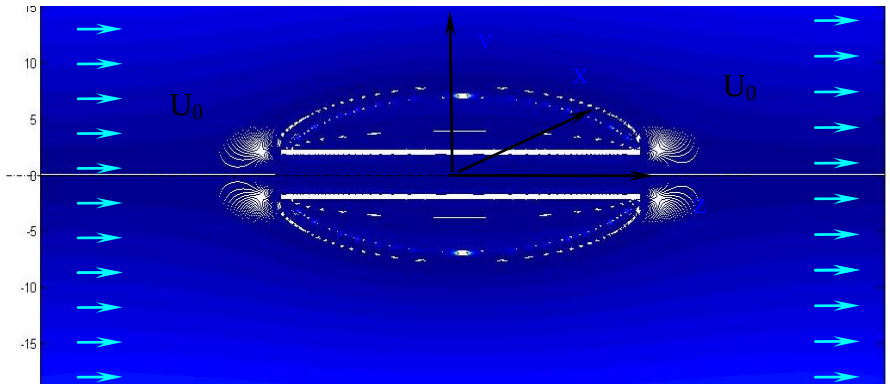
Bu tez kapsamında kabul edilen tünel denizaltısının geometrisi bir Rankine ovoidi şeklinde olup, boyuna dönel simetri ekseni doğrultusunda dairesel bir silindirik oyuğu bulunmaktadır. Denizaltının baş ve kıç geometrileri ortaya göre simetrik seçilmiştir. Tünel içindeki akışkanın akış doğrultusu her iki yönde de olabilir. Buna göre denizaltı akış ile aynı yönde veya akışa karşı yönde hareket edecektir.

Analitik yöntemde; dairesel silindirik bir tünel içinde akan ideal ve sıkıştırılamaz bir akışkan içinde hareket eden oyuklu Rankine ovoidi etrafındaki üç-boyutlu, daimi ve potansiyel akım hareketi incelenecektir.

Rankine ovoidinin sınırlı bir tünel içindeki hareketinden önce, temel kavramlar, üniform akım, kaynak- kuyu ve duble akımları kullanılarak sınırsız bir akış içindeki Rankine ovali ve delikli Rankine ovali etrafındaki 2-boyutlu akım hareketi incelenecektir. Daha sonra üç boyutlu potansiyel akım teorisi ile oyuklu Rankine ovoidi etrafındaki akım problemi, önce sınırsız bir akış içinde ve daha sonra sınırlı (dairesel silindirik bir tünel) bir akış içinde ele alınacaktır. Bu amaçla, bu çalışma iki farklı durum için incelenmiştir. Birinci durumda, Rankine ovoidinin sınırsız akışkan ortamında hareketi incelenmiş olup modelleme hali Şekil 2.1'de, ikinci durumda ise, Rankine ovoidinin sınırlı (Tünel içinde) akışkan ortamındaki Şekil (2.2) verilmiştir.



Şekil 2.1. Rankine ovoidinin sınırsız akışkan içinde hareketi



Şekil 2.2. Rankine ovoidinin sınırlı akışkan ortamında hareketi

2.1.2. Hipotezler

- Akışkan ideal ve sıkıştırılamaz, Denklem (2.1) de verilmiştir.

$$\mu = 0, \quad \rho = \rho_0 = \text{st.} \tag{2.1}$$

- Hareket potansiyel Denklem (2.2) de koşulu verilmiştir.

$$\vec{\omega} = 0 \quad (\ \vec{V} = \text{grad}\phi\ ) \tag{2.2}$$

- Hareket daimi Denklem (2.3) teki gibi olacaktır.

$$\frac{\partial}{\partial t} \equiv 0 \tag{2.3}$$

2.1.3. Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho.\vec{V}) = 0 \ \text{veya} \ \ \text{div}(\vec{V}) = 0 \tag{2.4}$$

Kartezyen ve kutupsal koordinatlarda Denklem (2.5a), (2.5b) şu Şekilde olacaktır.

$$\text{div}(\vec{V}) = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial \phi}{\partial z}\right) = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \tag{2.5a}$$

$$\text{div}(\vec{V}) = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r.v_r) + \frac{1}{r}\frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \nabla^2 \phi = \Delta \phi \tag{2.5b}$$

Buna göre hareketin potansiyel fonksiyonu, süreklilik Denkleminden elde edilen ve $\Delta\phi = 0$ Laplace diferansiyel Denkleminin bir çözümüdür.

2.1.4. Sınır koşulları

a) Hareketli cisim yüzeyi koşulu (hareketli cidar) Denklem (2.6) sağlanmalıdır.

$$\vec{V}_i.\vec{n} = 0 \tag{2.6}$$

b) Sabit cisim yüzeyi koşulu (sabit cidar) Denklem (2.7) gibi olmalıdır.

$$\vec{V}.\vec{n} = 0 \tag{2.7}$$

c) Radyasyon koşulu

Denizaltının tünel içindeki hareketinde denizaltıdan çok uzaklarda, akım bir tünel içindeki genel akım hareketine denktir. Denklem (2.8) de bu koşul verilmiştir.

$$\lim_{z \to \mp\infty} \phi = \text{sonlu} \tag{2.8}$$

Oyuklu Rankine ovoidi, iki-boyutlu Rankine ovalinin sıfır akım çizgisi, oyuk üzerinde dubleler yerleştirilmesi ve genel akımla süper pozisyon teorisine göre toplanması ile elde edilir. Üç- boyutlu eksensel simetrik potansiyel akım teorisi kullanılarak elde edilir.

2.2. İki-boyutlu Potansiyel Akım Teorisi

Potansiyel akım teorisinden bilindiği gibi; $z = x + iy = r.e^{i\theta}$ olmak üzere kompleks potansiyel fonksiyonu F(z), potansiyel fonksiyonu ϕ, akım fonksiyonu ψ, hız alanı V, basınç alanı p, kuvvet alanı F aşağıda belirtildiği şekilde verilmektedir. Denklem (2.9), …,(2.14). Akımlara ait, akım fonksiyonları, potansiyel fonksiyonları ile elde edilen hız ve basınç dağılımları matlab programı yardımı ile elde gösterilmiştir.

Kompleks potansiyel fonksiyonu, akım fonksiyonu ve hız potansiyelinden oluşmaktadır.

$$F(z) = \phi + i\psi \tag{2.9}$$

Hız bir potansiyelden türemekte olup ifadesi Denklem (1.10a), (1.10b) gibi olur.

$$\vec{V} = u\vec{i} + \upsilon\vec{j} = \nabla\phi = \frac{\partial\phi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\phi}{\partial y}\vec{j} = \frac{\partial\psi}{\partial y}\vec{i} - \frac{\partial\psi}{\partial x}\vec{j} \tag{2.10a}$$

Kutupsal koordinatlarda ise hız alanı ifade edilebilir.

$$\vec{V} = V_r\vec{e}_r + V_\theta\vec{e}_\theta = \nabla\phi = \frac{\partial\phi}{\partial r}\vec{e}_r + \frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial\theta}\vec{e}_\theta = \frac{1}{r}\frac{\partial\psi}{\partial\theta}\vec{e}_r - \frac{\partial\psi}{\partial r}\vec{e}_\theta \tag{2.10b}$$

Hızın bileşkesi ve Bernoulli teoremi yazılırsa,

$$\left|\vec{V}\right|^2 = u^2 + \upsilon^2 \quad p_1 + \frac{\rho}{2}\left|\vec{V}_1\right|^2 = p_2 + \frac{\rho}{2}\left|\vec{V}_2\right|^2 \Rightarrow p_2 = p_0 + \frac{\rho}{2}\left(\left|\vec{V}_2\right|^2 - \left|\vec{V}_1\right|^2\right) \tag{2.11}$$

şeklinde olur. Kuvvet alanı Denklem (2.12) gibi yazılabilir.

$$\vec{F} = \iint p\vec{n}.d\sigma = \iint\left(p_0 + \frac{\rho}{2}\left(\left|\vec{V}_2\right|^2 - \left|\vec{V}_1\right|^2\right)\right)\vec{n}.d\sigma \tag{2.12}$$

Burada $P_1 = P_\infty$ ve V1 = U_∞ edilmiştir. Eğer bir arada birden fazla akım varsa, süper pozisyon teorisine göre bunların kompleks potansiyel fonksiyonları toplanır Denklem (2.8) ve akım fonksiyonu, hız alanı, basınç alanı, kuvvet alanı bu yeni elde edilen fonksiyona göre yapılır.

$$F(z) = F_1(z) + F_2(z) + F_3(z) + ... + F_n(z) \tag{2.13}$$

Genel akım, kaynak, kuyu, duble, genel akım- duble, Rankine ovali, içi oyuklu Rankine ovali ve sınırlı bir bölgedeki içi oyuklu Rankine ovalinin akım fonksiyonu, hız alanı, basınç alanı yine bu teoriden bilindiği gibi aşağıdaki ifadelerde yer almaktadır.

2.2.1. Genel akım

Genel akım sonsuzdaki hızı U_∞ ve x ekseni ile α açısı yapan bir akımın kompleks potansiyel fonksiyonu Denklem (2.14) veya Denklem (2.15) potansiyel fonksiyonu Denklem (2.16), akım fonksiyonu Denklem (2.17) de hız alanı fonksiyonu Denklem (2.18) de bileşke hız fonksiyonu Denklem (2.19) de verilmiştir.

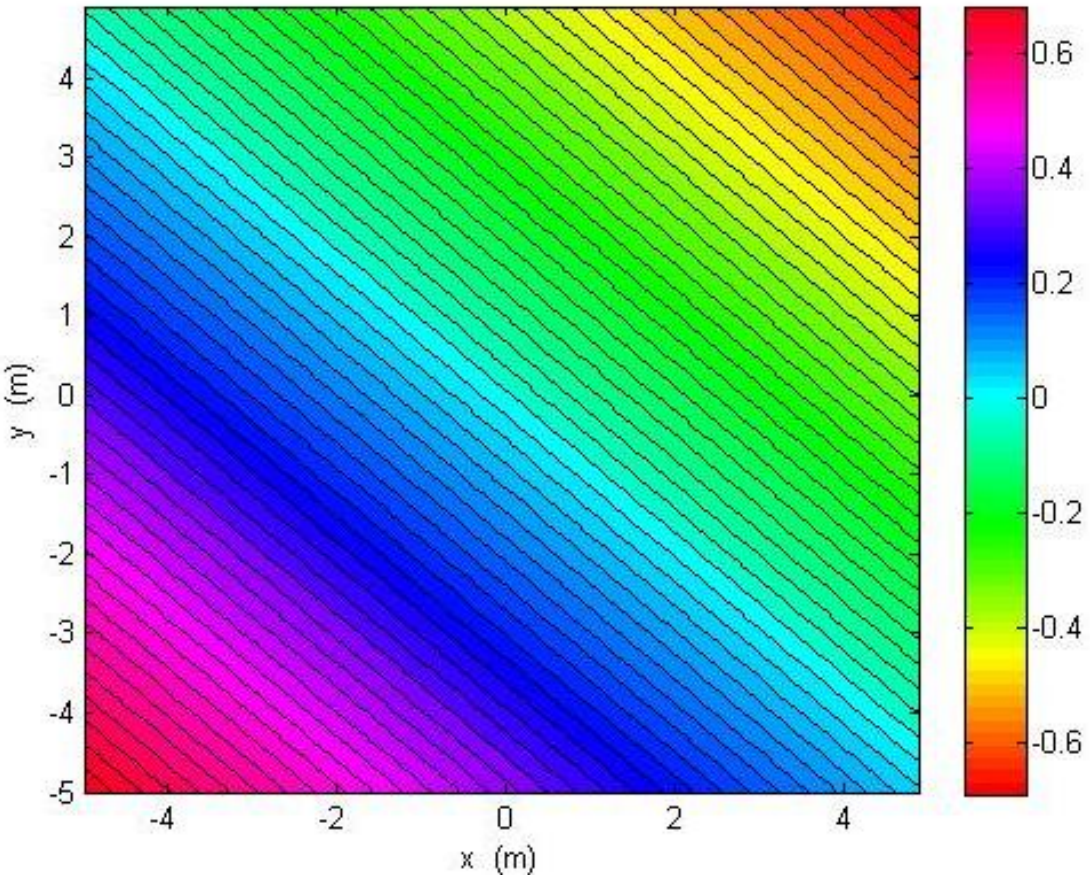
$$F(z) = U_{\infty} z e^{i\alpha} \tag{2.14}$$

$$F(x,y) = U_{\infty} x \cos(\alpha) + i(U_{\infty} y \sin(\alpha)) \tag{2.15}$$

$$\phi(x,y) = U_{\infty} x \cos(\alpha) \tag{2.16}$$

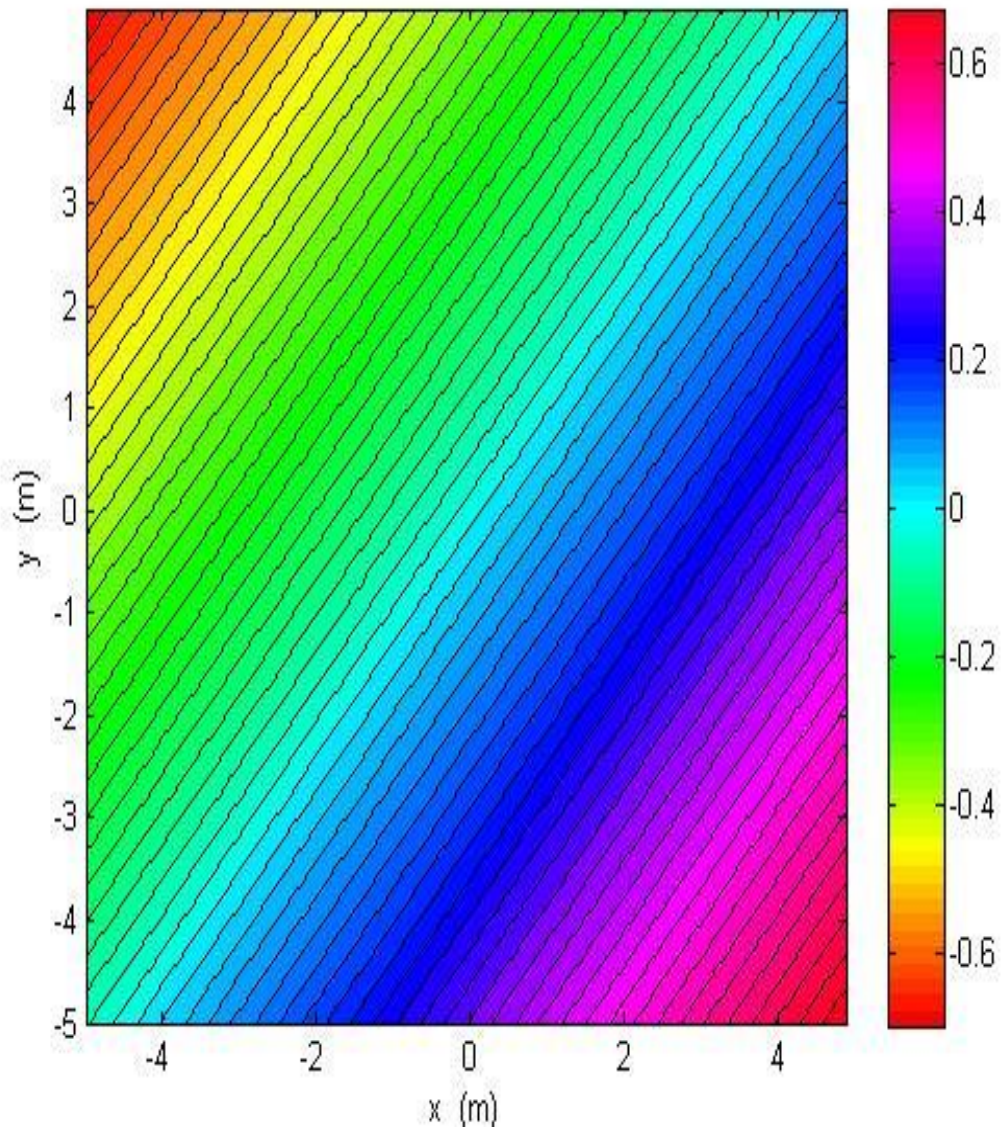
$$\psi(x,y) = U_{\infty} y \sin(\alpha) \tag{2.17}$$

Şekil 2.3'de akıma ait potansiyel çizgilerinin homojenliği net bir biçimde görülmektedir. Bu çizgiler akım çizgilerine 90^0 diktir.



Şekil 2.3. Yatayla belli bir açı altında genel akıma ait potansiyel çizgileri

Şekil 2.4' teki grafikte görüldüğü gibi hız dağılımı tüm akım alanında eşit şiddette olup homojendir. Hız dağılımı eşit olduğundan basınç dağılımı Bernoulli denklemine göre her yerde aynı dağılıma sahip olacaktır.



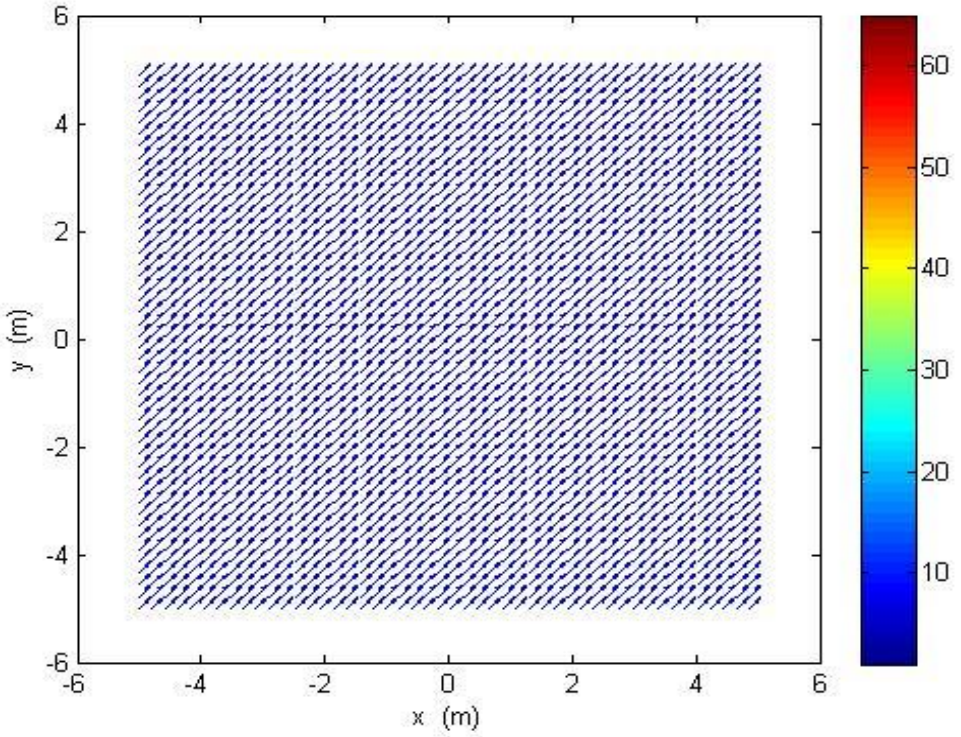
Şekil 2.4. Yatayla belli bir açı altında genel akıma ait akım çizgileri

Hız dağılımı Denklem (2.10a) den yararlanarak elde edilir. Denklem (2.18).

$$\vec{V} = U_{\infty}\cos(\alpha)\vec{i} + U_{\infty}\sin(\alpha)\vec{j} \tag{2.18}$$

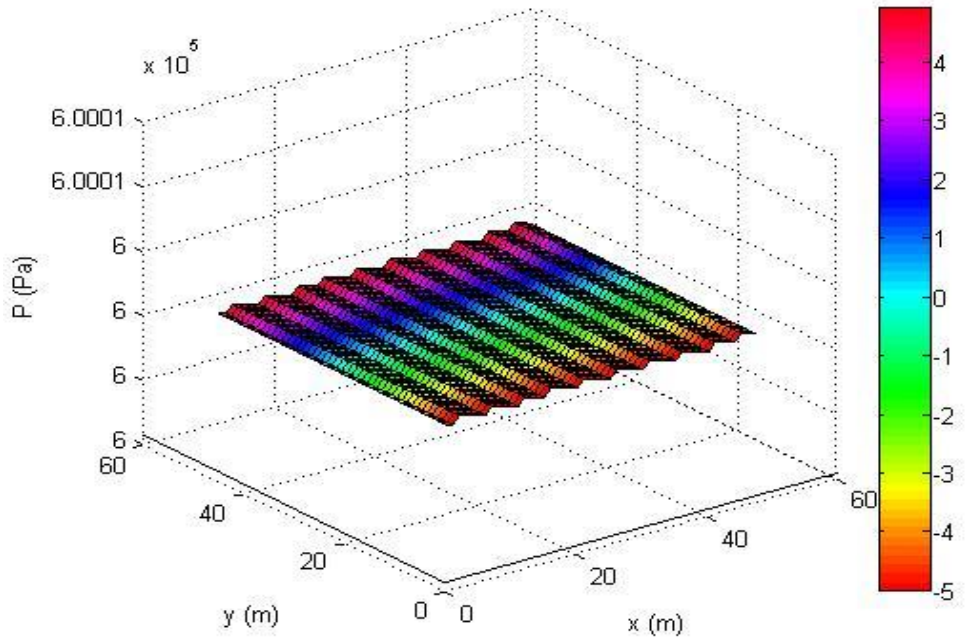
$$\left|\vec{V}\right| = U_{\infty} \tag{2.19}$$

Denklem (2.11) den yaralanarak basınç dağılım bulunur. Şekil 2.5'teki grafikte görüldüğü gibi hız dağılımı tüm akım alanında eşit şiddette olacaktır.



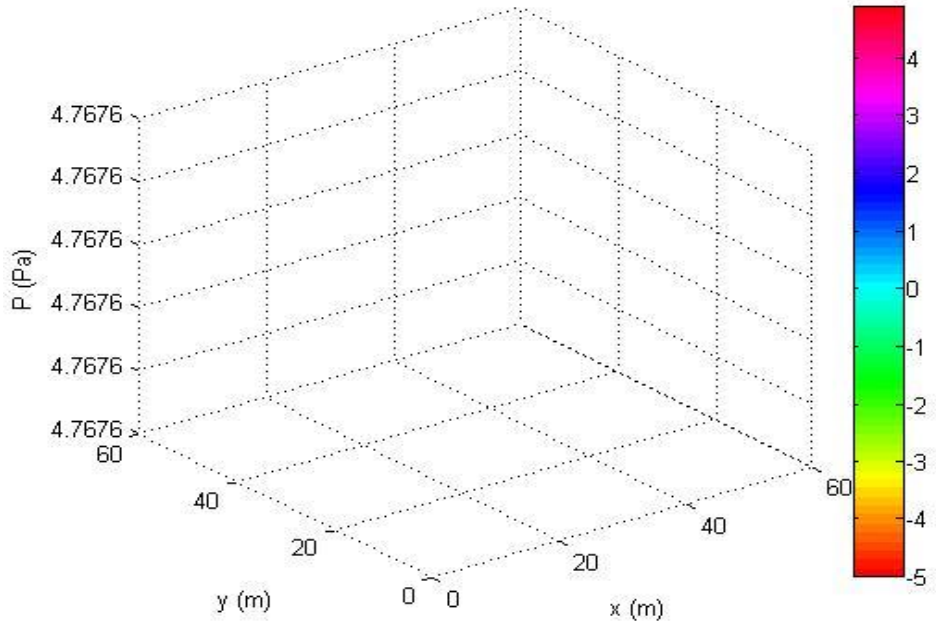
Şekil 2.5. Yatayla $50^{0'}$lik bir açı altında genel akıma ait hız dağılımı

Yatayla $50^{0'}$lik bir açı altında genel akımda Şekil 2.6'da basınç dağılımı homojendir ve eşit şiddettedir.



Şekil 2.6. Yatayla belli bir açı altında genel akıma ait basınç dağılımı

Yatayla belli bir açı altında genel akımda Şekil 2.7'de basınç değişimi bütün akım alanında eşittir. Kuvvet alanıda Denklem (2.20) de verilmiştir.



Şekil 2.7. Yatayla belli bir açı altında genel akıma ait basınç dağılımı

$$F = \iint_A p\vec{n}d\sigma = \iint_A \left(p_\infty + \frac{\rho}{2}U_\infty^2 \right)\vec{n}d\sigma \tag{2.20}$$

2.2.2. Kaynak – kuyu

Debisi Q, merkezi (0,0) da bulunan bir kaynak veya kuyunun kompleks potansiyel fonksiyonu şöyle olacaktır.

$$F(z) = \mp\frac{Q}{2\pi}\ln(z) \tag{2.21}$$

Potansiyel ve akım fonksiyonları kartezyen ve kutupsal koordinatlarda,

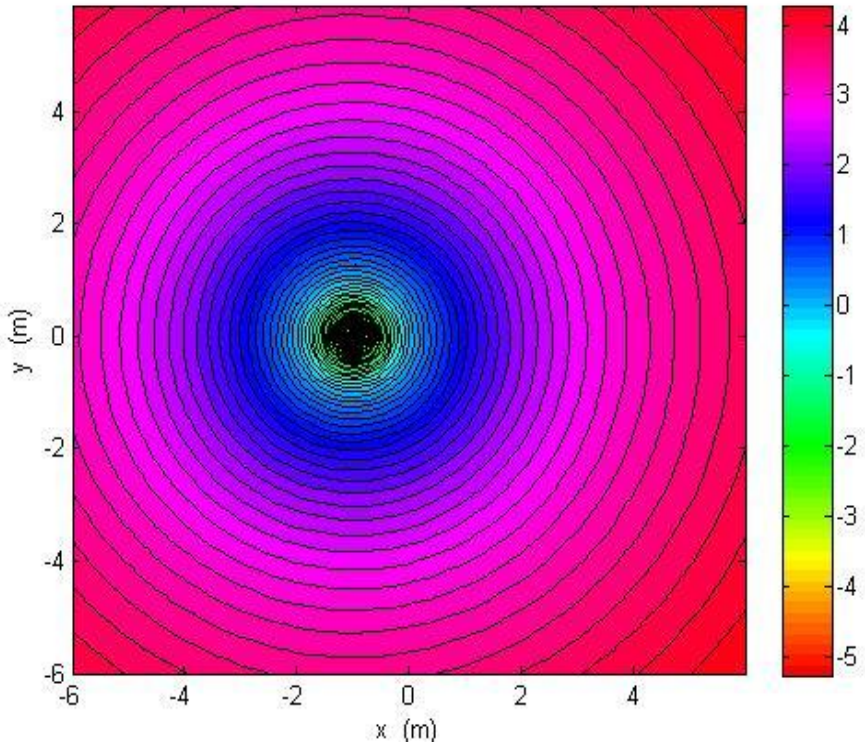
$$F(x,y) = \mp\frac{Q}{2\pi}\ln((x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}) \mp i\frac{Q}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \tag{2.22a}$$

$$F(r,\theta) = \mp\frac{Q}{2\pi}\ln(r) \mp i\frac{Q}{2\pi}\theta \tag{2.22b}$$

$$\phi(x,y) = \mp\frac{Q}{2\pi}\ln((x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}) \tag{2.23a}$$

$$\phi(r,\theta) = \mp\frac{Q}{2\pi}\ln(r) \tag{2.23b}$$

Şekil (2.8) de kaynağın potansiyel çizgileri her sabit için aynı merkezli farklı bir yarıçaplı ayrı dairelerdir.

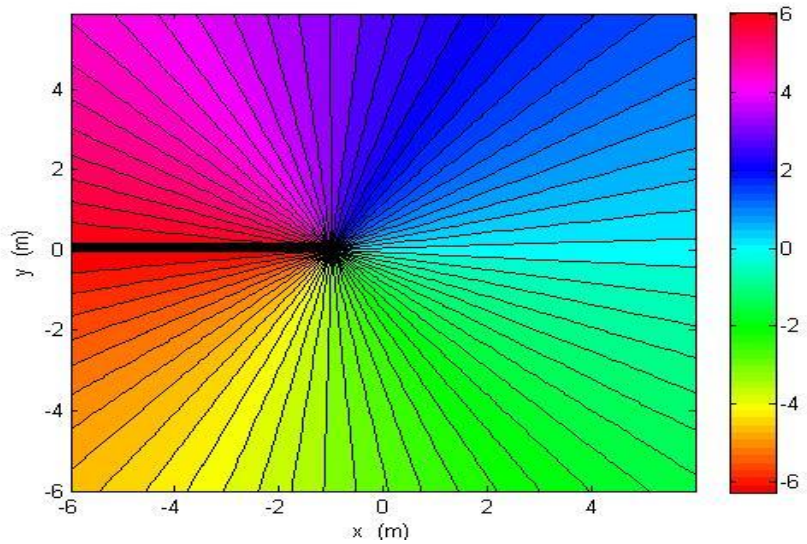


Şekil 2.8. Kaynağın potansiyel çizgileri

$$\psi(x,y) = \mp\frac{Q}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \tag{2.24a}$$

$$\psi(r,\theta) = \mp\frac{Q}{2\pi}\theta \tag{2.24b}$$

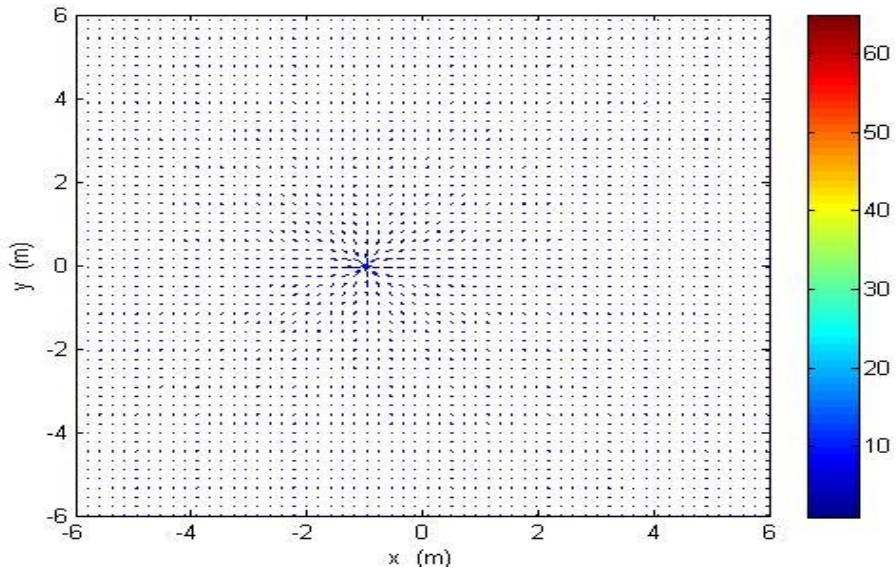
Kaynağın akım çizgileri Şekil 2.9'da her sabit için aynı merkezden her bir açı için uzanan ışınlardır.



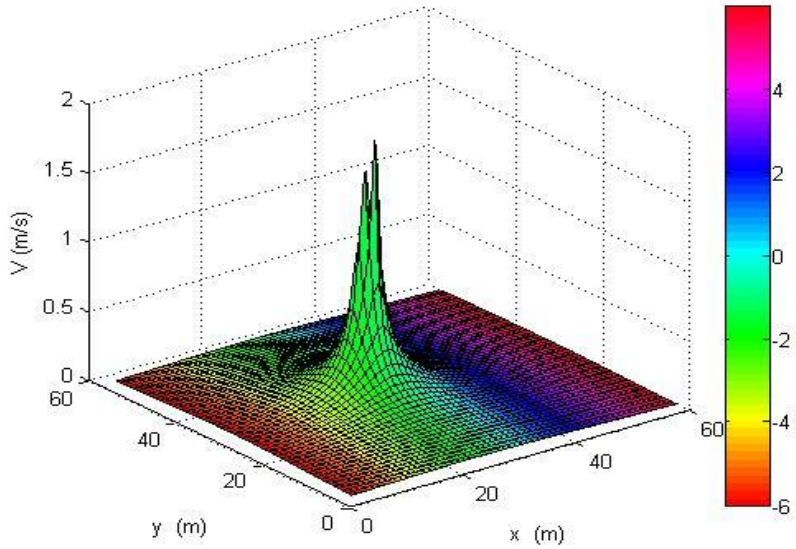
Şekil 2.9. Bir kaynağın akım çizgileri

$$\vec{V} = \mp \frac{Q}{2\pi r}\vec{e}_r \qquad \left|\vec{V}\right| = \mp \frac{Q}{2\pi r} \qquad r \to \infty \quad \left|\vec{V}\right| \to 0, \qquad r \to 0 \quad \left|\vec{V}\right| \to \infty \qquad (2.25)$$

Denklem (2.25) ten anlaşılacağı gibi kaynak merkezinde hız değeri sonsuz olmakta, kaynak merkezinden sonsuz uzaklıkta ise hız değeri 0 dır. Şekil 2.10'da vektörel olarak hız merkezde sonsuzdur, Şekil 2.11'de hız değişimi yüzeysel olarak Denklem (2.25) i sağladığı ve görülecektir. Şekil 2.12'de bir kaynak üzerinde mutlak basıncın dağılımında hız kaynak merkezinde sonsuz uzaklaştıkça azalarak sonsuzda sıfırlanıyor.

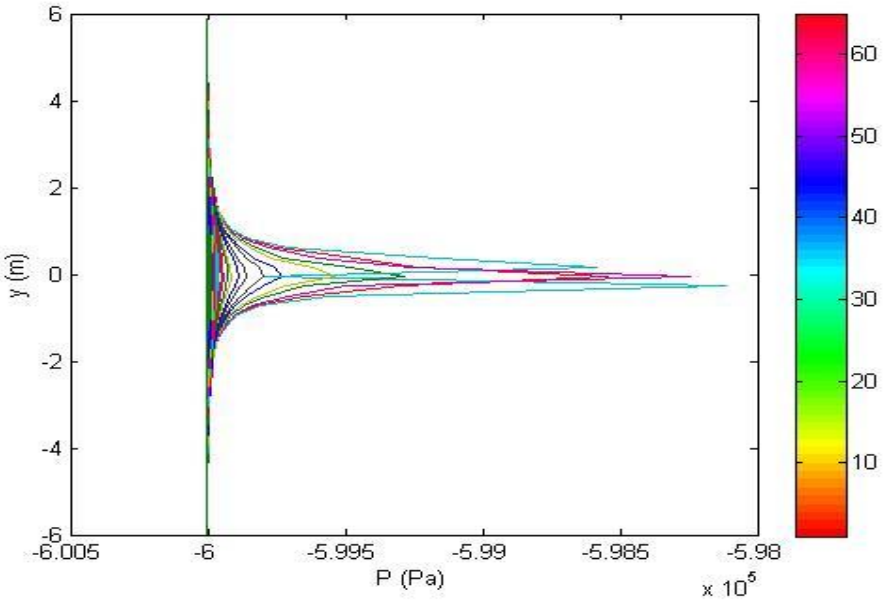


Şekil 2.10. Bir kaynak üzerindeki hız dağılımı



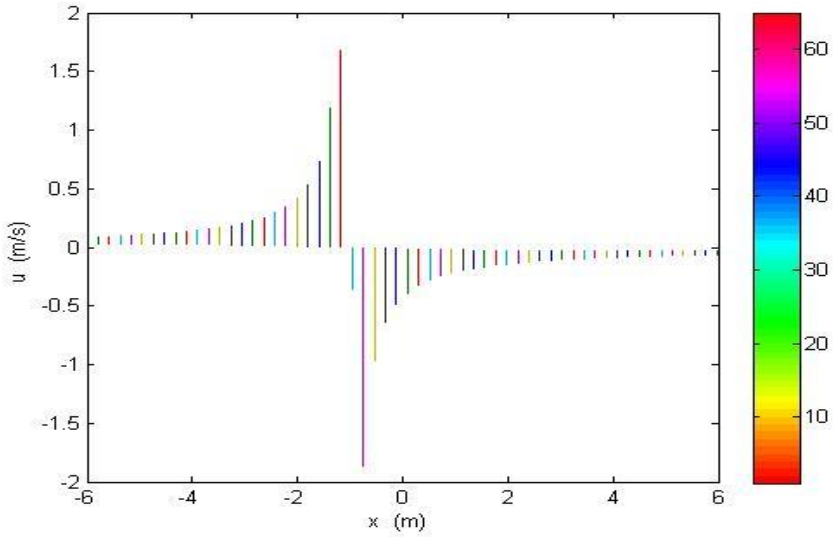
Şekil 2.11. Bir kaynak üzerindeki hız dağılımı

Şekil 2.12'de basınç dağılımının y eksenine göre değişiminde kaynak merkezinde sonsuz uzaklaştıkça düşerek belli bir değere kadar iniyor.



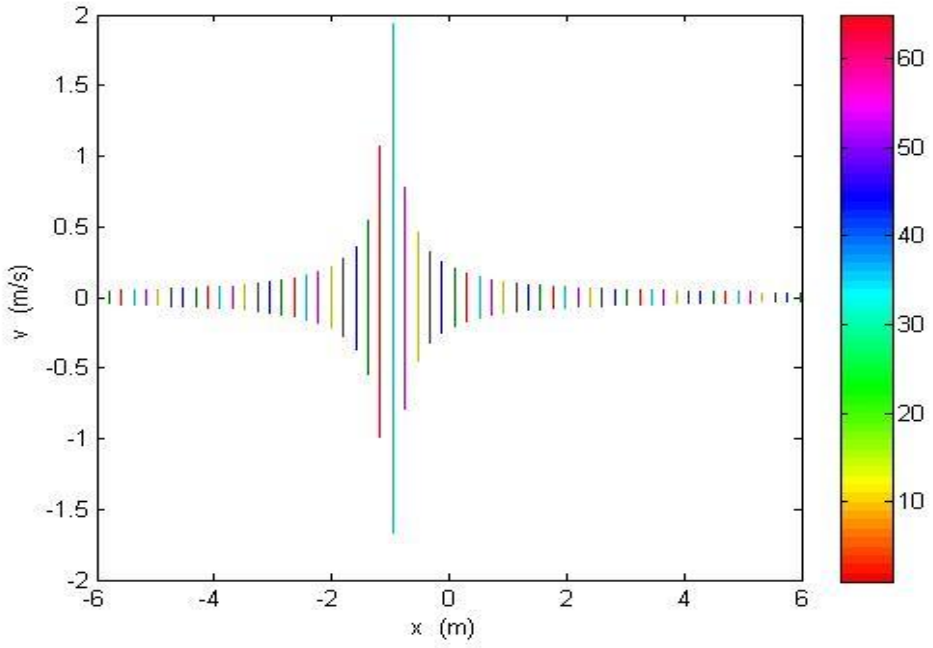
Şekil 2.12. Bir kaynakta mutlak basıncın x'e göre değişimi

Şekil 2.13'te hızın u bileşeninin y'ye dağılımının y eksenine göre değişiminde kaynak merkezine kadar artarak sonsuz değere ulaşmakta, daha sonra ise bu değer yön değiştirerek düşmektedir. Sonsuz, en uzakta is belli bir değere düşmektedir.



Şekil 2.13. Bir kaynakta hızın u bileşenin y'ye göre değişimi

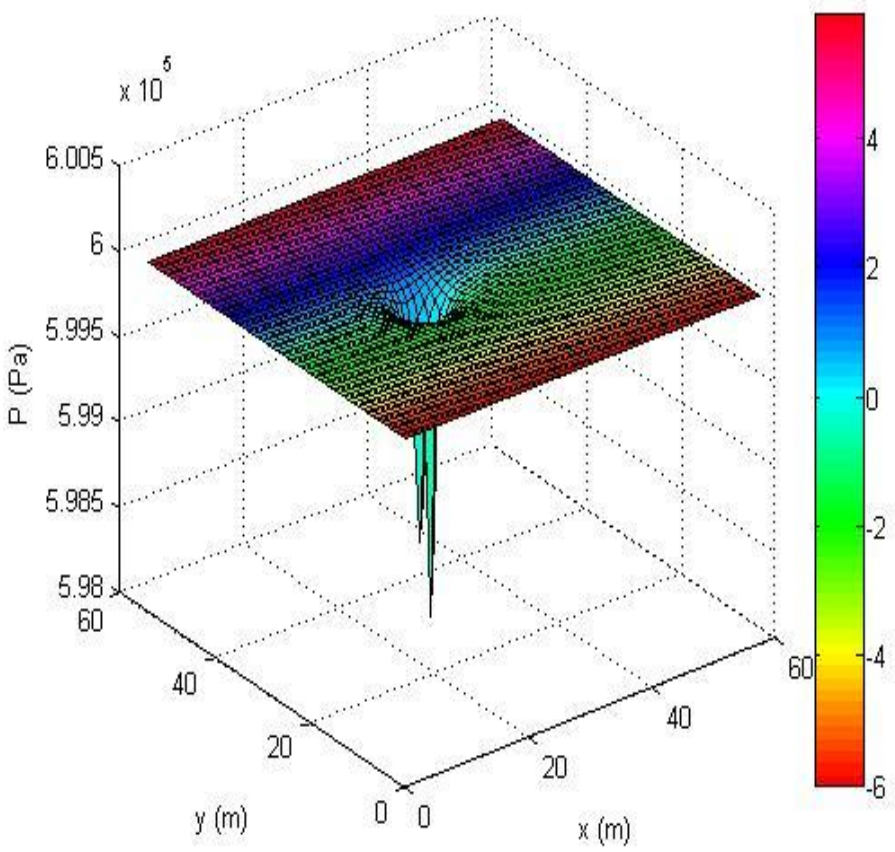
Şekil 2.14'te hızın v bileşeninin arttığı kaynak merkezinde en büyük değerine ulaşmaktadır. x ekseni üzerinde eksenden uzaklaştıkça azalmakta ve sonsuzda sıfırlanmaktadır. Yani Şekil 2.14'te hızın v bileşeni x ekseninde kaynak merkezinde sonsuz değere ulaşıp daha sonra düşmektedir.



Şekil 2.14. Bir kaynakta hız bileşeni v'nin x'e göre değişimi

$$p = p_{\infty} + \frac{\rho}{2}\left(\frac{Q}{2\pi r}\right)^2 \tag{2.26}$$

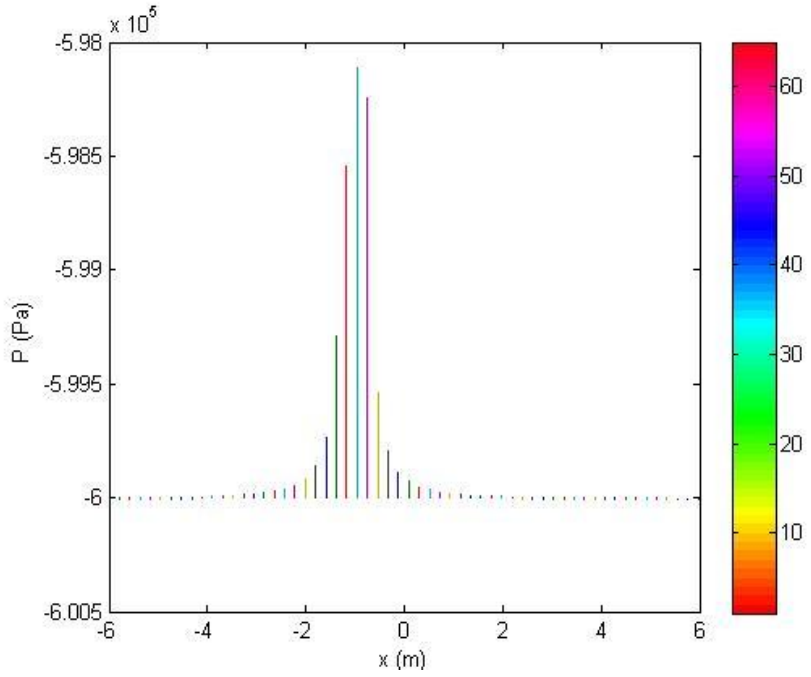
Burada Q kaynak ve kuyunun debi şiddetini gösteren bir sabittir. Denklem (2.26) ya göre kaynak merkezinde (r = 0), basıncın mutlak değeri sonsuzdur ve r değeri büyüdükçe basınç değeri küçülmektedir. Bu durumu Şekil 2.15'teki grafikte net olarak görmek mümkündür.



Şekil 2.15. Bir kaynakta mutlak basınç dağılımı

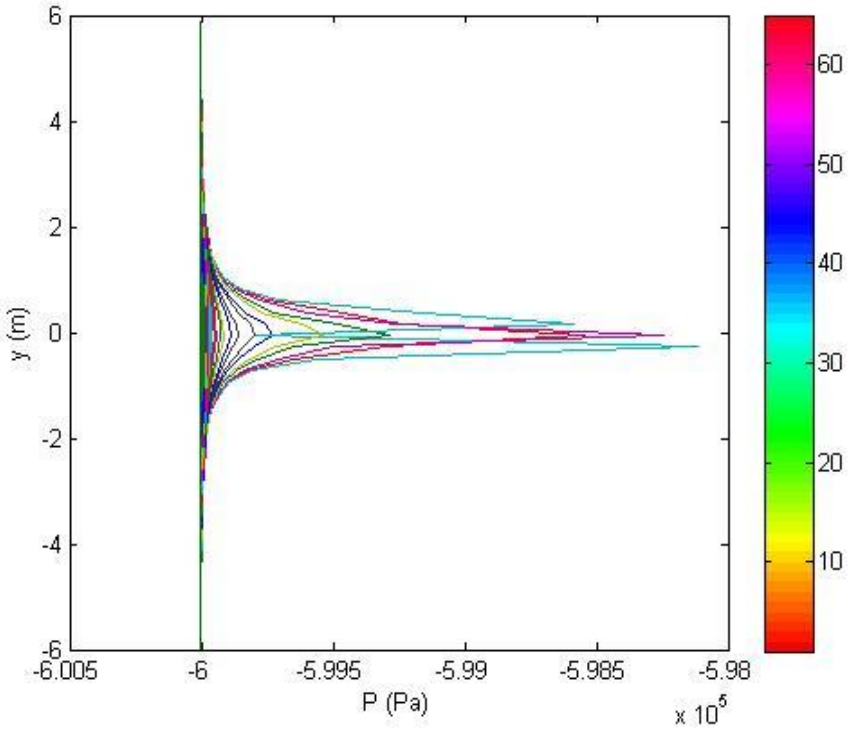
Bir kaynaktaki toplam (mutlak) basınç dağılımı Şekil 2.15'te görüldüğü gibi kaynak merkezinde en büyük değerini alacaktır. Uzaklaştıkça bu değerler düşecektir.

Şekil 2.16'da mutlak basıncın x'e göre dağılımında kaynak merkezinde (x = -1) maksimum dur uzaklaştıkça kaynak merkezinden azalacaktır ve belli bir noktadan sonra sıfıra yaklaşacaktır.



Şekil 2.16. Bir kaynakta mutlak basıncın x'e göre değişimi

Şekil 2.17'de mutlak basıncın y'e göre dağılımında kaynak merkezinde (y = 0) maksimum dur uzaklaştıkça kaynak merkezinden azalacaktır ve belli bir noktadan sonra sıfıra yaklaşacaktır.



Şekil 2.17. Bir kaynakta mutlak basıncın y'e göre değişimi

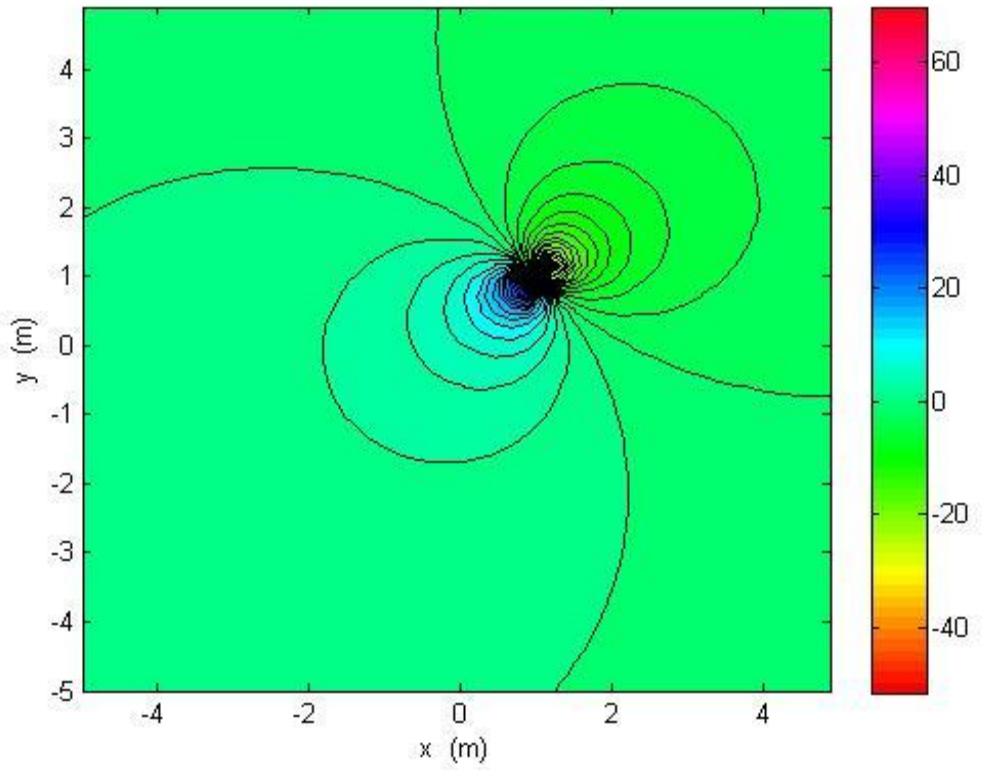
2.2.3. Duble

$$F(z) = \frac{q}{z - z_0} e^{i\alpha} \tag{2.27}$$

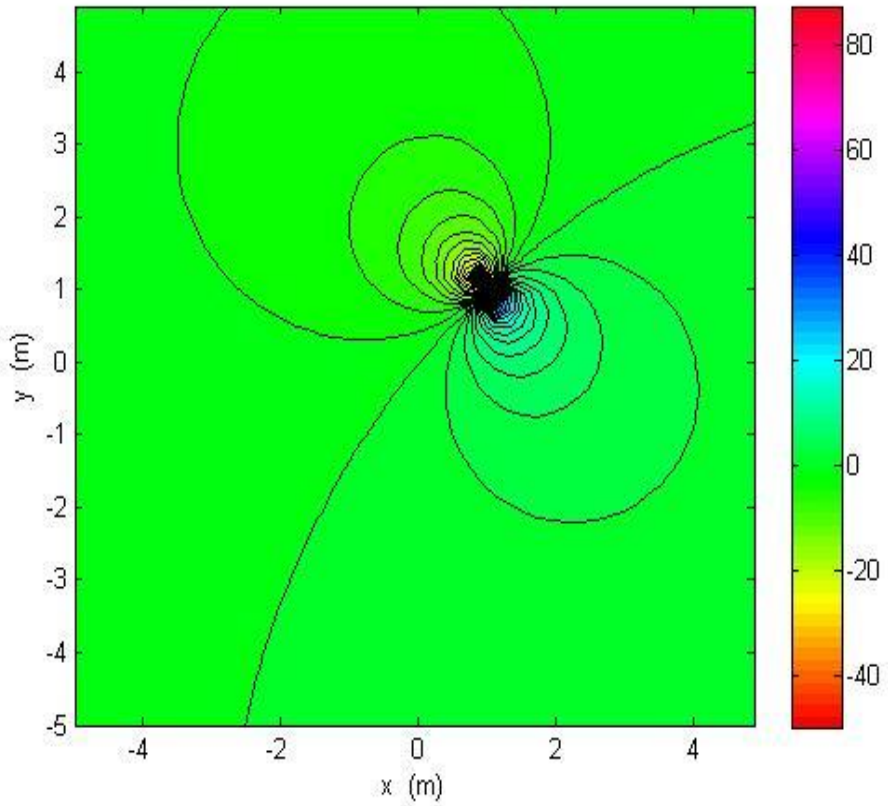
$$F(x,y) = \frac{q(x - iy)}{x^2 + y^2} e^{i\alpha} = \left(\frac{qx}{x^2 + y^2} \right) e^{i\alpha} - i \left(\frac{qy}{x^2 + y^2} \right) e^{i\alpha} \tag{2.28}$$

$$\phi = \frac{qx}{x^2 + y^2} e^{i\alpha} \tag{2.29}$$

Merkezi (3,0) da bulunan ve yatayla 50^0 yapan bir dubleye bir dubleye potansiyel çizgileri Şekil 2.18'de kaynak ve kuyunun konum ve yönüne göre değiştiği, merkezden itibaren uzaklaştıkça etkisinin azaldığı, Denklem (2.29) potansiyel fonksiyonun her bir sabit için farklı bir akım çizgisine sağladığını söylemek mümkündür. Buna karşın akım çizgileri potansiyel çizgilere 90^0 diktir.



Şekil 2.18. Merkezi (1,1) konumunda ve yatayla 50^0 yapan bir dubleye potansiyel çizgileri



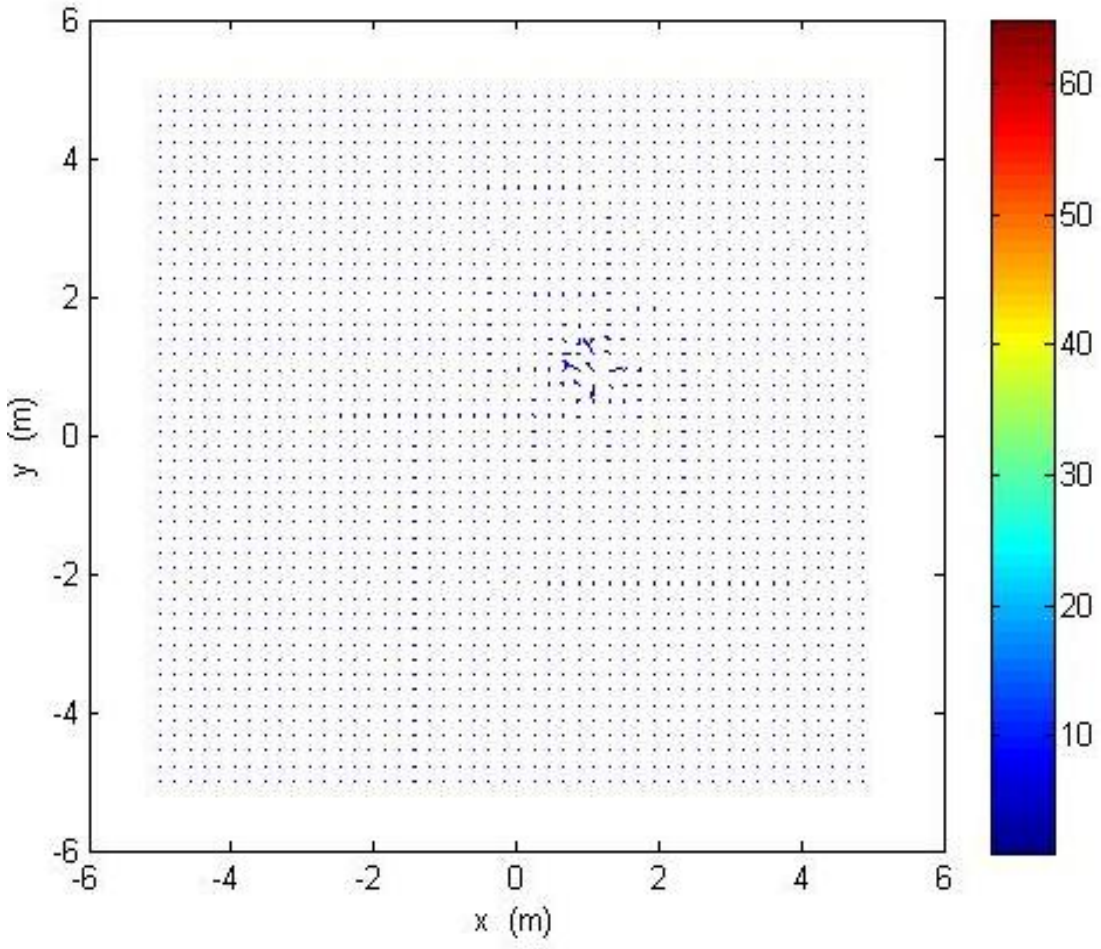
Şekil 2.19. Merkezi A(1,1) konumda bulunan ve yatayla 130^{0}'lik açı yapan bir dublenin akım çizgileri

$$\psi = \frac{qy}{x^2 + y^2} e^{i\alpha} \tag{2.30}$$

$$q = \frac{Qa}{\pi} \tag{2.31}$$

$$\vec{V} = q\left[\frac{y^2 - x^2}{\left(x^2 + y^2\right)^2}\vec{i} - \frac{2xy}{\left(x^2 + y^2\right)^2}\vec{j}\right]e^{i\alpha} \tag{2.32a}$$

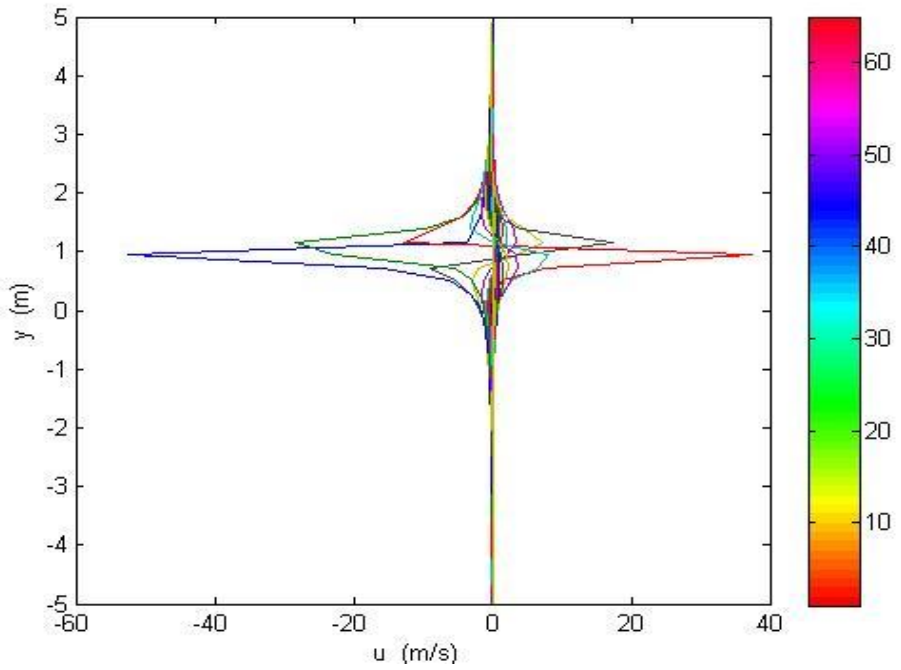
Merkezi (2,2) da bulunan ve yatayla 130^{0}'lik açı yapan bir dublenin vektörel olarak hız dağılımında merkezde çok yüksek ve dublenin açısına göre değiştiği ve merkezden uzaklaştıkça düştüğünü Şekil 2.20'den bakarak söylemek mümkündür.



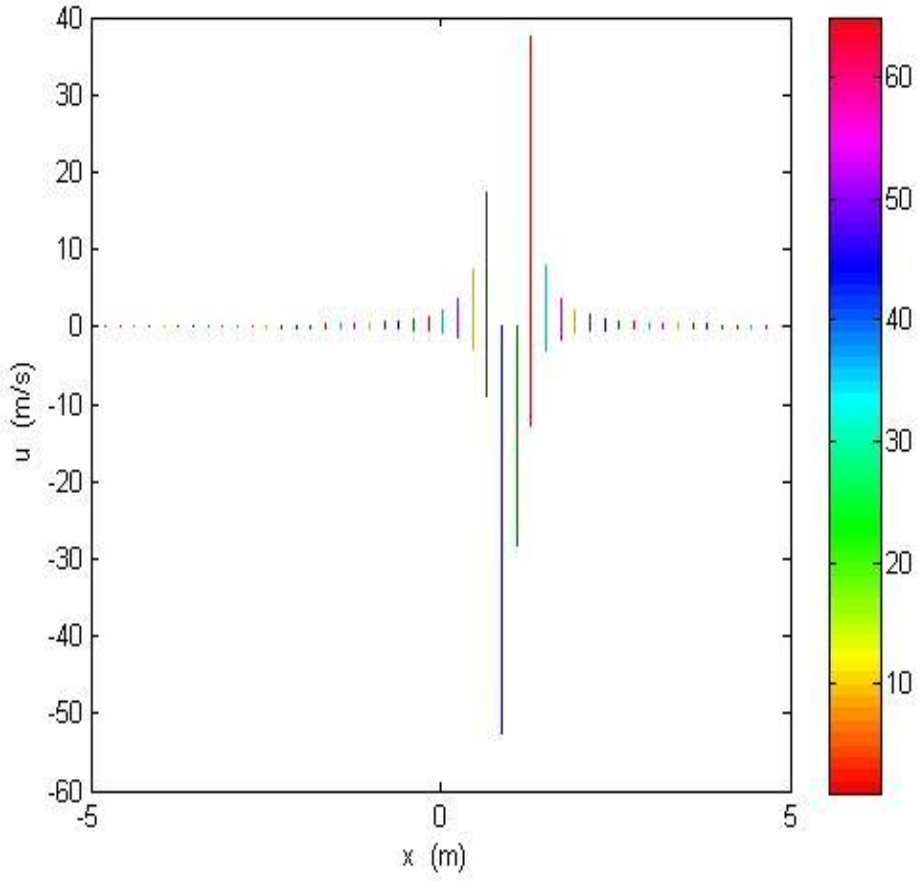
Şekil 2.20. Merkezi (2,2) konumunda bulunan ve yatayla $130^{0'}$lik açı yapan bir dublenin hız dağılımı

$$\left|\vec{V}\right|^2 = q^2\left[\left(\frac{y^2-x^2}{\left(x^2+y^2\right)^2}\right)^2+\left(\frac{2xy}{\left(x^2+y^2\right)^2}\right)^2\right]e^{i2\alpha} \qquad (2.32b)$$

Şekil 2.21'de bir dublede hızın u bileşenin y' ye göre değişiminde kaynak ve kuyu etkisini bir arada görmek mümkündür. Duble merkezinde kaynak etkisi çok büyük değerde iken, kuyu etkisiyle de negatif (–) olarak maksimum değere ulaşıp bir etki oluşturacaktır.

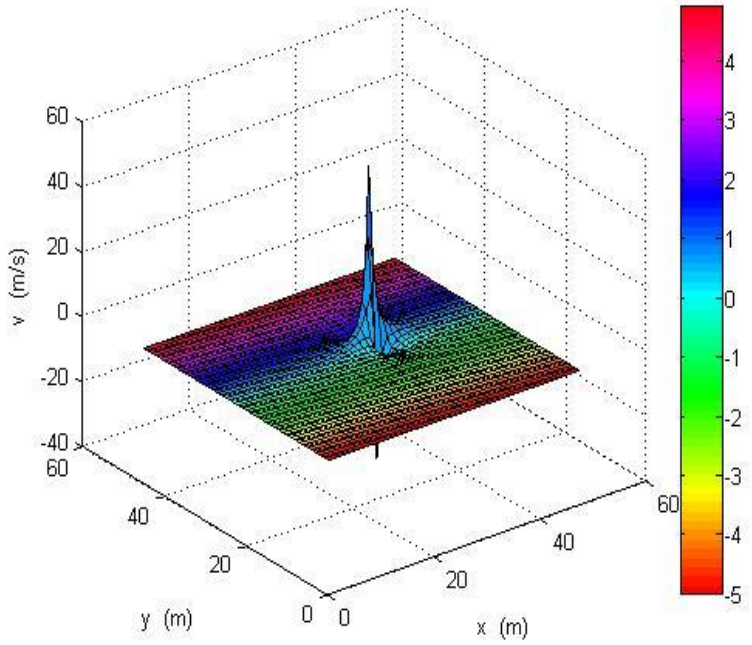


Şekil 2.21. Bir dublede hız bileşeni u'nun y'ye göre değişimi

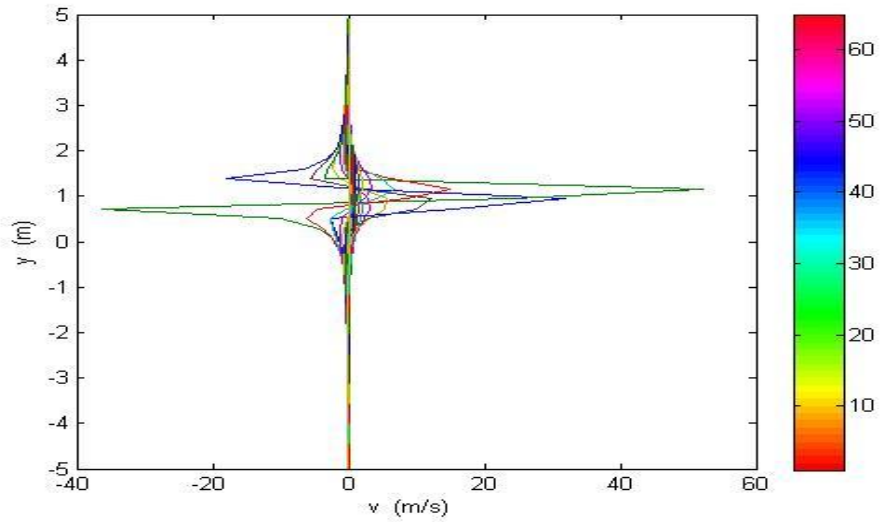


Şekil 2.22. Bir dublede hız bileşeni u'nun x'e göre değişimi.

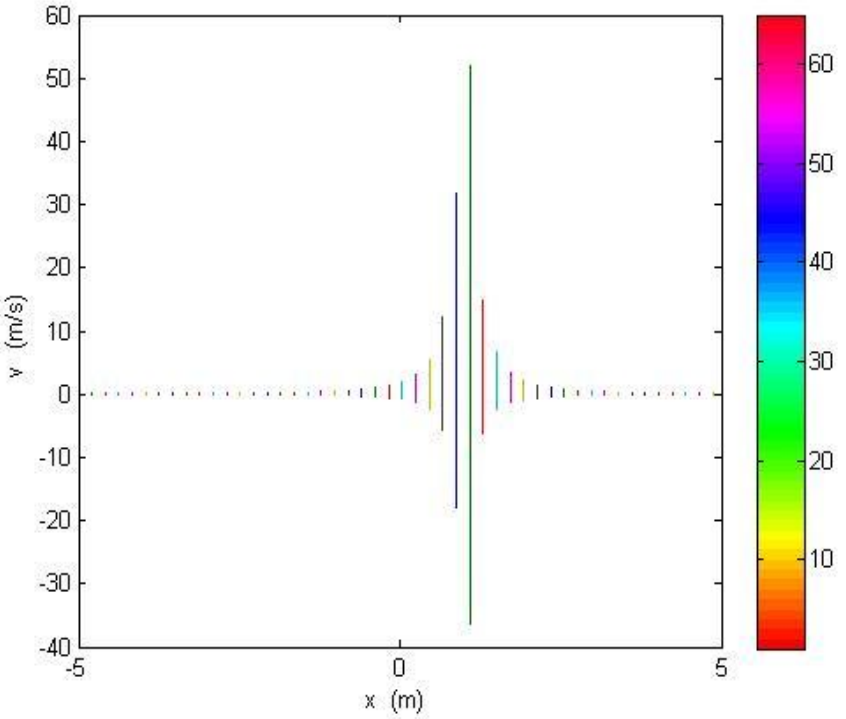
Şekil 2.23'te bir dublede hızın v bileşeninin önce arttığı sonra azalarak o değerine kadar düştükten sonrada eksi yönde arttıktan sonra azalarak sıfırlandığı görülebilir. Dublede hız bileşeni v nin değişimi y eksenine göre duble merkezinde Şekil 2.24' te görüldüğü gibi kuyudan dolayı negatif en yüksek değeri duble merkezinin hemen yakınında alırken, kaynaktan dolayı da pozitif en yüksek değeri almaktadır. x ekseni üzerinde ise kaynak kuyunun hız değeri Şekil 2.25'teki gibi maksimum değerine ulaşmaktadır.



Şekil 2.23. Bir dublede hız bileşeni v'nin dağılımı

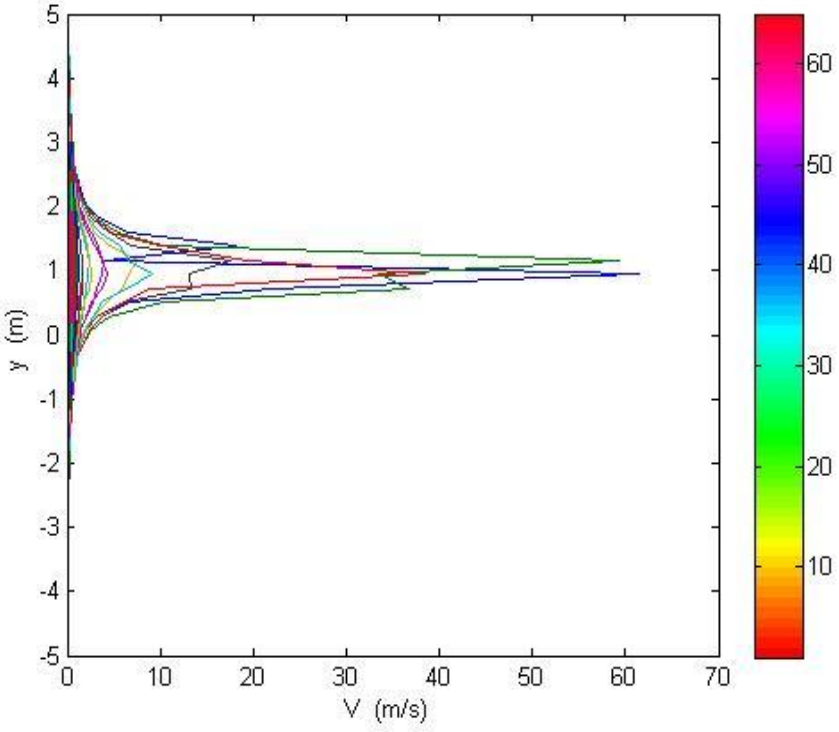


Şekil 2.24. Bir dublede hız bileşeni v'nin y'ye göre değişimi



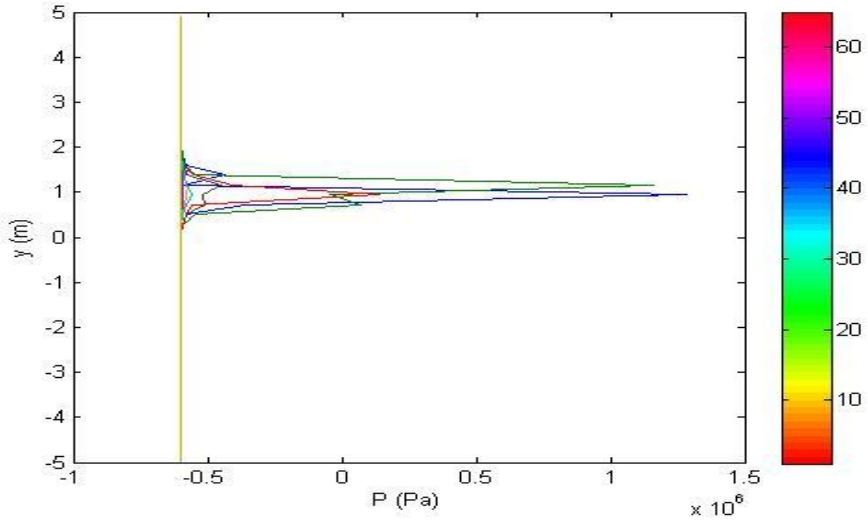
Şekil 2.25. Bir dublede hız bileşeni v'nin x'e göre değişimi

Şekil 2.26'da bir dublede hız bileşeni v'nin y'ye değişiminde, merkezinden uzaklaştıkça ani düşüşle sıfırlanmaktadır.



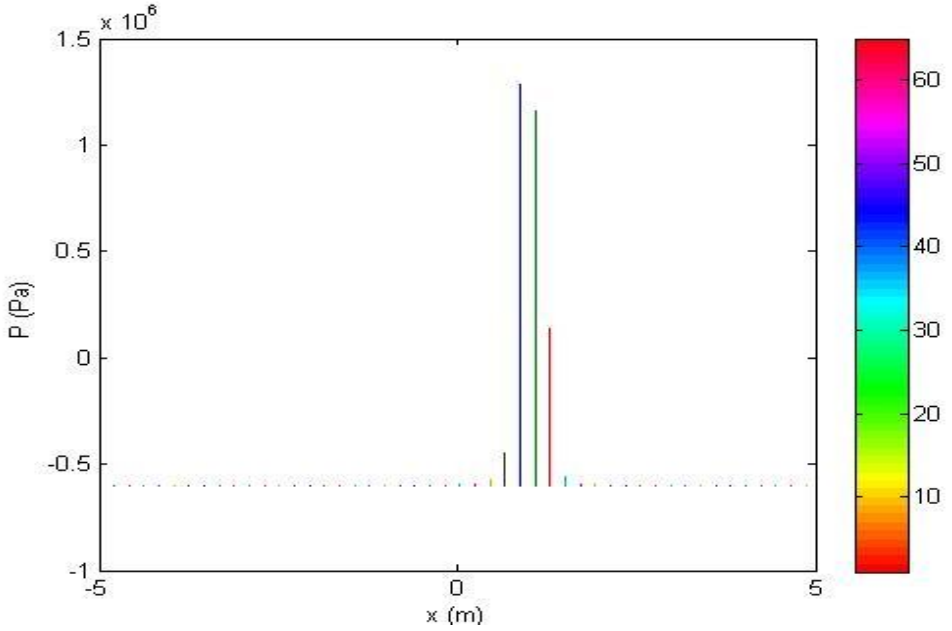
Şekil 2.26. Bir dublede hız bileşeni v'nin y'ye göre değişimi

Şekil 2.27'de bir dublede dinamik basınç P'nin y'ye göre değişimi görülmektedir ve buna göre basınç duble merkezinde en büyük değerini almakta uzaklaştıkça düşmektedir.



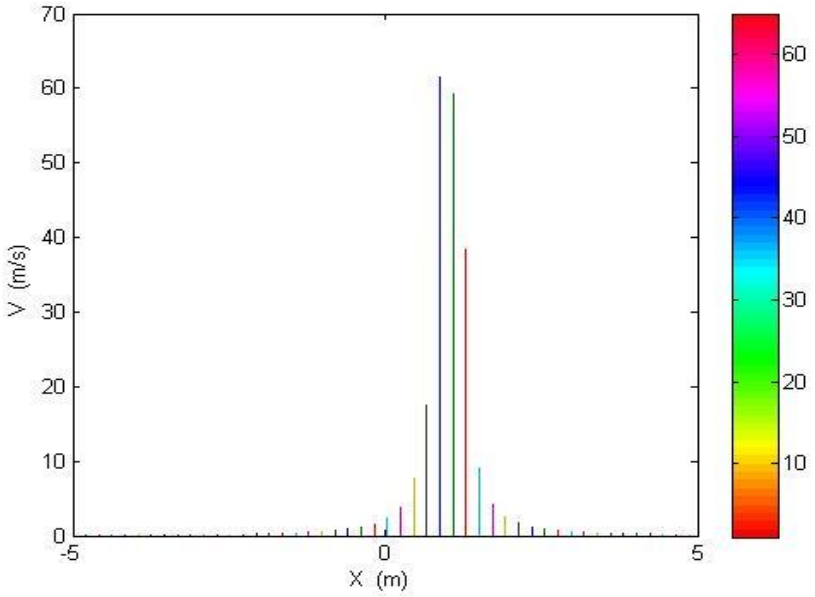
Şekil 2.27. Bir dublede dinamik basınç P'nin y'ye göre değişimi

Şekil 2.28'de bir dublede mutlak hız V'nin x'e göre değişimi görülmektedir ve buna göre mutlak hız duble merkezinde en büyük değerini almakta uzaklaştıkça düşmektedir.



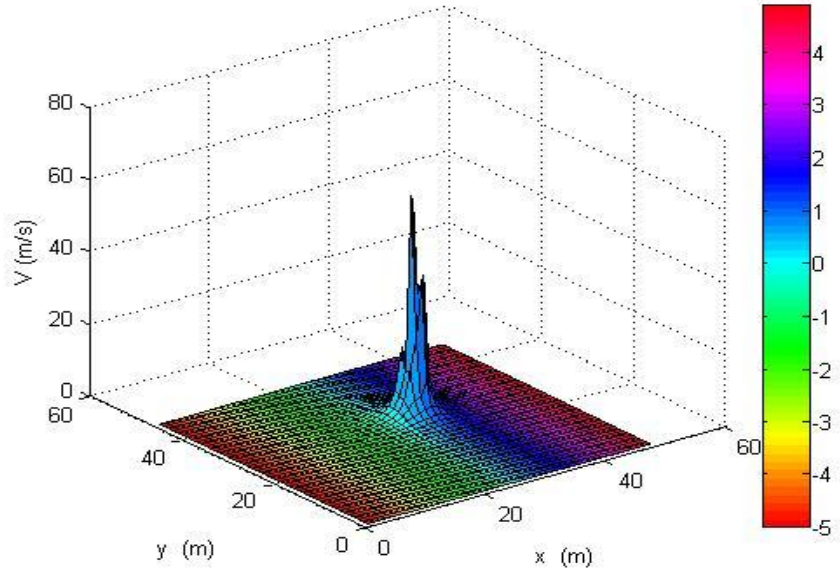
Şekil 2.28. Bir dublede dinamik basınç P'nin x'e göre değişimi

Şekil 2.29'da bir dublede mutlak hız V'nin x'e göre değişiminde duble merkezinden x ekseni üzerinde uzaklaştıkça azalmaktadır.



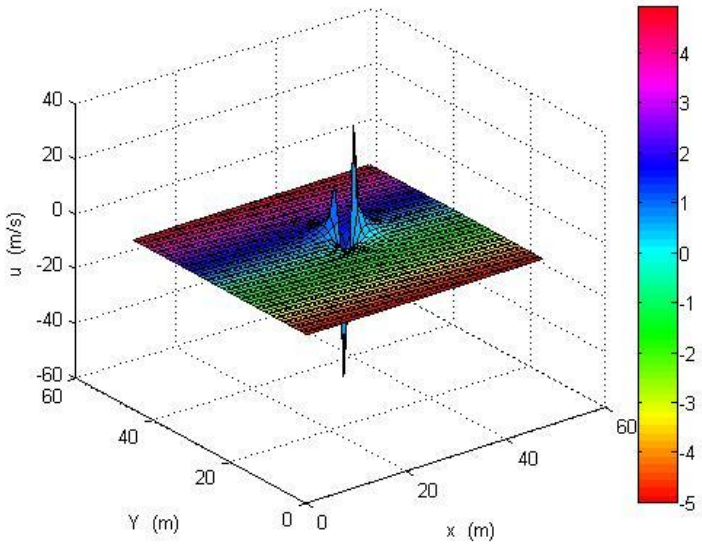
Şekil 2.29. Bir dublede mutlak hız V'nin x'e göre değişimi

Şekil 2.30'da bir dublede mutlak hız V değişimi yüzeysel görülmektedir ve buna göre basınç duble merkezinde en büyük değerini almakta uzaklaştıkça düşmektedir.



Şekil 2.30. Bir dublede mutlak hız V'nin yüzeysel değişimi

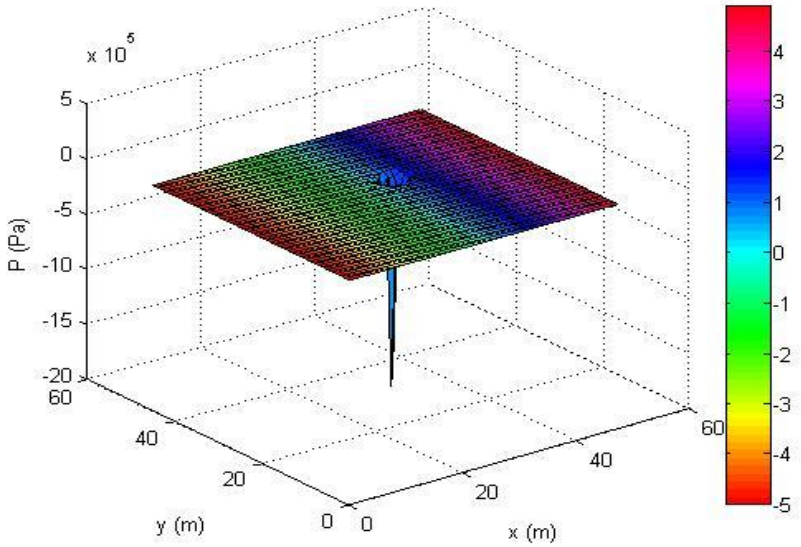
Şekil 2.31'de bir dublede hız bileşeni u nun yüzeysel değişimi görülmektedir ve buna göre basınç duble merkezinde kaynak kuyu yan yana olmasından dolayı hem en büyük pozitif (kaynak merkezi), hem de en büyük negatif değeri almaktadır. Merkezden uzaklaştıkça bu değer düşmektedir.



Şekil 2.31. Bir dublede hız bileşeni u nun dağılımı

Mutlak basınç Denklem (2.33) de verilmektedir. Şekil 2.32'de bir dublede mutlak basınç değişimi grafikten anlaşılacağı gibi duble merkezinde çok büyük merkezden uzaklaştıkça bu değer belli değere kadar yükselmektedir, ve duble merkezinden belli bir uzaklıktan sonra değişim ihmal edilecek kadar düşüktür.

$$p = p_\infty + \frac{\rho}{2}\left\{\left[(U_\infty)^2\right] - q^2\left[\left(\frac{y^2 - x^2}{\left(x^2+y^2\right)^2}\right)^2 + \left(\frac{2xy}{\left(x^2+y^2\right)^2}\right)^2\right]e^{i2\alpha}\right\} \qquad (2.33)$$



Şekil 2.32. Merkezi (2,3) da bulunan ve yatayla $130^{0'}$lik açı yapan bir dublenin mutlak basınç dağılımı

2.2.4. Genel akım ile duble

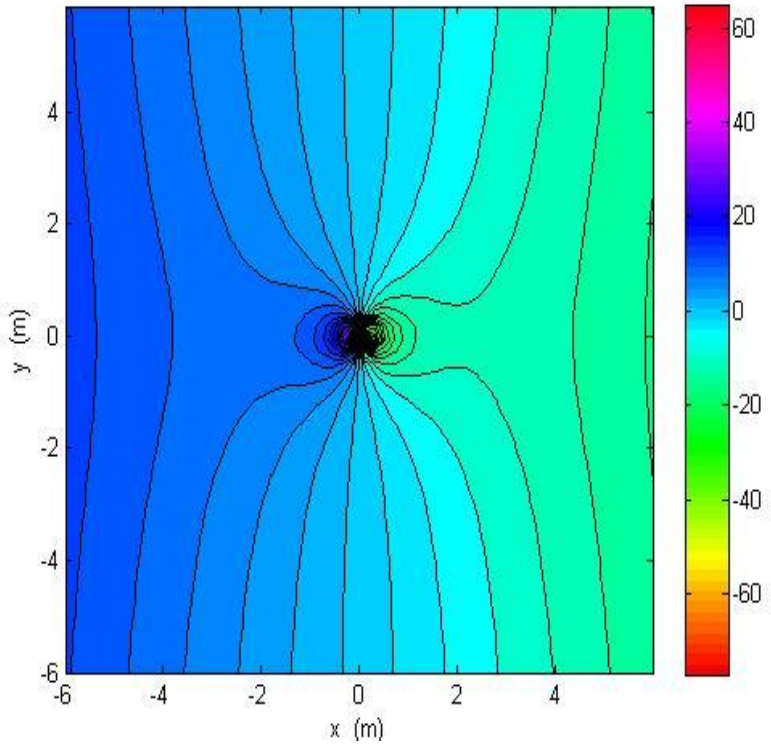
$$F(z) = U_{\infty} z + \frac{q}{z - z_0} e^{i\alpha} \tag{2.34}$$

$$F(x,y) = U_{\infty}(x+iy) + \frac{q(x-iy)}{x^2+y^2} e^{i\alpha} = U_{\infty} x + \left(\frac{qx}{x^2+y^2} \right) e^{i\alpha} + i \left(U_{\infty} y - \frac{qy}{x^2+y^2} \right) e^{i\alpha} \tag{2.35}$$

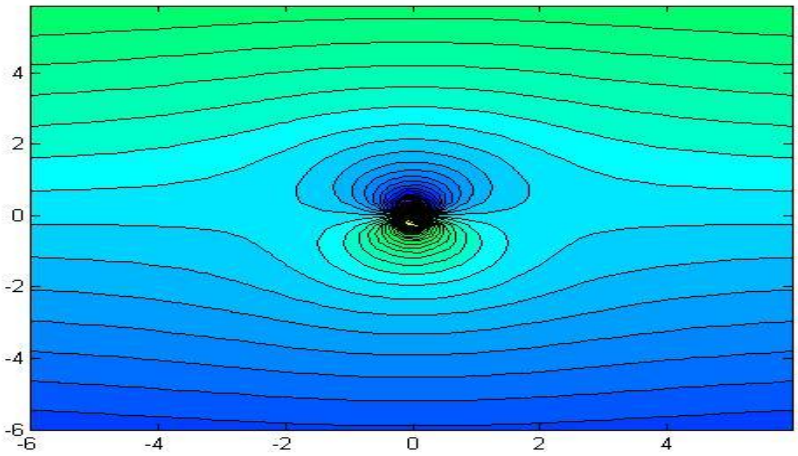
$$\phi = U_{\infty} x + \frac{qx}{x^2+y^2} e^{i\alpha} \tag{2.36}$$

Bir duble ile genel akım bir araya geldiği zaman katı cisim oluşur. Bu katı cismin büyüklüğü akım ve dublenin şiddetine bağlıdır. Bunun kompleks potansiyel fonksiyonu Denklem (2.34) de, bu denklemden de potansiyel ve akım fonksiyonları Denklem (2.36) ve Denklem (2.37) deki gibi türetilmiştir. Akımın oluşturduğu potansiyel çizgileri Şekil (2.33a) da ve akım çizgileri Şekil 2.33b'de verilmiştir.

$$\psi = \left(U_{\infty} y - \frac{qy}{x^2+y^2} \right) e^{i\alpha} \tag{2.37}$$



(a)



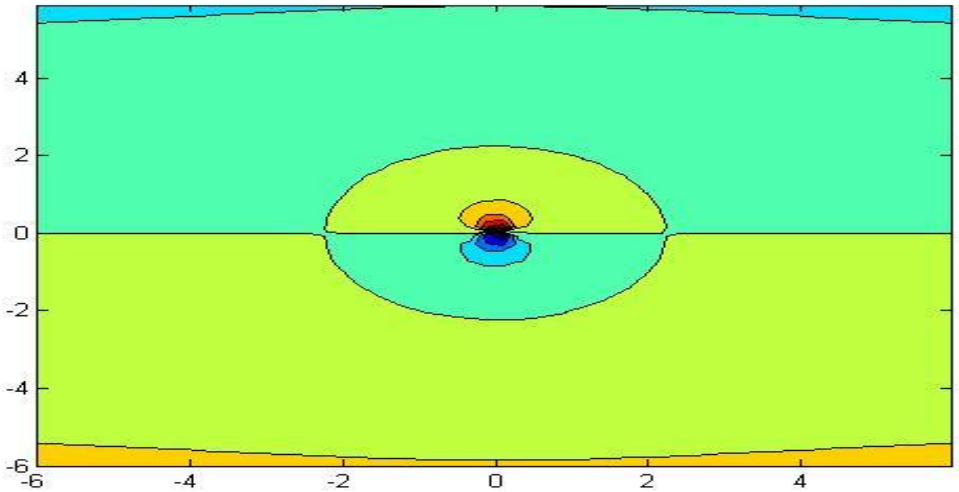
(b)

Şekil 2.33. A(0,0) da bulunan bir duble ile genel akımın, a) potansiyel çizgileri, b) akım çizgileri

$$q = \frac{Qa}{\pi} \tag{2.38}$$

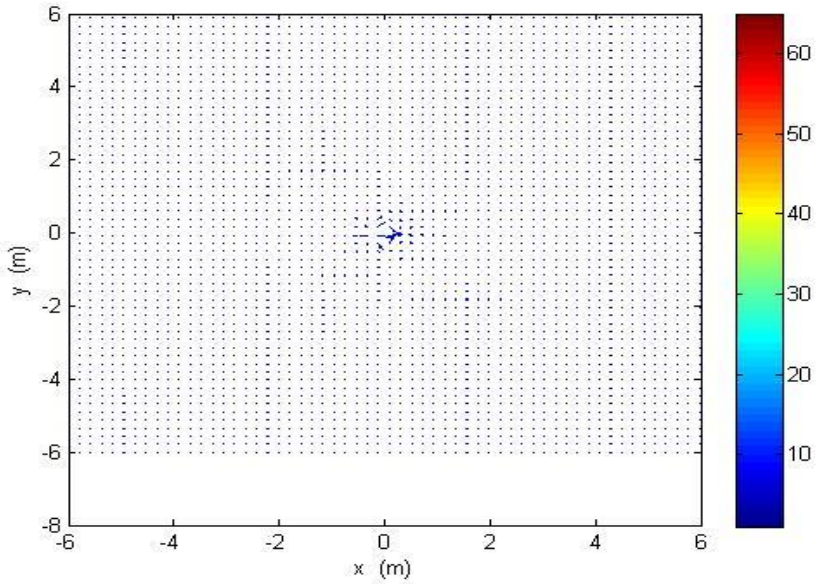
$$\vec{V} = \left[U_\infty + \frac{y^2 - x^2}{\left(x^2 + y^2\right)^2} e^{i\alpha} \right] \vec{i} - \left[\frac{2xy}{\left(x^2 + y^2\right)^2} e^{i\alpha} \right] \vec{j} \tag{2.39}$$

Genel akım ile duble birleştirildiğinde akım çizgileri Denklem (2.37) de verilmiş olan dairesel katı cisim etrafındaki akımı temsil etmekte olup bu katı cisim Şekil 2.34'te görülebilir. Bu bizim aradığımız katı rijit duvar oluşturmak için bunun kullanılmasını mümkün kılmaktadır.



Şekil 2.34. Duble ile genel akımda akım çizgileri ve hız dağılımı

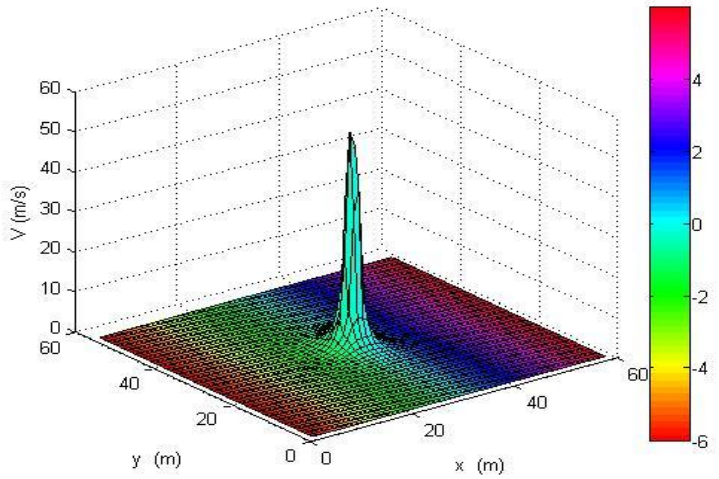
Şekil 2.35'te hız dağılımında katı cisim geometrisi duble ve genel akımın hızının büyüklüğüne bağlı değiştiğini ve katı cisim sınırlarını vertörel olarak görülebilir.



Şekil 2.35. Duble ile genelde akımın hız dağılımı

$$\left|\vec{V}\right|^2 = \left[U_\infty + \frac{y^2 - x^2}{\left(x^2 + y^2\right)^2} e^{i\alpha}\right]^2 + \left[-\frac{2xy}{\left(x^2 + y^2\right)^2} e^{i\alpha}\right]^2 \tag{2.40}$$

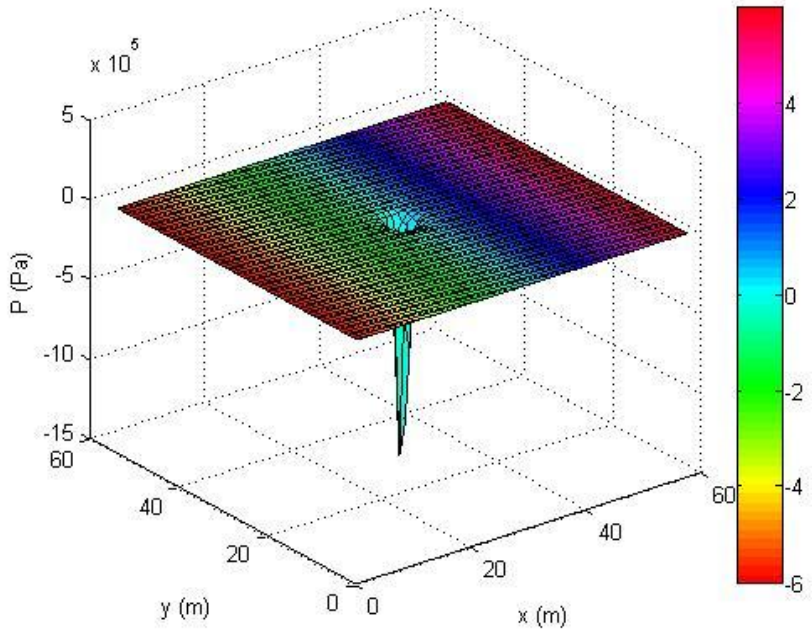
Şekil 2.36'da hız dağılımı yüzeysel olarak görülmektedir ve merkezde en büyük değeri almaktadır. Cismin girişinde hız sıfırdır ve akışkan cisim yüzeyi üzerinde kayıyormuş gibi olur.



Şekil 2.36. Duble ile genel akımın mutlak hız dağılımı

$$p = p_\infty + \frac{\rho}{2}\left\{\left[(U_\infty)^2\right] - q^2\left[\left(U_\infty + \frac{y^2 - x^2}{\left(x^2 + y^2\right)^2}\right)^2 + \left(-\frac{2xy}{\left(x^2 + y^2\right)^2}\right)^2\right]e^{i2\alpha}\right\} \qquad (2.41)$$

Şekil 2.37'de mutlak basınç yüzeysel olarak görülmektedir ve merkezde en büyük değeri almaktadır. Oluşan katı cismin sınırları içinde aniden düşmektedir.



Şekil 2.37. Duble ile genel akımda mutlak basınç

$$F = \iint_A p\vec{n}d\sigma =$$

$$= \iint_A \left\{p_\infty + \frac{\rho}{2}\left\{\left[(U_\infty)^2\right] - q^2\left[\left(U_\infty + \frac{y^2 - x^2}{\left(x^2 + y^2\right)^2}\right)^2 + \left(-\frac{2xy}{\left(x^2 + y^2\right)^2}\right)^2\right]e^{i2\alpha}\right\}\right\}\vec{n}d\sigma \qquad (2.42)$$

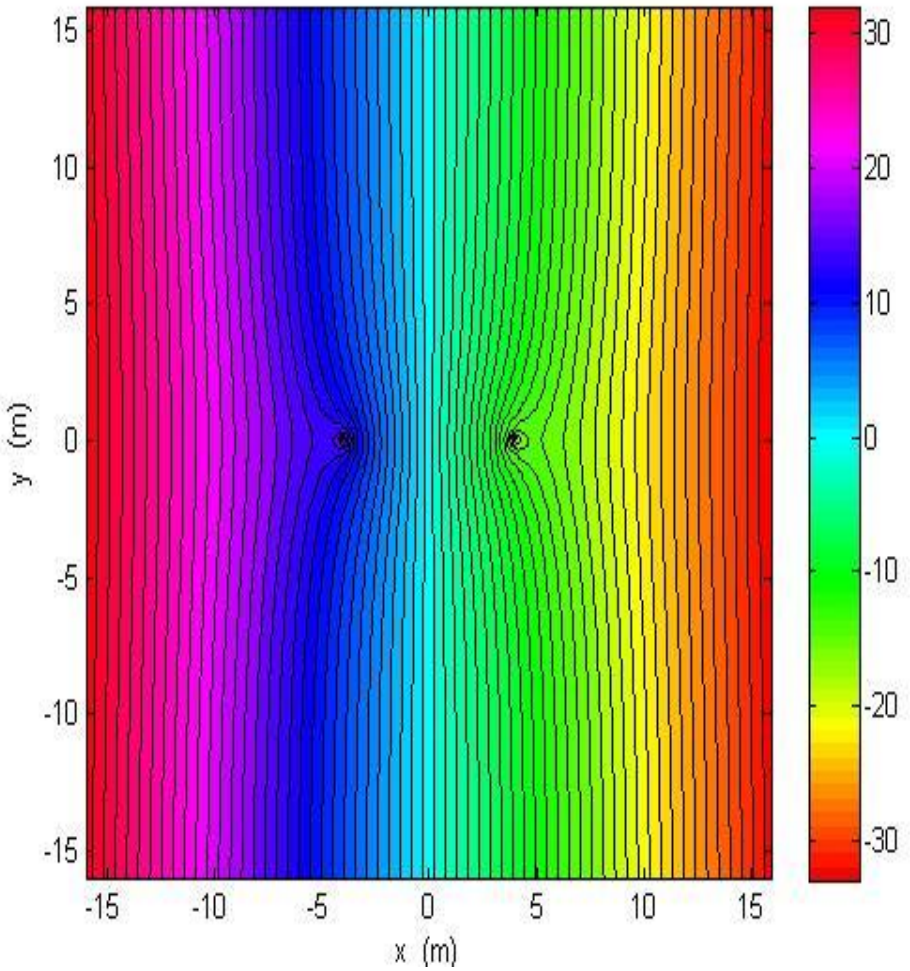
2.2.5. Rankine ovali

Elde edilmek istenen oyuklu Rankine ovoidi önce Rankine ovalinin dış cidarları ile elde edilecektir. Bu ovalin dış cidarların uzunluğu ve genişliği bilindiği gibi kaynak ve kuyunun debisine, aralarındaki uzaklığa ve genel şiddetine bağlıdır. Denklem (2.43) de Rankine ovalinin kompleks fonksiyonu, Denklem (2.44) de potansiyel,

Denklem (2.45) te akım fonksiyonları verilmiştir. Bu akım fonksiyonu değişik sabitler için Şekil 2.38'de potansiyel çizgileri, akım çizgileri Şekil 2.39'da ortada bir cisim etrafındaki akım, Rankine ovalinin dış cidarını ve cidar dışındaki akım görülmektedir. Şekil 2.40'da Rankine ovalinin potansiyel çizgileri, akım çizgileri hız vektörü ve cidarı bir arada bulunmaktadır.

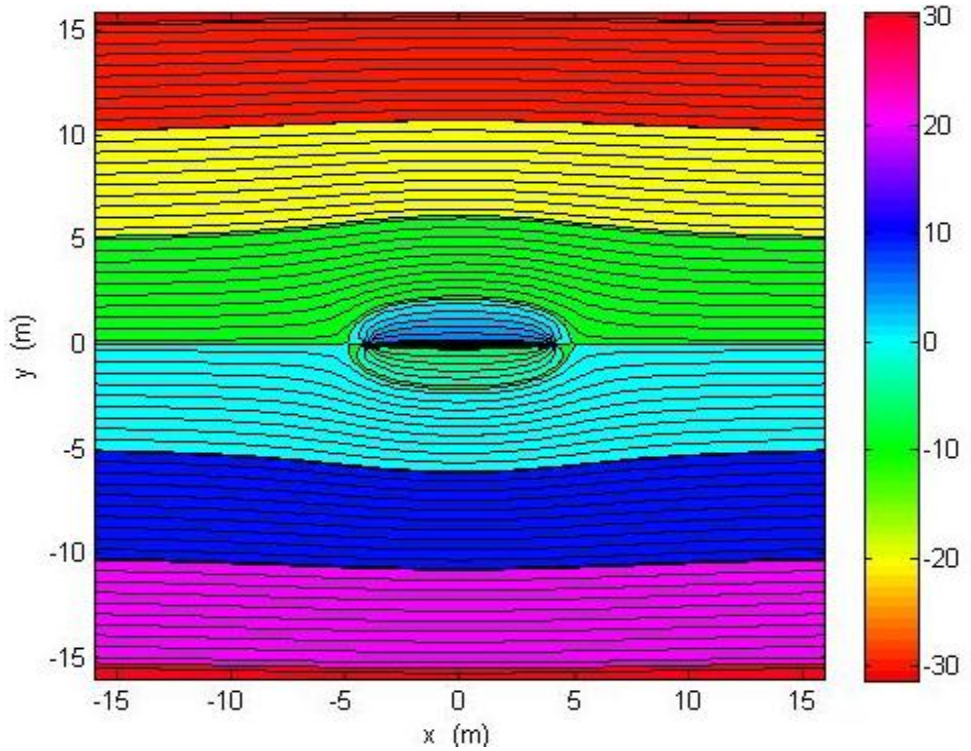
$$F(z) = U_\infty z + \frac{Q}{2\pi} \ln \frac{(z - z_0)}{(z + z_0)} \tag{2.43}$$

$$\phi(x, y) = U_\infty x + \frac{Q}{2\pi} \ln \left(\frac{(x + a)^2 + y^2)}{(x - a)^2 + y^2} \right) \tag{2.44}$$

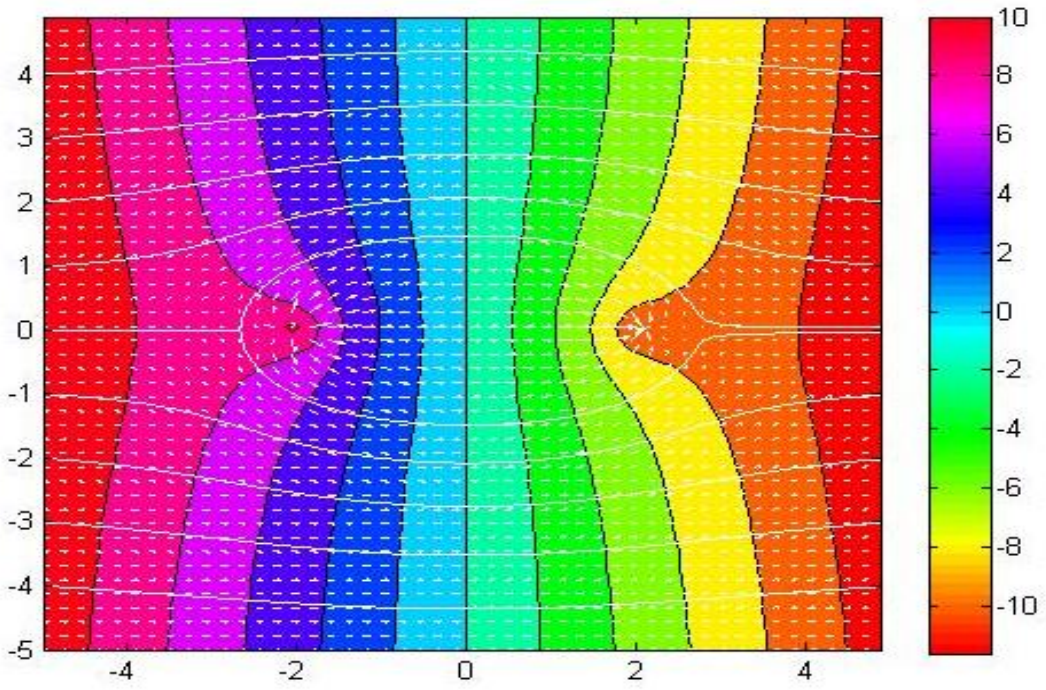


Şekil 2.38. Rankine ovali etrafındaki potansiyel çizgileri

$$\psi(x, y) = -U_\infty y + \frac{Q}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{2ay}{(a^2 - x^2 - y^2)} \right) \tag{2.45}$$



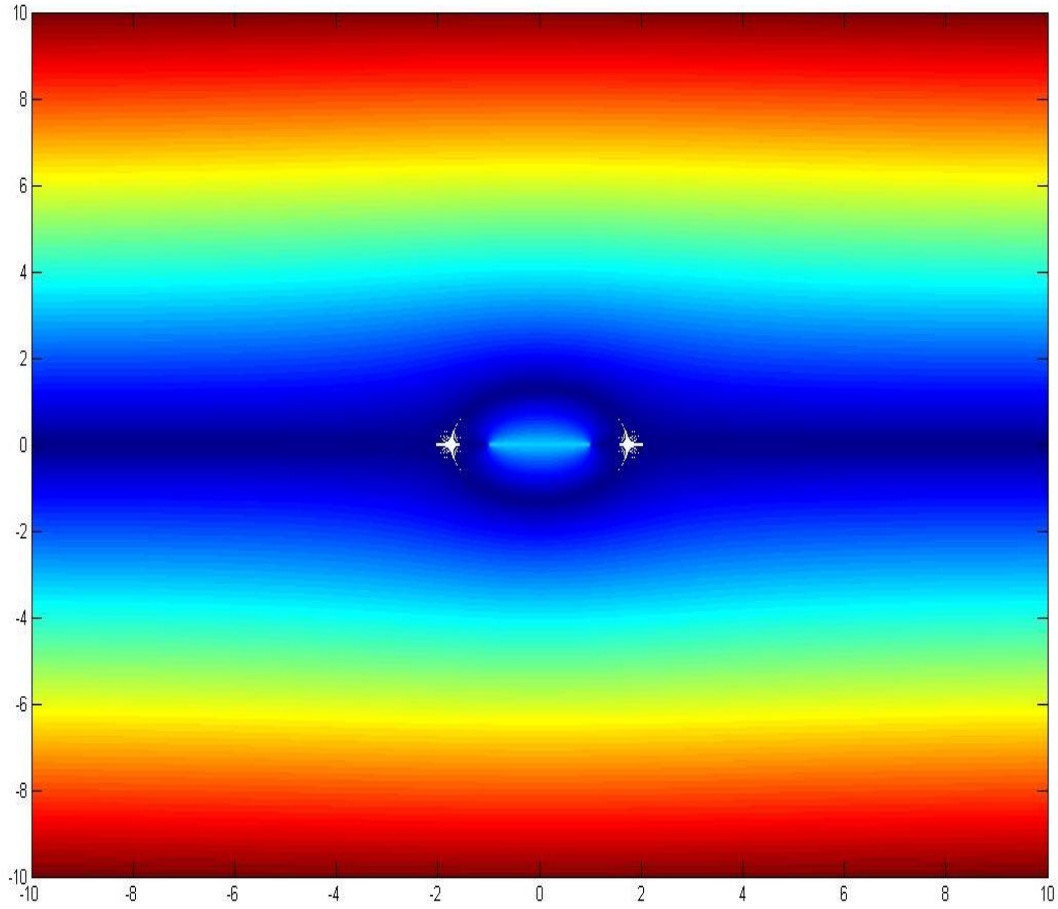
Şekil 2.39. Rankine ovali etrafındaki akım çizgileri



Şekil 2.40. Rankine ovali etrafındaki potansiyel, akım çizgileri ile hız vektörü

Akışkan içindeki Rankine ovalinin hareketi Şekil 2.41'de ovali sıfır akım çizgisi katı ve katı cisim cidarının sonsuz akışkan içindeki durumu görülmektedir. Bu Rankine ov ovoidine ait cidar Denklem (2.46) dan elde edilir ve bu sıfır akım çizginin, yani oval cidarının açık hali Şekil 2.42'de gösterilmiştir. Delikli Rankine ovali bu cidar

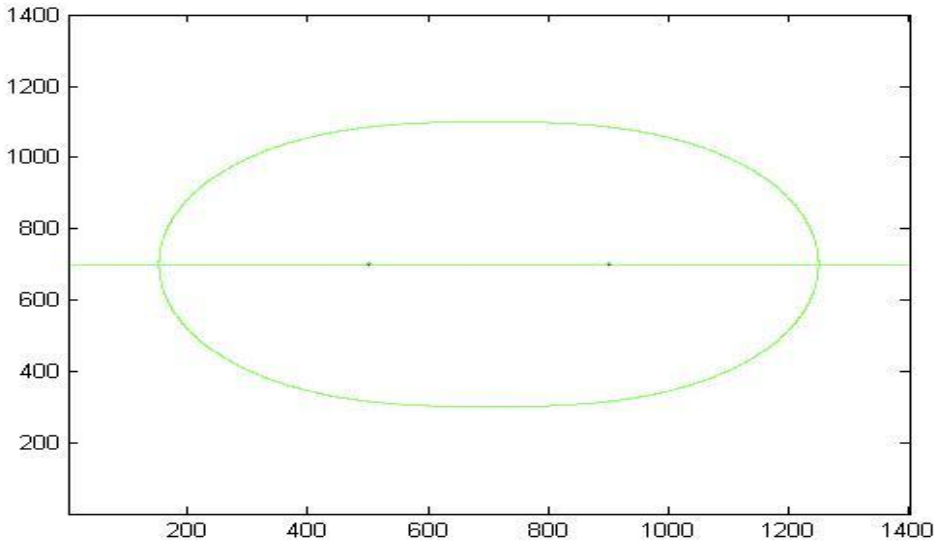
üzerinde konulacak eşit şiddetteki dublelerle mümkündür. Yeni cidarı bu şekilde elde edilmesin sebebi, Rankine ovoidinin oluşumunu sağlayan kaynak ve kuyunun merkezlerinde çok büyük basıncın oluşturulması düşünülen deliğe müsaade etmemesidir. Oyuk cidarı için istenilen çap oyuğun büyüklüğüne ve denizaltının olması muhtemel pervanenin gücüne bağlı olarak değişecektir. Bu olması muhtemel çap, Rankine ovalinin cidarı üzerinden belirlenecektir.



Şekil 2.41. Rankine ovali etrafındaki akım

Rankine ovalinin 0 akım çizgisi şu şekilde olacaktır. Denklem (2.46)

$$-U_\infty y + \frac{Q}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{2ay}{(x^2+y^2-a^2)}\right) = 0 \Rightarrow x = \left[\frac{2ay}{\tan\left(\frac{Q}{2piU_\infty y}\right)} - y^2 + a^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (2.46)$$



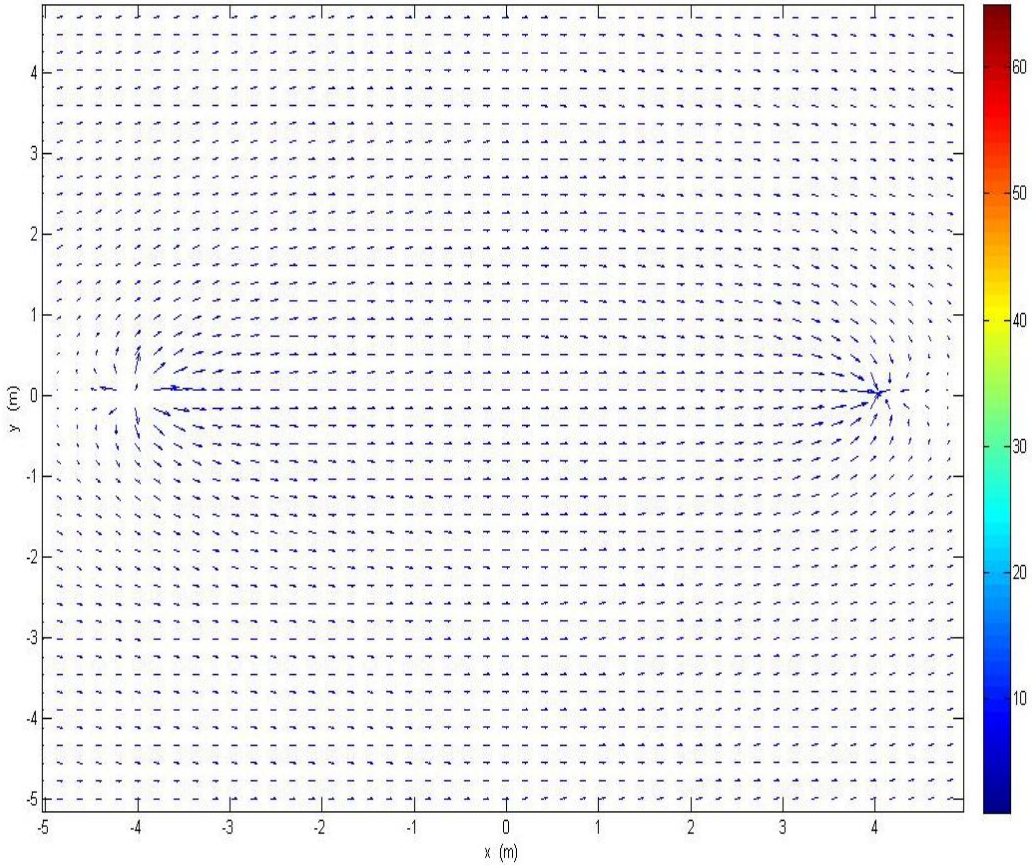
Şekil 2.42. Rankine ovalinin 0 akım çizgisi

Akım veya potansiyel fonksiyondan Rankine ovali etrafında akımın hız alanı Denklem (2.47) de, hızın şiddeti Denklem (2.48) de elde edilir.

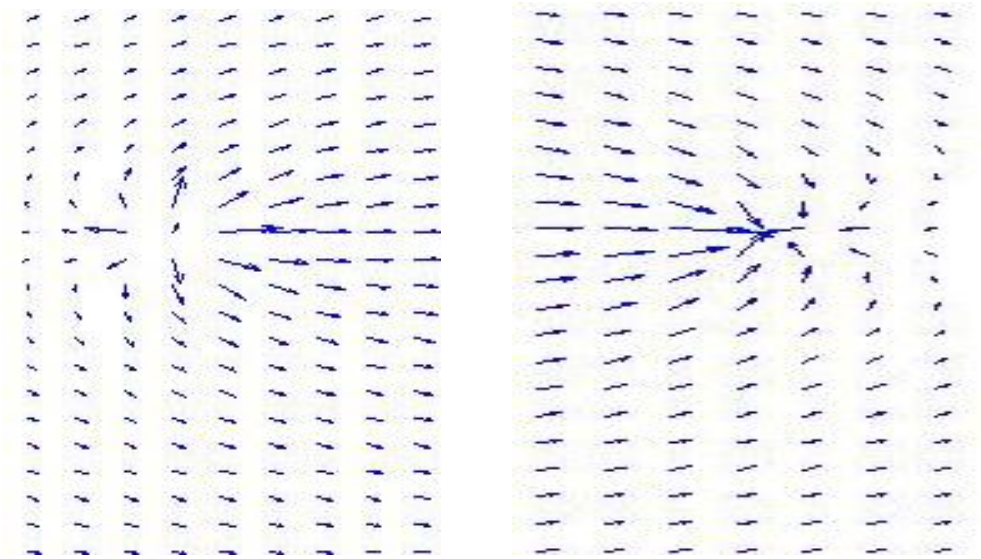
$$\vec{V} = \left[U_\infty + \frac{Qa(x^2 - y^2 - a^2)}{(x^2 - y^2 - a^2)^2 + 4x^2y^2} \right] \vec{i} + \left[- \frac{2Qaxy)}{(x^2 - y^2 - a^2)^2 + 4x^2y^2} \right] \vec{j} \qquad (2.47)$$

$$\left| \vec{V} \right|^2 = \left[U_\infty + \frac{Qa(x^2 - y^2 - a^2)}{(x^2 - y^2 - a^2)^2 + 4x^2y^2} \right]^2 + \left[- \frac{2Qaxy}{(x^2 - y^2 - a^2)^2 + 4x^2y^2} \right]^2 \qquad (2.48)$$

Şekil 2.43a'dan hız alanı dağılımından görüleceği gibi hız kaynak ve kuyu merkezinde en yüksek değerine ulaşmaktadır. Şekil 2.43b'den net görüleceği gibi kaynak merkezinde hız pozitiftir ve maksimum şiddeti kaynak merkezindedir. Şekil 2.43c'de kuyuda negatif (–) ve hızın şiddet değişimi vektörel olarak görülmektedir. ve ikisinin büyüklüğüne bağlı oalrak Rankine ovalinin dış cidarı değişmektedir. Şayet debi şiddetleri küçük olursa o zaman Rankine ovalinin cidarı üzerinde düşük olacaktır. Kaynak ve kuyunun debileri büyüdükçe Rankine ovalinin 0 noktasına kadar genişliği büyük olacaktır. Bu ovoidin sınırları için önemlidir. Bu dağılımda oval girişinde Şekil 2.44'te sıfıra yaklaşmakta daha sonra giriş ve çıkışta kaynak ve kuyudan dolayı yükselmektedir.

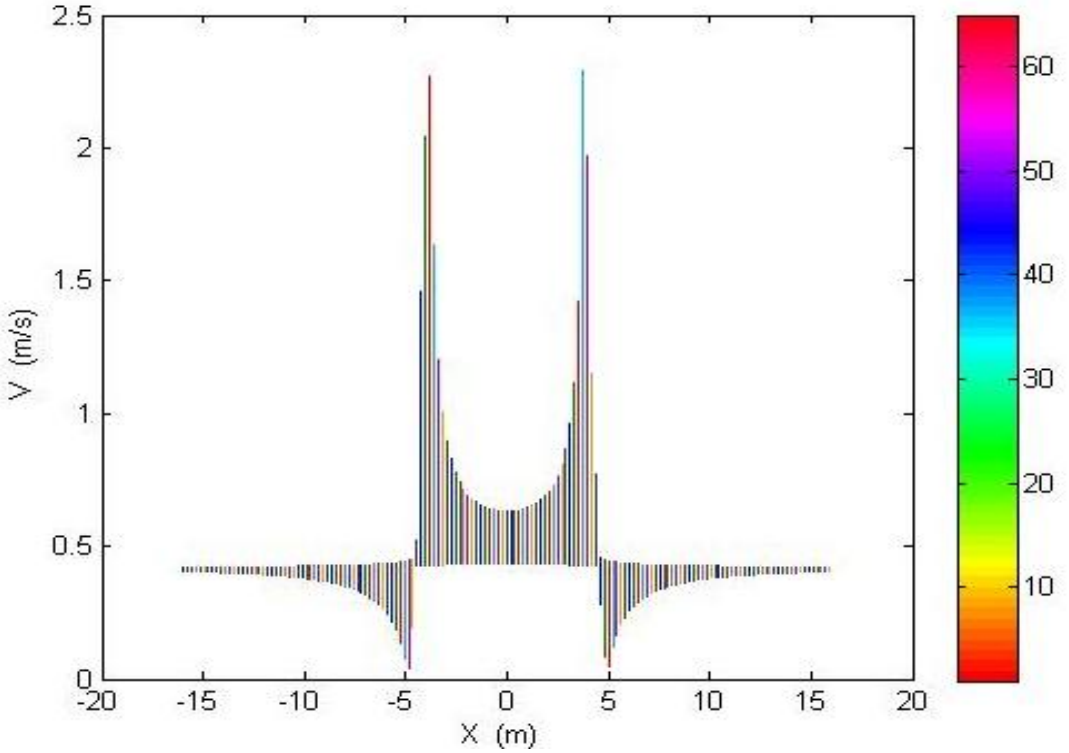


(a)



(b) (c)

Şekil 2.43. Kaynak ile kuyunun merkezleri A(-2,0), B(2,0) de bulunan Rankine ovalinin a) vektörel hız dağılımı b) kaynak çıkışı c) kuyu girişi



Şekil 2.44. Kaynak ile kuyunun merkezleri A(-2,0), B(2,0) de bulunan Rankine ovalinin mutlak hız V'nin x'e göre değişimi

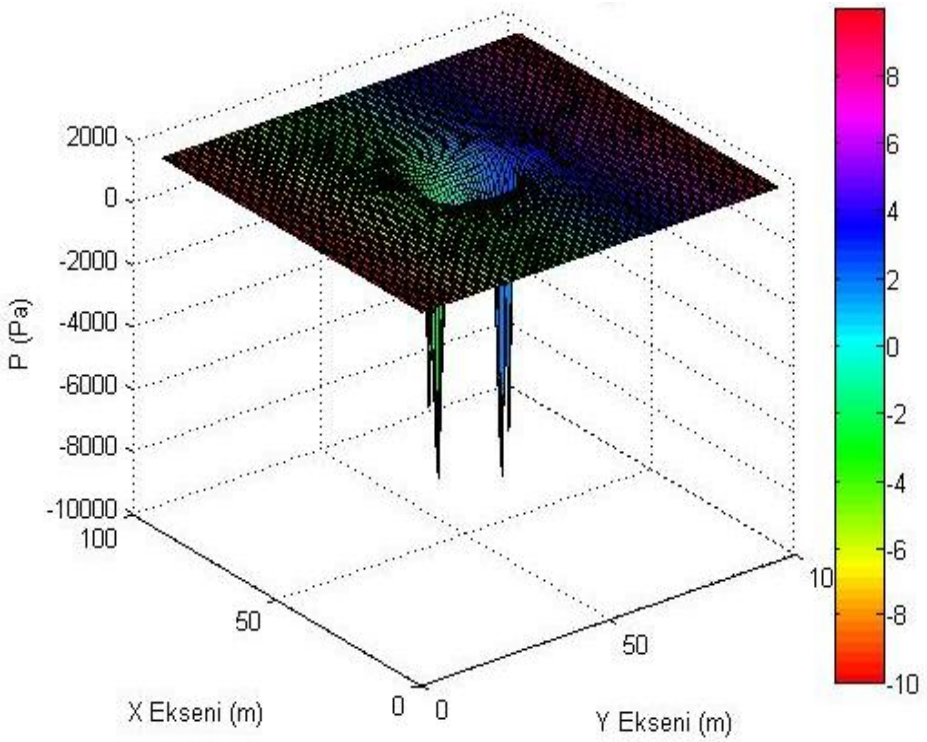
Denklem (2.43) den mutlak hız değeri alınıp Bernoulli denkleminde yazılırsa Rankine ovalinin üzerindeki basınç dağılımı Denklem (2.49) daki gibi elde edilir.

$$p = p_\infty + \frac{\rho}{2}\left\{\left[(U_\infty)^2\right] - q^2\left[\left[U_\infty + \frac{Qa(x^2-y^2-a^2)}{(x^2-y^2-a^2)^2+4x^2y^2}\right]^2 + \left[-\frac{2Qaxy}{(x^2-y^2-a^2)^2+4x^2y^2}\right]^2\right]\right\} \qquad (2.49)$$

Basınç x ekseni üzerinde cismin önünde ve arkasında maksimumdur.

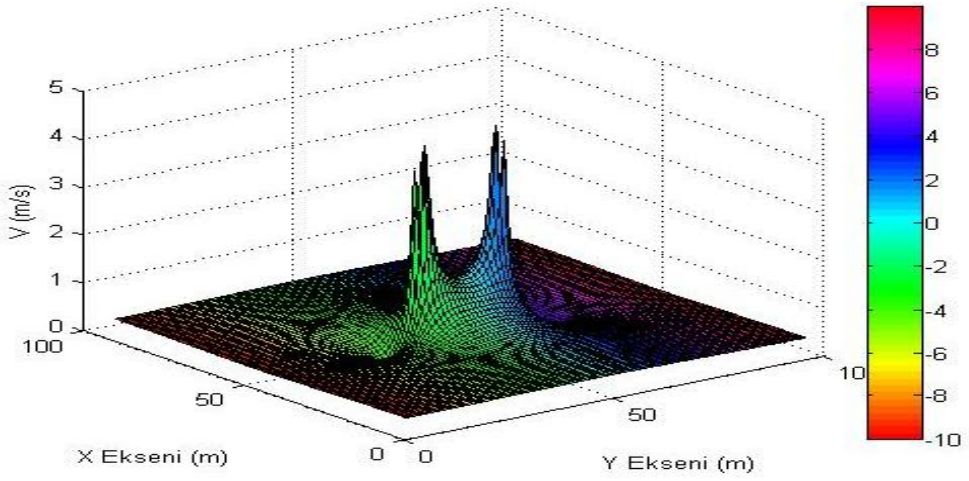
Şekil 2.45'te hız değerleri düşük olduğunda basınç büyük olmaktadır. Özellikle orta hizasında en küçük değerini almaktadır. Ovalin hareket ekseni doğrultusunda ovalin ön ve arkasında basınç en yüksek değerine yükselmektedir. Cismin basınç ovalin giriş ve çıkş hızın v bileşenin kaynağa yaklaştığında nasıl yükseldiğini daha sonra tam kaynak ile kuyunun tam ortasına nasıl sıfırlandığını yani ovalin tam ortasında

değerinin olmadığını ve kuyunun yine merkezine gelince benzer şekilde artarak ve sonrasındaki azalışını ortaya koymaktadır.



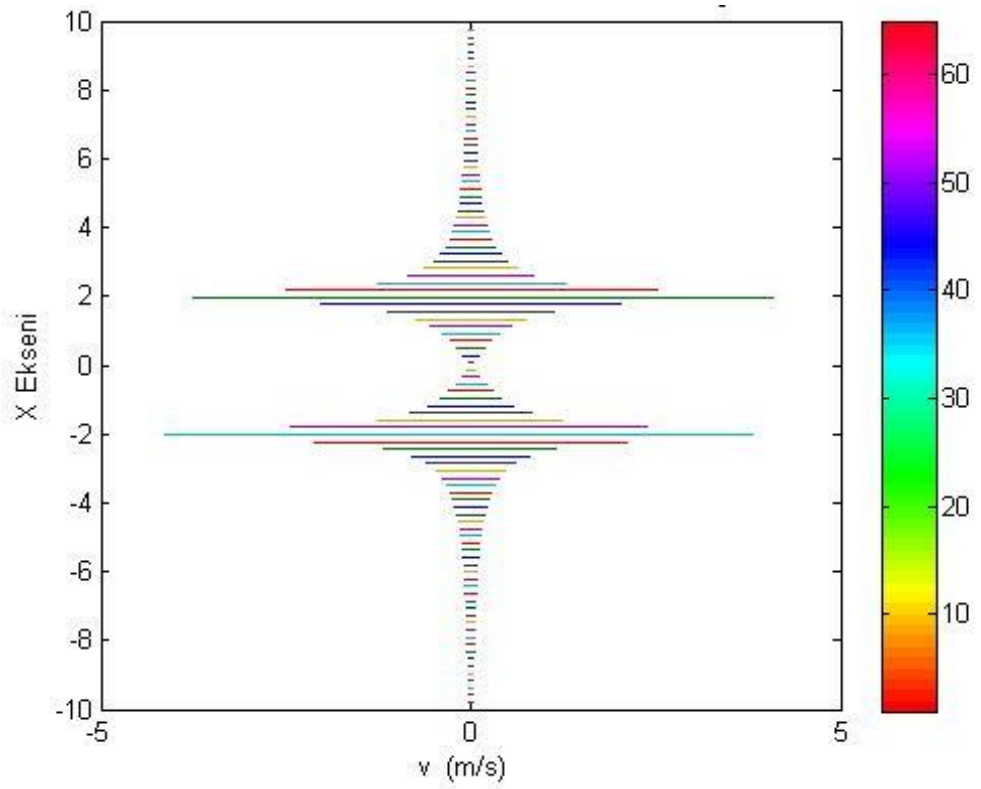
Şekil 2.45. Kaynak ile kuyunun merkezleri (-2,0) B (2,0) da bulunan Rankine ovalinin etrafında basınç dağımı

Şekil 2.46'da mutlak hız V'nin yüzeysel dağılımında görüleceği gibi kaynak kuyu merkezinde en yüksek hız mevcuttur. Burada hız değeri ovalin tam ortasında yükselmektedir.



Şekil 2.46. Kaynak ile kuyunun merkezleri A(-2,0) B (2,0) da bulunan Rankine ovalinin etrafında mutlak hız V'nin dağılımı

Şekil 2.47'de hızın v bileşenin kaynağa yaklaştığında nasıl yükseldiğini daha sonra tam kaynak ile kuyunun tam ortasına nasıl sıfırlandığını yani ovalin tam ortasında değerinin olmadığını ve kuyunun yine merkezine gelince benzer şekilde artarak ve sonrasındaki azalışını ortaya koymaktadır.



Şekil 2.47. Kaynak ile kuyunun merkezleri (-2,0) B (2,0) da bulunan Rankine ovalinin etrafında v'nin X'e göre değişimi

Rankine ovalinin üzerindeki kuvvet alanı Denklem(2.50) deki gibi yazılabilir.

$$F = \iint_A p\vec{n}d\sigma =$$

$$= \iint_A \left\{ p_\infty + \frac{\rho}{2}\left\{ \left[(U_\infty)^2\right] - q^2 \left[\left[U_\infty + \frac{Qa(x^2-y^2-a^2)}{(x^2-y^2-a^2)^2+4x^2y^2} \right]^2 + \left[-\frac{2Qaxy}{(x^2-y^2-a^2)^2+4x^2y^2} \right]^2 \right] \right\} \right\} \vec{n}d\sigma \qquad (2.50)$$

2.3. Delikli Rankine Ovali

Delikli Rankine ovali dubleler ve genel akım ile ovalin dış cidarı, ovalin iç cidarı ve tünelin birleştirilmesiyle elde edilir. Bu cidarların elde edilmesi ayrı ayrı ele alınacaktır.

2.3.1. Delikli Rankine ovalinin dış cidarı

Dış cidar dublelerin Rankine dış cidarı üzerinde yerleştirilmesi, dış yüzey cidarının sonsuz parçaya bölünerek toplanması ile mümkündür. Denklem (2.51) de akımın kompleks potansiyeli verilmektedir.

$$F_{DC}(z) = U_{\infty}.z \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \frac{q}{z - z_{DC}(\dot{I})} e^{i\alpha(\dot{I})} \tag{2.51}$$

Sistemin kompleks potansiyeli için CD cidarı üzerinde yerleştirilen dublelerin x(i) si Denklem (2.52) de verilmiştir. Burada pozitif değerler alınmalıdır. Bu çizgi Rankine ovalinin 0 çizgisinden elde edilir. Dublelerin Z_{CD} (i) değerleri Denklem (2.52) gibi her x(i) değerine karşılık, gelen y(i) değeri mevcuttur. Böylece cidarın kompleks potansiyeli sonsuz bir seri toplamı Denklem (2.54) olduğu gibi olacaktır.

$$x(\dot{I}) = \left[\frac{2ay(\dot{I})}{\tan\left(\frac{Q}{2piU_{\infty}x}\right)} - y(\dot{I})^2 + a^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{2.52}$$

$$z_{DC}(\dot{I}) = x(\dot{I}) + iy(\dot{I}) \tag{2.53}$$

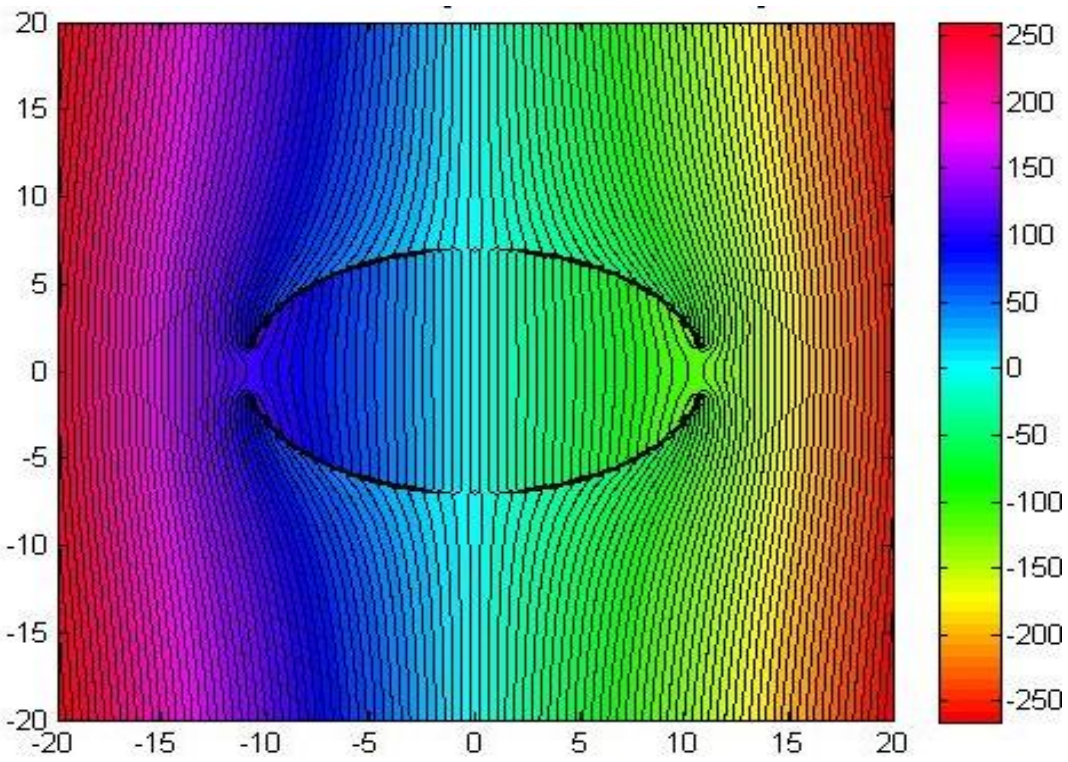
$$F_{DC}(x,y) = U_{\infty}(x+iy) + \\ + \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \left\{ q \left[\left(\frac{\left((x - x(\dot{I}))\right)}{(x - x(\dot{I}))^2 + \left(y - y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2} \right) - i \left(\frac{\left(y - y(\dot{I})\right)_{DC}}{(x - x(\dot{I}))^2 + \left(y - y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2} \right) \right] e^{i\alpha(\dot{I})} \right\} \tag{2.54}$$

Potansiyel fonksiyonu bu elde edilen kompleks potansiyel fonksiyonun gerçel kısmını oluşturacaktır. Denklem (2.55) de hız potansiyeli veya diğer değişle potansiyel çizgiler verilmektedir. Akım fonksiyonu kompleks potansiyelin sanal

kısmını oluşturmaktadır. Şekil 2.48'de verilen potansiyel çizgileri bu elde edilen fonksiyonu doğrulamaktadır.

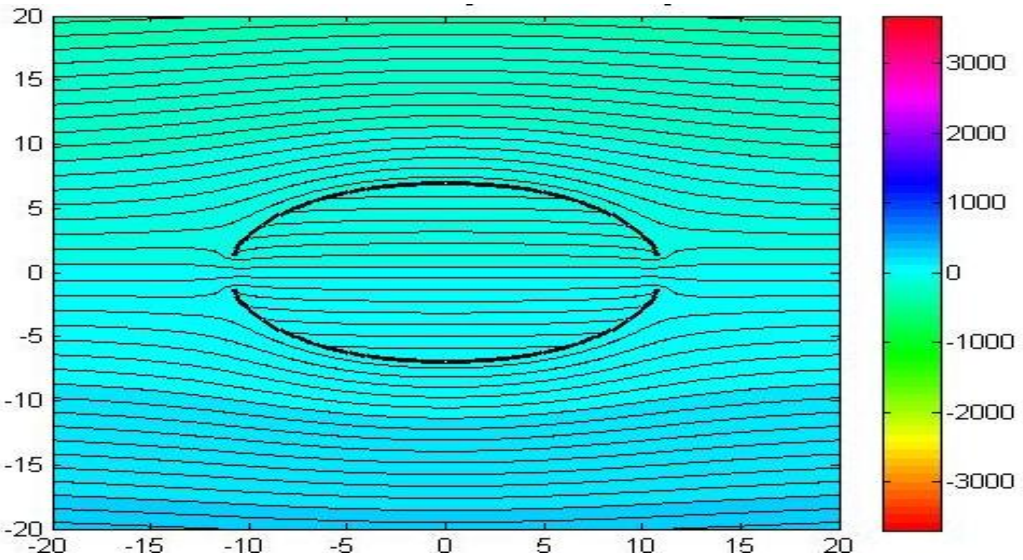
$$\phi DC(x,y) = x + \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} q\left[\left(\frac{(x-x(\dot{I}))}{(x-x(\dot{I}))^2 + (y-y(\dot{I}))_{DC}{}^2}\right) e^{i\alpha(\dot{I})}\right] \tag{2.55}$$

Katı modelin dış cidarı CD ve etrafındaki akıma ait, akım fonksiyonu kompleks potansiyel fonksiyonun sanal kısmıdır. Buda sonsuz bir seri toplamıdır. Denklem (2.56) akım çizgilerine ait denklemdir. Akım fonksiyonu kompleks potansiyelinin sanal kısmını oluşturmaktadır. Akım çizgileri Şekil 2.49'da olduğu gibidir.



Şekil 2.48. Delikli Rankine ovalinin dış cidar potansiyel çizgileri

$$\psi DC(x,y) = y + \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} q\left[\left(\frac{(y-y(\dot{I}))_{DC}}{(x-x(\dot{I}))^2 + (y-y(\dot{I}))_{DC}{}^2}\right) e^{i\alpha(\dot{I})}\right] \tag{2.56}$$



Şekil 2.49. Delikli Rankine ovalinin dış cidar akım çizgileri

CD cidarı üzerindeki hız dağılımı Denklem (2.57) de yine benzer şekilde seri toplamı olan, akım fonksiyonundan veya potansiyel akım fonksiyonundan türetilebilir. Bileşke hız Denklem (2.58) de verilmektedir.

$$\vec{V} = U_\infty + \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left[q \left[\left[\frac{(y-y(\dot{I}))_{DC}{}^2 - (x-x(\dot{I}))^2}{\left((x-x(\dot{I}))^2 + (y-y(\dot{I}))_{DC}{}^2\right)^2} \right] e^{i\alpha(\dot{I})} \right] \right] \vec{i} + \\ + q \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left[\left(\frac{2(x-x(\dot{I}))(y-y(\dot{I}))_{DC}}{\left((x-x(\dot{I}))^2 + (y-y(\dot{I}))_{DC}{}^2\right)^2} \right) e^{i\alpha(\dot{I})} \right] \vec{j} \tag{2.57}$$

$$\left|\vec{V}\right|^2 = \left[\lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} q \left[\left(\frac{2(x-x(\dot{I}))(y-y(\dot{I}))_{DC}}{\left((x-x(\dot{I}))^2 + (y-y(\dot{I}))_{DC}{}^2\right)^2} \right) e^{i\alpha(\dot{I})} \right] \right]^2 + \\ + \left[U_\infty + \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left[q \left[\left[\frac{(y-y(\dot{I}))_{DC}{}^2 - (x-x(\dot{I}))^2}{\left((x-x(\dot{I}))^2 + (y-y(\dot{I}))_{DC}{}^2\right)^2} \right] e^{i\alpha(\dot{I})} \right] \right] \right]^2 \tag{2.58}$$

CD cidarına bağlı basınç alanı Bernoulli' den yararlanılarak yazılabilir. Elde edilen basınç alanı fonksiyonu Denklem (2.59) da bir seri toplamı olarak verilmektedir. Kuvvet alanı Denklem (2.60) da katı cidara ve etrafındaki herhangi bir bölgeye uygulanabilir.

$$p = p_\infty + \frac{\rho}{2}\left\{\left[(U_\infty)^2\right] - q^2\left[\left[\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{2\left(x-x(\dot{I})\right)\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2\right)^2}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]\right]^2 + \right.\right.$$
$$\left.\left. + \left[U_\infty + \lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2-\left(x-x(\dot{I})\right)^2}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2\right)^2}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]^2\right]\right\} \quad (2.59)$$

$$F = \iint_A p\vec{n}d\sigma$$
$$= \iint_A \left\{ p_\infty + \frac{\rho}{2}\left\{\left[(U_\infty)^2\right] - q^2\left[\left[\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{2\left(x-x(\dot{I})\right)\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2\right)^2}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]\right]^2 + \right.\right.\right.$$
$$\left.\left.\left. + \left[U_\infty + \lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2-\left(x-x(\dot{I})\right)^2}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2\right)^2}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]^2\right]\right\}\right\}\vec{n}d\sigma \quad (2.60)$$

2.3.2. Delikli Rankine ovali iç cidarı

Delikli Rankine ovalinin iç cidarıda tıpkı Rankine ovalinin dış cidarında olduğu gibi Rankine iç cidarı üzerinde yerleştirilmesiyle, aynı şekilde elde edilebilir. Yüzey cidarının sonsuz parçaya bölünüp toplanarak elde edilir. Akıma ait kompleks potansiyeli Denklem (2.61) deki gibi yazılabilir.

$$F_{dC}(z) = U_\infty.z + \lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n}\frac{q}{z-z_{dC}(\dot{I})}e^{i\alpha(\dot{I})} \quad (2.61)$$

İç cidar dC için dublelerin Z_0 ları Denklem (2.62) den belirlenir. Buna göre elde edilen x_0, y_0 değerleri kompleks potansiyel fonksiyonunda yerine Denklem (2.63)

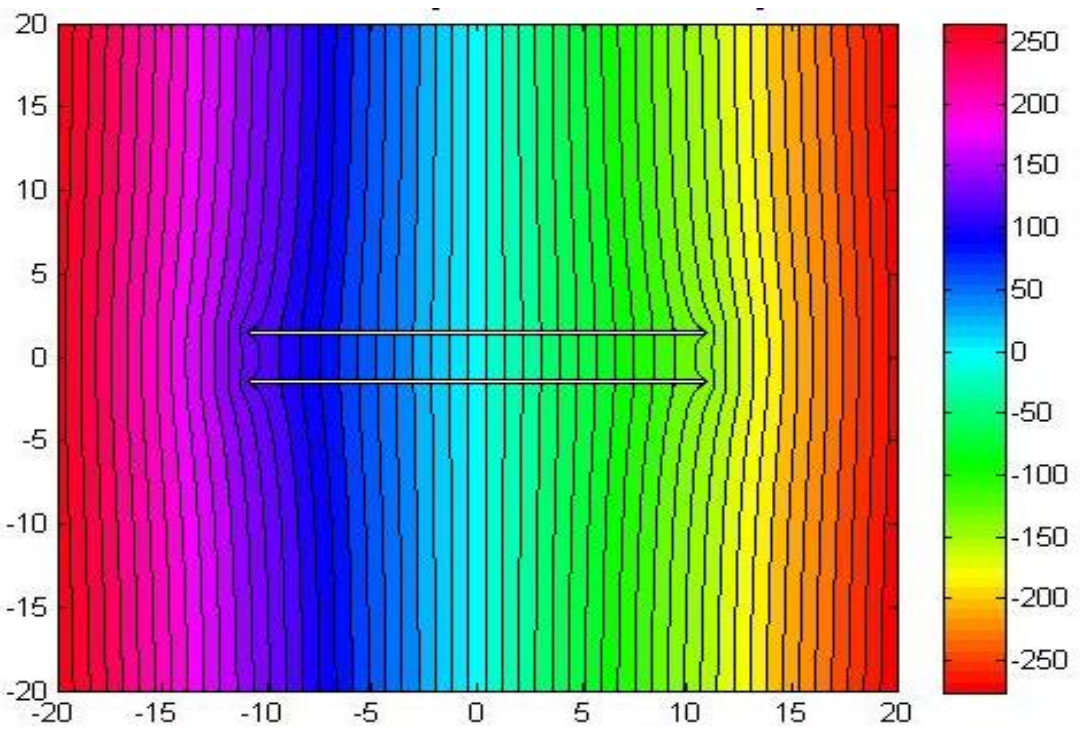
gibi yazılarak reel kısmı potansiyel fonksiyonu Denklem (2.64) ve sanal kısmı fonksiyonu Denklem (2.65) bulunur.

$$z_{dC}(\dot{I}) = x(\dot{I}) + iC_{dC} \tag{2.62}$$

$$F_{dC}(x,y) = \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \left\{ q\left[\left(\frac{((x-x(\dot{I}))e^{i\alpha(\dot{I})}}{(x-x(\dot{I}))^2 + (y-C_{dC})^2} \right) - i\left(\frac{(y-C_{dC})e^{i\alpha(\dot{I})}}{(x-x(\dot{I}))^2 + (y-C_{dC})^2} \right) \right] \right\} \tag{2.63}$$

$$\phi_{dC}(x,y) = \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \left[q\left(\frac{(x-x(\dot{I}))e^{i\alpha(\dot{I})}}{(x-x(\dot{I}))^2 + (y-C_{dC})^2} \right) \right] \tag{2.64}$$

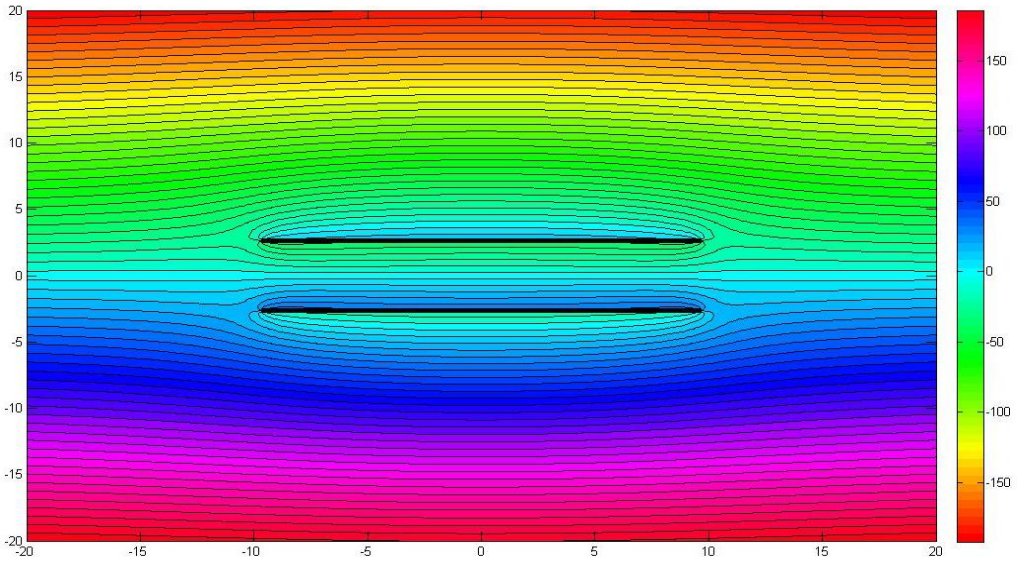
Rankine ovalinin potansiyel çizgileri Şekil 2.50'de, hız potansiyelinin belli sabitler eşitlenerek bulunur.



Şekil 2.50. Delikli Rankine ovalinin iç cidar potansiyel çizgileri

$$\psi_{dC}(x,y) = \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} q\left[\left(\frac{(y-C_{dC})e^{i\alpha(\dot{I})}}{(x-x(\dot{I}))^2 + (y-C_{dC})^2} \right) \right] \tag{2.65}$$

Şekil 2.51'de iç cidara ait akım çizgileri sanki bir duvarın etrafından geçiyormuş gibi davranacaktır.



Şekil 2.51. Delikli Rankine ovalinin iç cidar akım çizgiler

İç cidar dC şekil cidarı üzerindeki hız dağılımı Denklem (2.66), Denklem (2.64) veya Denklem (2.65) ten türetilir. Bu hız bileşenlerinin bileşkesi mutlak hızı verir. Denklem (2.67).

$$\vec{V} = U_\infty + \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left[q \left[\left[\frac{(y-y(\dot{I}))_{dC}{}^2 - (x-x(\dot{I}))^2}{\left((x-x(\dot{I}))^2 + (y-y(\dot{I}))_{dC}{}^2 \right)^2} \right] e^{i\alpha(\dot{I})} \right] \right] \vec{i} + \\ + q \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left[\left[\frac{2(x-x(\dot{I}))(y-y(\dot{I}))_{dC}}{\left((x-x(\dot{I}))^2 + (y-y(\dot{I}))_{dC}{}^2 \right)^2} \right] e^{i\alpha(\dot{I})} \right] \vec{j} \tag{2.66}$$

$$\left|\vec{V}\right|^2 = \left[\lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} q \left[\left[\frac{2(x-x(\dot{I}))(y-y(\dot{I}))_{dC}}{\left((x-x(\dot{I}))^2 + (y-y(\dot{I}))_{dC}{}^2 \right)^2} \right] e^{i\alpha(\dot{I})} \right] \right]^2 + \\ + \left[U_\infty + \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left[q \left[\left[\frac{(y-y(\dot{I}))_{dC}{}^2 - (x-x(\dot{I}))^2}{\left((x-x(\dot{I}))^2 + (y-y(\dot{I}))_{dC}{}^2 \right)^2} \right] e^{i\alpha(\dot{I})} \right] \right] \right]^2 \tag{2.67}$$

dC cidarında basınç dağılım fonksiyonu Denklem (2.68) de yazılmıştır. Elde edilen basınç alanı fonksiyonu dublelerin seri toplamıdır. Kuvvet alanı Denklem (2.69) de olduğu gibidir.

$$p = p_\infty + \frac{\rho}{2}\left\{\left[(U_\infty)^2\right] - q^2\left[\left[\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{2\left(x-x(\dot{I})\right)\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^2\right)^2}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]\right]^2 + \right.\right.$$
$$\left.\left. + \left[U_\infty + \lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^2-\left(x-x(\dot{I})\right)^2}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^2\right)^2}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]^2\right]\right\} \quad (2.68)$$

$$F = \iint_A p\vec{n}d\sigma$$
$$= \iint_A \left\{ p_\infty + \frac{\rho}{2}\left\{\left[(U_\infty)^2\right] - q^2\left[\left[\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{2\left(x-x(\dot{I})\right)\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^2\right)^2}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]\right]^2 + \right.\right.\right.$$
$$\left.\left.\left. + \left[U_\infty + \lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^2-\left(x-x(\dot{I})\right)^2}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^2\right)^2}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]^2\right]\right\}\right\}\vec{n}d\sigma \quad (2.69)$$

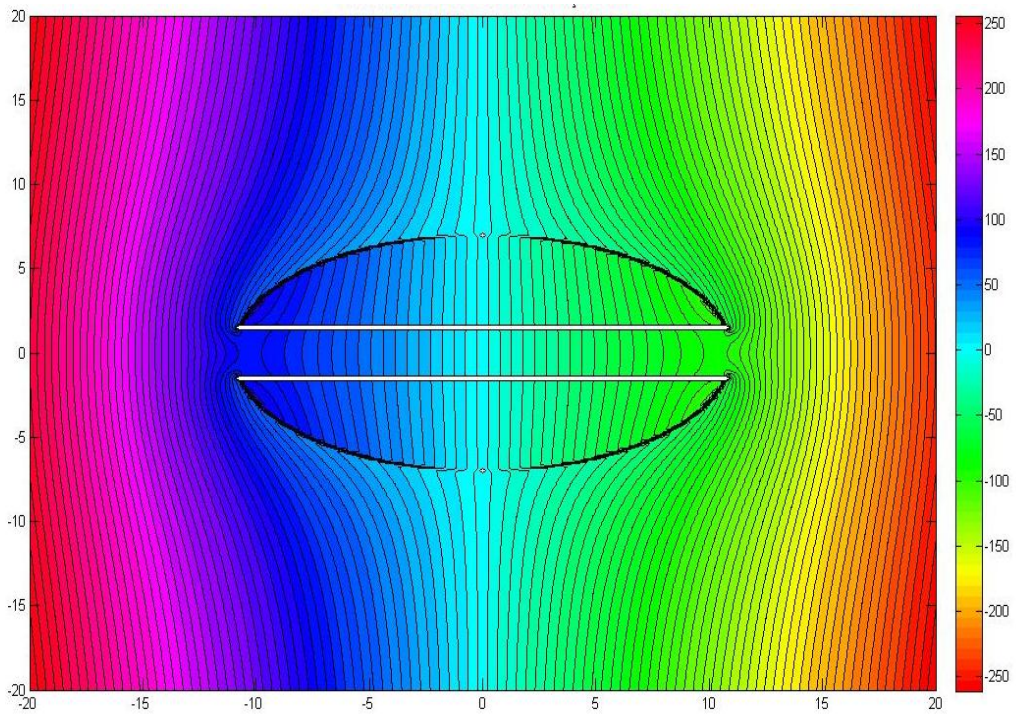
2.3.4. Delikli Rankine ovalinin iç ve dış cidarının birleştirilmesi

Süper pozisyon teorisine göre ayrı ayrı elde edilen iç (dC) ve dış cidar (DC) için iç ve dış cidar fonksiyonları süper pozisyon teorisine göre toplanarak, kompleks fonksiyonu Denklem (2.70) bulunur. Delikli Rankine ovalinin potansiyel fonksiyonu Denklem (2.72) de; Denklem (2.55) ile (2.64) ve akım fonksiyonları Denklem (2.56), Denklem (2.65) toplanarak ve genel akımla birleştirilerek delikli Rankine ovaline ait akım ve potansiyel fonksiyonları elde edilir. Şekil 2.52'de delikli Rankine

ovaline ait potansiyel çizgileri, Denklem (2.72) de akım çizgileri fonksiyonu görülmektedir.

$$F_{DROC}(z) = F_{DC}(z) + F_{dC}(z) + U_{\infty} z = \\ = U_{\infty} z + \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \frac{q e^{i\alpha(\dot{I})}}{z \mp z_{DC}(\dot{I})} + \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \frac{q e^{i\alpha(\dot{I})}}{z \mp z_{dC}(\dot{I})} \tag{2.70}$$

$$\psi DROC(x,y) = U_{\infty} y - \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} q \left[\left(\frac{(y \mp C_{DC} \pm j.b)}{(x - x(\dot{I}))^2 + (y \mp C_{DC})^2} \right) \right] - \\ - \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} q \left[\left(\frac{(y \mp C_{dC})}{(x - x(\dot{I}))^2 + (y \mp C_{dC})^2} \right) \right] \tag{2.71}$$

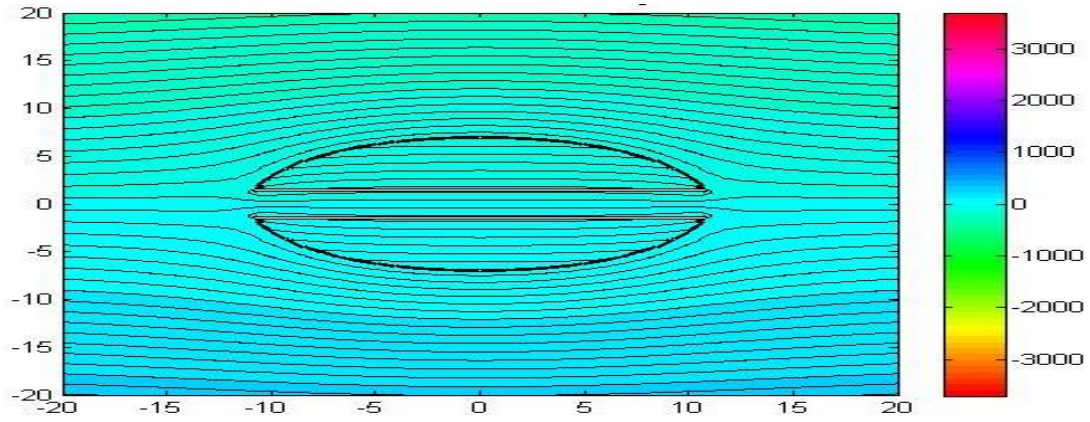


Şekil 2.52. Delikli Rankine ovalinin dış cidar potansiyel çizgileri

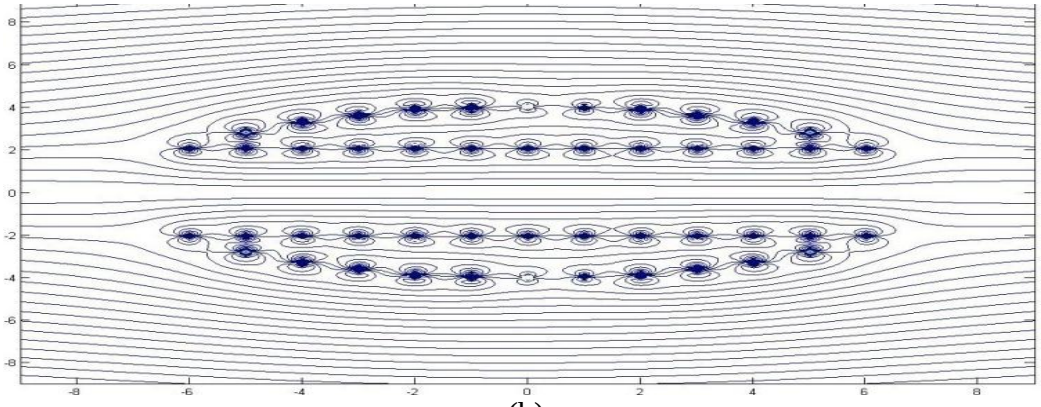
$$\phi DROC(x,y) = U_{\infty} x + \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left[q \left(\frac{(x - x(\dot{I}))e^{i\alpha(\dot{I})}}{(x - x(\dot{I}))^2 + (y \mp C_{DC})^2} \right) \right] + \tag{3.72}$$

$$+ \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left[q \left(\frac{(x - x(\dot{I}))}{(x - x(\dot{I}))^2 + (y \mp C_{dC})^2} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right]$$

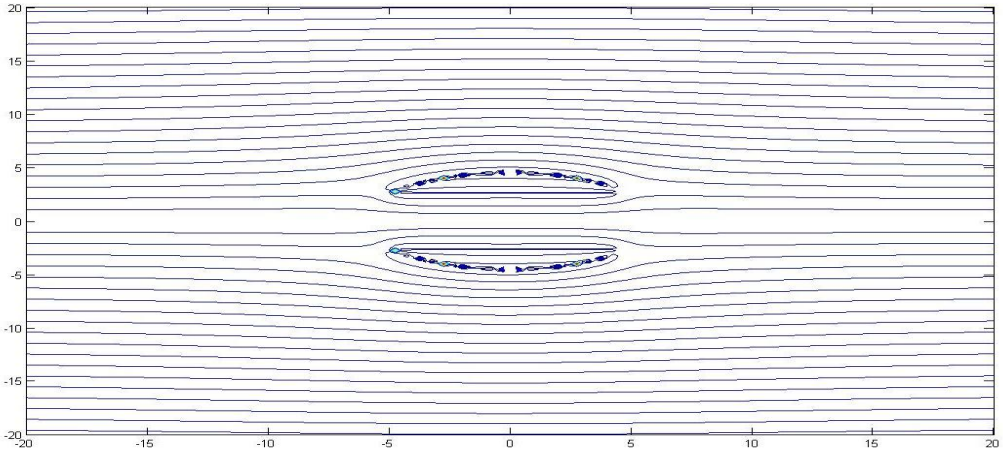
Akım çizgileri dubleler düzgün yerleştirilmediği, akım duble aralarından gerçekleşerek cidar bozulmaktadır. Şekil 2.53a'da dubleler çok sıkı, Şekil 2.53b' de dubleler seyrek ve Şekil 2.53c'de orta sıkılıkta yerleştirilerek akım çizgileri gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.53. Oyuklu Rankine ovalinin a) Çok sıkı b) Aralıklı c) Orta sıkılıktaki dublelerle akım çizgilerinin oluşturulması

İç cidar dC ve dış cidar CD nin birleştirilmesiyle oluşturulan Delikli Rankine ovali üzerindeki hız dağılımı Denklem (2.73) te ve bileşke hız Denklem (2.74) te verilmiştir.

$$\vec{V}=\left\{\begin{array}{l} U_{\infty}+\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left[q\left[\left(\frac{\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^{2}-\left(x-x(\dot{I})\right)^{2}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^{2}+\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^{2}\right)^{2}}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]\right] \\ +U_{\infty}+\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left[q\left[\left(\frac{\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^{2}-\left(x-x(\dot{I})\right)^{2}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^{2}+\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^{2}\right)^{2}}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]\right] \end{array}\right\}\vec{i}+$$

$$+\left\{\begin{array}{l} q\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{2\left(x-x(\dot{I})\right)\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^{2}+\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^{2}\right)^{2}}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]+ \\ +q\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{2\left(x-x(\dot{I})\right)\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^{2}+\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^{2}\right)^{2}}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right] \end{array}\right\}\vec{j} \qquad (2.73)$$

$$\left|\vec{V}\right|^{2}=\left\{\begin{array}{l} U_{\infty}+\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left[q\left[\left(\frac{\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^{2}-\left(x-x(\dot{I})\right)^{2}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^{2}+\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^{2}\right)^{2}}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]\right] \\ +U_{\infty}+\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left[q\left[\left(\frac{\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^{2}-\left(x-x(\dot{I})\right)^{2}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^{2}+\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^{2}\right)^{2}}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]\right] \end{array}\right\}^{2}+$$

$$+\left\{\begin{array}{l} q\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{2\left(x-x(\dot{I})\right)\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^{2}+\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^{2}\right)^{2}}\right)e\right]+ \\ +q\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{2\left(x-x(\dot{I})\right)\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^{2}+\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^{2}\right)^{2}}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right] \end{array}\right\}^{2} \qquad (2.74)$$

Delikli Rankine ovalinin basınç dağılım fonksiyonu Bernoulliden yararlanarak Denklem (2.75) de gibi bulunur. Elde edilen basınç alanı kullanılarak kuvvet alanı fonksiyonu Denklem (2.76) dan hesaplanabilir.

$$p = p_{\infty} + \frac{\rho}{2}\left\{\left[\left(U_{\infty}\right)^2\right] - q^2\left\{\begin{array}{l} U_{\infty} + \lim\limits_{n\to\infty}\sum\limits_{i=1}^{n}\left[q\left[\left(\frac{\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^2 - \left(x-x(\dot{I})\right)^2}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2 + \left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^2\right)^2}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]\right] \\ +U_{\infty} + \lim\limits_{n\to\infty}\sum\limits_{i=1}^{n}\left[q\left[\left(\frac{\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2 - \left(x-x(\dot{I})\right)^2}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2 + \left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2\right)^2}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right]\right] \end{array}\right\}^2 \right. \\ \left. + \left\{\begin{array}{l} q\lim\limits_{n\to\infty}\sum\limits_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{2\left(x-x(\dot{I})\right)\left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2 + \left(y-y(\dot{I})\right)_{dC}{}^2\right)^2}\right)e\right] + \\ +q\lim\limits_{n\to\infty}\sum\limits_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{2\left(x-x(\dot{I})\right)\left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2 + \left(y-y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2\right)^2}\right)e^{i\alpha(\dot{I})}\right] \end{array}\right\}^2 \right\} \quad (2.75)$$

$$F = \iint_A p\vec{n}d\sigma$$

$$= \iint_A \left\{ p_\infty + \frac{\rho}{2} \left\{ U_\infty + \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left[q \left[\left(\frac{\left(y - y(\dot{I})\right)_{dC}{}^2 - \left(x - x(\dot{I})\right)^2}{\left(\left(x - x(\dot{I})\right)^2 + \left(y - y(\dot{I})\right)_{dC}{}^2 \right)^2} \right) e^{i\alpha(\dot{I})} \right] \right] \right\}^2 + \right.$$

$$\left. + \left\{ + U_\infty + \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left[q \left[\left(\frac{\left(y - y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2 - \left(x - x(\dot{I})\right)^2}{\left(\left(x - x(\dot{I})\right)^2 + \left(y - y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2 \right)^2} \right) e^{i\alpha(\dot{I})} \right] \right] \right\}^2 \right\} \vec{n}d\sigma \quad (2.76)$$

$$+ \frac{\rho}{2} \left\{ q \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left[\left(\frac{2\left(x - x(\dot{I})\right)\left(y - y(\dot{I})\right)_{dC}}{\left(\left(x - x(\dot{I})\right)^2 + \left(y - y(\dot{I})\right)_{dC}{}^2 \right)^2} \right) e \right] + \right.$$

$$\left. + q \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left[\left(\frac{2\left(x - x(\dot{I})\right)\left(y - y(\dot{I})\right)_{DC}}{\left(\left(x - x(\dot{I})\right)^2 + \left(y - y(\dot{I})\right)_{DC}{}^2 \right)^2} \right) e^{i\alpha(\dot{I})} \right] \right\}^2$$

2.2.5. Tünel

Sıkıştırılamaz bir akışkanda, tünel içindeki akım Laplace diferansiyel denkleminin çözümüyle mümkündür. Bir başka şekilde de elde edilmesi mümkündür. Bir katı cismin bir tünel içindeki hareketinde, katı cisimlerin merkezleri arasındaki mesafe tünel genişliğini verecek şekilde aynı hizada sonsuz adet cisimim simetrik yerleştirilirse akım cisimler arasından gerçekleşerek katı bir duvar varmış gibi davranacaktır. Denklem (2.77) te buna ait kompleks potansiyeli verilmiştir. Dublelerin yerleri Denklem (2.78) dedir. Kompleks potansiyelin reel kısmı tünel içindeki akımın hız potansiyelini Denklem (2.79) ve akım fonksiyonunu Denklem (2.80) da Kompleks potansiyelin sanal kısmını oluşturmaktadır.

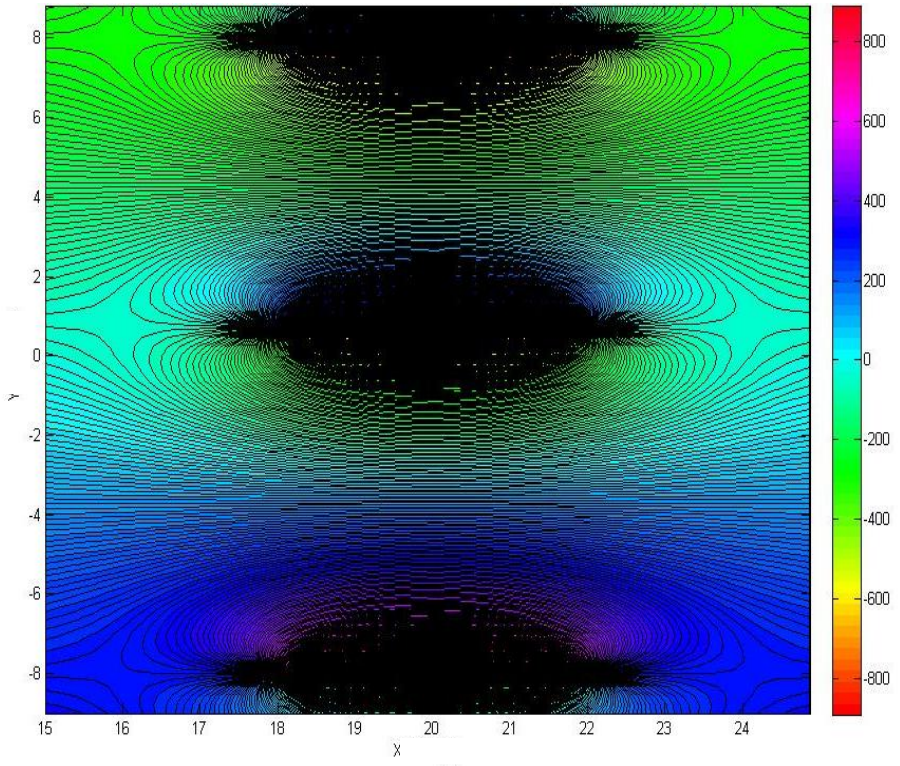
$$F_{D_0C}(z) = U_\infty z + \lim_{n\to\infty} \sum_{j=0}^{m} \sum_{i=1}^{n} \frac{q}{z \mp z_{D_0C}(\dot{I}) - j.b} \tag{2.77}$$

$$z_{D_0C}(\dot{I}) = x(\dot{I}) \mp iC_{D_0C} \tag{2.78}$$

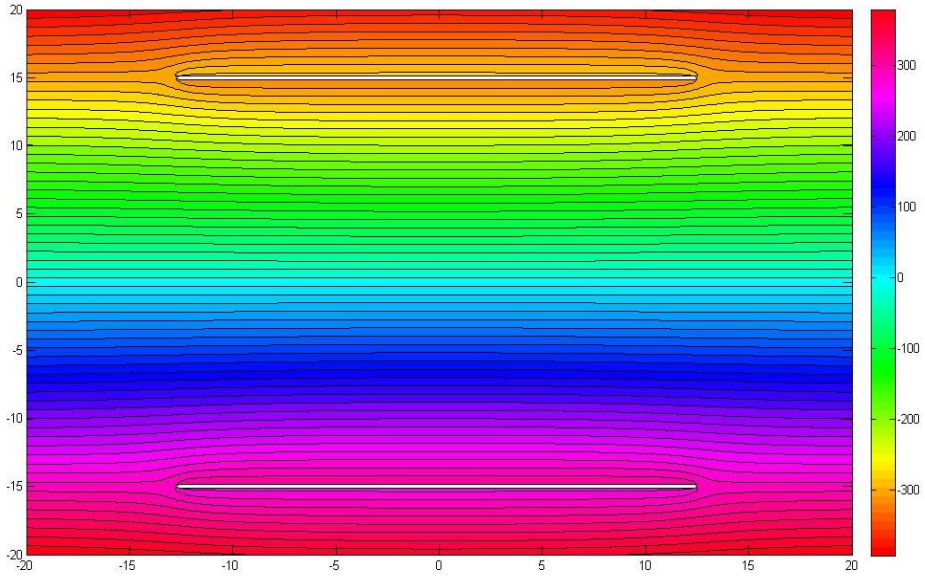
$$\phi_{D_0C}(x,y) = U_\infty x + \lim_{n,m\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \left[q \left(\frac{(x - x(\dot{I}))e^{i\alpha(\dot{I})}}{(x - x(\dot{I}))^2 + (y + C_{D_0C})^2} \right) \right] \tag{2.79}$$

$$\psi_{D_0C}(x,y) = U_\infty y - \lim_{n,m\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} q \left[\left(\frac{(y + C_{D_0C})e^{i\alpha(\dot{I})}}{(x - x(\dot{I}))^2 + (y + C_{D_0C})^2} \right) \right] \tag{2.80}$$

Bu tünel görevini gören sistem dizayne dilebilir. Burada düşünülen tünel ekseni paralel tünel genişliğinde aynı cisim simetrik yerleştirilerek elde etmek mümkündür. Şekil 2.54 ve Şekil 2.55'te bu görülebilir. Simetrik 12-13 aynı cisimden sonra duvar rijit hal almaktadır. Bir tünel içindeki delikli Rankine ovaline ait kompleks potansiyel, potansiyel ve akım fonksiyonu Denklem (2.77), (2.78), (2.79) de verilmiştir.



Şekil 2.54. Tünelin potansiyel çizgileri



Şekil 2.55. Tünelin akım çizgileri ve hız dağılımları

2.4. Tünel İçinde Delikli Rankine Ovali

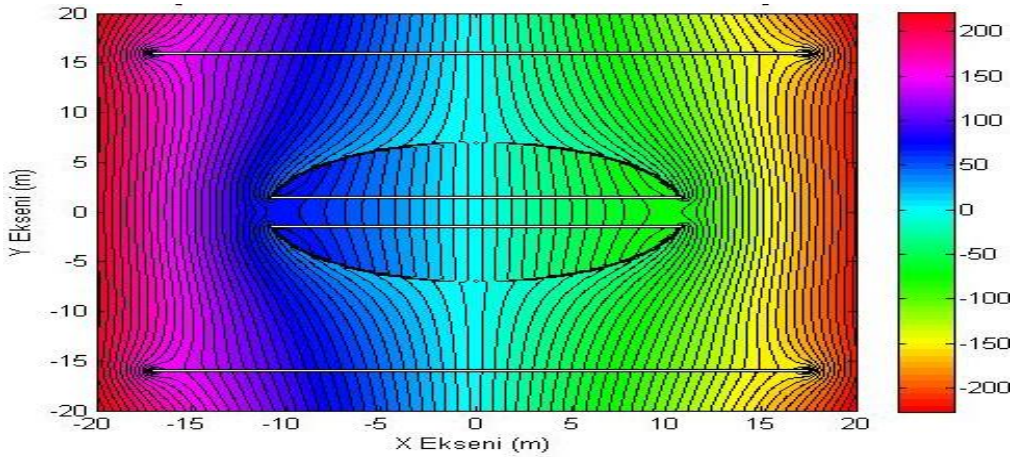
Delikli Rankine ovali, süper pozisyon teorisiyle dış, iç cidar ile tünelin birleştirilmesiyle oluşturulur. Tünel burada simetriden yaralanarak sonsuz terimli bir fonksiyon haline gelir. Böylece katı bir duvar varmış gibi davranır. Bu tünelin içindeki delikli Rankine ovali ile birleştirildiğinde ortaya çıkan sistemin kompleks potansiyeli sonsuz terimli çift seri halini alır.

$$F_{DROC}(z) = F_{DC}(z) + F_{dC}(z) + = \\ = U_\infty z + \lim_{n,m\to\infty} \sum_{j=0}^{m} \sum_{i=1}^{n} \frac{q e^{i\alpha(\dot{I})}}{z \mp z_{DC}(\dot{I}) \pm j.bi} + \lim_{n,m\to\infty} \sum_{j=0}^{m} \sum_{i=1}^{n} \frac{q e^{i\alpha(\dot{I})}}{z \mp z_{dC}(\dot{I}) \pm j.bi} \quad (2.77)$$

$$\phi_{DROC}(x,y) = U_\infty x + \lim_{n,m\to\infty} \sum_{j=0}^{m} \sum_{i=1}^{n} \left[q \left(\frac{(x - x(\dot{I})) e^{i\alpha(\dot{I})}}{(x - x(\dot{I}))^2 + (y \mp C_{DC} \pm j.b)^2} \right) \right] + \\ + \lim_{n,m\to\infty} \sum_{j=0}^{m} \sum_{i=1}^{n} \left[q \left(\frac{(x - x(\dot{I}))}{(x - x(\dot{I}))^2 + (y \mp C_{dC} \pm j.b)^2} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \quad (2.78)$$

Potansiyel fonksiyonu sabitlere eşitlenirse potansiyel çizgiler Şekil 2.56'da gösterildiği gibi olur. Akım çizgileri Şekil 2.57'de görülmektedir. Burada akım

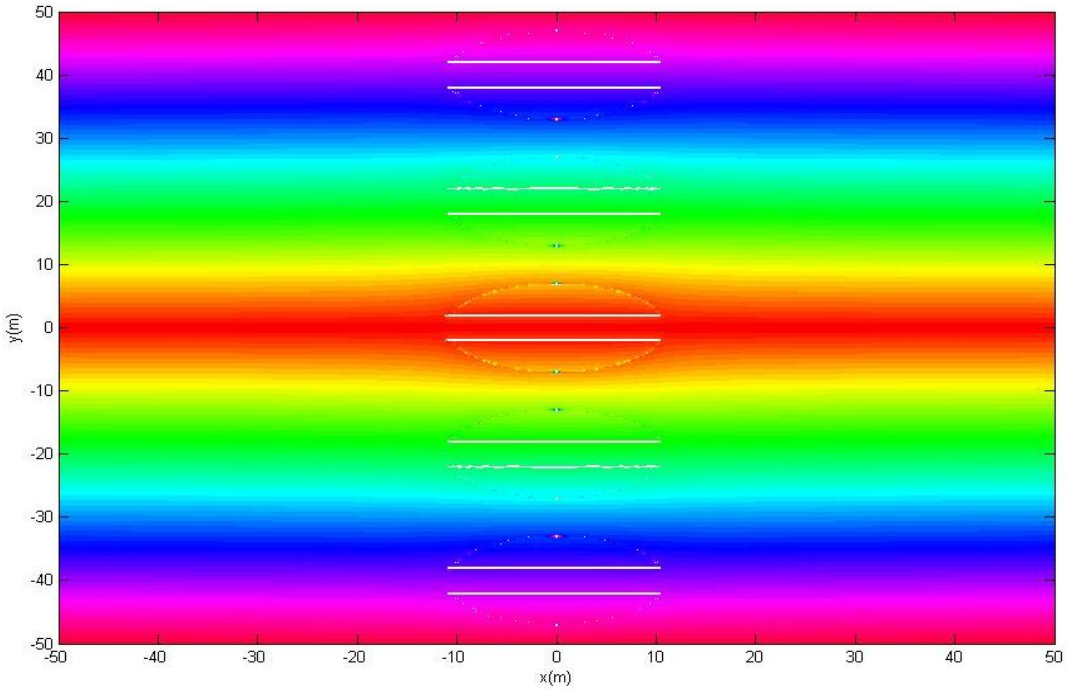
çizgileri ile potansiyel çizgileri iki şekle bakıldığında birbirlerine dik olduğu gibi görülür.



Şekil 2. 56. Delikli Rankine ovalinin civarında potansiyel çizgileri

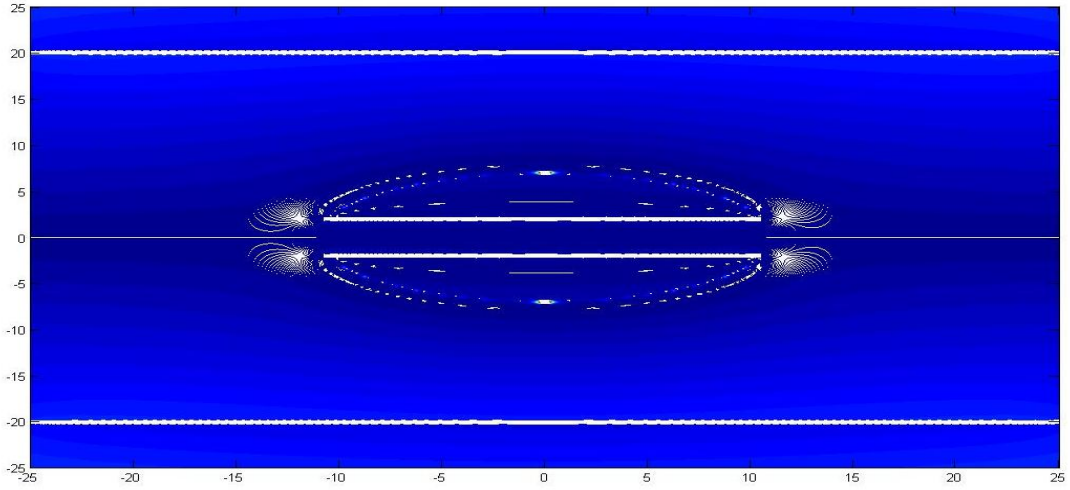
$$\psi_{DROC}(x,y) = U_\infty y - \lim_{n,m\to\infty} \sum_{j=0}^{m} \sum_{i=1}^{n} q \left[\left(\frac{(y \mp C_{DC} \pm j.b)}{(x - x(\dot{I}))^2 + (y \mp C_{DC} - j.b)^2} \right) \right] -$$

$$- \lim_{n,m\to\infty} \sum_{j=0}^{m} \sum_{i=1}^{n} q \left[\left(\frac{(y \mp C_{dC})}{(x - x(\dot{I}))^2 + (y \mp C_{dC} \pm j.b)^2} \right) \right] \tag{2.79}$$



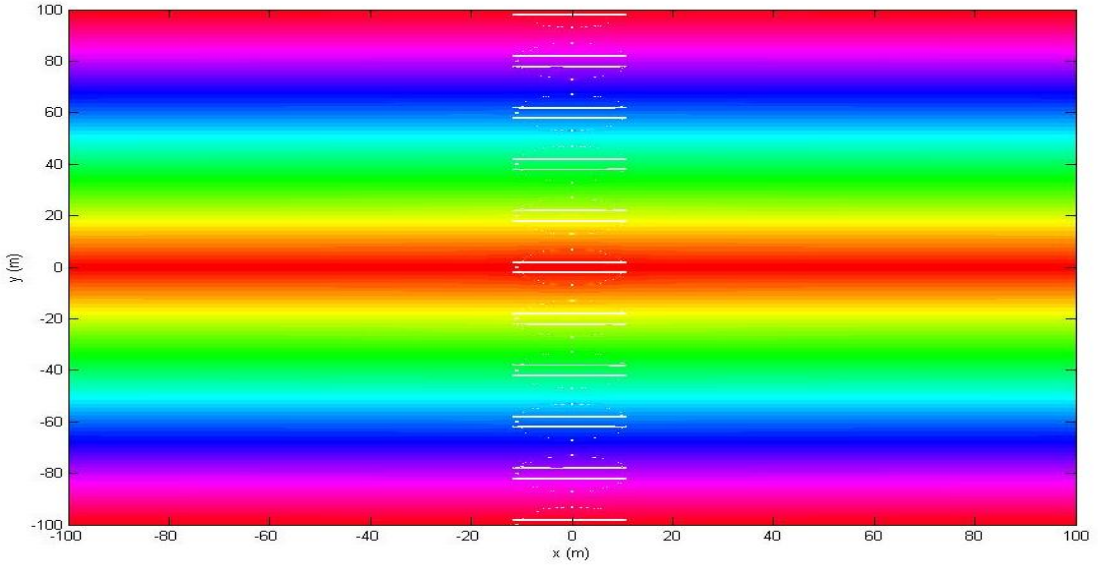
Şekil 2. 57. Tünel içinde delikli Rankine ovalinin civarında akım çizgileri

Delikli Rankine ovalinin bir kanal içindeki akımı Şekil 2.58'de görülmektedir. Bu tünel sonsuz sayıda aynı cismi (kanal genişliği D_0 olan bir kanalda) iki cismin eksenleri aynı kanal genişliği ile aynı olacak şekilde, Şekil 2.58'de ki gibi yerleştirilerek elde edilir.

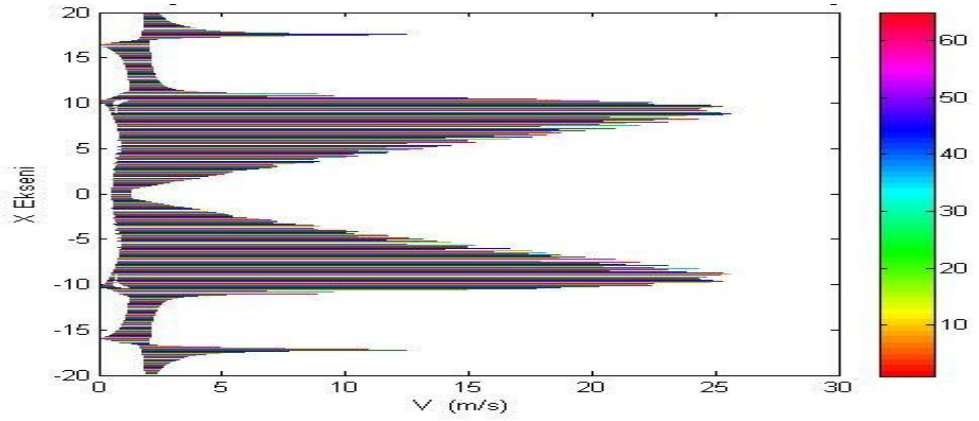


Şekil 2.58. Sınırlandırılmış iki cidar arasında delikli Rankine ovalinin akım çizgileri

Şekil 2.59 ve Şekil 2.60 birlikte değerlendirildiğinde delikli Rankine ovali üzerinde mutlak hız V'nin x'e göre değişiminde merkez sıfır çizgisi kaynak ve kuyu merkezinde bu değer en üst değerini almaktadır. Merkeze gelindiğinde ve ovalin ön ve arka kısmında ise min değerdedir.

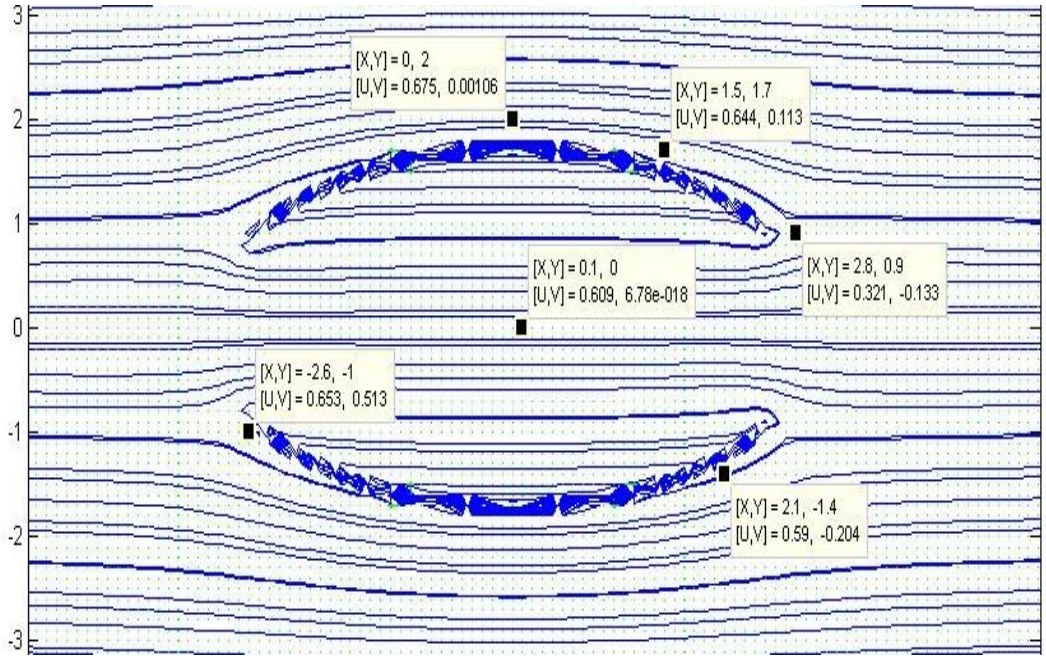


Şekil 2.59. Sınırlandırılmış ortamda delikli Rankine ovali akım çizgileri radyasyonu



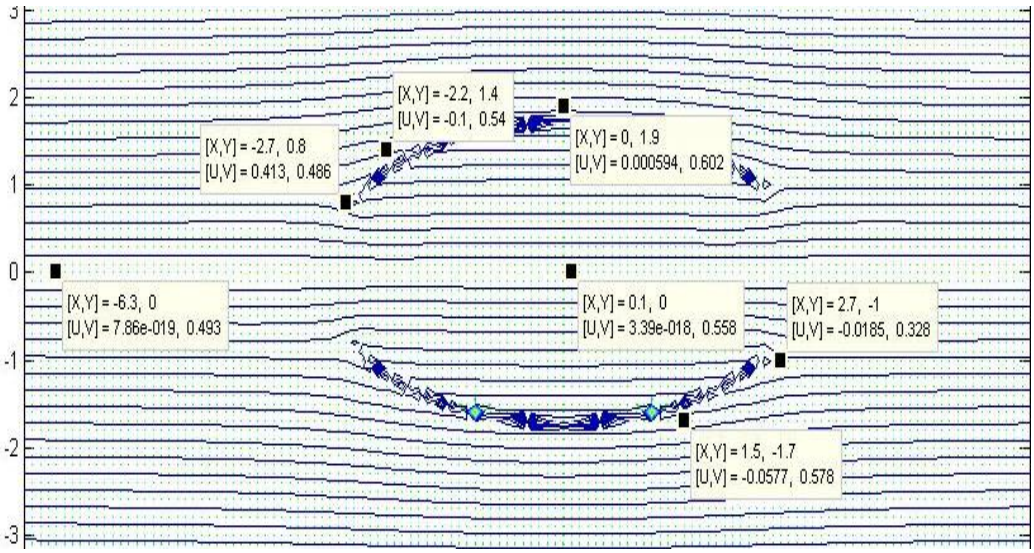
Şekil 2.60. Sınırlandırılmış iki cidar arasında delikli Rankine ovalinde mutlak hız V'nin x'e göre değişimi

Şekil 2.61'de hızın u ve v bileşenlerinin dağılımında cisim cidarının üstünde tam cismin orta hizasında 0, u bileşeni aynı noktada en büyük değerini almaktadır. Delikli Rankine ovalinin girişinde hız en düşük değerini almaktadır. Bu demektir ki burada en büyük basınç söz konusudur. Oval deliğinin ortasında hızın v değeri sıfırdır. Hızın v bileşenin en büyük değeri katı cisim girişindedir. Daha sonra haritadaki değerlerden cismin ortasına giriş ve çıkış tarafından yaklaşıldığında 0sıfıra doğru düştüğü görülecektir. Ayrıca önemli bir hususta delik olmasaydı cismin ün ve arkasındaki basınç daha da yüksek olacağıydı.



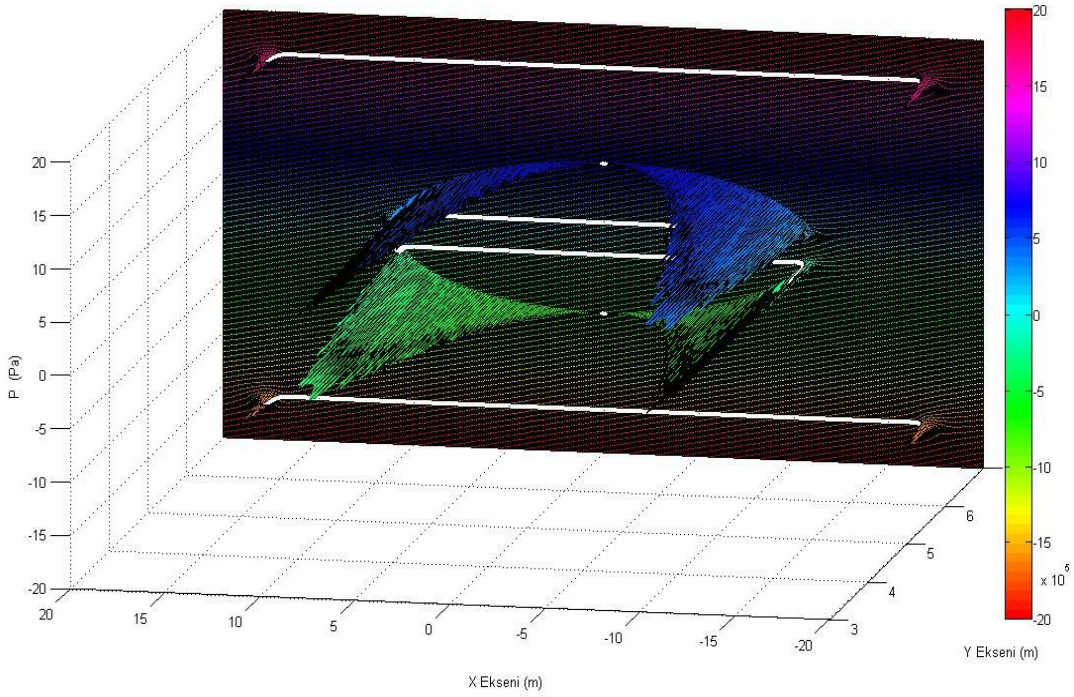
Şekil 2.61. Sınırlandırılmış iki cidar arasında delikli Rankine ovalinde hız bileşeni u' nun ve v'nin değişim haritası

Şekil 2.62'de hızın v bileşeni ile bileşke hız v'nin değişim haritası gösterilmiştir. Cisim girişinde cidar üzerinde hız bileşeni v sıkışma noktasından sonra büyük değerini alırken yavaş yavaş düşmektedir. Bu arada cidar üzerinde bileşke hız en büyük değerine ulaşmaktadır. Bileşke hız açık ortama göre hem katı cisim cidar üstünde hem de delik içinde daha fazladır.



Şekil 2.62. Sınırlandırılmış iki cidar arasında delikli Rankine ovalinde hız bileşeni v'nin ve bileşke hız V'nin değişim haritası

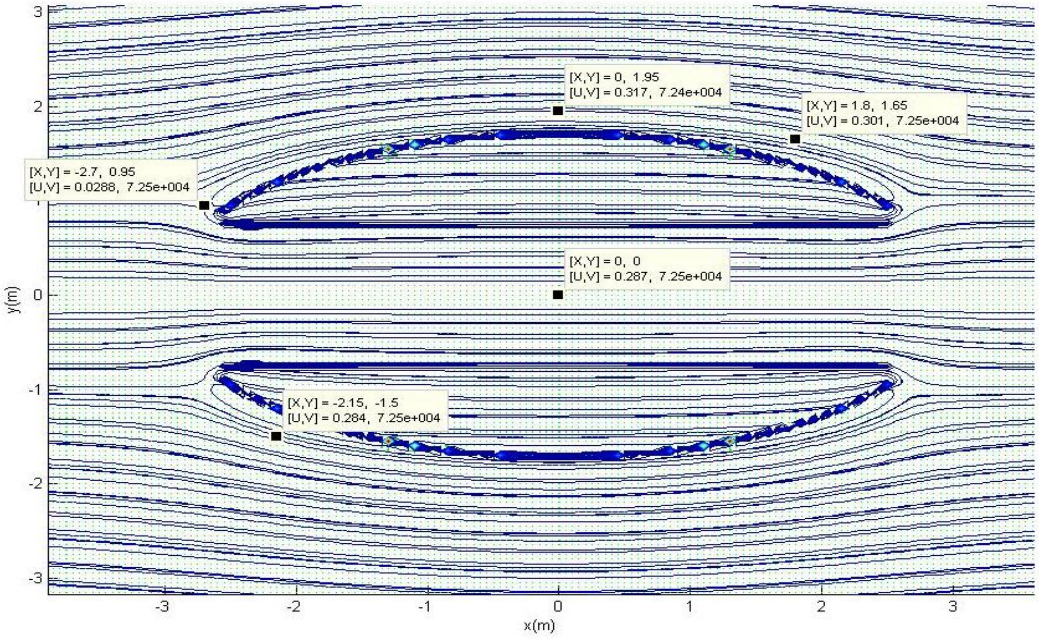
Şekil 2.63'te delikli Rankine ovalinin cidarı üzerinde, boyuna ekseninin tam ortasında basıncın en alt değerine ulaştığını göstermektedir. Cidarın ortasından öne ve arkaya doğru gidildikçe duvar üzerindeki basınç artmakta ve tam delik üzerine geldiğinde en büyük değeri almaktadır. Şayet delikli olmasaydı o zaman basınç ovalin önünde ve arkasında daha büyük değere ulaşacaktır. Deliğin olması ovalin önündeki ve arkasındaki basıncın azalmasına yol açmaktadır. Buda istenen bir durumdur. Zira hareket doğrultusunda direnç kuvvetinin azalması anlamına gelir. Ayrıca Rankine ovalinin orta hizasında basınç en alt seviyeye düşmektedir.



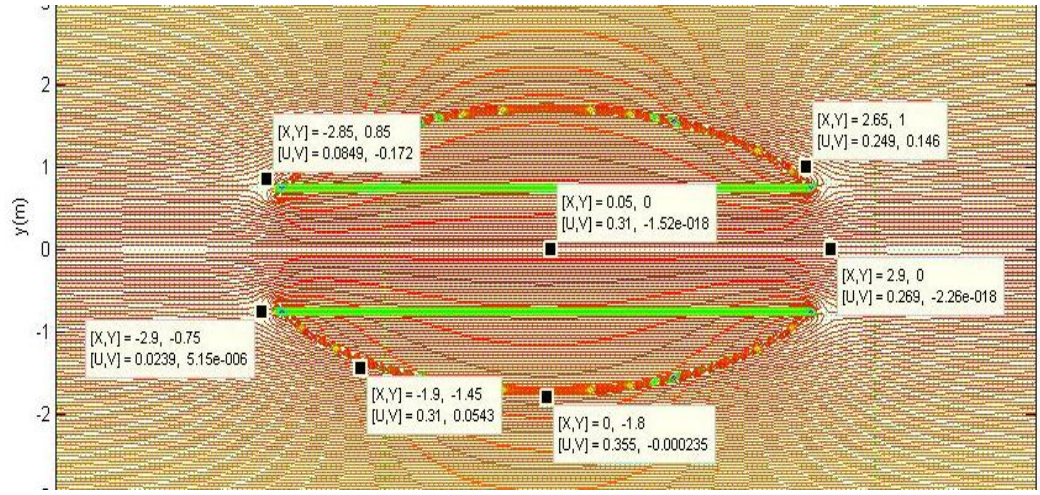
Şekil 2.63. Sınırlandırılmış iki cidar arasında delikli Rankine ovali cidar üzerindeki mutlak basınç dağılımının görünüşü

Delikli Rankine ovalinin sınırlandırılmış akışkan ortamında hız alanı (u,v bileşenleri), akım çizgileri, basınç alanı, mutlak hız sistem içinde Rankine ovali genişliği D= 3.44, uzunluğu L=6m, kanal çapı D_0= 6m, x değişim aralığı -20m ile + 20 arasında dış duble şiddeti m=0.06m^2/s, duble aralığı, 0.05m, iç cidar üzerinde debi m=0.01m^2/s, statik basınç P_0 =60 kPa. kabul edilerek çıkan sonuçların genel haritası Şekil 2.64a'da açık akışkan ortamı ve Şekil 2.64b'de bir kanal içinde akışkan ortamı için verilmiştir. Grafik üzerinde örnek olarak verilen delik etkisi, kanal etkisi açıkça görülmektedir.

Tünel çapı basıncı etkilemektedir. Hızın v bileşeni ovalinin tam orta hizasında 0 dır. Bu şekilde net biçimde görülmektedir ön ve arka kısımlarında burada v değeri en büyük değere ulaşırken, u bileşenin en büyük değer orta hizasındadır ve burada basınç en alt seviyededir. Akım çizgileri delikli Rankine ovalinin katı duvar cidarını sağlamaktadır ve denklemleri doğruluğu kanıtlanmıştır. Sonsuz sayıda aynı şekilde delikli Rankine ovali konulursa Laplace diferansiyel denklemi sağlanmış olur. burada cidarı etkileyen diğer önemli faktör duble debinin şiddeti ve dubleler arasındaki aralık bu etkileşimi önemli ölçüde etkilemektedir. Açık ortamda oluşan basınç düşümü sınırlandırılmış ortama göre daha azdır.



(a)

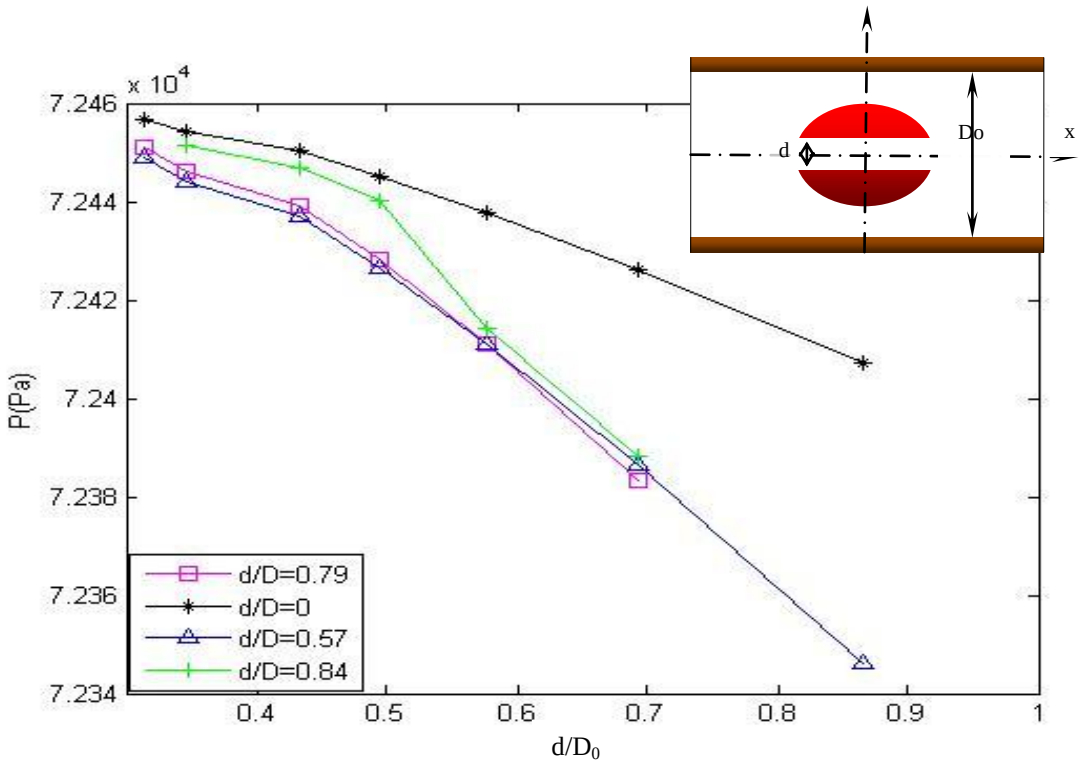


b)

Şekil 2.64. Delikli Rankine ovalinin a) açık ortam, b) sınırlandırılmış akım alanı ve akım alanında hız basınç haritası

Şekil 2.65'te Rankine ovalinin delik çapının ovalin çapına oranı büyüdükçe yani (delik çapı büyüdükçe) kanal cidarına etki eden basınç büyümektedir. Ovoidin çapının kanal çapına oranı büyüdüğü zaman ise cidara etkiyen basıncın düştüğü bir şekilde anlaşılmaktadır görülebilir. Ancak bu deliksiz ovalde farklı çıkmaktadır. Bu dikkat çeken bir hususta deliksiz Rankine ovalinde duvar üzerinde çıkan basıncın yüksek olması dublelerin debisinin büyüklüğüne bağlı olarak oluşan etkileşimden kaynaklanmaktadır. Bununla ilgi ayrıca yapılan çalışmaya ileriki bölümde değinilecektir.

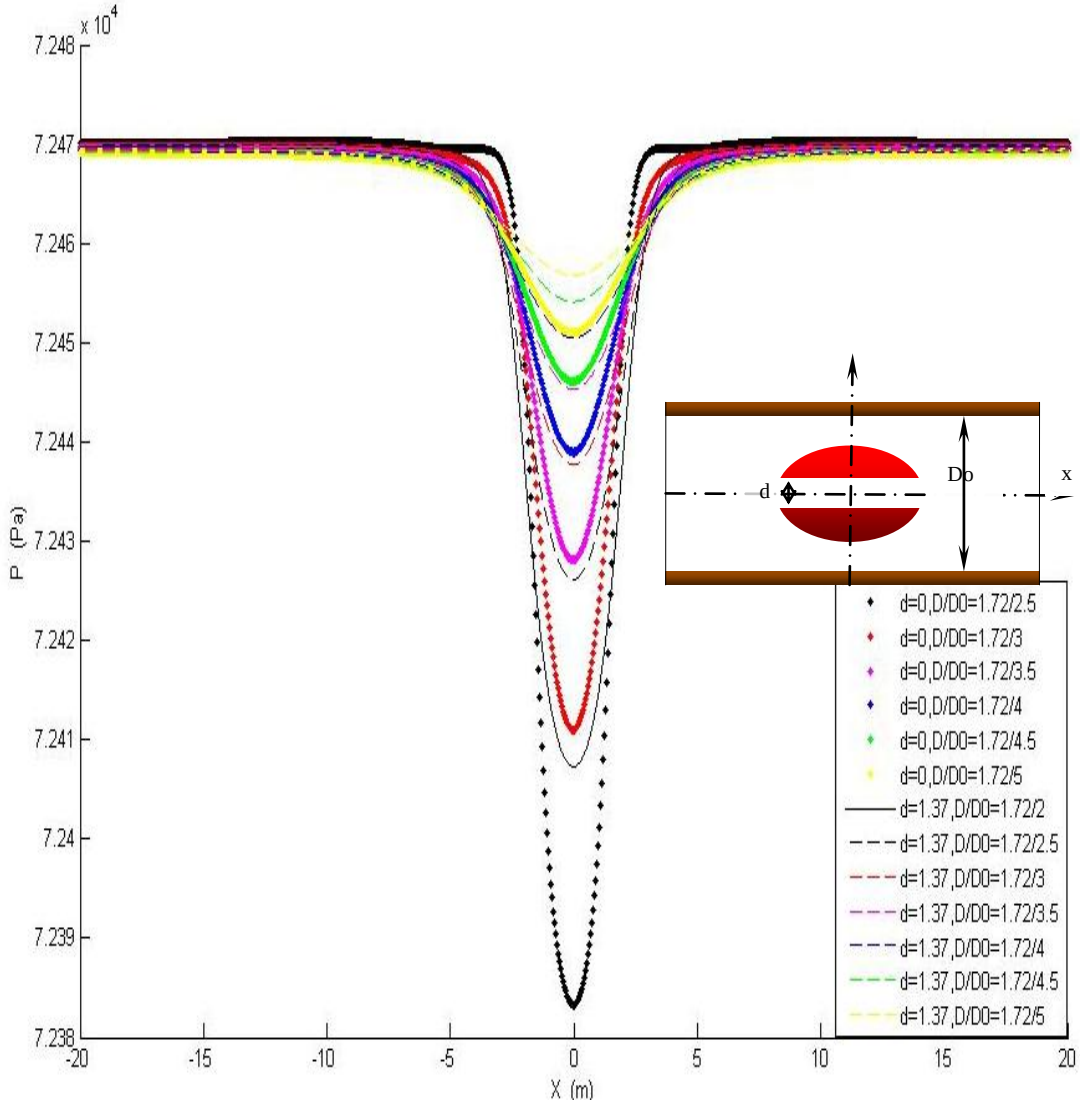
Basınç değişimleri d/D_0 oranlarına bağlı olarak değişimi verilen delikli Rankine ovali modelindeki kanal genişliği arttıkça, açıkça görüldüğü gibi kanal duvarına etkiyen basınç yükselmektedir. d/D_0 oranı büyüdükçe kanal cidarına etki eden basınç düşmektedir. Hareket ekseni doğrultusunda cismin girişinden itibaren duvara etkiyen basınç cismin boyuna tam orta hizasına düşmektedir. Sonra tekrar Rankine ovalinin çıkışına kadar yükselerek sabit bir hal almaktadır.



Şekil 2.65. Rankine ovalinin delik çapı ve kanal çapına bağlı olarak basınç değişimi

Delikli ve deliksiz Rankine ovali karşılaştırıldığında deliksiz Rankine ovalinde etkiyen basıncın daha yüksek olduğu görülür. Ayrıca kanal çap oranı arttıkça basınçtaki değişim oranı düşmektedir. Şekil 2.66'da bu açıkça görülebilir. Delikli d=2.72m ve deliksiz d=0 alındığında, kanal çapı D_0=5m ile 10m arasında alındığında grafikten net bir şekilde görüldüğü gibi, deliksiz olduğunda cidarda basınç düşümü aynı kanal çapında daha yüksektir. Ayrıca d/D_0 çap oranı büyüdükçe aradaki basınç farkı artmaktadır. Grafikteki eğrilerde basıncın kanal cidarında oluşturduğu basınç değişimi d= 0 için kalın çizgilerle, d =2.72m ise kesikli ve düz çizgilerle ifade edilmektedir. Cidardaki en büyük basınç düşümü D_0=5m te cismin tam orta hizasında gerçekleşmektedir. Cismin girişinden itibaren kanal yüzeyinde oluşan basınç değişimi parabol eğrisi gibidir. Önce azalmakta daha sonrada artmaktadır.

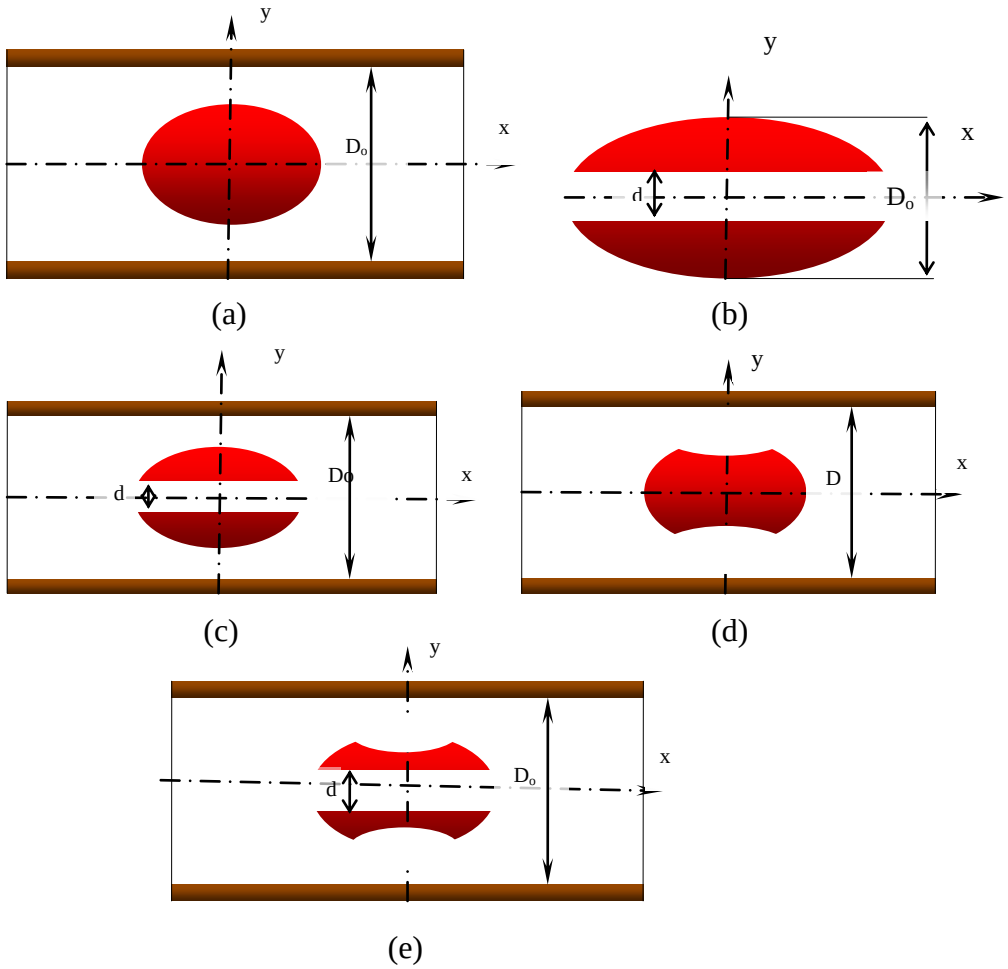
Kanal cidarındaki en düşük basınç düşümü ise delikli Rankine ovalinde en geniş kanalda oluşmaktadır.



Şekil 2.66. Deliksiz ve delikli Rankine Ovalinin çapı değişen bir kanalda duvara etkiyen basınçlar

3. FARKLI GEOMETRİLERDE ve EKSENDEN KAYMALARDA TÜNELDUVARINA ETKİYEN BASINÇLAR

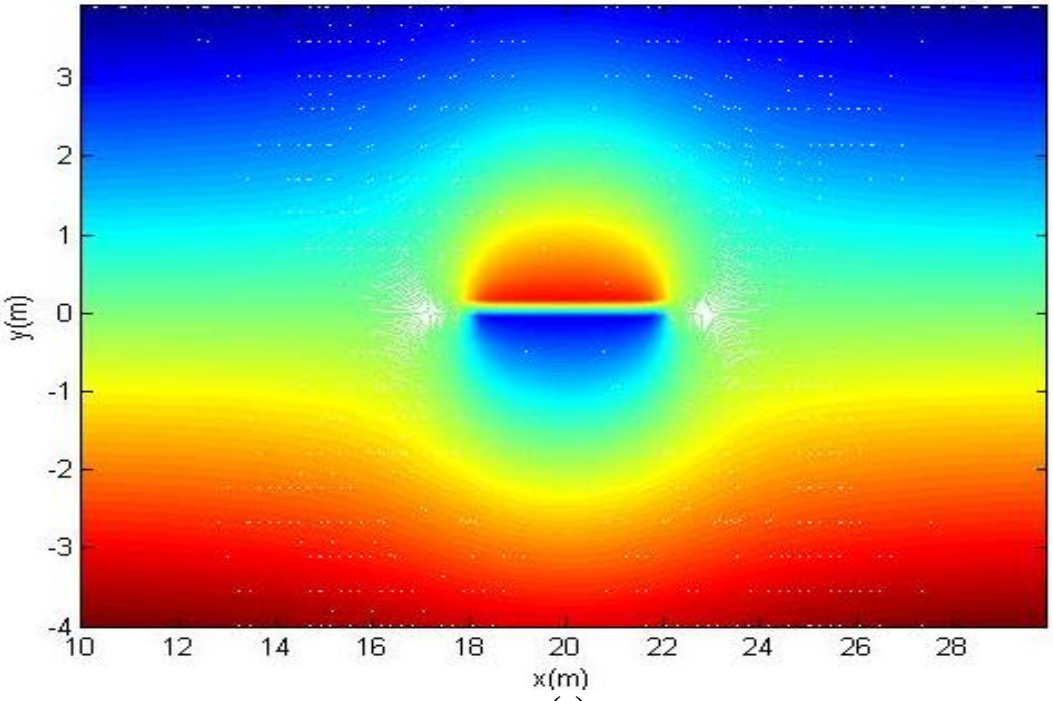
Şekil 3.1'de görüldüğü gibi; sınırlandırılmış akışkan içinde Rankine ovali Şekil 3.1a, açık akışkan ortamında içi delikli Rankine ovali Şekil 3.1b, sınırlandırılmış akışkan içinde delikli Rankine ovali Şekil 3.1c, sınırlandırılmış akışkan ortamında kapalı alyuvar Şekil 3.1d, içi delikli alyuvar Şekil 3.1e'de modelleri görülmektedir. Bu katı cisim modelleri için, eksende ve eksenden kayma durumları, açık akışkan ortamında ve sınırlandırılmış akışkan ortamında duvarda oluşturdukları basınç ile karalılık durumları incelenmiş ve basınçlar karşılaştırılmıştır.



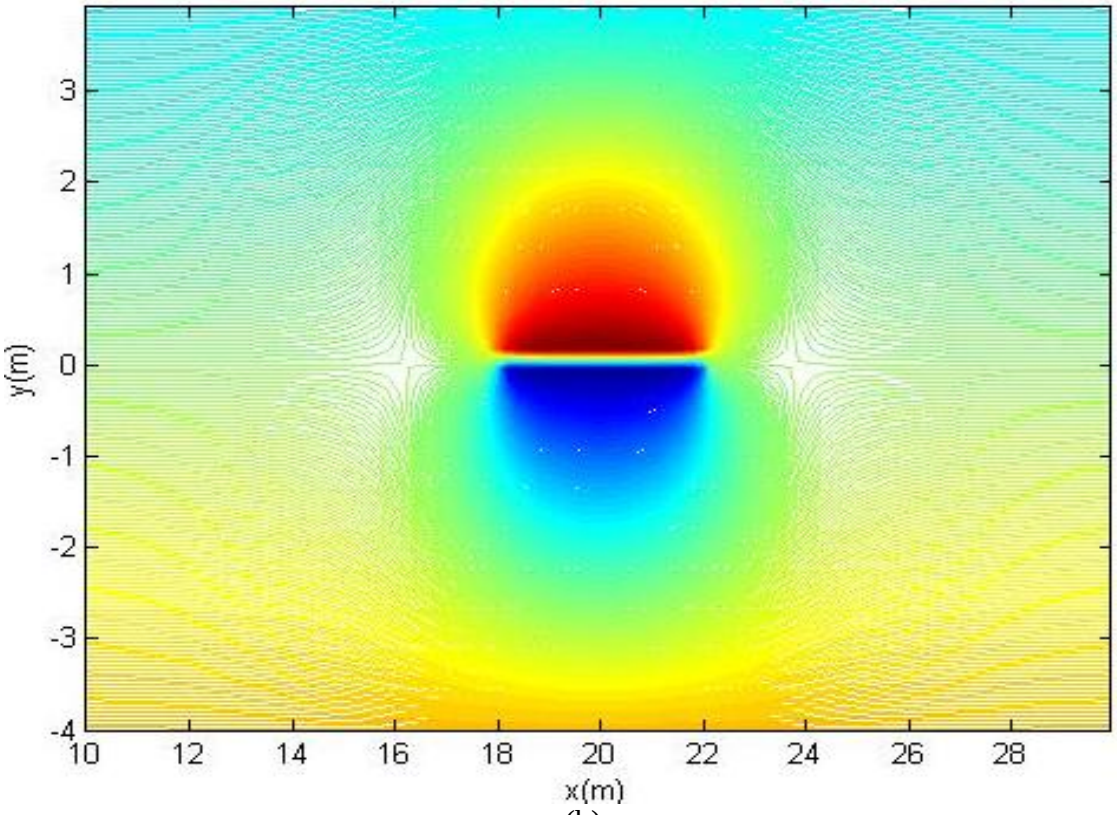
Şekil 3.1. Farklı geometrilerde kullanılan model kesitleri a) kanalda Rankine ovali, ,b) içi delikli Rankine ovali, c) kanal içinde delikli Rankine ovali, d) alyuvar, e) içi delikli alyuvar

Ayrıca daha sonraki bölümde üç-boyutlu eksenel simetrik hareket durumları için meydana gelen akım yüzeyi iki-boyutlu Rankine ovalinin dış cidar çizgisinden yararlanarak elde edilmiş ve çizilmiştir.

Sınırlandırılmış bir akışkan ortamında yansıtma yöntemi ile Rankine ovali etrafındaki akım çizgileri ve iki-boyutlu tünel cidarı üzerinde, hız dağılımı daha önce ifade edildiği gibi akım fonksiyonundan yaralanılarak elde edilmiş ve Bernoulli denklemi kullanılarak basınç değişimleri incelenmiştir. Matlab yardımı ile belirlenen aralıklar için akım çizgileri gösterilmiştir. Daha sonra buradan yola çıkılarak değişik katı cisim modellerde akım çizgileri, hız ve basınç dağılımları aynı metot izlenerek duvar üzerinde meydana gelen basınçlar karşılaştırılmıştır. İki-boyutlu tünelde eksenden uzaklaşma durumlarında basınç değişimleri irdelenmiştir. Karşılaştırma için bütün katı cisim modellerinde x'in değişim aralığı -20 m ile +20 m, kanal çapı D_0 =6m alınmıştır. Rankine ovalinin D_0= 3.44m, uzunluğu L= 6m alınmıştır. -3 m ile +3 m. Sonsuzdaki basınç P_0 = 60 kPa kabul edilerek sonsuzdaki hız değeri ise U_0=5 m/s. alınmıştır. Ovalin delik çapı d= 0.7497m. alınmıştır. Cidar yüzeyinde 800 adet 0.01m^2/s şiddetinde duble yerleştirilmiştir. Burada Farklı Rankine ovali, delikli Rankine ovali, alyuvar, delikli alyuvar şeklinde örnek modellerin açık ve sınırlandırılmış akışkan ortamındaki akım çizgileri, katı cisim modeli, hız, basınç dağılımları kararlık durumları ele alınmıştır. Rankine ovali için akım fonksiyonu ile ifade edilmiş olup, tüm fonksiyonlar için aynı program uygulanmıştır. Grafiklere ve Şekillere bakılarak avantaj ve dezavantajlar karşılaştırılabilir. Burada parametrik denklemler elde edilmiştir. Rankine ovalinin katı cidarı ve etrafındaki akıma ait basınç dağılımı için önce akım çizgileri, Şekil 3.2'de sınırlandırılmış bir akışkan ortamında bulunan Rankine ovalinin a) yoğun b) seyrek bir şekilde akım çizgileri ve etrafındaki akım görülmektedir. Yoğun akım çizgilerinde katı cisim cidarı çizgisi daha belirgin bir biçimde anlaşılmaktadır.



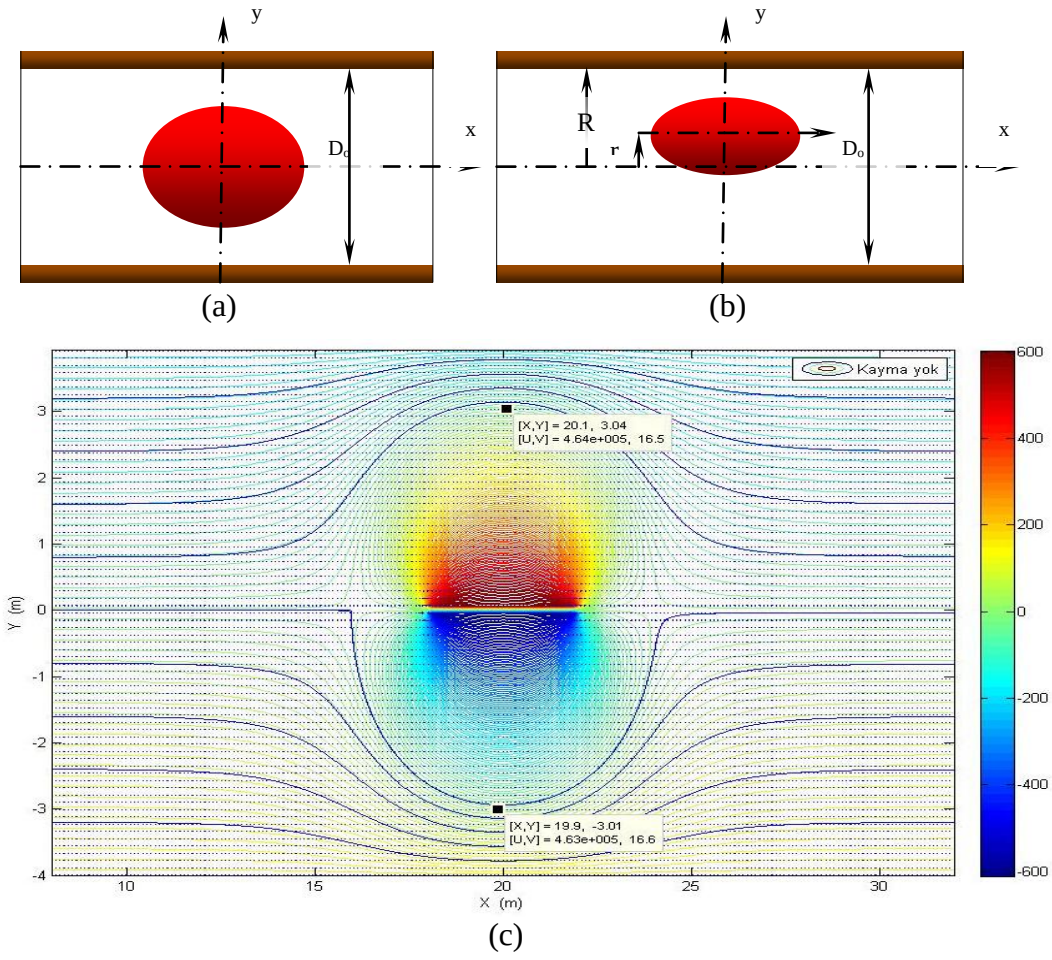
(a)



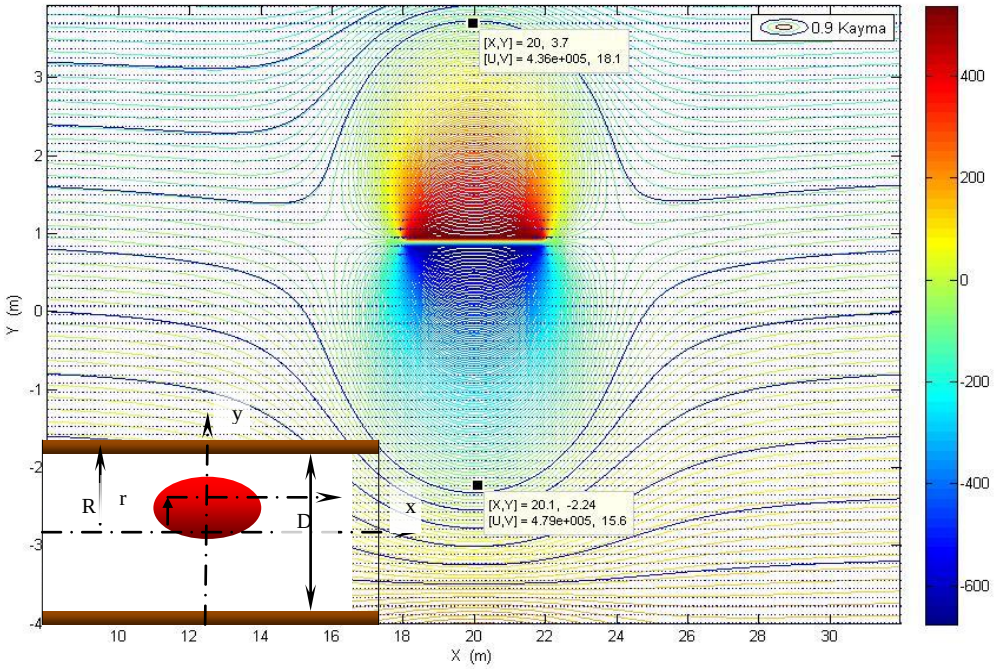
(b)

Şekil 3.2. Sınırlandırılmış akışkan ortamında Rankine ovali etrafındaki a) yoğun, b) seyrek akım

Şematik resmi tünel merkezinde Şekil 3.3a ve merkezden kayık 3.3b'de verilen kapalı Rankine ovoidi için akım çizgileri kararlılık durumu, basınç etkileşimi ve hız dağılımları incelenmiş ve elde edilen bulgular grafik ve şekillerde verilmiştir. Şekil 3.3c'de Rankine ovalinin 0 akım çizgisi kayma olmaksızın akımla birlikte verilmiştir. Şekil 3.4'te ise kayma olduğu halde ki akım durumu ve sapma verilmektedir. Burada akışın davranışını görmek mümkündür. Ovalin tam cidarın üst ve alt orta noktasında cidardaki basıncın farklı olduğu görülmektedir. Baz alınan kayma değeri 0.9 m. dir. Burada çok yüksek hız ve statik basınç 60 kPa alınmış ve kanal çapı D_0 = 8 m kabul edilmiştir. Şekil 3.5'te bütün cidar üzerinde yine 50 m/s. genel akım hızı kabul edilerek basınç değerleri cidarda gösterilmiştir ve matlabla alınan basın değerlerinde basıncın nasıl dağıldığı görülmektedir. Buna göre basınç değerleri ovalin tam ortasında en alt seviyesine ulaşırken ön ve arkasında en büyük değerini almaktadır.

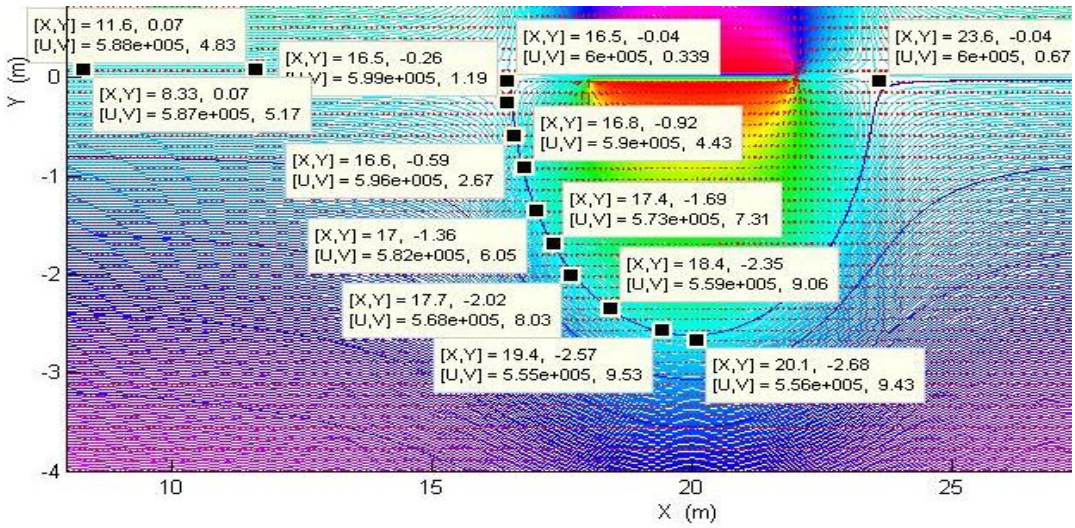


Şekil 3.3. Sınırlandırılmış akışkan ortamında a) tünel merkezinde, b) merkezden kayık Rankine ovali, c) Rankine ovali etrafındaki akım (kayma yok)



Şekil 3.4. Sınırlandırılmış akışkan ortamında Rankine ovali etrafındaki akım (eksensel kayma 0.9 m)

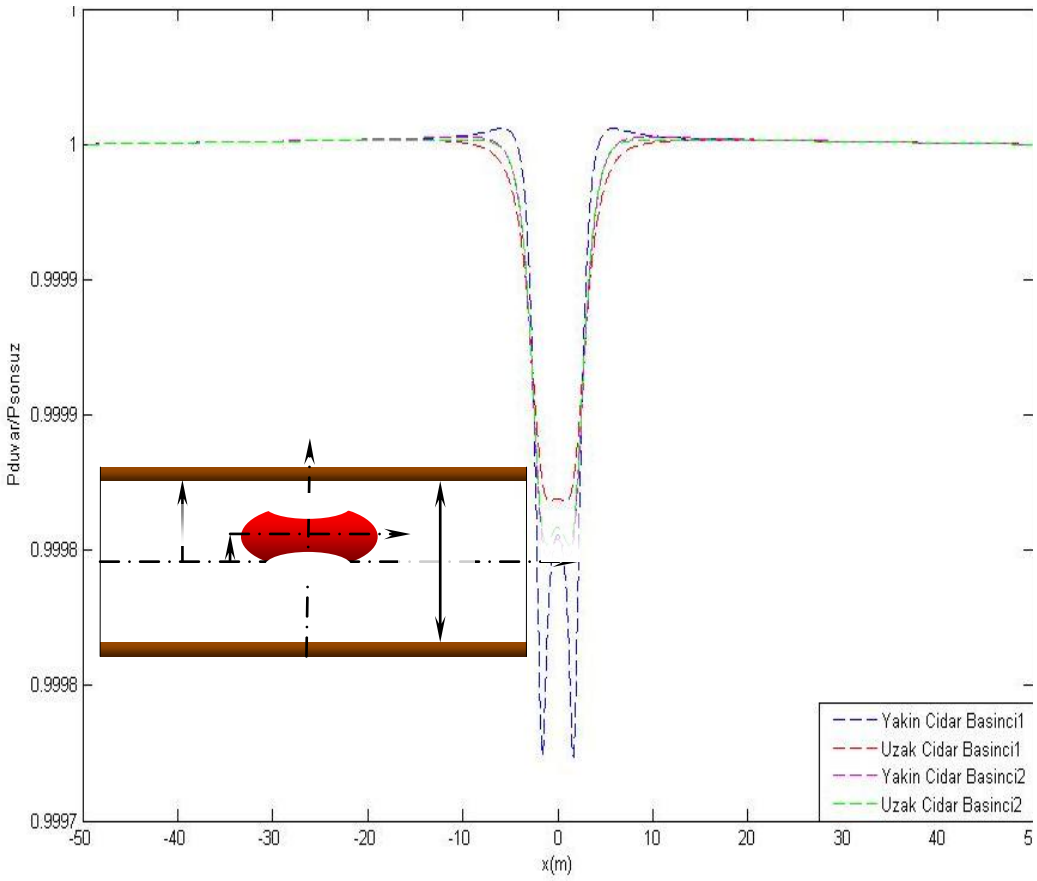
Duvar üzerindeki basınç dağılımı (y = 4 m veya y = -4m) için matlab yardımıyla bulunmuş ve değerler program verilerinden alınarak yazılmıştır.



Şekil 3.5. Sınırlandırılmış akışkan ortamında Rankine ovali etrafındaki akımda cidar üzerinde basınç değişimi (kayma yok)

Şekil 3.6'da kaymaya bağlı olarak meydana gelen basınç değişimi görülmektedir. Mavi renkli eğri Rankine ovalinin duvara yakın olduğunda, kanal duvarına etkiyen basınç düşmektedir. Alyuvar duvardan uzaklaştıkça, duvara etkiyen basınç

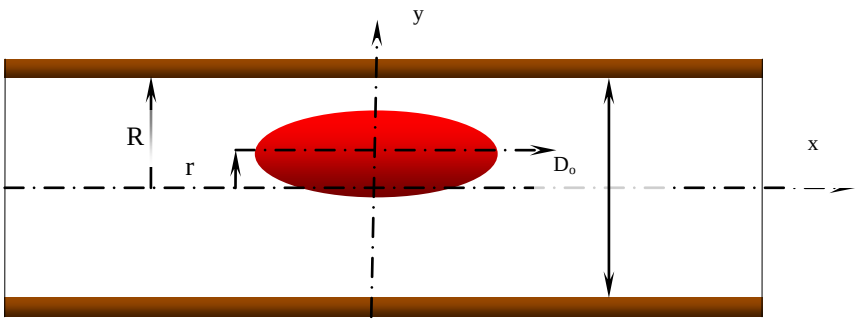
artmaktadır. Burada merkezden r/R = 0.33333 lük bir kayma durumunda yakın ve uzak duvara etkiyen basınç değişim eğrileri görülmektedir. Mavi ve pembe eğriler bir ve 2 duvardaki etkileşimi göstermektedir. En büyük basınç düşümü 1 yakın duvarda , ikinci büyük basınç düşümü 2. yakın duvarda gerçekleşmektedir. Bu grafikten ayrıca şu sonuç çıkarılabilirki, aynı oranda duvardan uzaklaştıkça duvar üzerinde var olan değişim oranı düşmektedir. Burada 8 adet simetrik alyuvar alttan ve sekiz adet üstten alınmıştır. Diğer önemli husus ise alyuvarın yapısından dolayımerkez hizasında gerçekleşen basınç belli bir noktadan sonra azalmaması tersine artışıdırki bu kararlılık açısından çok önemlidir.



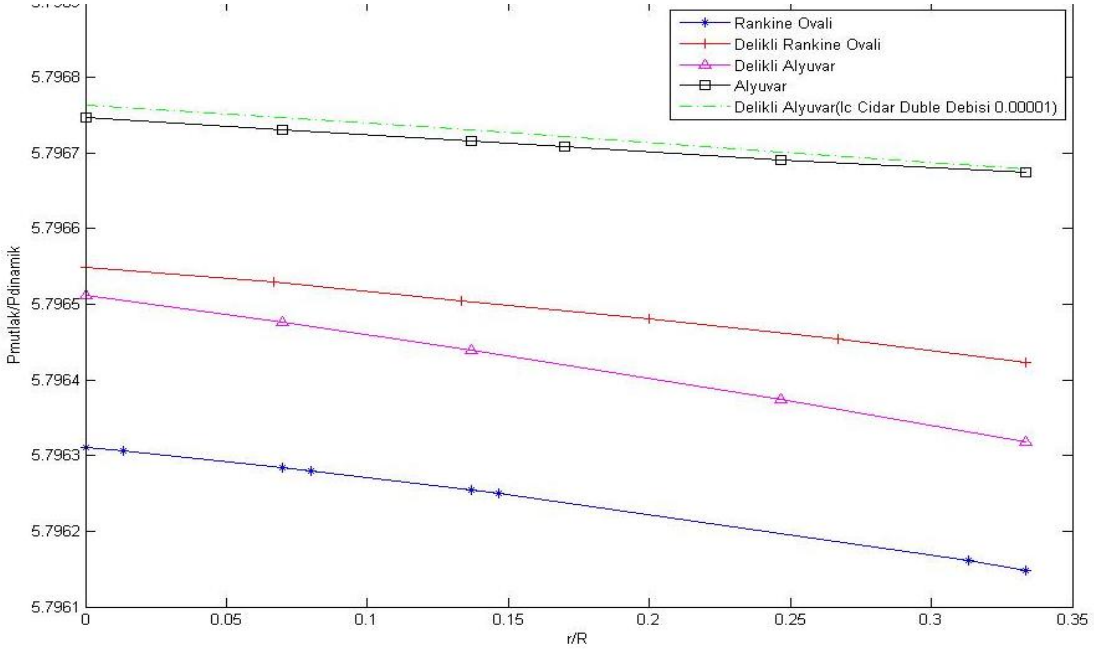
Şekil 3.6. Sınırlandırılmış akışkanda kaymaya bağlı olarak basınç değişimi

Şekil 3.7'den anlaşılacağı gibi kayma oranı arttıkça, yani cisim duvar yakınlaştıkça mutlak basınç düşmektedir. Uzak duvarda aralık arttıkça basınç azalmaktadır. Buda kararsızlığı göstermektedir. r/R oranı arttıkça, yani kanal yüzeyine kanal yüzeyinde cismin tam orta hizasında kanal cidarında oluşan basınç düşmektedir. Bu aynı zamanda katı cisim cidarına etkiyen basıncın azaldığı anlamına gelmektedir. Diğer

önemli husus ise aynı kayma oranlarında dikkat çekici şekilde iç cidardaki dublelerin şiddetinin etkisidir. Grafikte baz alınan cisimler, Rankine ovali, delikli Rankine ovali, alyuvar, delikli alyuvarı karşılaştırdığımızda en kararsız en büyük düşme oranı Rankine ovalindedir (mavi eğri en alt, eğim daha fazla). En kararlıları ise delikli alyuvar ve alyuvardır. İç cidarda dublelerin debileri baz alınarak yapılan karşılaştırmada net görülmektedir ki debi çok küçük olması karalılık açısından avantaj sağlamaktadır. Söz konusu bütün geometrilerde r/R arttıkça mutlak basıncın mutlak basınç oranları düşmektedir. Delikli Rankine ovalinin ve Rankine ovalinin genişliğinin oval boyuna oranı D/L= 0.573333 ve kanal genişliğine oranı ise D/D_0= 0.28666 dır. Dubleler arasındaki aralık 0.05m. Duble şiddeti 0.02m^2/s. alınmıştır.



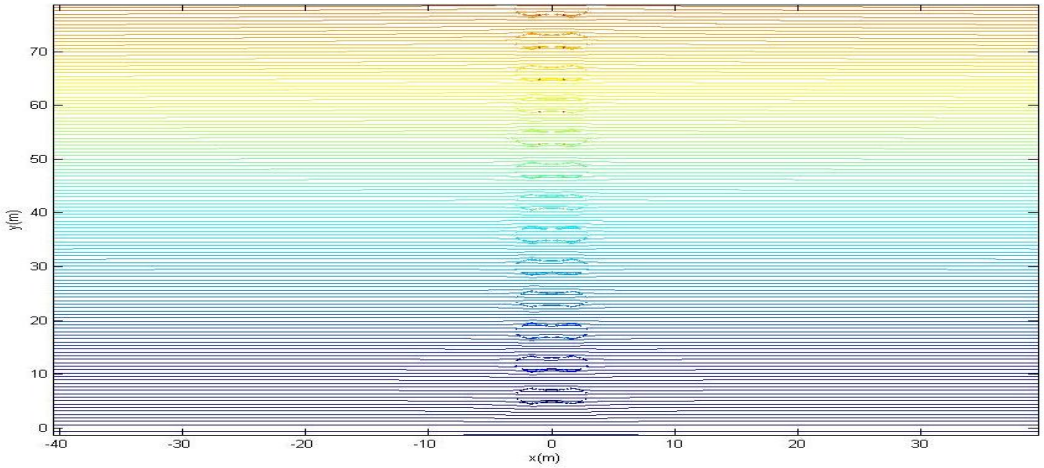
(a)



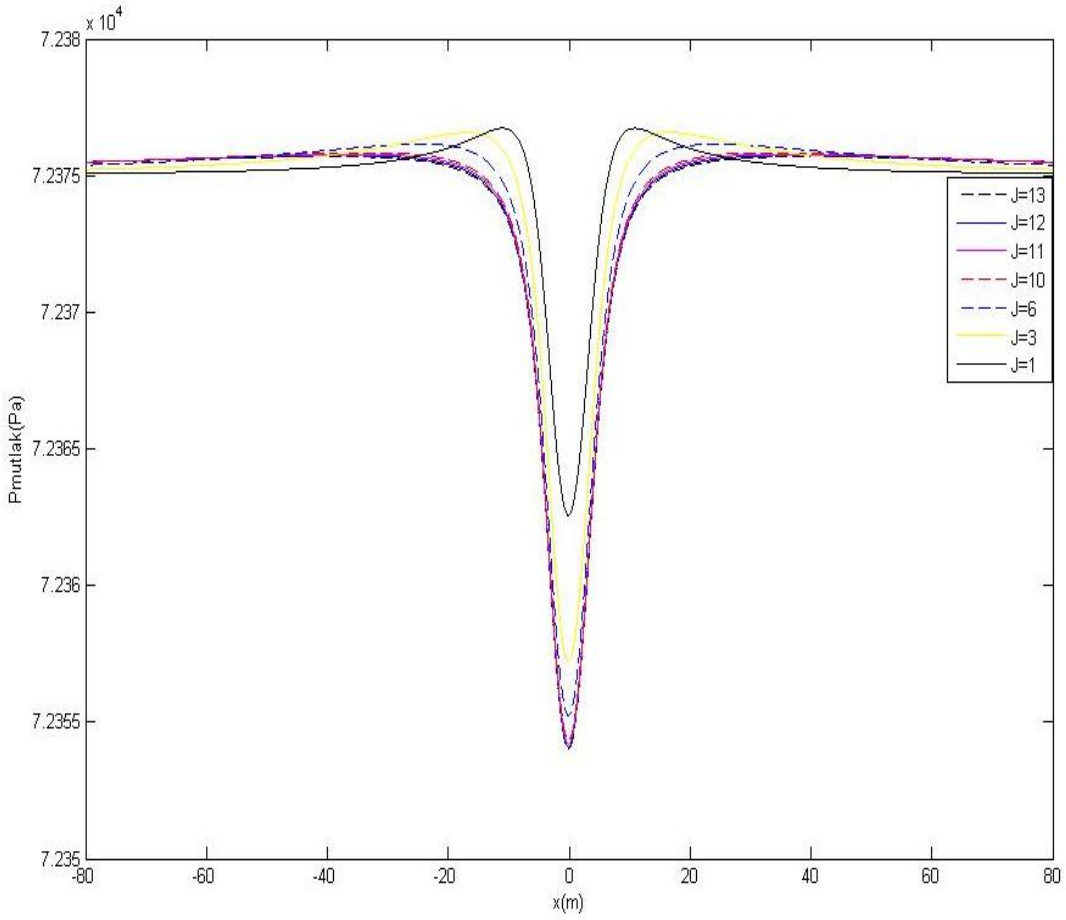
(b)

Şekil 3.7. Sınırlandırılmış akışkan içinde a) kayma ekseni, b) kaymaya bağlı olarak duvar üstünde oluşturduğu basınç değişimi

Alınan örnek model için ilk J=1 alınırda fazla, 2 alınırsa açık akışkan ortamına göre azalsa da, ilk altı adette fazla değişim söz konusudur. altı adette Radyasyon yöntemi kullanılarak, katı cismin hareket ettiği tünel cidarı 13 adet simetrik cisimden sonra sabitlendiği net şekilde görülmektedir. Şekil 3.8a ve Şekil 3.8b'de görülebilir.



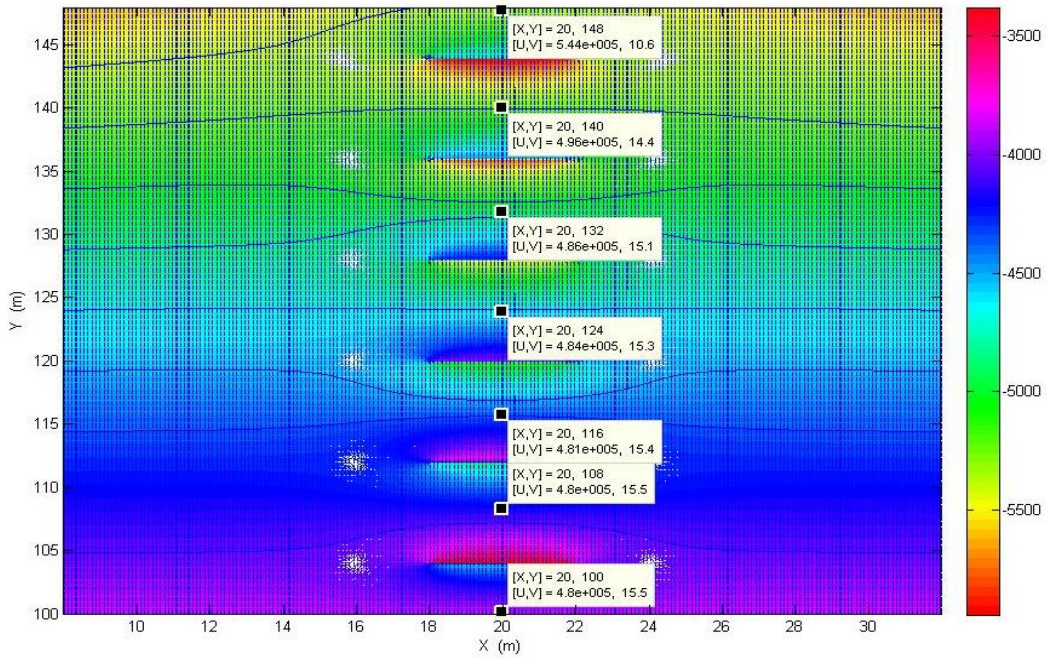
(a)



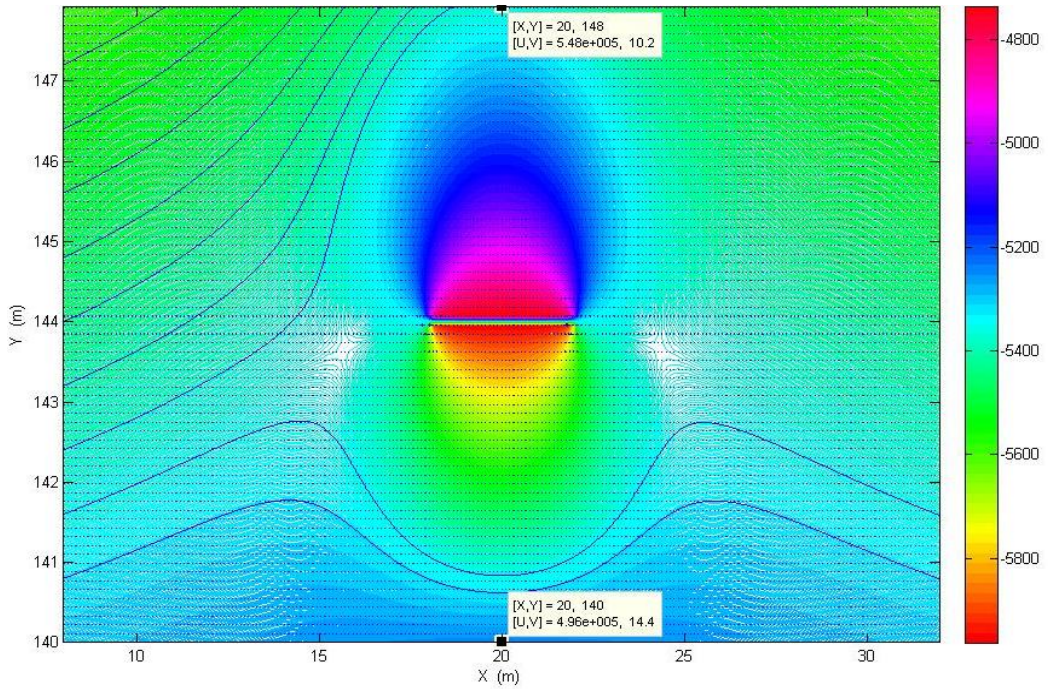
(b)

Şekil 3.8. Sınırlandırılmış akışkan ortamında a) simetri ile tünel oluşturma, b) katı duvarın üstünde basınç dağılımı (y = - 80 m ile y = + 80m)

Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da simetri yöntemi ile katı cisim etrafındaki akımın bir kanal içindeki hareketinin elde edilişi görülmektedir. En sondakinin basınç farkı Şekil 3.10a bakılarak akım çizgilerinin dağılımındaki yansımasından analitik çözüme yaklaştırmak için sayısını mümkün olduğunca artırılması gerekir.

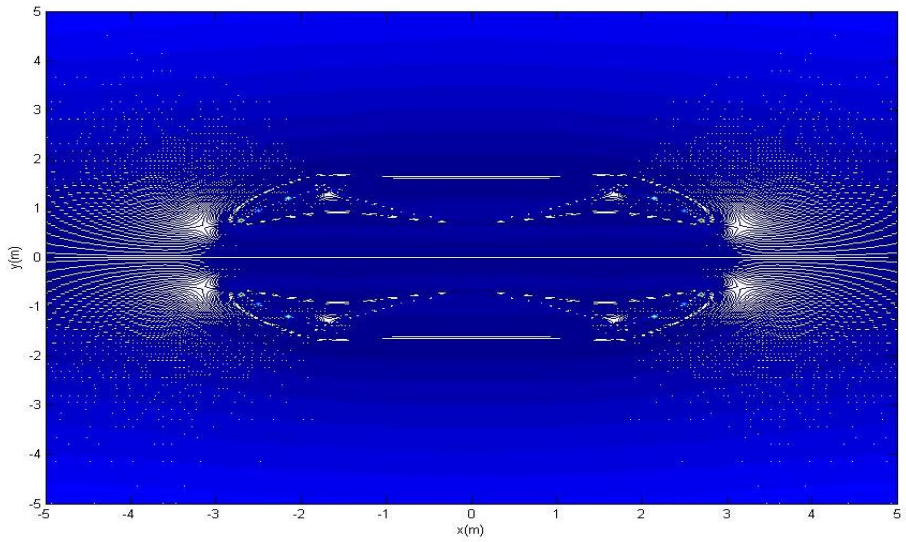


Şekil 3.9. Sınırlandırılmış akışkan ortamında Rankine ovali için katı duvarın radyasyon ile oluşturulması (y = 100 m - y = 148m)

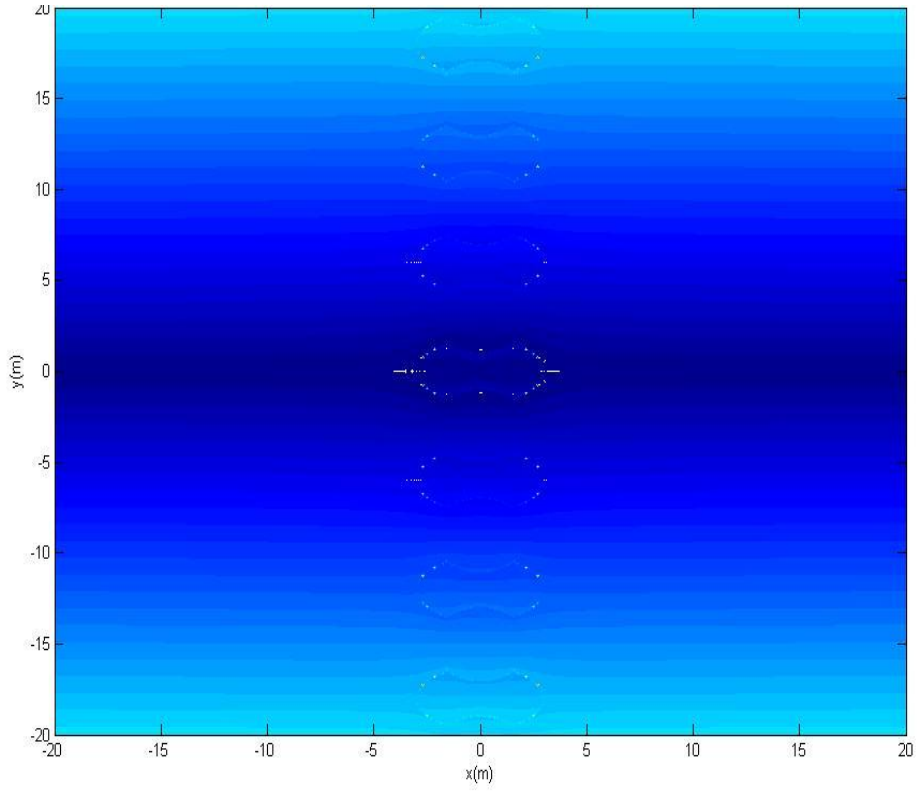


Şekil 3.10. Sınırlandırılmış akışkan ortamında Rankine ovali için katı duvarın radyasyon ile oluşturulması değişimi (y = 140 m – y = 148 m)

Alyuvar geometrisi ile oluşturulan katı cisim cidarı üzerinde basınç değişimi için, Rankine ovalinin dış cidarı üzerinde cidarı üzerinde istenen geometriye bağlı olarak dublelerin konulması ile akım çizgileri ve katı cisim geometrisi elde edilmiştir. Şekil 3.11a, Şekil 3.11b' de verilmiştir.



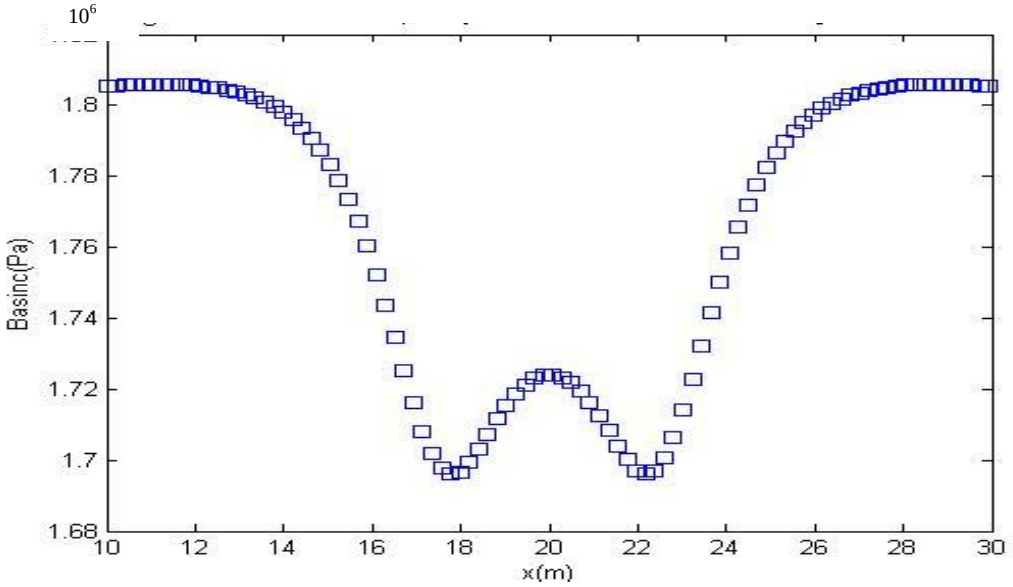
(a)



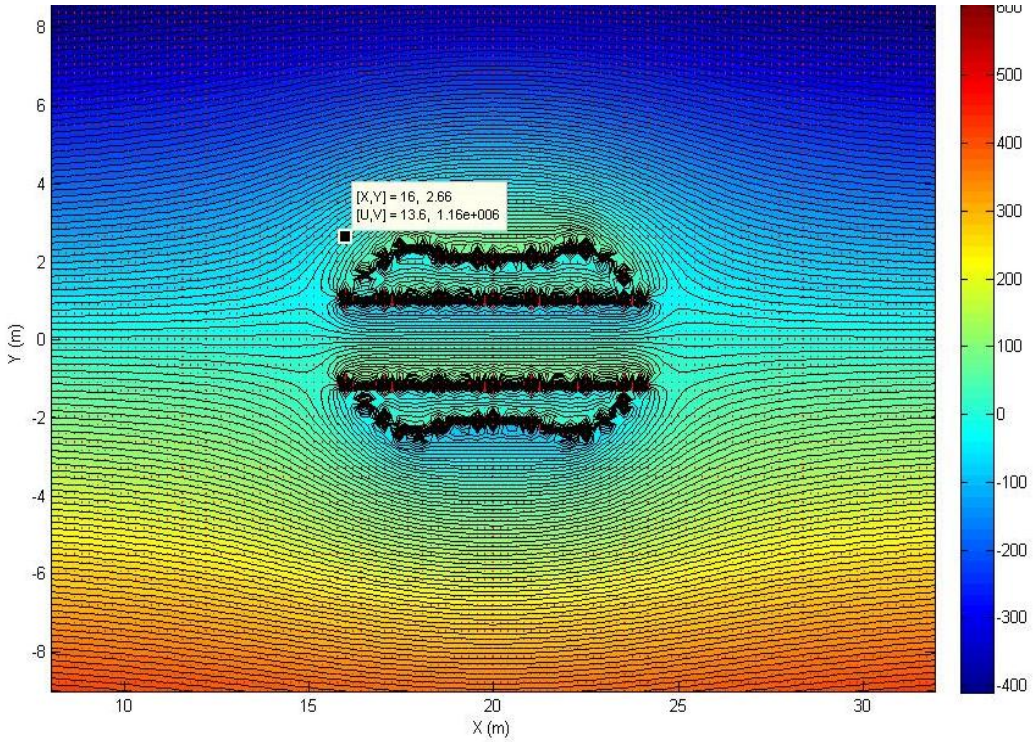
(b)

Şekil 3.11. İçi kapalı alyuvarın akımının a) açık, b) sınırlı akışkan ortamında akım çizgileri

Şekil 3.12 ve Şekil (3.13'te görülebileceği gibi basınç değişimi, boyunun orta hizasındaki duvara etkiyen basınç yükselmektedir. Bu bize kararlılık açısından avantajlar sağlar. Çünkü basınç yükseldikçe kararlılık artacaktır. Yani alyuvarın geniş kesiti hizasında, alyuvar duvarına ve geçtiği kanal duvarına etki eden basınç düşmektedir.

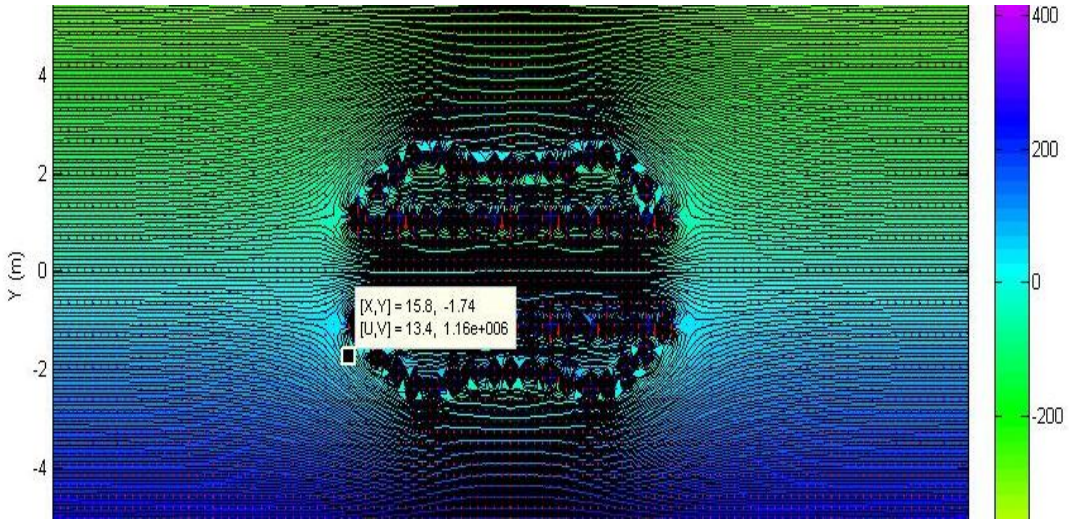


Şekil 3.12. Açık ortamda alyuvar için tünel duvarı üzerindeki basınç değişimi



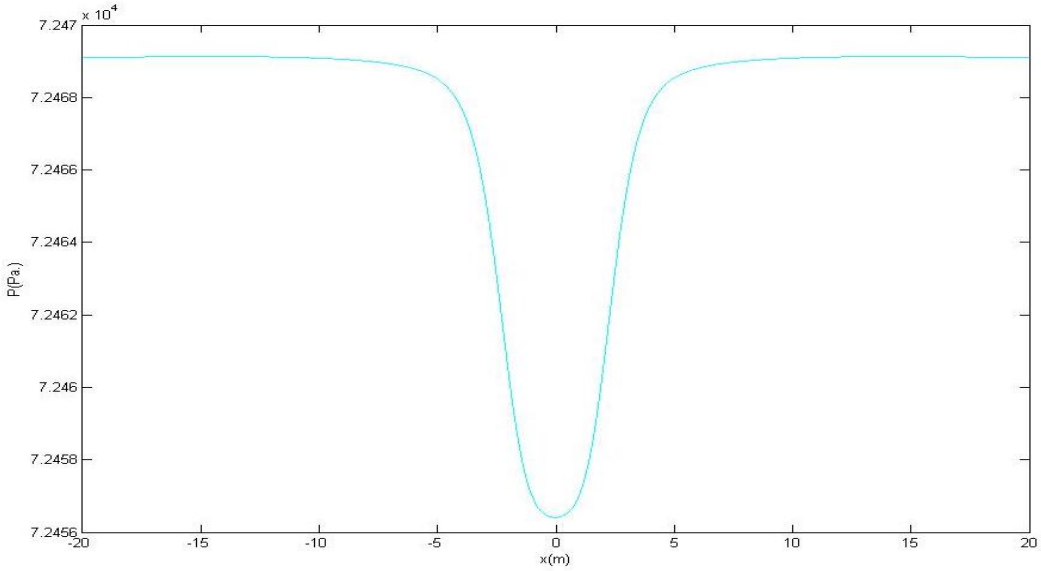
Şekil 3.13. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi açık alyuvar akım çizgileri

Şekil 3.14'te dublelerin şiddetine bağlı olarak bir kanalda meydana gelen etkileşim, içi açık alyuvarda bariz olarak görülmektedir. Burada akım çizgilerinde blokaj etkisini görmek mümkündür.



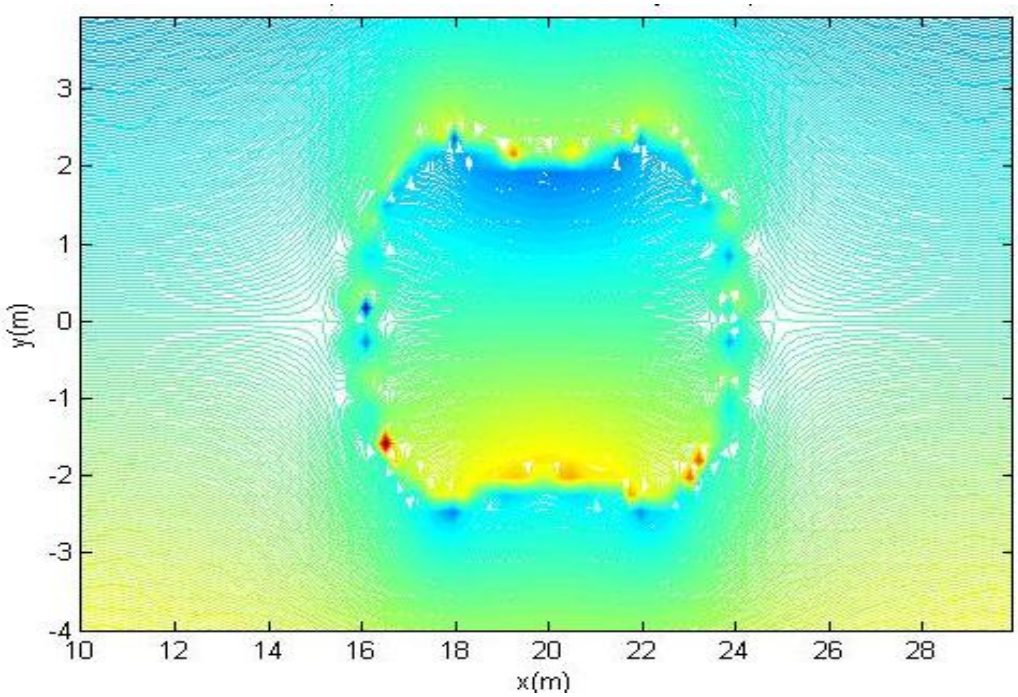
Şekil 3.14. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi açık alyuvar akım çizgileri (duvar etkisi)

Şekil 3.15'te alyuvarın basınç dağılımında cismin tam orta hizasında basınç düşmektedir. Ancak bu düşüş alyuvar geometrisinin düz oluşundan bir delikli Rankine ovaline göre daha azdır. Alyuvar geometrisi ile karşılaştırıldığında daha duvara etkiyen basınç fazladır. Buradaki basınç dağılımı duvardaki kanal duvarındaki basınç dağılımını vermektedir.

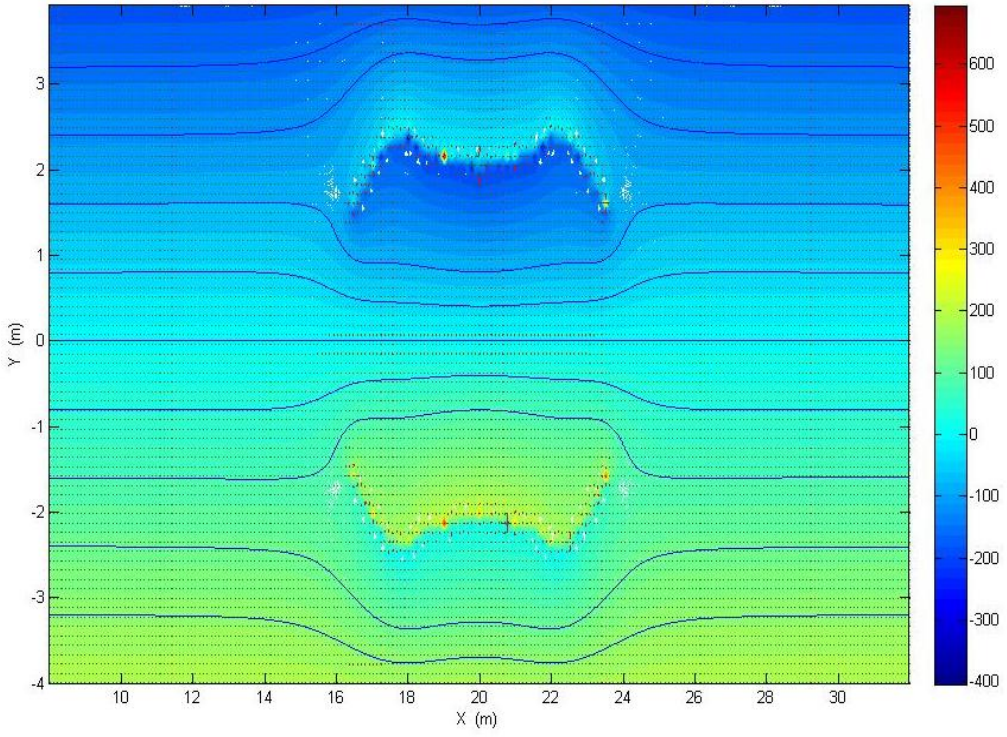


Şekil 3.15. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi açık düz alyuvarın duvar üzerinde yarattığı basınç değişimi

Şekil 3.16'da kapalı alyuvar yapısı geometrisine sahip katı model etrafındaki akım çizgileri oval sınırları ve cidarda yerleştirilen dublelerin etkisi net olarak görülmektedir. Şekil 3.17'de ise içi delikli alyuvar geometrisine ait katı modelin etrafındaki akım çizgileri ve akım çizgilerinin ana hatları mevcuttur.

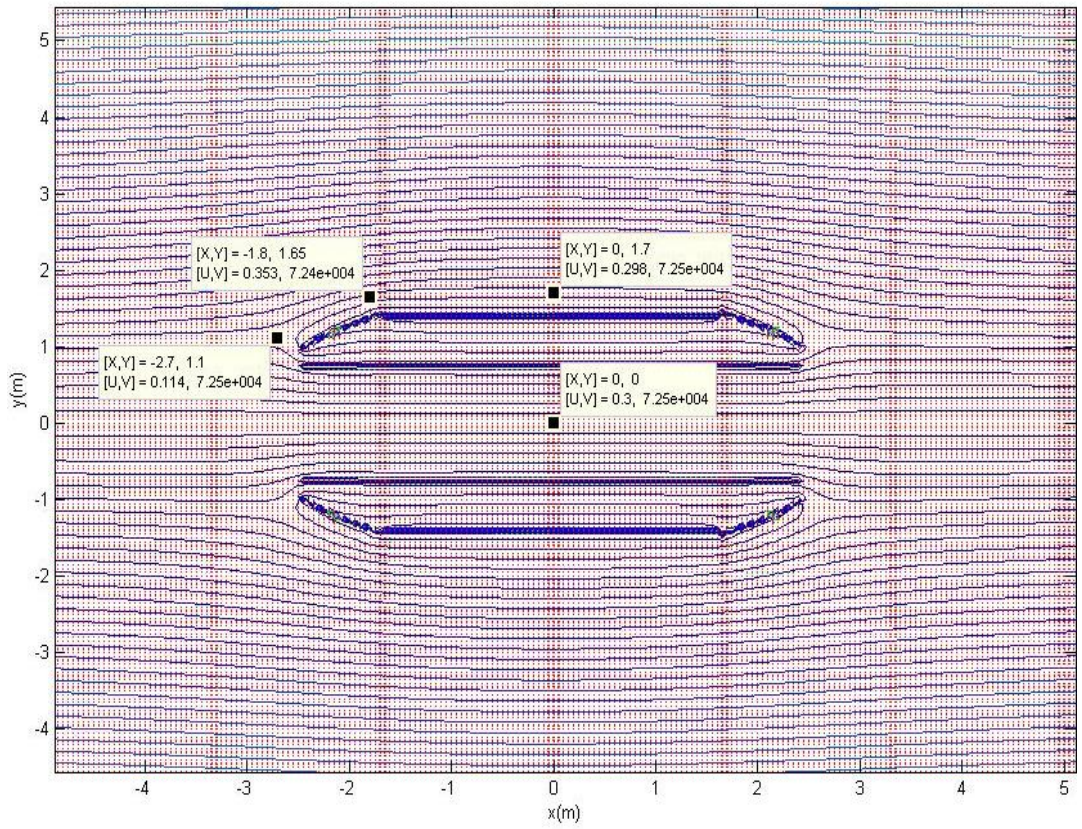


Şekil 3.16. Sınırlandırılmış akışkan ortamında kapalı alyuvar akım çizgileri



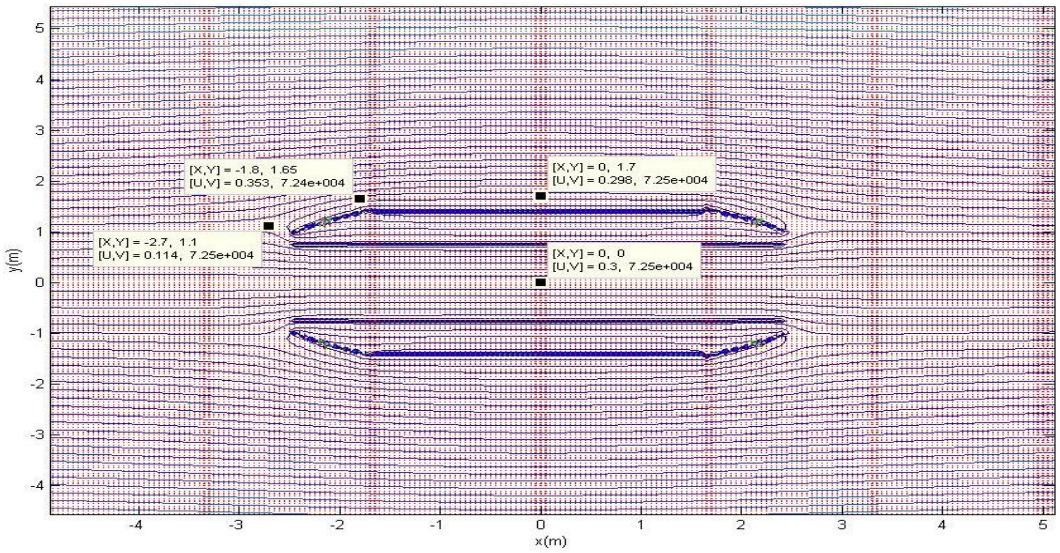
Şekil 3.17. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi delikli alyuvar

Şekil 3.18'de delikli alyuvar geometrisine sahip katı modelin sınırlandırılmış akışkan ortamında yani bir kanalda etrafındaki akım çizgileri ve cidar üzerindeki basınç değişimine göre cisim girişinde basınç en büyük değerinden en küçük değerine cismin tam orta hizasında ulaşmaktadır. Katı modele ait duvar ve basınç dağılımı çok açık biçimde yer almaktadır. Tam boyuna ortada basınçta azalma en büyük değere dedir. Bu cisim üzerindeki değerlerde okunabilir.

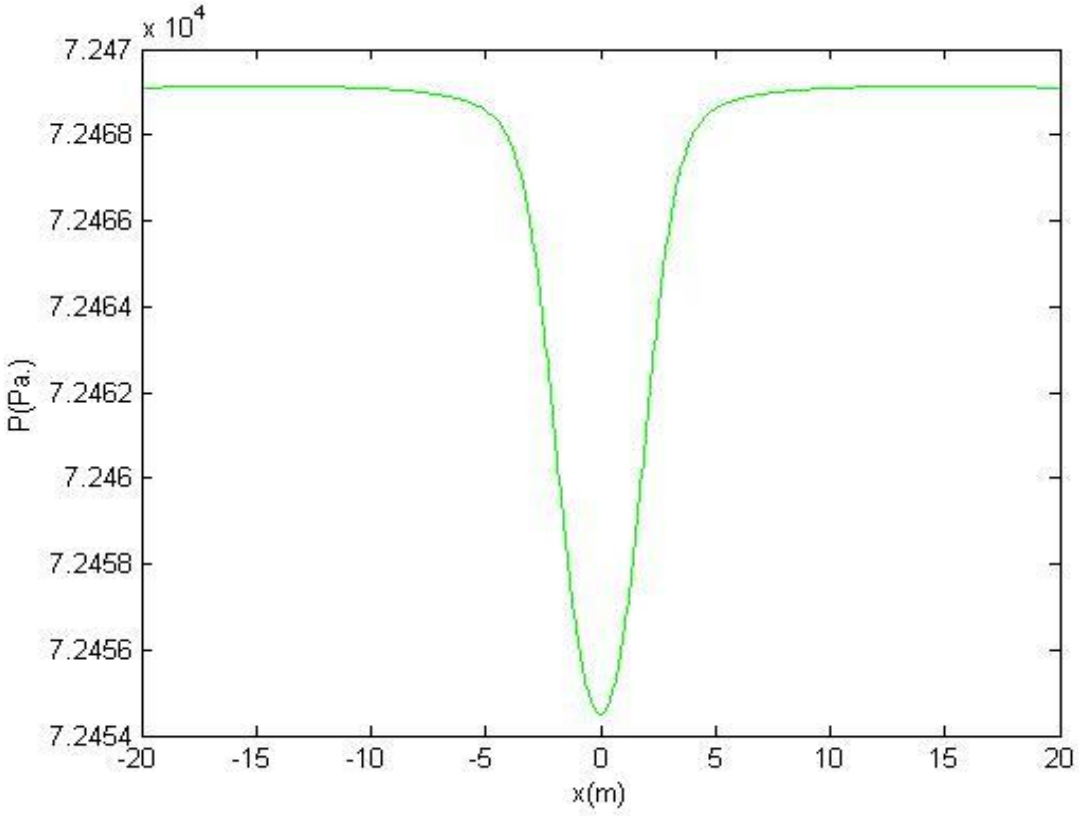


Şekil 3.18. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi delikli alyuvar etrafında akım çizgileri ve hız sağılımı

Şekil 3.19'da delikli alyuvar geometrisine sahip katı modelin açık akışkan ortamında etrafındaki akım çizgileri ve cidar üzerindeki basınç değişiminde cisim girişimde basınç en büyük değerinden azalmaktadır. Katı modele ait duvar ve basınç dağılım değerlerinden ne bize bilgi vermektedir. Tam boyuna ortada basınçta azalma en büyük değere dedir. Bu cisim üzerindeki değerlerde okunabilir. Burada oluşan azalma kanal içindeki azalmaya göre daha azdır. Bu durumu Şekil 3.20'de deki kanal duvarındaki basınç değişim grafiğinden değerlendirmekte mümkündür.

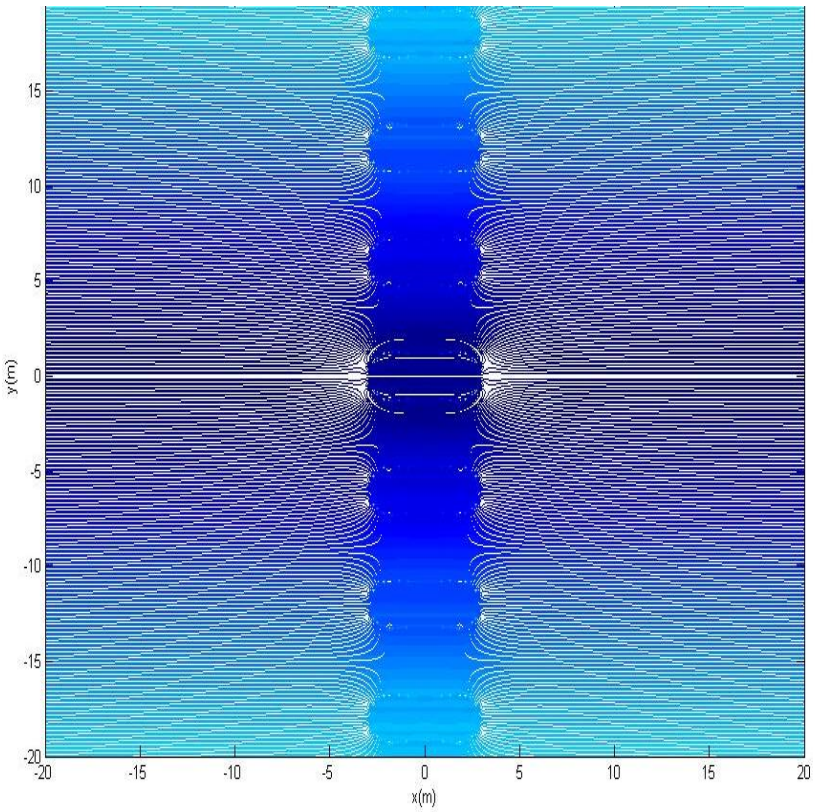


Şekil 3.19. Açık akışkan ortamında içi delikli düz- alyuvar etrafında akım çizgileri

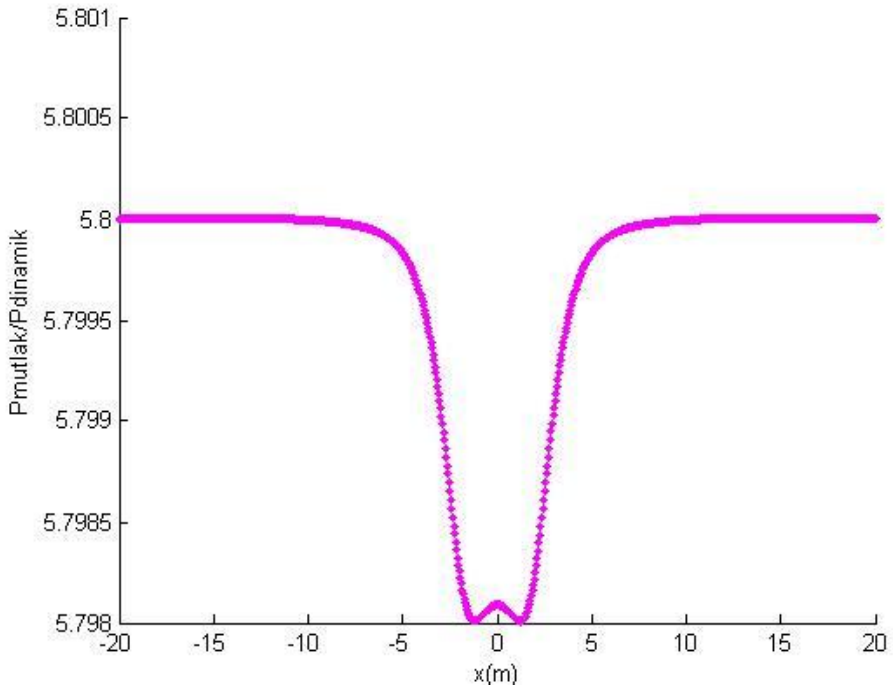


Şekil 3.20. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi açık Rankine ait basınç dağılımı

Şekil 3.21'de bir tünel içinde alyuvar biçimindeki katı cisim etrafındaki akım çizgilerinin simetri yöntemi ile duvarın oluşturulması gösterilmiştir. Sonsuz sayıda aynı cismi şekildeki gibi yerleştirilirse bir kanalda alyuvar etrafındaki akım elde edilir.

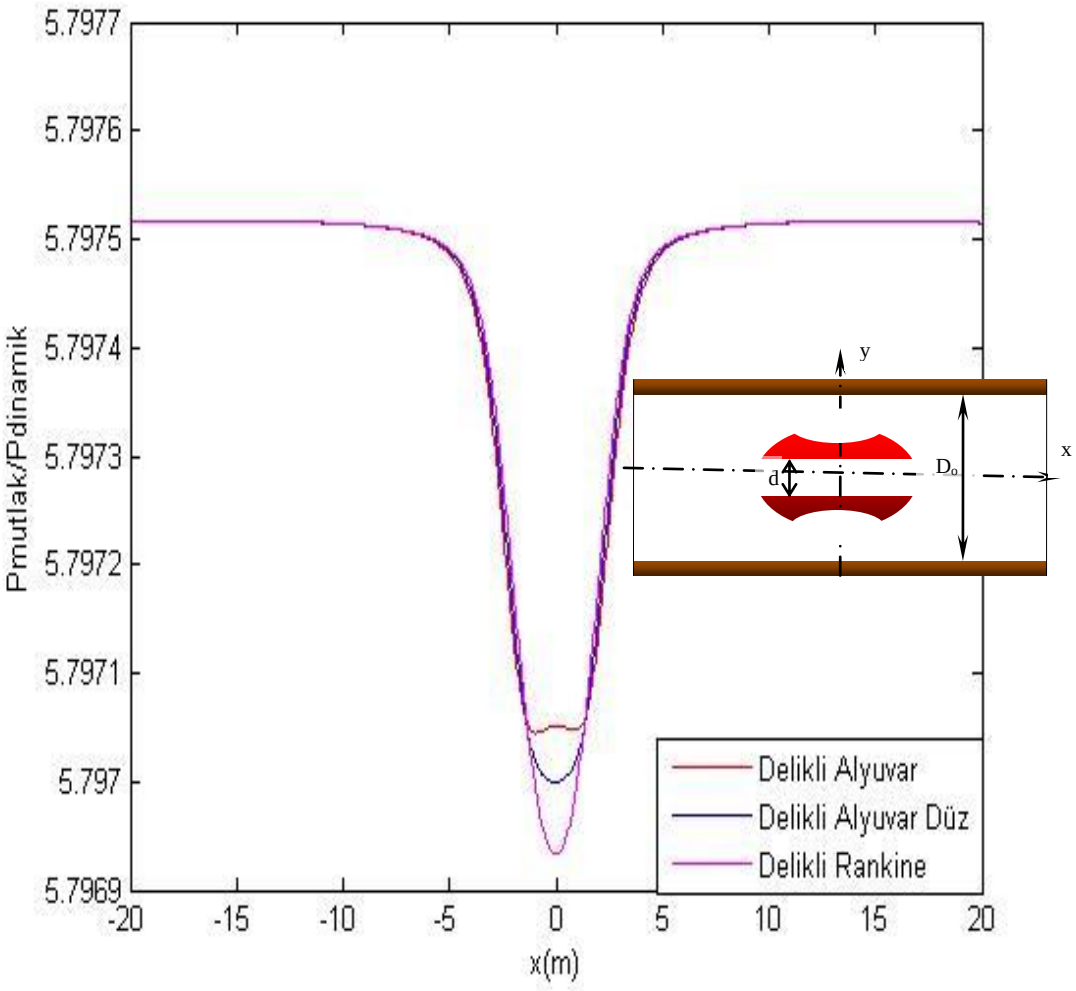


Şekil 3.21. Sınırlandırılmış akışkan ortamında içi delikli düz-alyuvar etrafında akım çizgileri



Şekil 3.22. Sınırlandırılmış akışkan ortamında alyuvarın kanal duvarı üzerinde oluşturduğu basınç değişim oranı

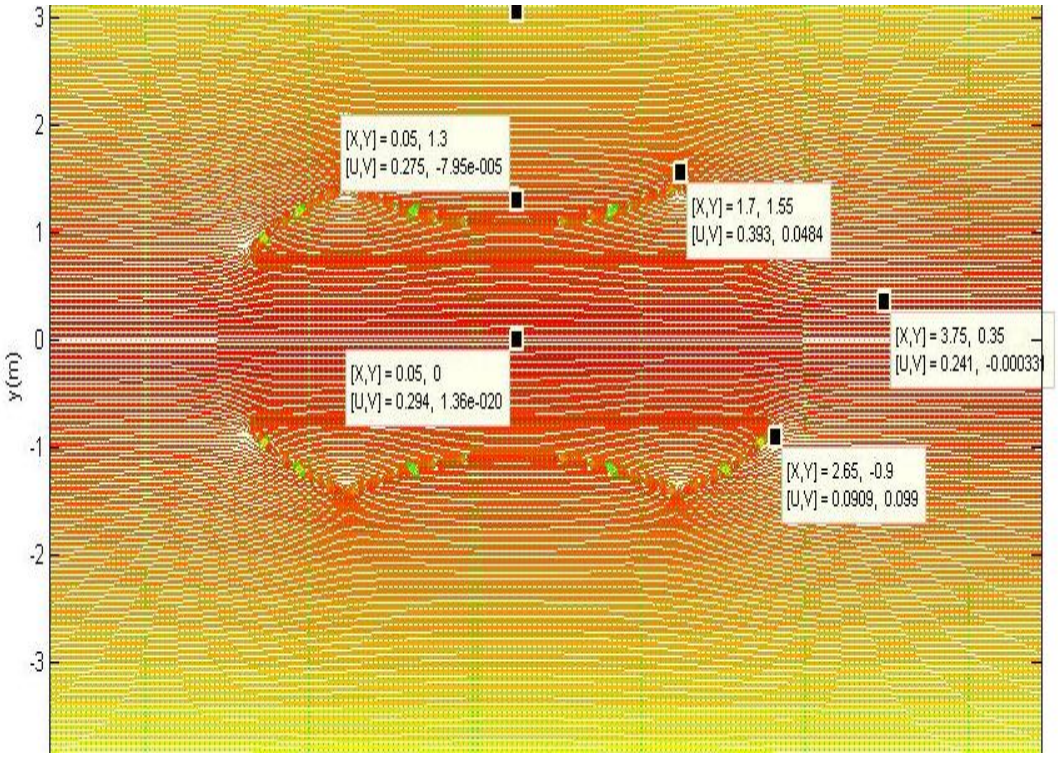
Bir kanalda delikli alyuvar, düz delikli alyuvar ve delikli Rankine ovalinin kanal duvarında oluşturduğu basınç karşılaştırması Şekil 3.23'te yapılmıştır. Modellerin boyuna hareket ekseni boyunca tam ortasında etki eden basınçlar açık ve sınırlandırılmış ortamda iki boyutlu değiştirilmiş (modife edilmiş) alyuvar yapısında daha olumlu sonuç verdiği çok net biçimde görülmektedir. Kararlılık açısından ele alındığında burada cismin boyuna tam orta hizasında alyuvardaki basınç düz alyuvar ve delikli Rankine ovaline göre daha yüksektir.



Şekil 3.23. Bir kanalda delikli alyuvar, delikli düz alyuvar, delikli Rankine ovoidinin duvar üzerinde basınç değişimi

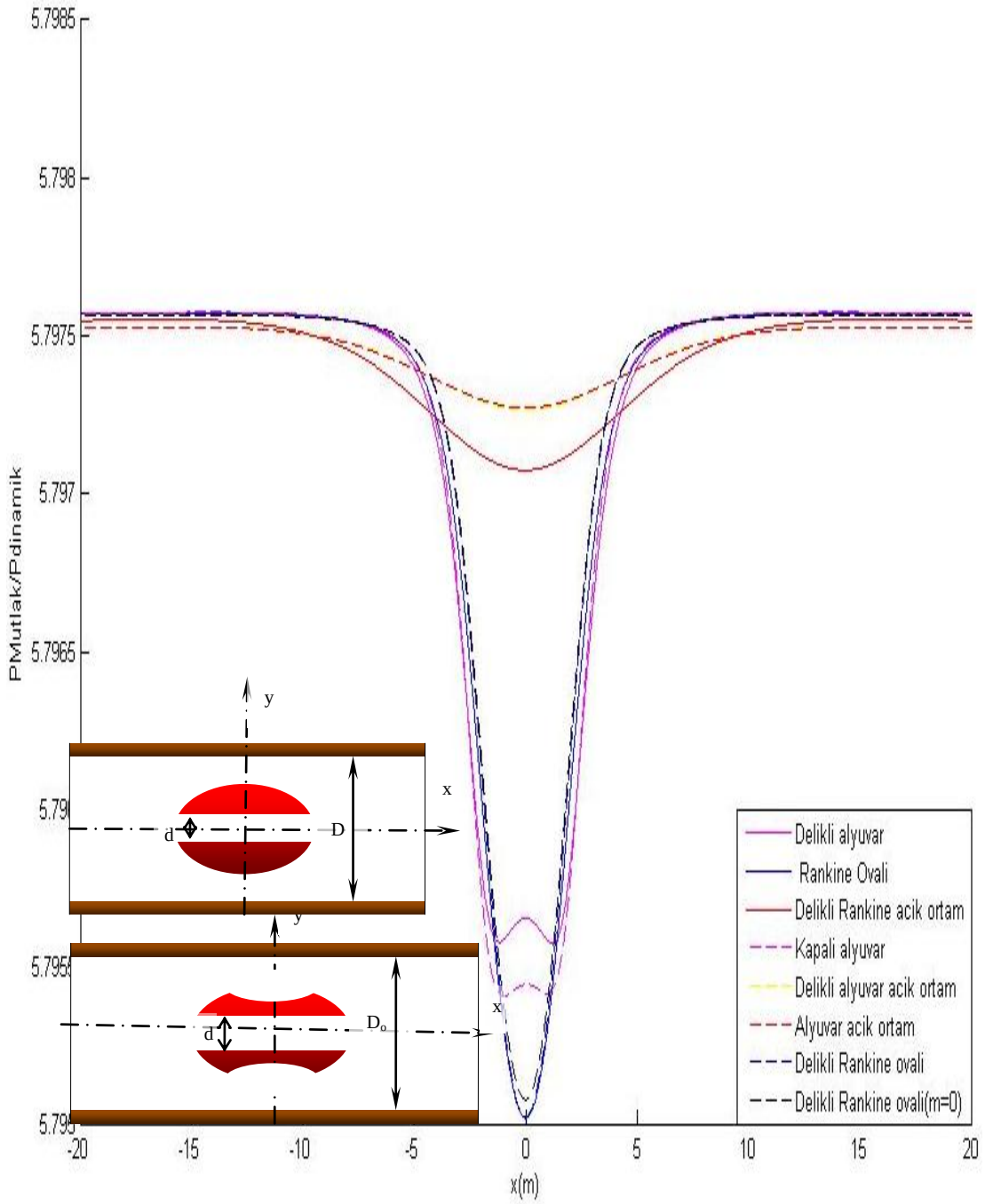
Şekil 3.24'te delikli alyuvar basınç haritasına bakıldığında cidar üzerinde ortasında cidar üzerindeki basın yükselmektedir. Aynı zamanda cisim orta hizasından öne ve arkaya doğru burada basınç önce azalırken daha sonrada yükselmektedir. Buna

bakıldığında delikli Rankine ovaline göre büyük karalılık açısından avantajlar sağlamaktadır.



Şekil 3. 24. Delikli alyuvar basınç haritası

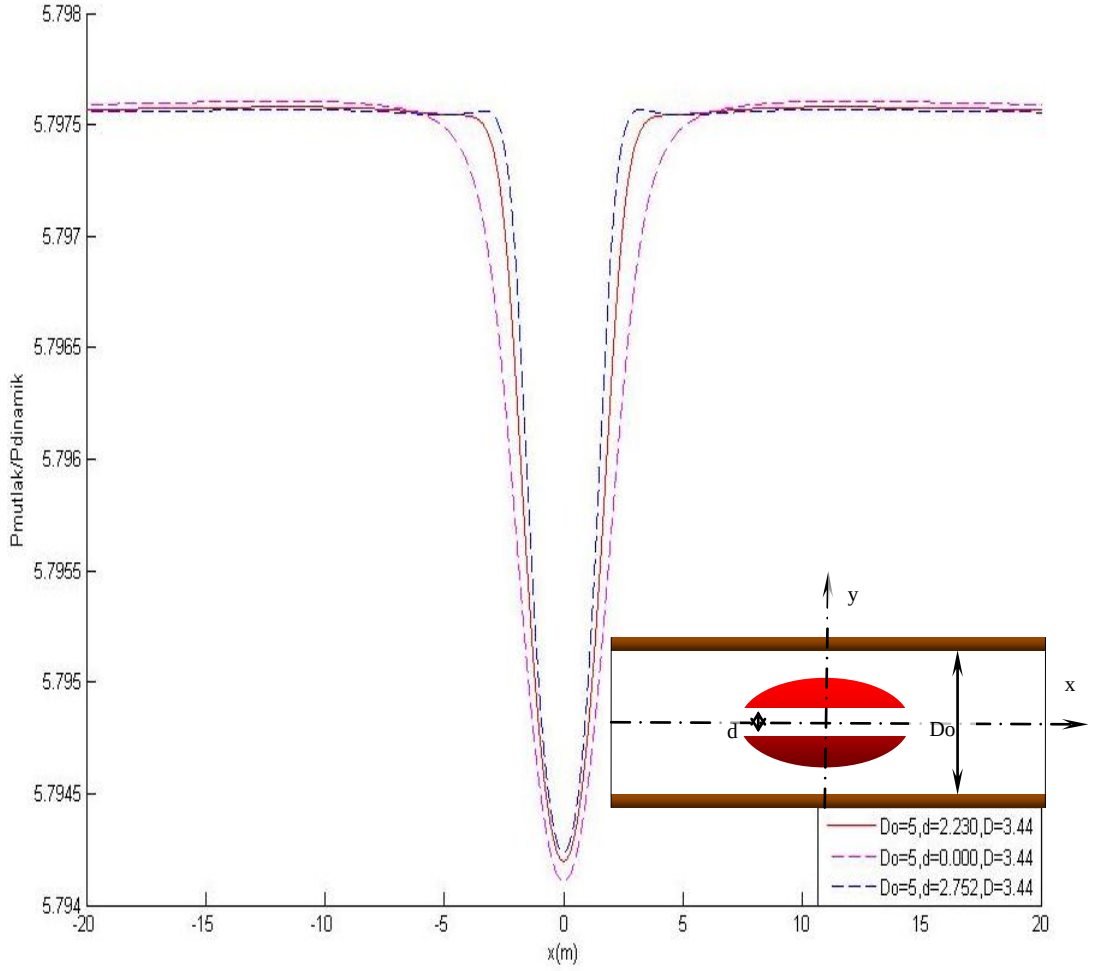
Rankine ovali, delikli Rankine ovali, Delikli alyuvar, alyuvar geometrik katı cisim modelleri baz alınarak kanal duvarında meydan gelen basınç değişimleri Şekil 3.25'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada alınan cisim Rankine ovalinin dış çapı D= 3.44 m, kanal çapı, D_0= 6 m., Delik çapı d=0 ve d=2.75 m, Rankine ovalinin tam boyu L=6m, sonsuzdaki genel akım hızı U_0 = 5 m/s. alınmıştır. Cidar üzerinde duble debisi ($q=Q/2\pi$), 0.04 m^2/s., iç cidarda ise 0.005 m^2/s. alınmış ve katı cidar için yeterli görüşmüştür. Eğrilerden görüleceği gibi açık akışkan ortamında hayali duvar varmış gibi alınan çizgi üzerinde basınç düşüşü çok daha düşüktür. Delikli Rankine ovali ile Rankine ovali karşılaştırıldığında basınç değişim oranları arasındaki fark çok küçüktür. Ancak delikli burada hareket doğrultusunda, daha düşük basınç ve projeksiyon alanından dolayı daha küçük kuvvet etki edecektir. Alyuvarda ve delikli alyuvarda kanal cidarına etki eden basınç düşüşü cisim hizasında daha azdır. Bu kararlılık açısından büyük avantaj sağlayabilir. Delikli alyuvarda basınç daha da az değişim göstermektedir. Hatta cismin hareket ekseni üzerinde tam ortada yükselmektedir.



Şekil 3.25. Geometriye bağlı, duvar üzerindeki basınç değişimleri (Rankine ovali karşılaştırmalar)

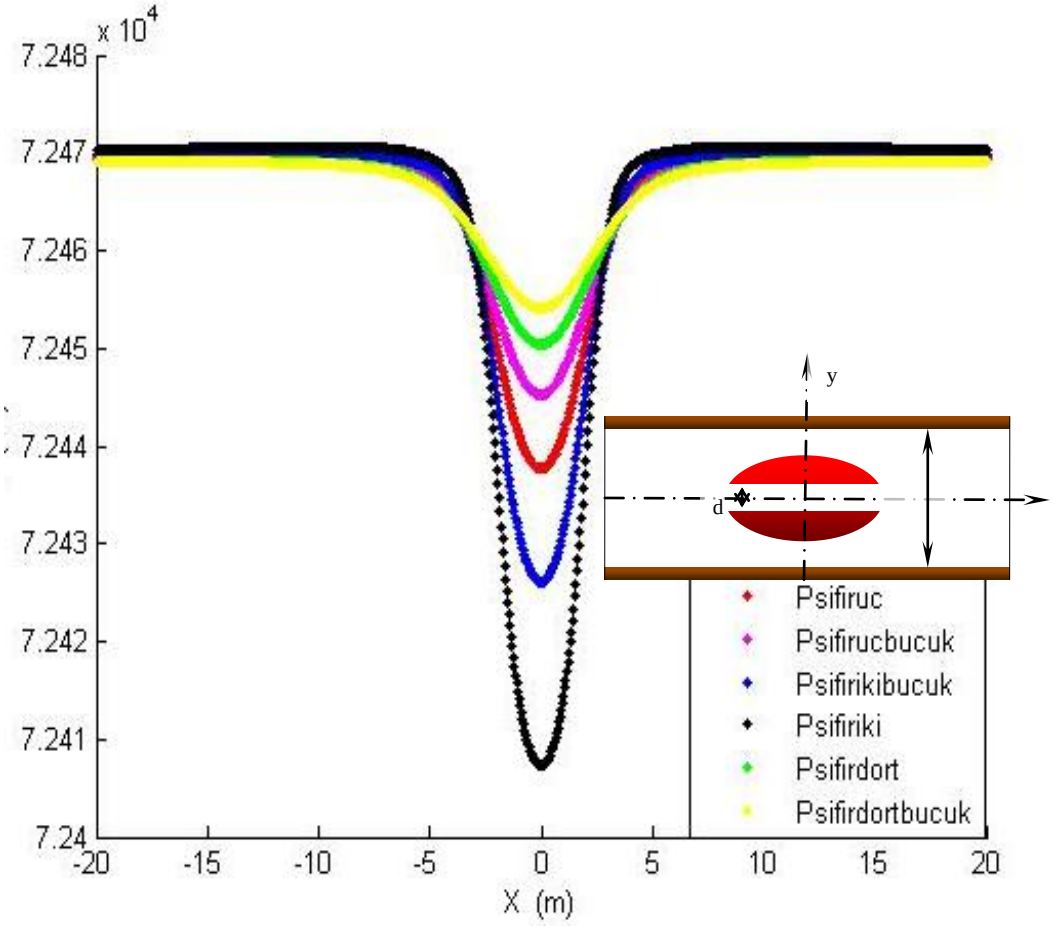
Şekil 3.26'da sınırlandırılmış bir akışkan ortamında bulunan delikli bir Rankine ovalinin delik çapı etkisi gözükmektedir. Delik çapı değişiminde, kanal duvarına etki eden basınç oranı, çap arttıkça yükselmektedir. Yani ovalin hizasında duvara etki eden basınç, delik çapı arttıkça artmaktadır. Ancak buradaki basınçtaki azalma oranı çok küçüktür. Yalnız cismin hareketi doğrultusunda basınçtan basınç ve projeksiyon alanı (izdüşümü azalacaktır. Karşılaştırmada alınan cisim Rankine

ovalinin dış çapı D=3.44 m, delik çapı d=0, d=2.72 m ve d=2.75 m, kanal çapı D_0= 6 m., Rankine ovalinin boyu L=6 m. alınmıştır.



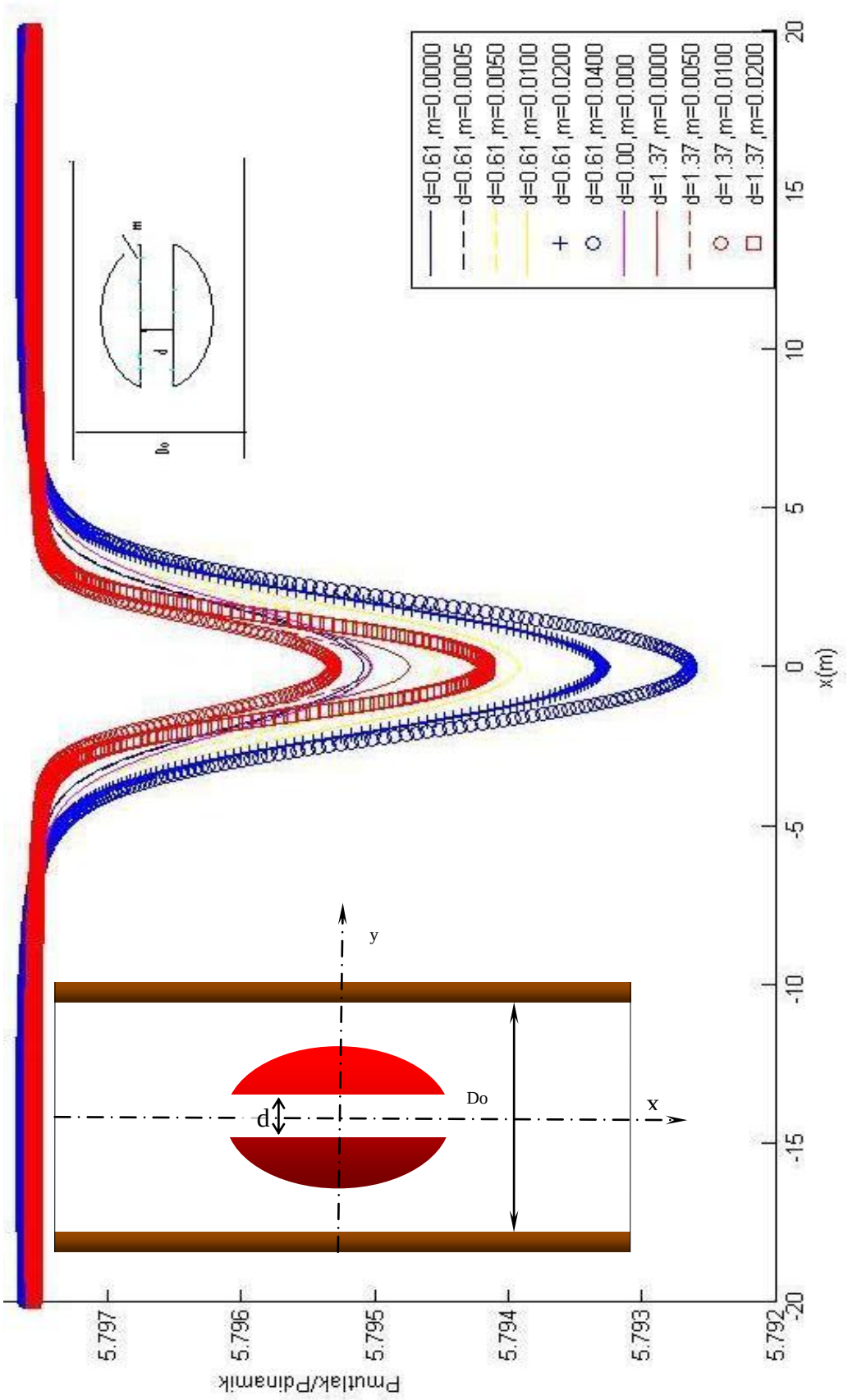
Şekil 3.26. Delik çapı (d) etkisi

Şekil 3.27'de ise kanal çapı etkisi incelendiğinde, kanal çapı arttıkça kanal duvarındaki basınç oranları incelenmiştir. Karşılaştırmada alınan cisim Rankine ovalinin dış çapı D = 3.44m, delik çapı d = 0, kanal çapı D_0 = 4m, 5m, 6m, 7m, 8m ve 9m alınmıştır. d = 2.72m ve d = 2.75m, Rankine ovalinin boyu L= 6 m alınmıştır. Grafikten kanal çapı arttıkça basıncın arttığı rahatlıkla söylenebilir. Ayrıca Ovoid kanal çap oranı büyüdükçe (d/D_0) basınç değişim oranı artmaktadır. Buda blokaj etkisini göz önüne almayı zorunlu kılmaktadır. Kanalın belli bir genişliğinden sonra basınçtaki değişim etkisi azalacak, sanki açık akışkan ortamındaymış gibi davranacaktır.



Şekil 3.27. Kanal çapı (D_o) etkisi

Şekil 3.28'de debi etkisi karşılaştırılmaktadır. Oval delik çapı d= 0.61m. Duble debisi 0.0005, 0.005, 0.01, 0.02, 003, 0.04m^2/s., d=1.37m debi ise 0, 0.005, 0.01m, 0.02 alınmıştır. Dış cidarda debi 0.04 m^2/s. alınarak yapılan karşılaştırmada verilen koşullar altında debi çok küçük alındığında cisim hareketi doğrultusunda cisim tam orta hizasında kanal cidarında oluşan basınçta düşme daha azdır. Burada iç cidar üzerinde bulunan dubleler, dış cidardaki dublelerle olan etkileşimden dolayı katı model cidarı bozulmaktadır. Debi arttıkça etki eden cidara etki eden basınç daha düşük olmaktadır. Grafikte kapalı bir cisim oval modeline bakıldığında d=1.37m, olduğunda m=0.001m^2/s. olduğunda basınç düşümü daha azdır.



Şekil 3.28. İç delik cidarında duble debisinin etkisi

4. DELİKLİ RANKİNE OVOİDİNİN OLUŞTURULMASI (ÜÇ-BOYUTLU)

4.1. Üç Boyutlu Potansiyel Eksenel Simetrik Potansiyel Akım Teorisi

4.1.1. Genel bilgiler

Potansiyel akım teorisinden bilindiği gibi; potansiyel fonksiyonu ϕ, akım fonksiyonu ψ, hız alanı V, basınç alanı p, kuvvet alanı F yine daha önce iki-boyutlu akım teorisinde bazı yönlerden benzer, ancak üç boyutlu eksenel simetrik şeklinde düşünülebilir. Üç boyutlu akım, potansiyel fonksiyonları, hız basınç dağılımları Şekil (4.1)-(4.20) matlab programı ile akıma ait fonksiyonlardan elde edilmiştir.

$$U = -\frac{\partial \phi}{\partial x} = -\frac{1}{\varpi}\frac{\partial \psi}{\partial \varpi} \tag{4.1}$$

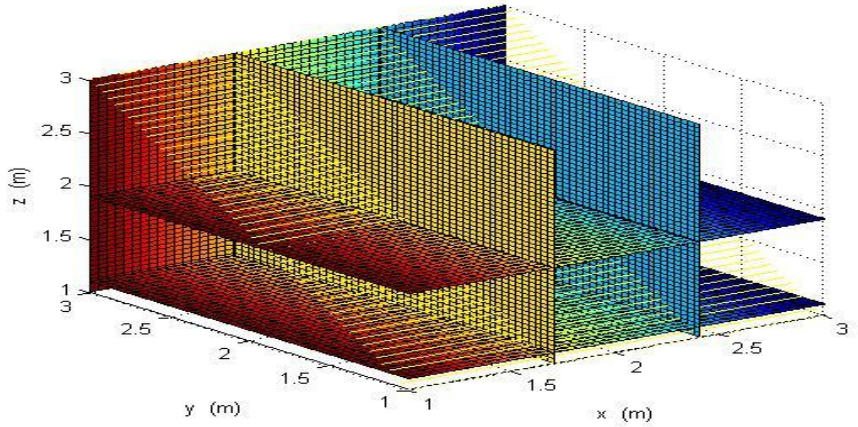
$$\upsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial \varpi} = \frac{1}{\varpi}\frac{\partial \psi}{\partial x} \tag{4.2}$$

4.1.2. Üç-boyutlu eksenel simetrik genel akım

Genel akım sonsuzdaki hızı U_∞ simetrik bir akımın akım ve potansiyel fonksiyonları Denklem (4.3) ve Denklem (4.4) deki gibi olacaktır. Akım çizgileri Şekil 4.1, akım yüzeyi ve çizgileri Şekil 4.2 ve üç-boyutlu eksenel simetrik akışta potansiyel yüzey ve yüzeyleri Şekil 4.3'te görülmektedir.

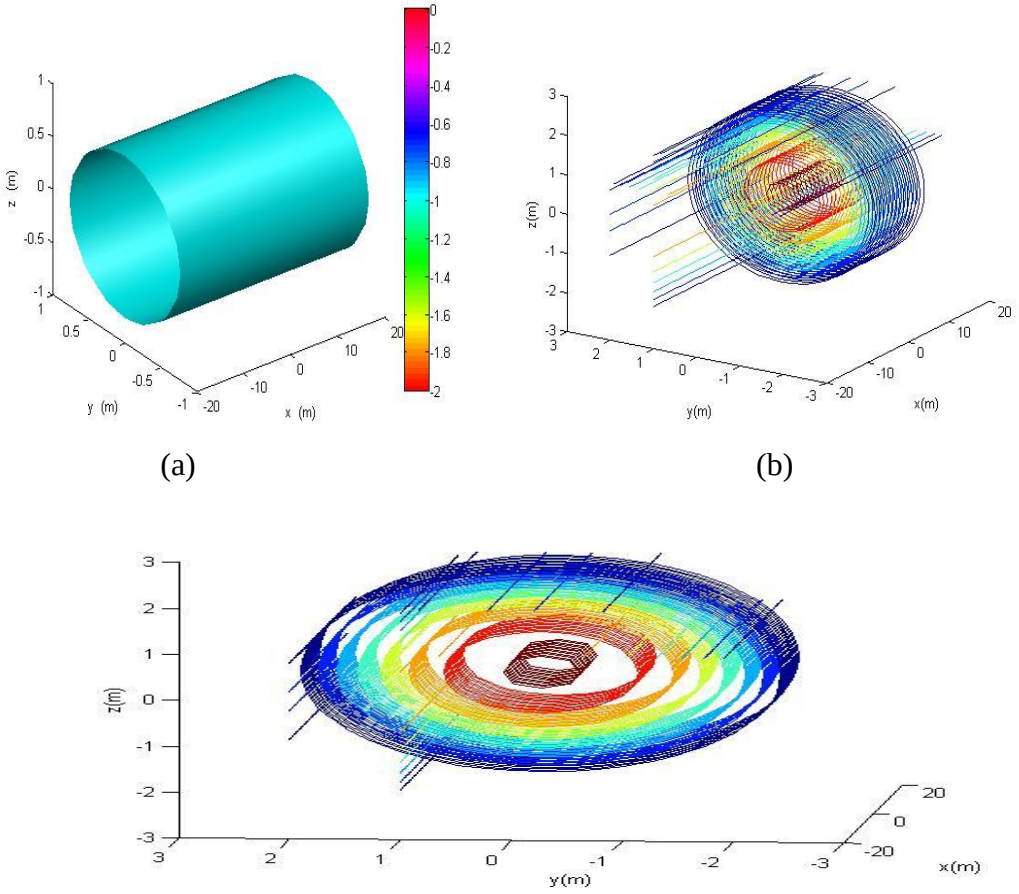
$$\psi(x, \varpi) = U_\infty \frac{\varpi^2}{2} \tag{4.3}$$

$$\phi(x, \varpi) = U_\infty x \tag{4.4}$$



Şekil 4.1. Üç-boyutlu eksensel simetrik akışın akım çizgileri

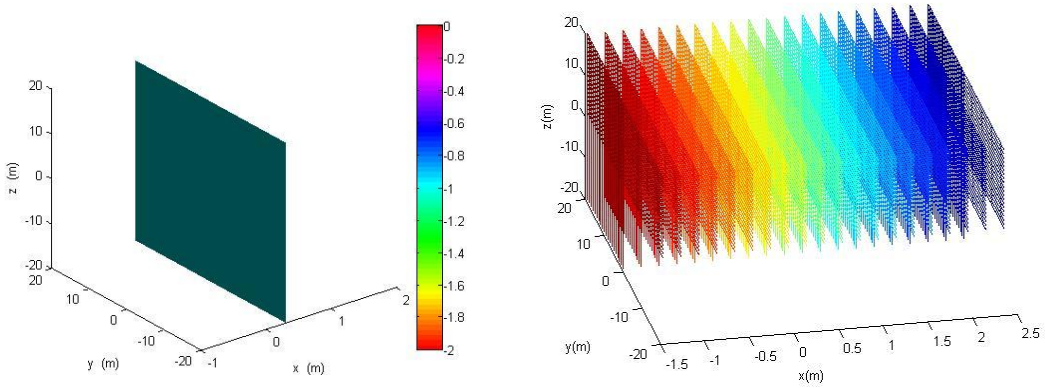
Akıma ait akım yüzeyi Şekil 4.2a'da bir sabit için akım yüzeyi, eksenel simetrik akım çizgileri Şekil 4.2b'de ve akım yüzeyleri Şekil 4.2c'de akım yüzeyleri her bir sabit için farklı yüzeyin oluştuğu görülmektedir.



(a) (b)

(c)

Şekil 4.2. Üç-boyutlu eksensel simetrik akışın a) akım yüzeyi, b) akım çizgileri, c) akım yüzeyleri

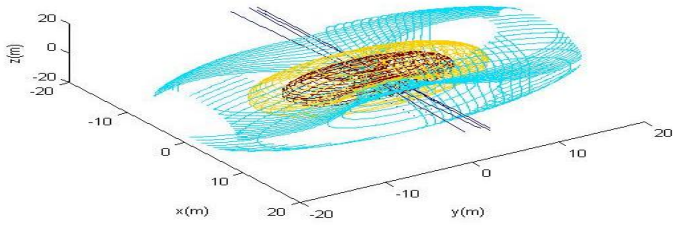


(a) (b)

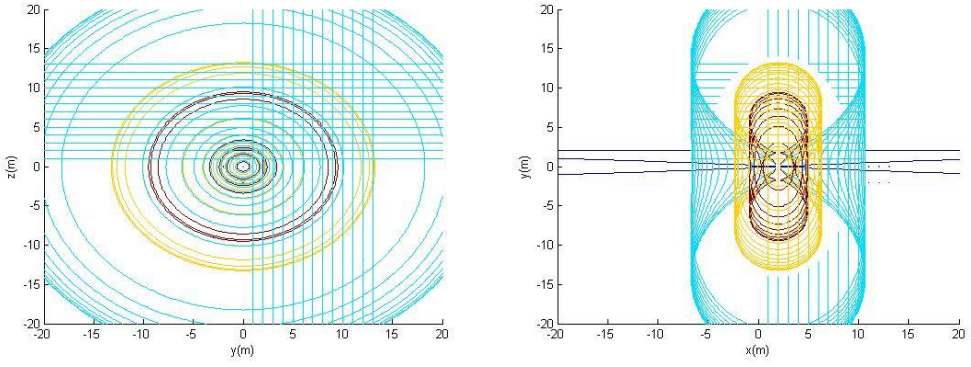
Şekil 4.3. Üç-boyutlu eksensel simetrik akışta a) potansiyel yüzey, b) yüzeyleri

4.1.2. Üç- boyutlu eksensel simetrik duble

Simetrik üç-boyutlu akım teorisine göre, üç-boyutlu eksensel simetrik bir dublenin potansiyel ve akım fonksiyonu Denklem (4.4) ve (4.5) olduğu gibi yazılabilir. Buna ait akım çizgilerinin üç-boyutlu hali Şekil 4.4a, akımın yüzeyinin önden görünüşü Şekil 4.4b'de ve akım yüzeyinin yandan görünüşü Şekil 4.4c'deki görülmektedir.



(a)



(b) (c)

Şekil 4.4. Dublenin a) akım çizgileri, b) yz düzlemi, c) xy düzlemi

$$\phi(x,\omega)=\frac{m(x-x_0)}{\left((x-x_0)^2+(\varpi-\varpi_0)^2\right)^{\frac{3}{2}}}e^{i\alpha} \tag{4.4}$$

$$\psi(x,\omega)=\frac{m(\varpi-\varpi_0)^2}{\left((x-x_0)^2+(\varpi-\varpi_0)^2\right)^{\frac{3}{2}}}e^{i\alpha} \tag{4.5}$$

Denklem (4.1) den yararlanılırsa bir dublenin hız bileşenleri Denklem (4.6), ve (4.7) de olduğu gibidir. Bu hız bileşenlerinden yaralanarak bileşke hız değerinin karesi Denklem (4.8) bulunur.

$$u=\frac{2m(\varpi-\varpi_0)\left((x-x_0)^2+(\varpi-\varpi_0)^2\right)-3m(x-x_0)^3}{\left[\left((x-x_0)^2+(\varpi-\varpi_0)^2\right)\right]^{\frac{5}{2}}} \tag{4.6}$$

$$\vartheta=\frac{-3m'(x-x_0)(\varpi-\varpi_0)}{\varpi\left[\left((x-x_0)^2+(\varpi-\varpi_0)^2\right)\right]^{\frac{5}{2}}} \tag{4.7}$$

$$\left|\vec{V}\right|^2=\left\{\frac{2m(\varpi-\varpi_0)\left((x-x_0)^2+(\varpi-\varpi_0)^2\right)-3m(x-x_0)^3}{\varpi\left[\left((x-x_0)^2+(\varpi-\varpi_0)^2\right)\right]^{2.5}}\right\}^2+ \tag{4.8}$$

$$+\left\{\frac{-3m(x-x_0)(\varpi-\varpi_0)}{\varpi\left[\left((x-x_0)^2+(\varpi-\varpi_0)^2\right)\right]^{\frac{5}{2}}}\right\}^2$$

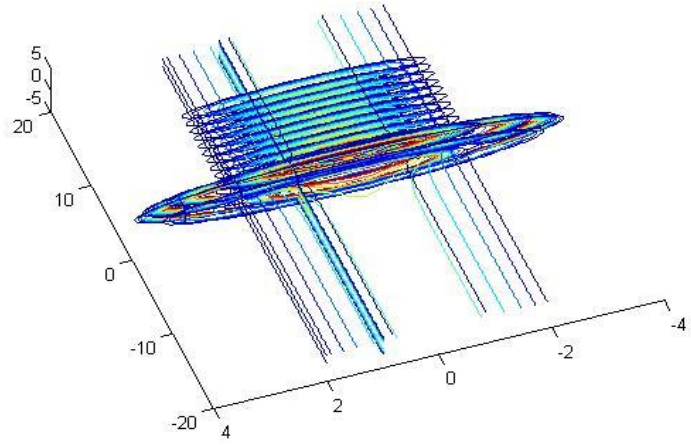
4.1.3. Üç-boyutlu eksenel simetrik genel akım ile duble

Üç-boyutlu eksenel simetrik genel akım ile dubleye ait potansiyel ve akım fonksiyonları iki akıma ait fonksiyonların toplanmasıyla Denklem (4.9), (4.10) daki gibidir.

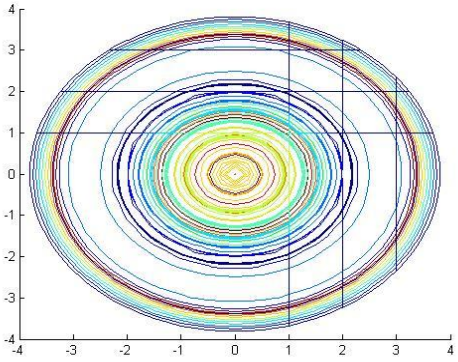
$$\phi(x,\omega)=U_\infty x+\frac{m(x-x_0)}{\left((x-x_0)^2+(\varpi-\varpi_0)^2\right)^{\frac{3}{2}}}e^{i\alpha} \tag{4.9}$$

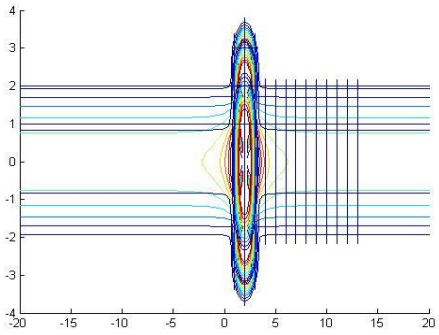
$$\psi(x,\omega) = U_\infty \frac{\varpi^2}{2} - \frac{m(\varpi - \varpi_0)^2}{\left((x-x_0)^2 + (\varpi - \varpi_0)^2\right)^{\frac{3}{2}}} e^{i\alpha} \tag{4.10}$$

Denklem (4.10) de akım fonksiyonu her bir sabit için farklı akım çizgisini verecektir. Şekil 4.5a'te genel akım ile dublenin çaprazdan, Şekil 4.5b'de önden ve Şekil 4.5c'de yandan görülmektedir.



(a)



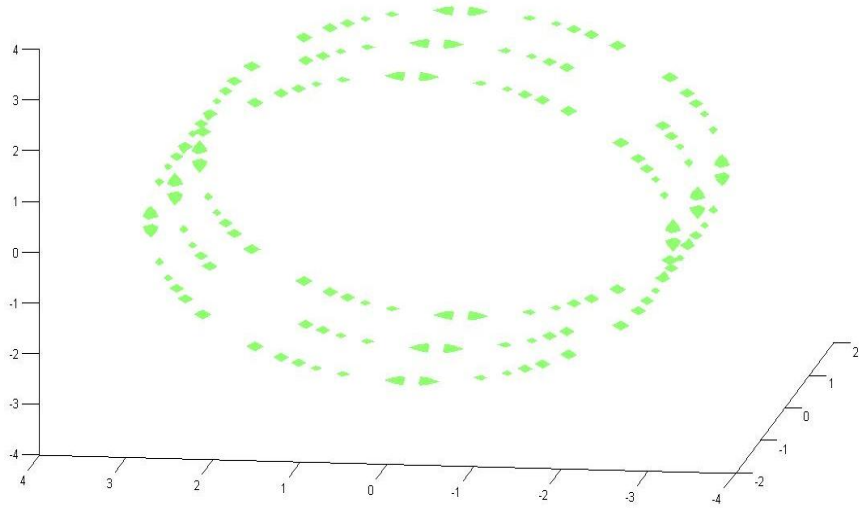


(b) (c)

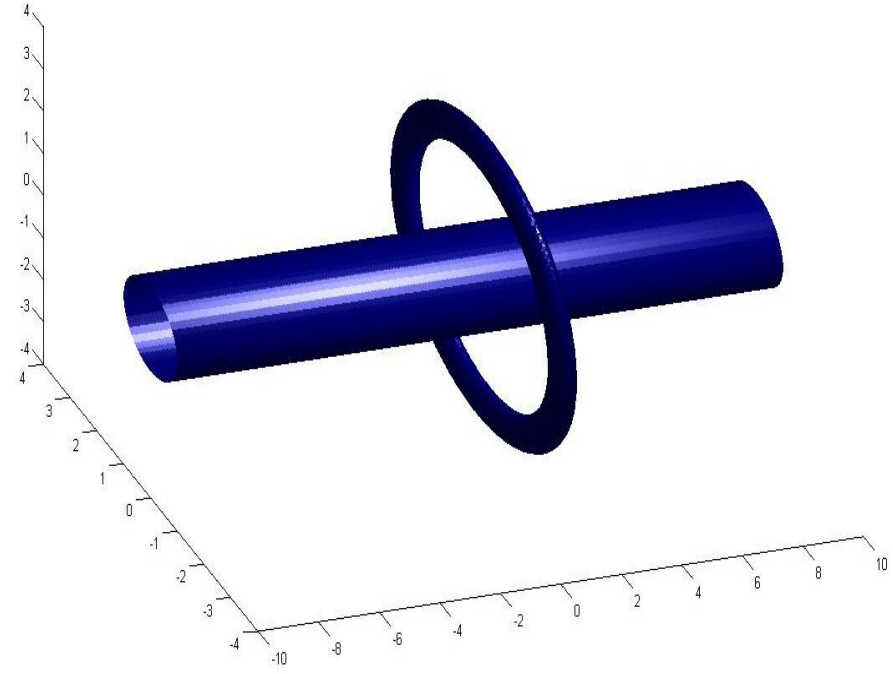
Şekil 4.5. Duble ile genel akımın, a) akım çizgileri, b) yz izdüşümü, c) xy iz düşümü

Duble ile genel akıma ait hız dağılımı potansiyel fonksiyonu Denklem (4.9) veya akım fonksiyonu Denklem (4.10) üzerinde Denklem (4.1) ve Denklem (4.2) uygulanarak elde edilir ve hızın *u* ve *v* bileşenleri Denklem (4.11) ve Denklem

(4.12) de olduğu gibi elde edilir. Hızın şiddeti Denklem (4.13) teki gibidir. Şekil Şekil 4.6a'da eksensel simetrik dublelerin bir araya geldiğinde oluşturabileceği katı cisim geometrisi ve Şekil 4.6b'de oluşan yüzey görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.6. Duble ve genel akımın oluşturulması a) dubleler, b) genel akım ile duble

$$u = U_\infty + \frac{2m(\varpi - \varpi_0)\left((x-x_0)^2 + (\varpi-\varpi_0)^2\right) - 3m(x-x_0)^3}{\left[\left((x-x_0)^2 + (\varpi-\varpi_0)^2\right)\right]^{\frac{5}{2}}}.e^{i\alpha} \tag{4.11}$$

$$\vartheta = \frac{-3m\left(\left((x-x_0)^2 + (\varpi-\varpi_0)^2\right)^{\frac{1}{2}}\right)(x-x_0)(\varpi-\varpi_0)^2}{\varpi\left[\left((x-x_0)^2 + (\varpi-\varpi_0)^2\right)\right]^3} e^{i\alpha} \tag{4.12}$$

$$\left|\vec{V}\right|^2 = \left\{U_\infty + \frac{m\left((x-x_0)^2 + (\varpi-\varpi_0)^2\right)^{\frac{3}{2}} - 3m\left(\left((x-x_0)^2 + (\varpi-\varpi_0)^2\right)^{\frac{1}{2}}\right)(x-x_0)^2}{\left[\left((x-x_0)^2 + (\varpi-\varpi_0)^2\right)\right]^{\frac{5}{2}}} e^{i\alpha}\right\}^2$$

$$+ \left\{\frac{-3m\left(\left((x-x_0)^2 + (\varpi-\varpi_0)^2\right)^{\frac{1}{2}}\right)(x-x_0)(\varpi-\varpi_0)^2}{\varpi\left[\left((x-x_0)^2 + (\varpi-\varpi_0)^2\right)\right]^3} e^{i\alpha}\right\}^2 \tag{4.13}$$

4.1.4. Üç-boyutlu eksenel simetrik Rankine Ovoidi

Rankine Ovoidinin sınırsız akışkan içindeki akım potansiyel ve akım fonksiyonları Denklem (4.14) ve Denklem(4.15) deki gibidir.

$$\phi(x,\varpi) = U_\infty x + \frac{m}{4\pi}\left(\frac{1}{\sqrt{(x-a)^2 + \varpi^2}} - \frac{1}{\sqrt{(x+a)^2 + \varpi^2}}\right) \tag{4.14}$$

$$\psi(x,\varpi) = \frac{U_\infty \varpi^2}{2} + \frac{m}{4\pi}\left(\cos\theta_1 - \cos\theta_2\right) \tag{4.15}$$

4.2. Delikli Rankine Ovoidi

4.2.1. Delikli Rankine ovoidinin ϕ potansiyel ve ψ akım fonksiyonu

Oyuklu Rankine Ovoidinin katı cisim cidarını oluşturan $\psi = 0$ akım çizgisi, iki-boyutlu Rankine ovalinin üzerinde Şekil 2.51a ve Şekil 2.51b'de olduğu gibi üç-boyutlu eksenel simetrik dubleler yerleştirilerek elde edilir. Burada her dublenin yeri, Denklem (2.46) da olduğu gibi Denklem (4.16) daki halini alır. Denklem (2.46) da ki x, Denklem (2.81) deki ve oluşturulacak oyuk çizgisi üzerinde dubleler yerleştirilerek elde edilir. Dubleler koymak suretiyle elde edilir. Akım çizgisinden yararlanarak 3-boyutlu potansiyel akım teorisi yardımıyla Denklem (2.82) de gösterilmiştir.

Daha sonra bu akım fonksiyonuna tünel içindeki akım fonksiyonu (1958 Methods of Theorical Physics sayfa 1259) de yer alan ve Laplace Denkleminin silindirik koordinatlardaki çözümü olan akım fonksiyonu ile birleştirilerek, tünel içindeki akım fonksiyonu elde edilmiş olur. II .yöntem simetri, radyasyon yönteminden yararlanarak da bir seri toplamı şeklinde yazılabilir.

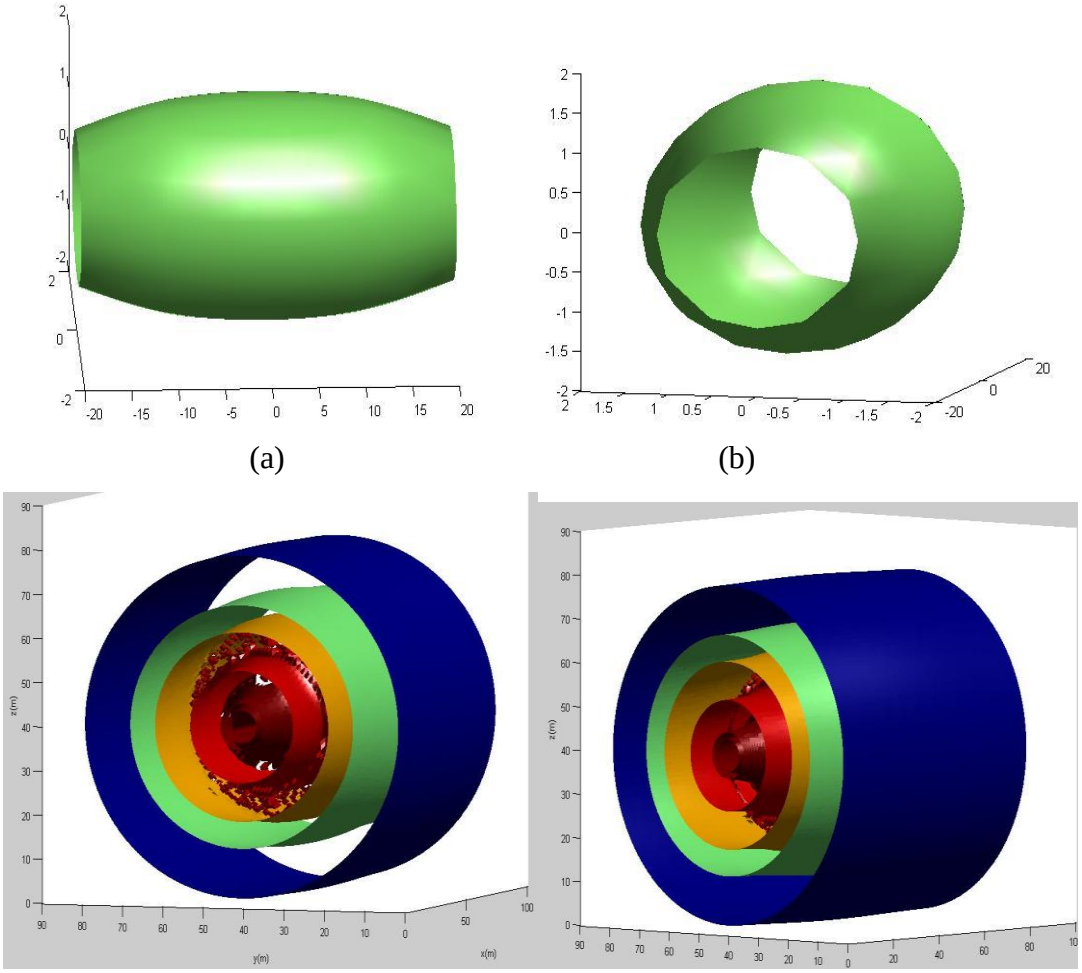
$$\phi_{TDOC}(x,\varpi) = U_\infty x + \lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n}\left[m\left(\frac{\left(x - x(\dot{I})\right)}{\left(\left(x - x(\dot{I})\right)^2 + \left(\varpi - \varpi(\dot{I})_{DC}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \right)\right]$$

$$+ \lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n}\left[m\left(\frac{\left(x - x(\dot{I})\right)}{\left(\left(x - x(\dot{I})\right)^2 + \left(\varpi - \varpi(\dot{I})_{dC}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \right)\right] \qquad (4.16)$$

$$\psi_{TDOC}(x,\varpi) = U_0 \frac{\varpi^2}{2} - \lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n} m\left[\left(\frac{\left(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC}\right)^2}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right]$$

$$-\lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n} m\left[\left(\frac{\left(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC}\right)^2}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right] \qquad (4.17)$$

Katı cisim cidarının Şekil 4.7a'da yandan görünüşü, Şekil 4.7b'de önden görünüşü, Şekil 4.7c'de cidar yüzeylerinin farklı sabitler sabit için önden toplu görünüşü, Şekil 4.7d'de yüzeylerinin yandan görünüşü görülmektedir. Burada her bir sabit için farklı akım yüzeyleri oluşturacaktır.



(a) (b)

(c) (d)

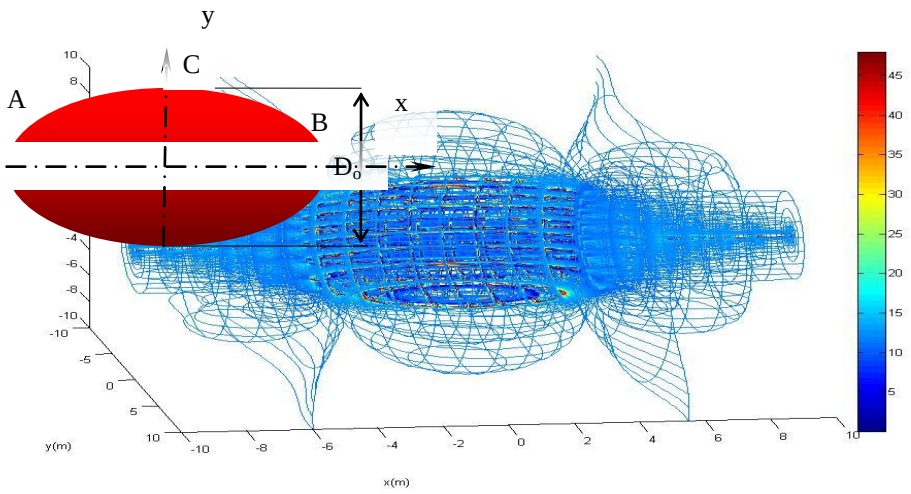
Şekil 4.7. Delikli Rankine ovoidinin a) önden akım yüzeyi, b) karşıdan akım yüzeyi, c) karşıdan akım yüzeyleri, d) yandan akım yüzeyleri

4.2.2. Delikli Rankine Ovoidi üzerindeki hız dağılımı

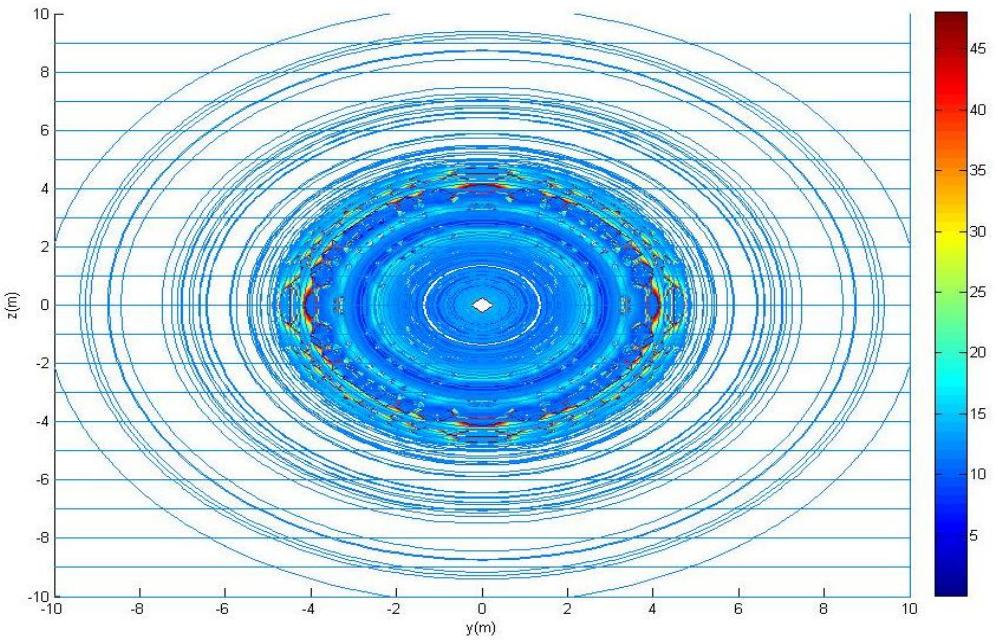
Delikli Rankine ovoidine ait hızın u ve v bileşenleri Denklem (4.1), Denklem (4.2) den yararlanarak, Denklem (4.15) ve (4.16) elde edilir. Hızın U bileşenin Şekil 4.8a–Şekil 4.8f'te gösterilmiştir. Buna göre bütün şekiller birlikte değerlendirildiğinde oyuklu Rankine cidarı üzerinde özellikle cismin tam orta hizasında C noktasında en üst değer ulaştığı görülebilir. Ayrıca A ve B noktalarında en düşük değerini almaktadır. C den A ve B ye gidildikçe hızın U bileşeni düşmektedir. Şekil 4.8e'de özellikle bunun mavinin yoğunluğunun en fazla olduğu A ve B hizalarındaki kesitten çok net anlaşılabilir. Şekil 4.8b'de özellikle bunun koyu kırmızının yoğunluğunun en fazla olduğu C hizalarındaki kesitten bellidir.

$$u_{TDOC}(x,\varpi) = U_\infty + \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\frac{2m(\varpi - \varpi(\dot{I})dC)\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)dC)^2 \right) - 3m(x - x(\dot{I}))^3}{\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(\dot{I})dC)^2 \right)^{\frac{5}{2}}} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right]$$

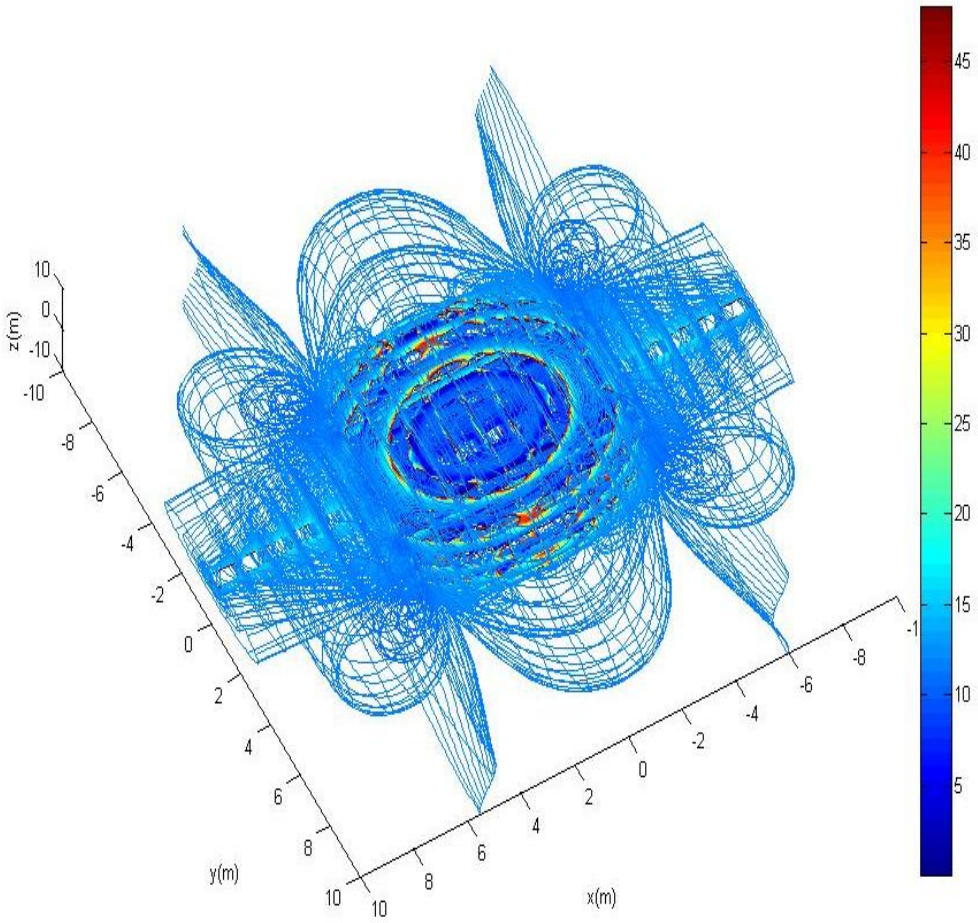
$$+ \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\frac{2m(\varpi - \varpi(\dot{I})dC)\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(\dot{I})dC)^2 \right) - 3m(x - x(\dot{I}))^3}{\varpi\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(\dot{I})DC)^2 \right)^{\frac{5}{2}}} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \quad (4.16)$$



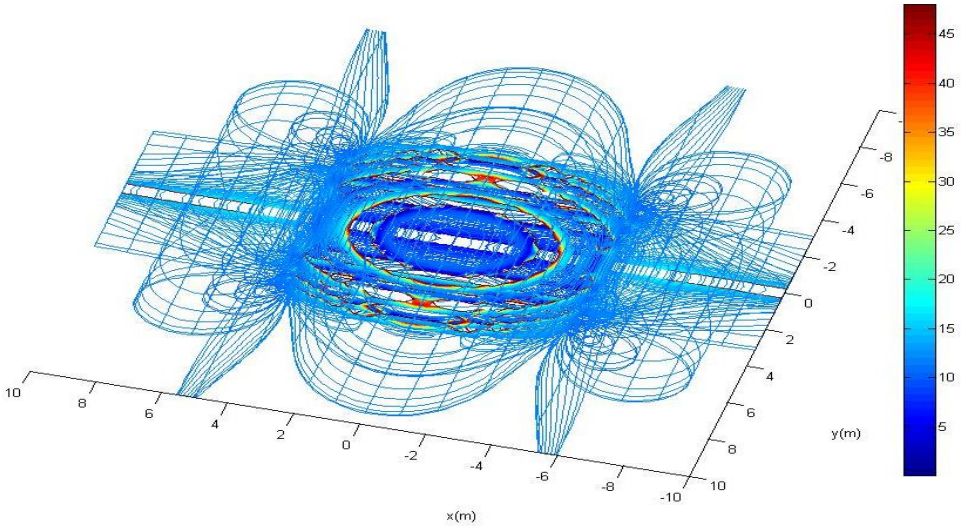
(a)



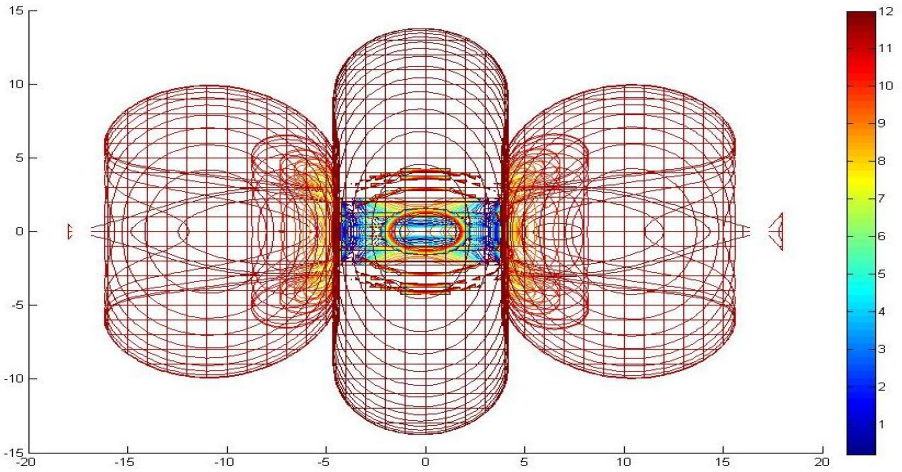
(b)



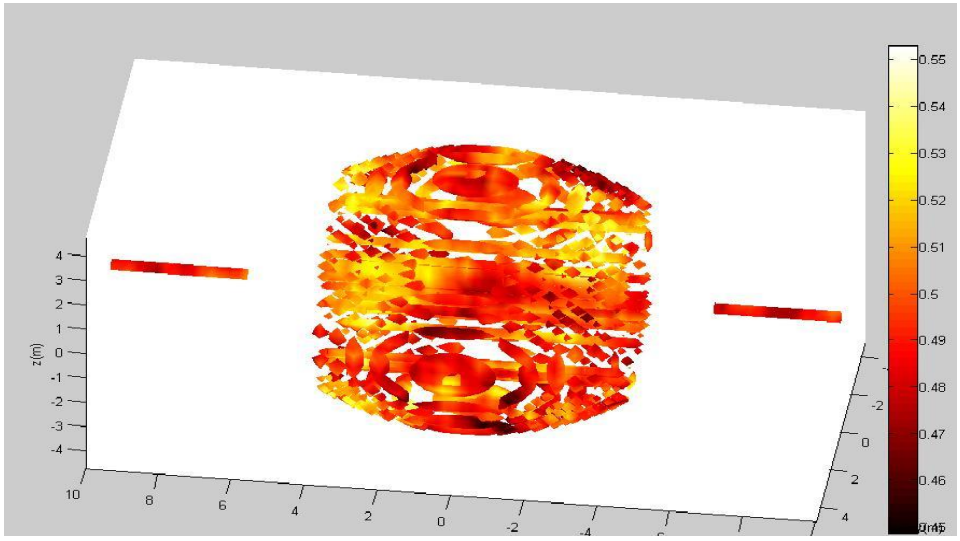
(c)



(d)



(e)



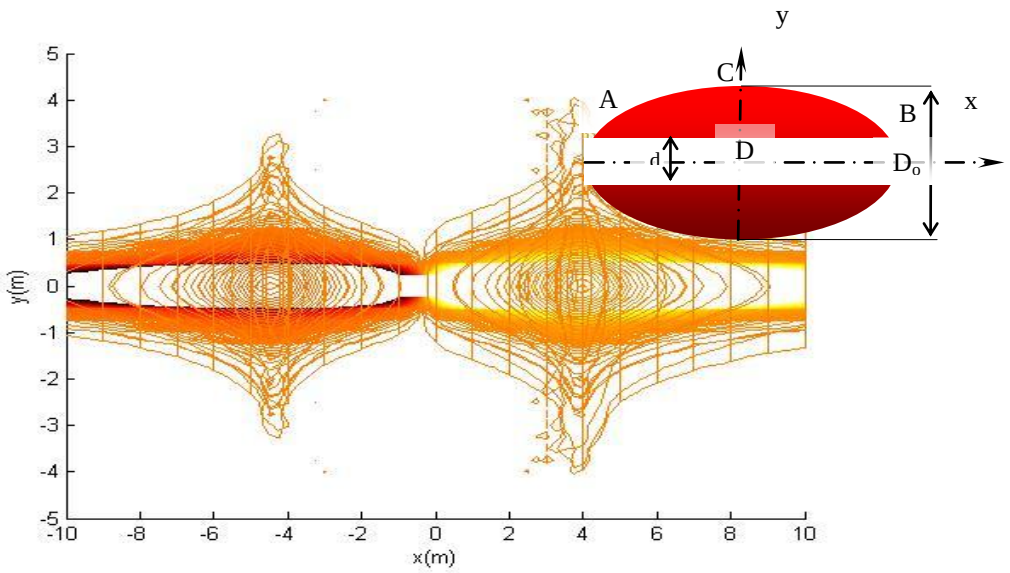
(f)

Şekil 4. 8. Hızın u bileşenin a) önden, b) yandan, c) çaprazdan, d) çapraz aşağı e) karesinin önden, f) yüzey yoğunlunun dağılımı

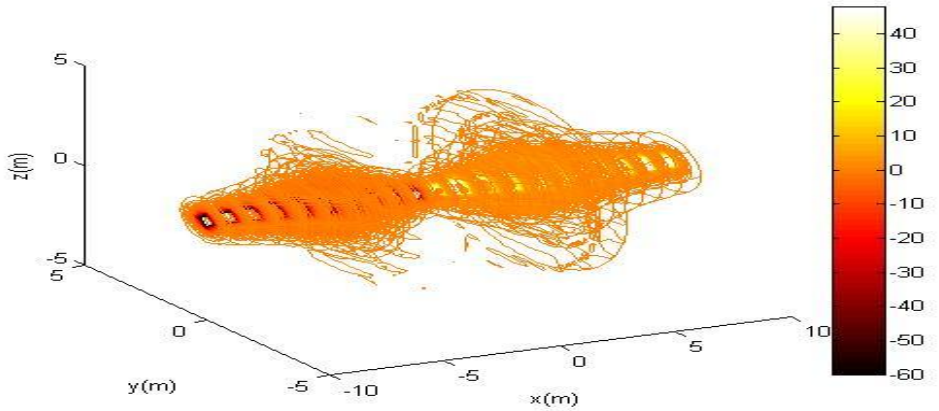
$$\upsilon_{TDOC}(x,\varpi) = \lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n}\left[\left(\frac{-3m\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})^2\right)^{\frac{1}{2}}\right)(x-x_0)(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})}{\varpi\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC}\right)^2\right)^{\frac{5}{2}}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right]$$

$$+\lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n}\left[\left(\frac{-3m\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC})^2\right)^{\frac{1}{2}}\right)(x-x(\dot{I}))(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC})}{\varpi\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC}\right)^2\right)^{3}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right] \qquad (4.17)$$

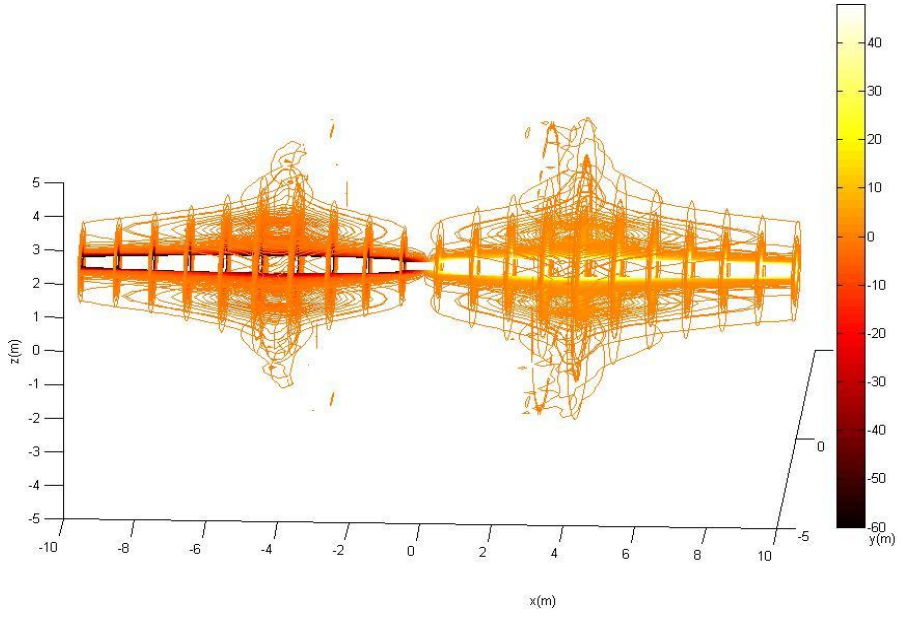
Oyuklu Rankine ovoidinin üzerindeki hızın dağılımı Şekil 4.9a'da görüldüğü gibi delik içinde en yüksek değerine ilk yarısında, yine diğer yarısında negatif değer olarak en yüksek değeri oluşmaktadır. Özellikle giriş kısmında akışkan zerrecikleri çarptığı anda meydana gelmektedir. Hızın v bileşenin Şekil 4.9a–4.9f'de gösterilmiştir. Şekiller birlikte değerlendirildiğinde oyuklu Rankine cidarı üzerinde özellikle cismin tam orta hizasında C noktasında sıfır değere ulaştığı görülebilir. Ayrıca A ve B noktalarında büyük değerini almaktadır. C den A ve B ye gidildikçe hızın v bileşeni yükselmektedir. Şekil 4.9c'den çok net görüldüğü gibi cismin oyuğu içinde A dan D ye yani ilk yarısına kadar pozitif, C den D ye kadarda negatif en değerini alır. A ve B hizasındaki kesitlerde bu değerler negatiftir.



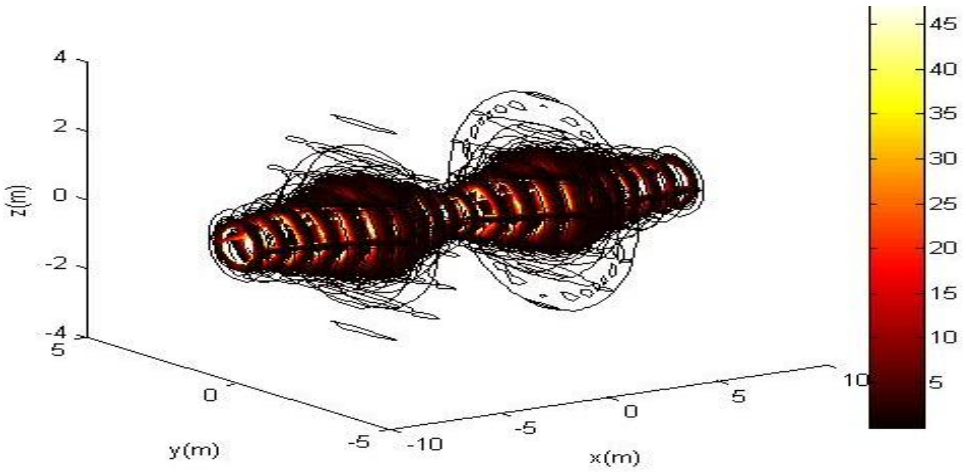
a)



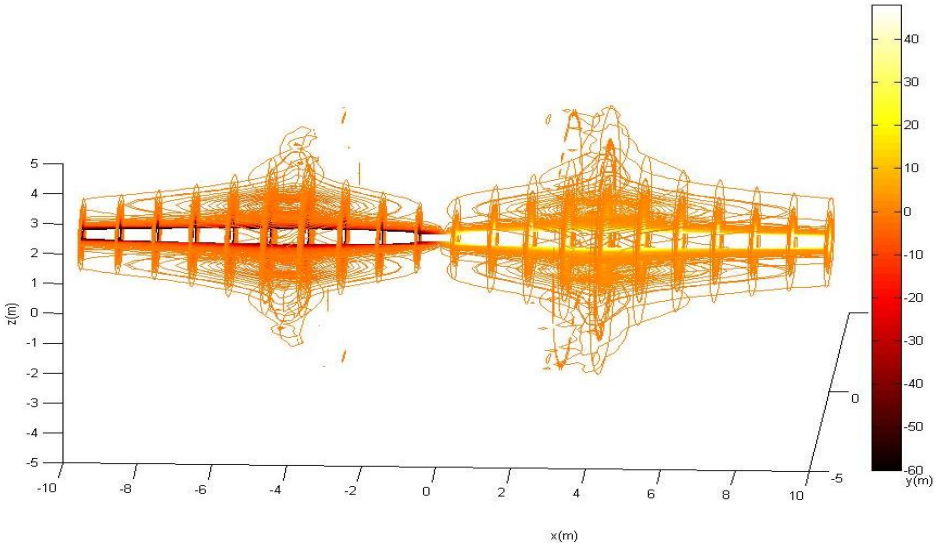
(b)



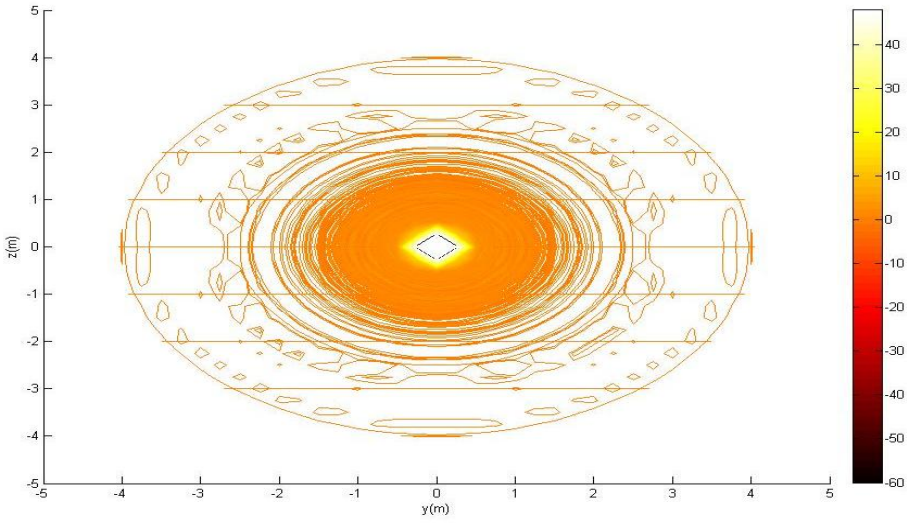
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.9. Hızın v bileşenin a) önden, b) yandan, c) çaprazdan, d) çapraz aşağı, e) karesinin önden, f) yüzey yoğunlunun dağılımı

Delikli Rankine ovoidine ait bileşke hızın karesi (V^2) Denklem (4.18) de bulunur. Basınç dağılımı Bernoulli' den yararlanarak Denklem (4.19) elde edilmiştir.

$$|V|^2 = \left[\begin{array}{l} U_0 + \lim\limits_{n\to\infty} \sum\limits_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\dfrac{2m(\varpi - \varpi(\dot{I})dC)\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(\dot{I})dC)^2\right) - 3m(x-x(\dot{I}))^3}{\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(\dot{I})dC)^2\right)^{\frac{5}{2}}} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \\ + \lim\limits_{n\to\infty} \sum\limits_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\dfrac{2m(\varpi - \varpi(\dot{I})dC)\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(\dot{I})dC)^2\right) - 3m(x-x(\dot{I}))^3}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(\dot{I})DC)^2\right)^{\frac{5}{2}}} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \end{array} \right]^2 \quad (4.18)$$

$$+ \left[\begin{array}{l} \lim\limits_{n\to\infty} \sum\limits_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\dfrac{-3m\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(\dot{I})dC)^2\right)^{\frac{1}{2}} (x-x(\dot{I}))(\varpi - \varpi(\dot{I})^2_{DC})}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(\dot{I})dC)^2\right)^3} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \\ + \lim\limits_{n\to\infty} \sum\limits_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\dfrac{-3m\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(\dot{I})DC)^2\right)^{\frac{1}{2}} (x-x(\dot{I}))(\varpi - \varpi(\dot{I})^2_{DC})}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(\dot{I})DC)^2\right)^3} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \end{array} \right]^2$$

$$P = P_0 + \frac{\rho}{2} U_0^2$$

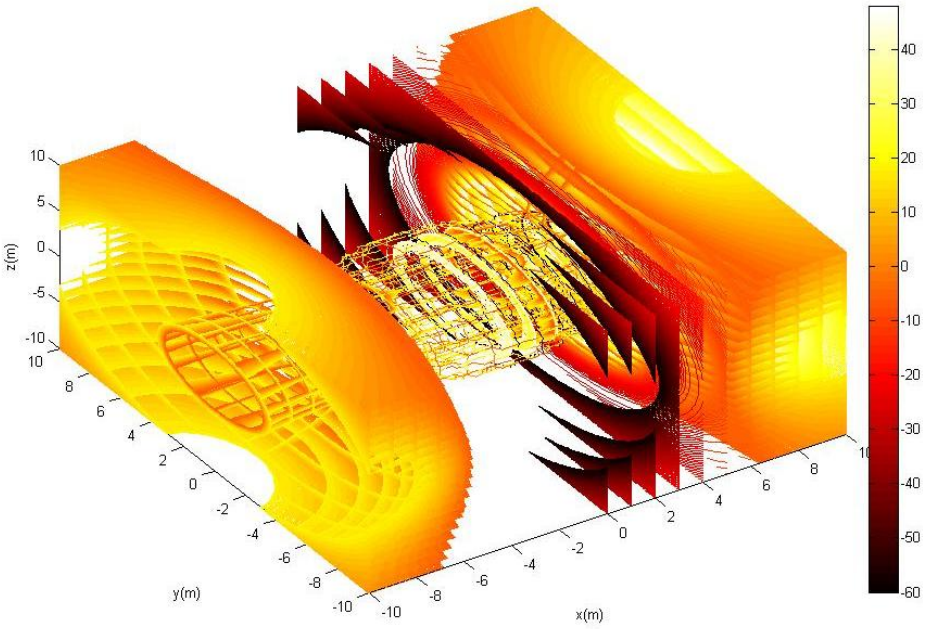
$$-\frac{\rho}{2}\left[\begin{array}{l} \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\frac{2m(\varpi - \varpi(\dot{I})dC)\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)dC)^2\right) - 3m(x - x(\dot{I}))^3}{\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)dC)^2\right)^{\frac{5}{2}}} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \\ + \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\frac{2m(\varpi - \varpi(i)dC)\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)dC)^2\right) - 3m(x - x(\dot{I}))^3}{\varpi\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(\dot{I})DC)^2\right)^{\frac{5}{2}}} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \end{array}\right]^2$$

(4.19)

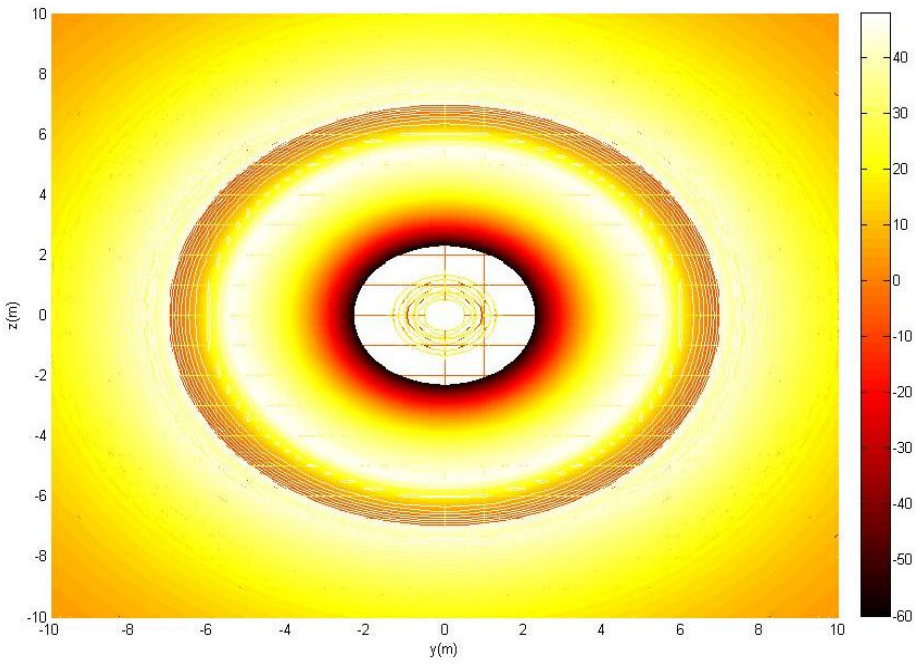
$$-\frac{\rho}{2}\left[\begin{array}{l} \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\frac{-3m\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)dC)^2\right)^{\frac{1}{2}}(x - x(\dot{I}))(\varpi - \varpi(\dot{I})dC)}{\varpi\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)dC)^2\right)^3} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \\ + \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\frac{-3m\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)DC)^2\right)^{\frac{1}{2}}(x - x(\dot{I}))(\varpi - \varpi(\dot{I})DC)}{\varpi\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)DC)^2\right)^3} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \end{array}\right]^2$$

Rankine ovoidi üzerindeki basınç dağılımında sağlıklı bir değerlendirme yapmak için Şekil 4.10a,…, Şekil 4.10h'ta farklı açılardan bakmakta yara vardır. Görüldüğü gibi basınç Oyuklu Rankine ovodinin ön ve arka (x = 5, x = -5) kısmında en yüksek

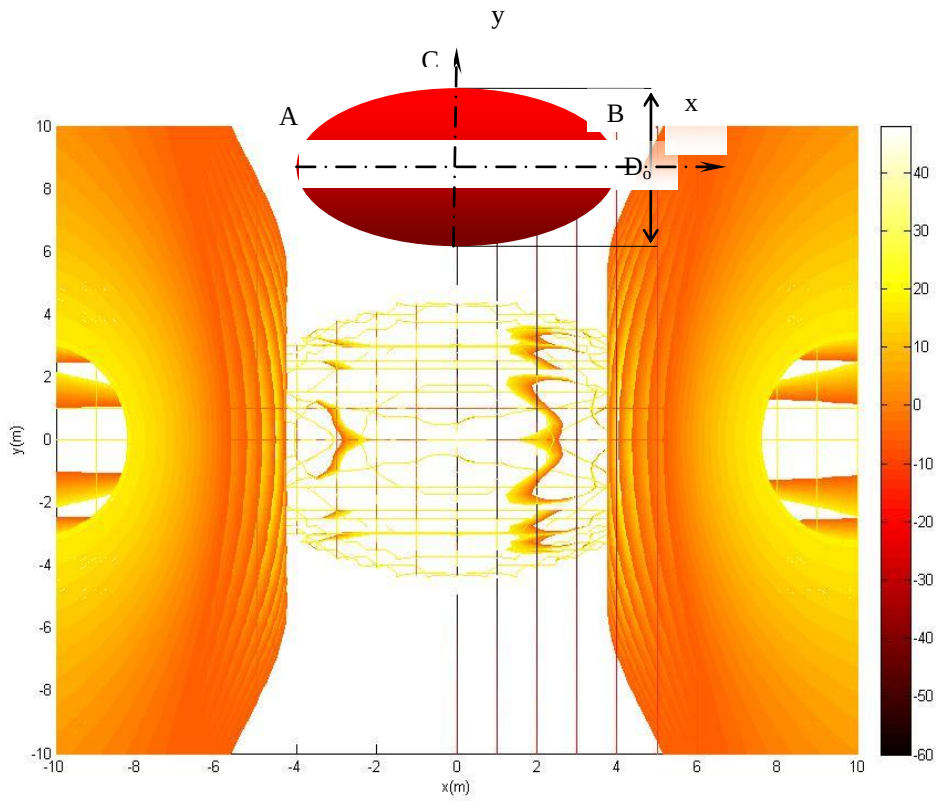
değere ulaşmaktadır. Oyuklu Rankine Ovoidinin boyuna yarısında (x=0) C de en düşük değere düşmektedir. x= 2 de biraz artmakta x= 4 daha da yükselmektedir. Yani C den A ve B ye doğru gidildikçe en büyük değerine yükselmektedir. Burada basınç değişimini Şekil 4.10g, Şekil 4.10h'tan çok net anlaşılabilir. Şekil 4.10a'tan ve Şekil 4.10b'den C hizasında cidar üzerine basıncın en düşük değerine ulaştığı, A ve B de ise en büyük değerine ulaştığı net biçimde görülmektedir.



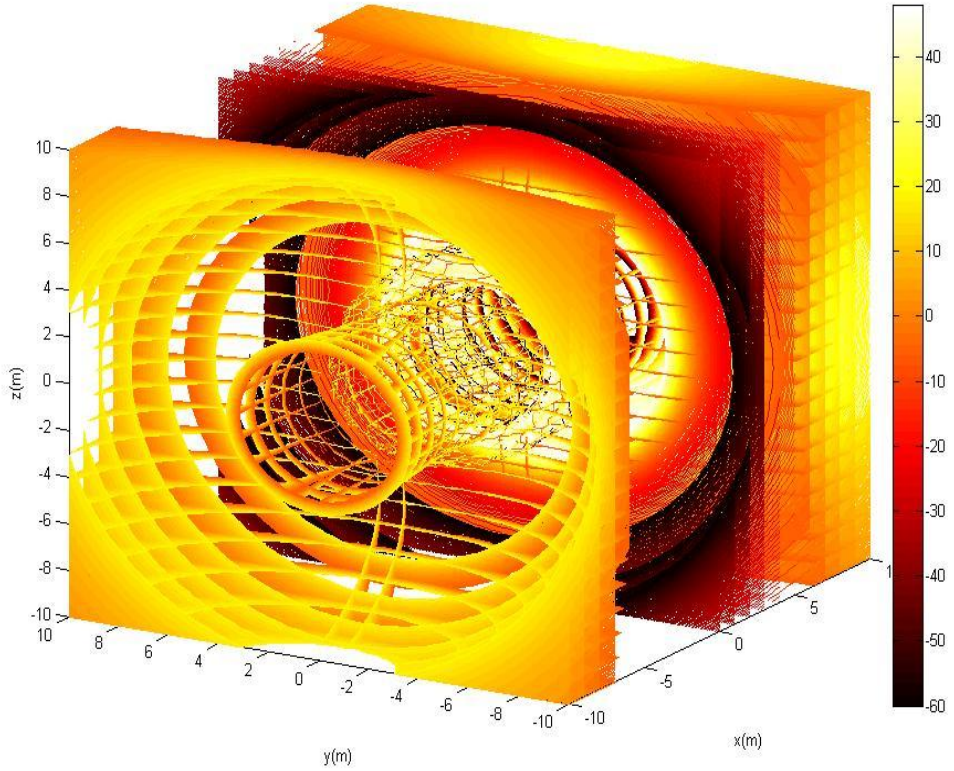
(a)



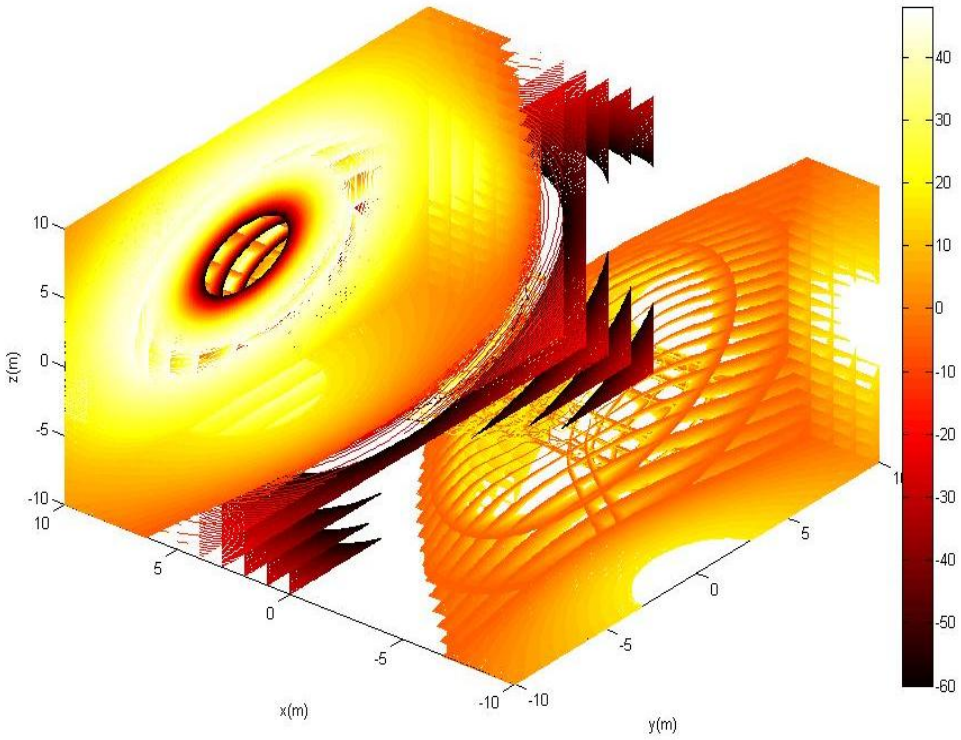
(b)



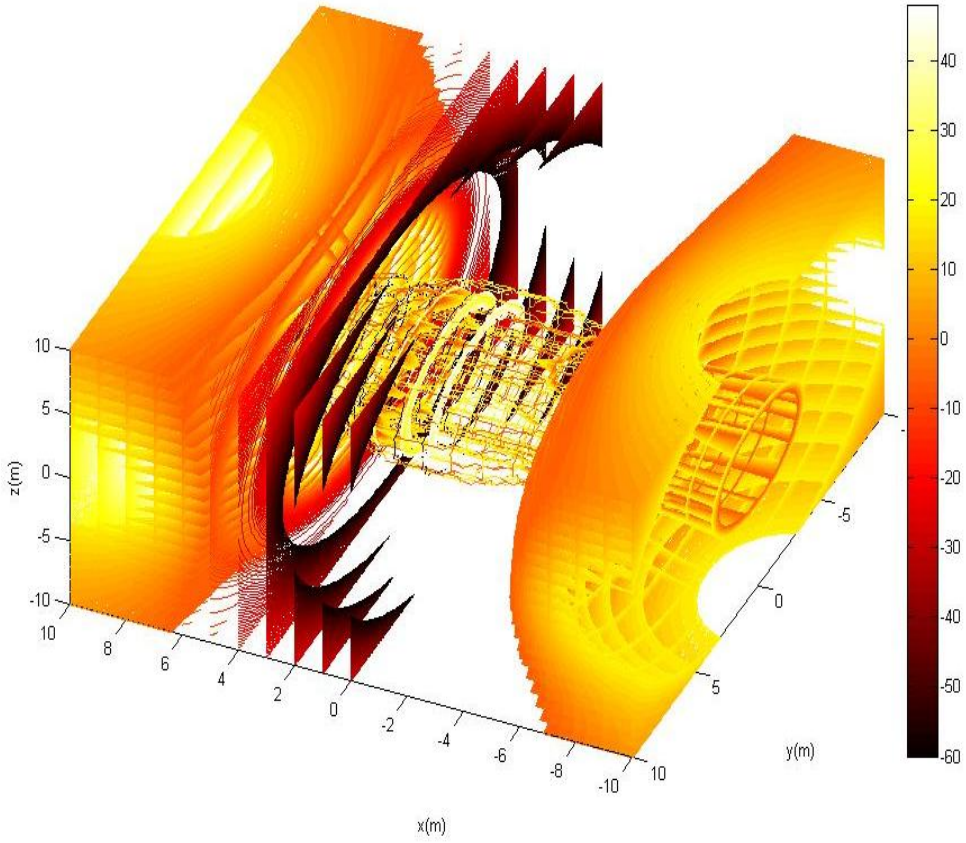
(c)



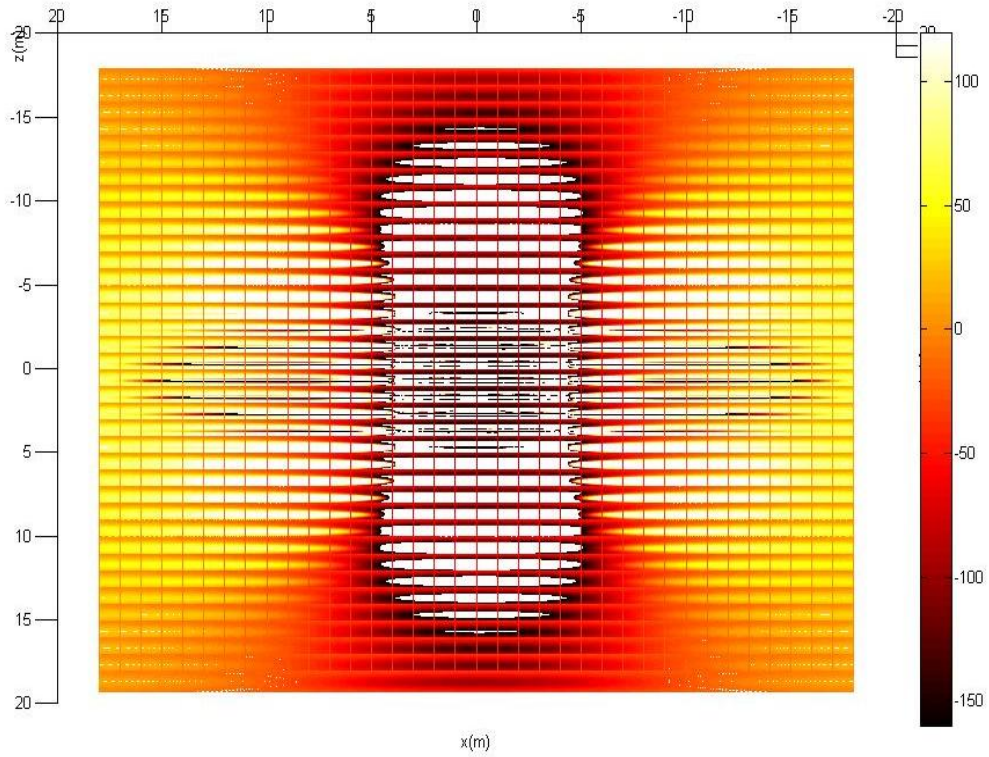
(d)



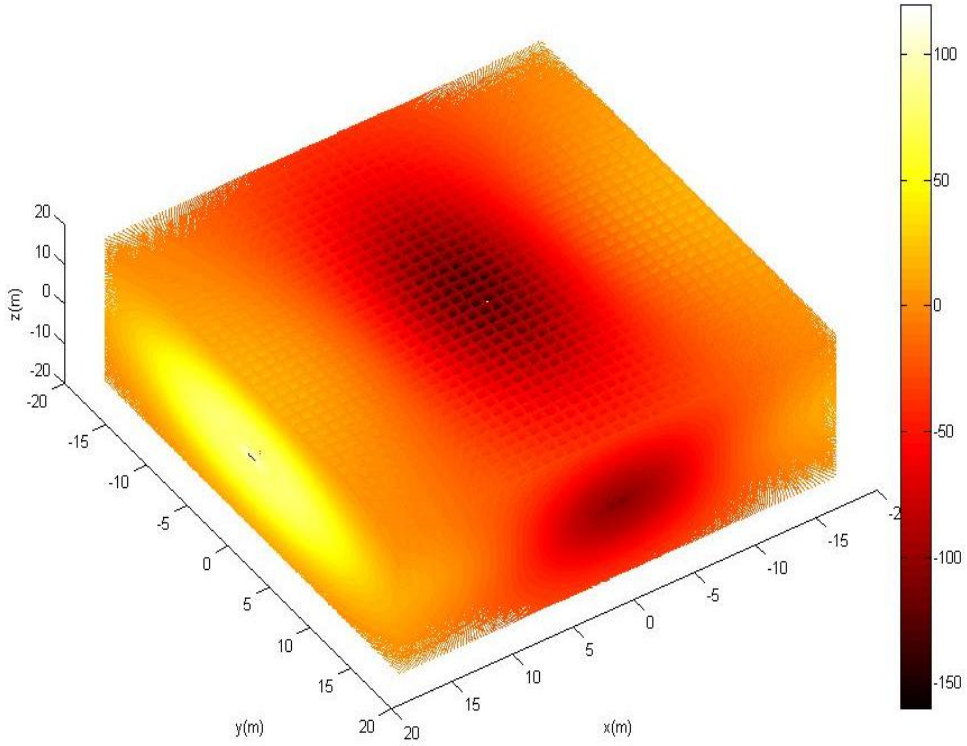
(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 4.10. Rankine ovoidi üzerindeki basınç dağılımının a) önden, b) yandan, c) çaprazdan, d) çapraz aşağı, e) karesinin önden, f) yüzey yoğunlunun dağılımı, g) bir kesit haldeki durumu

4.3. Delikli Rankine Ovoidi' nin Bir Tünel İçindeki Hareketi

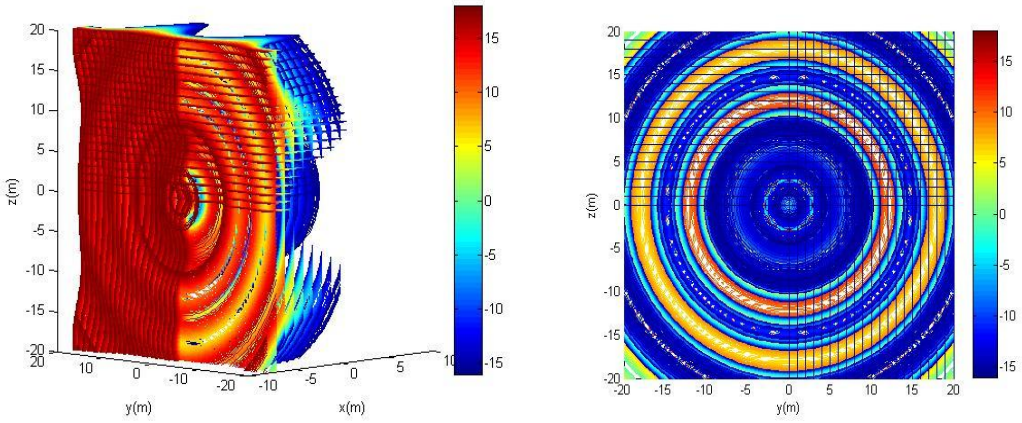
Delikli Rankine Ovoidinin bir tünel içindeki hareketine ait ψ akım fonksiyonu, tünel içindeki akım fonksiyonu Denklem (4.19) ile delikli Rankine ovoidinin akım fonksiyonunun toplanmasıyla elde edilir. Denklem (4.20) de verilmiştir. Ayrıca eksenler arasındaki uzaklık aralarındaki uzaklık Do olan sonsuz sayıda delikli Rankine ovalinin fonksiyonun toplanmasıyla da aynı rijit duvar elde edilir.

$$\psi_{TDOC}(x,\varpi) = U_0 \frac{\varpi^2}{2} - \lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n} m\left[\left(\frac{\left(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC}\right)^2}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right]$$

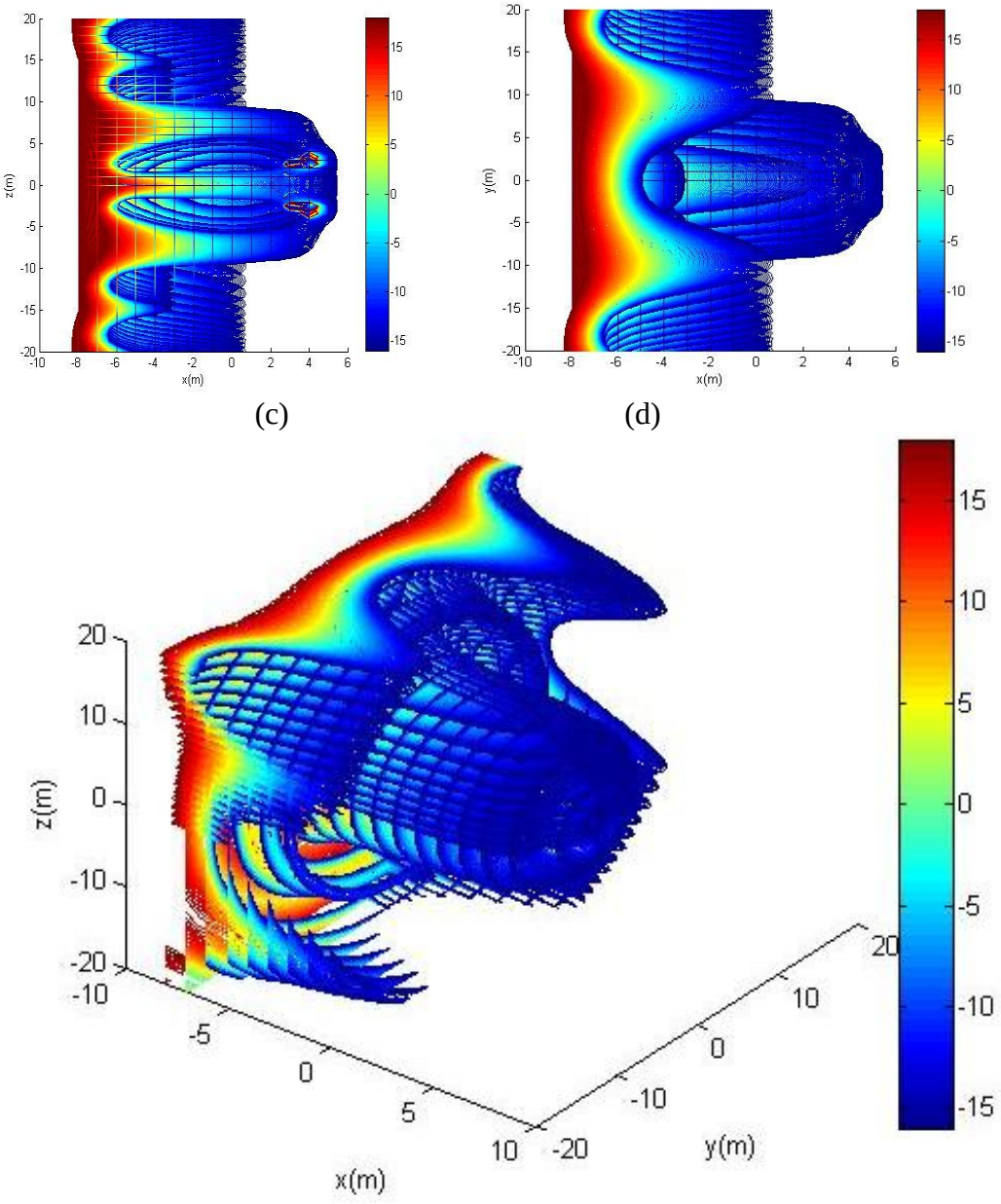
$$-\lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n} m\left[\left(\frac{\left(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC}\right)^2}{\left(\left(x-x(\dot{I})\right)^2+\left(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right]+ \qquad (4.20)$$

$$+\frac{Q}{2\pi a^2}\sum_{i=1}^{\infty}\frac{\omega.J_0^{'}(k_n\omega)}{\omega.k_n^2.J_0^2(k_n a)}.e^{ix}\cosh(kx)$$

Bir tünel içindeki oyuklu Rankine Ovodi etrafında potansiyel yüzeyleri farklı açılardan Şekil 4.11'de görülmektedir. Denklem (4.20) deki potansiyel çizgilerini sağlamaktadır.



(a) (b)

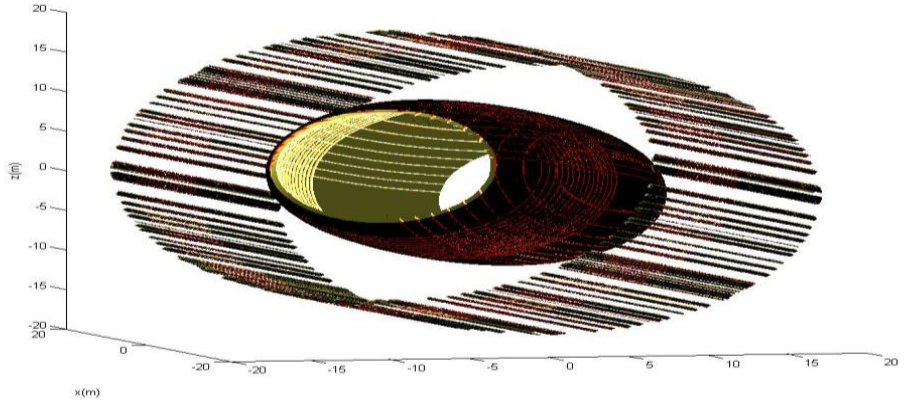


(c) (d)

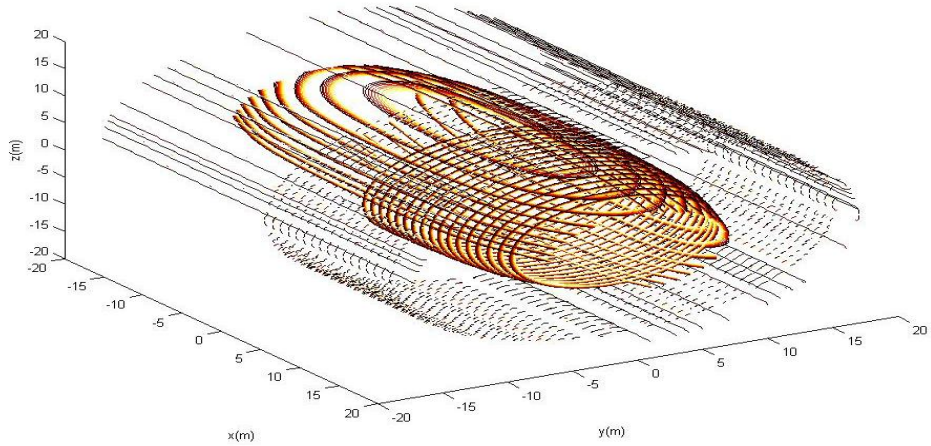
(e)

Şekil 4.11. Bir tünel delikli Rankine ovoidinin potansiyel yüzeyi ve çizgilerinin; a) önçapraz, b) tam önden, c) yandan, d) yan çapraz, e) çaprazdan görünüşü

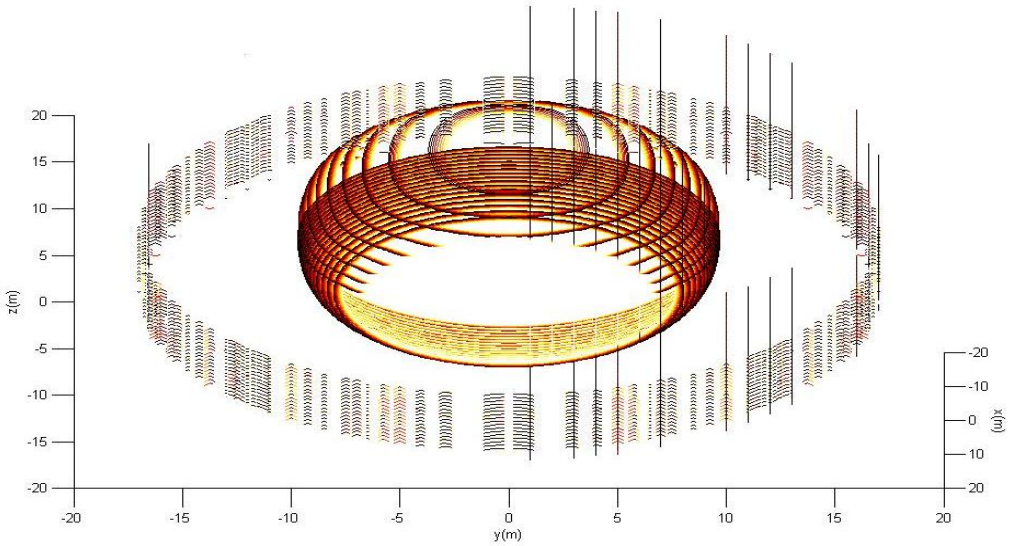
Tünel içinde delikli Rankine ovoidinin akım çizgileri Şekil 4.12a, Şekil 4.12b, Şekil 4.12c'de her bir sabit için farklı bir akım yüzeyi sağlanır.



(a)



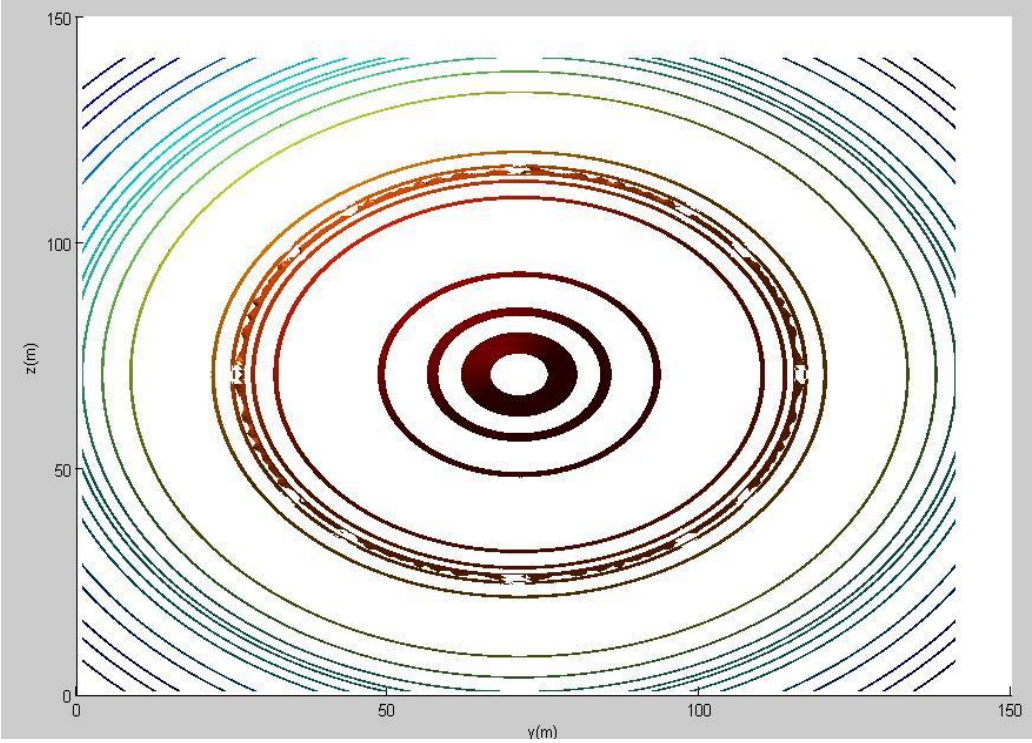
(b)



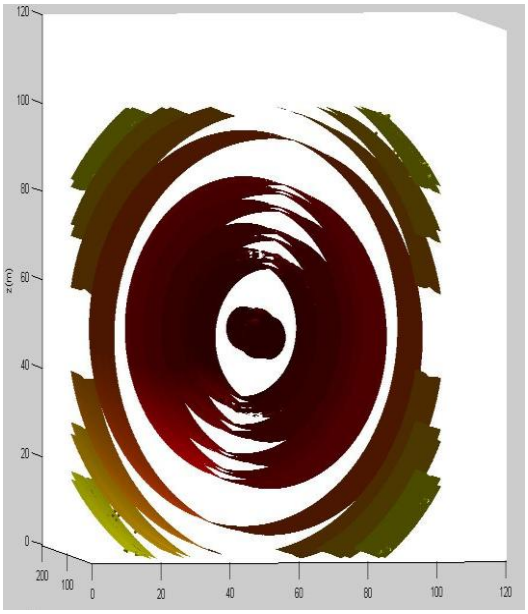
(c)

Şekil 4.12. Bir tünel içinde delikli Rankine ovoidinin akım yüzeyinin ve çizgilerinin a) önden görünüşü, b) yandan görünüşü, c) karşıdan görünüşü

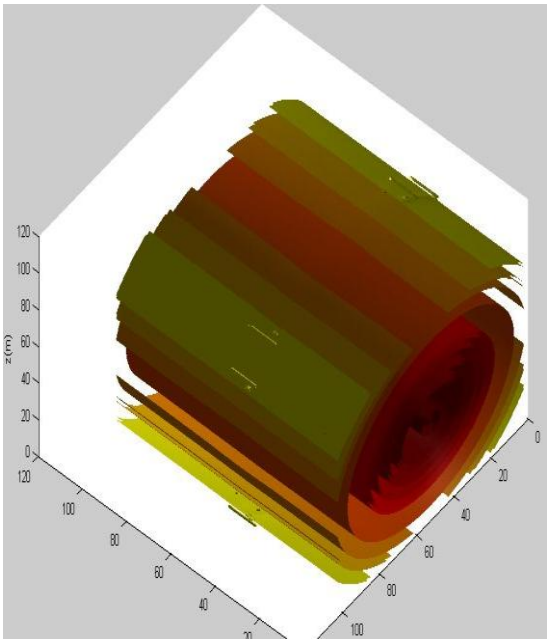
Şekil 4.13'te bir tünel içindeki oyuklu Rankine Ovoidinin akım yüzeyleri farklı açılardan denklemlerden elde edilmiştir. Burada farklı açılardan farklı sabitler için elde edilmiş ayrıca sıfır akım yüzeyi (cidar yüzeyi) gösterilmiştir. Bu bize denklemlerin doğruluğunu net biçimde göstermektedir.



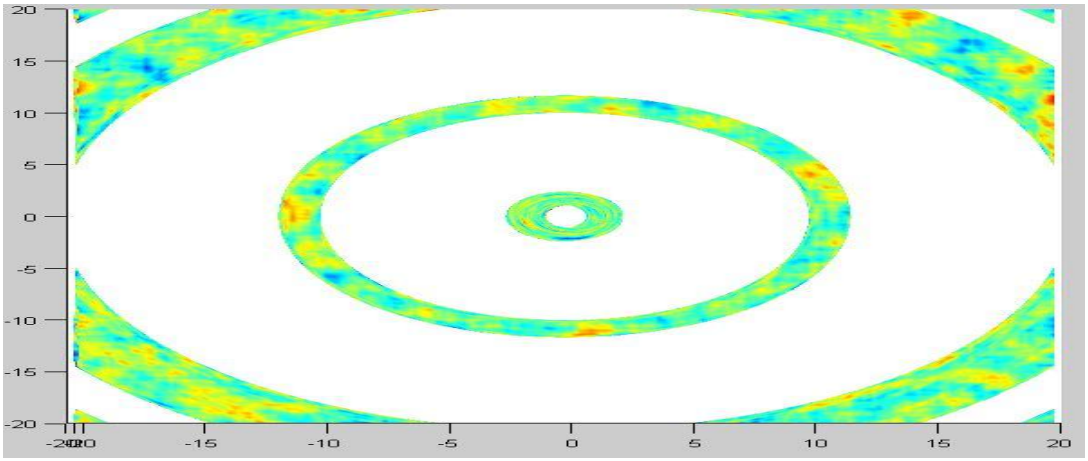
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.13. Bir tünel içinde delikli Rankine ovoidinin akım yüzey ve çizgilerinin a) önden görünüşü, b) yandan görünüşü, c) karşıdan görünüşü, d) sıfır yüzeyi

4.3.1. Delikli Rankine ovoidi' nin bir tünel içindeki hareketinin hız dağılımı

Denklem (4.1) ve Denklem (4.2) yararlanarak hızın U ve υ bileşenleri Denklem (4.19) ve Denklem (4.20) deki halini alır. Bu hız bileşenlerine ait hız dağılımları da Şekil 4.14 ve şekil 4. 15' te gibi olur.

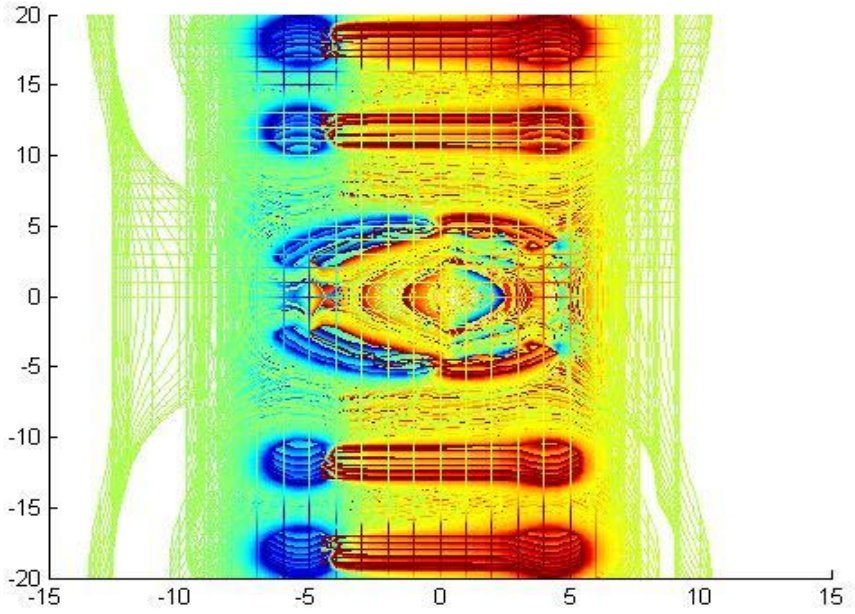
$$u_{TDOC}(x,\varpi) = U_0 - \lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n}\left[\left(\frac{2m(\varpi-\varpi(i)_{dC})\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(i)_{dC})^2\right)-3m(x-x(\dot{I}))^3}{\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(i)_{dC})^2\right)^{\frac{5}{2}}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right]$$

$$-\lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n}\left[\left(\frac{2m(\varpi-\varpi(i)_{dC})\left((x-x_0)^2+(\varpi-\varpi(i)_{dC})^2\right)-3m(x-x_0)^3}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(i)_{DC})^2\right)^{\frac{5}{2}}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right] \qquad (4.19)$$

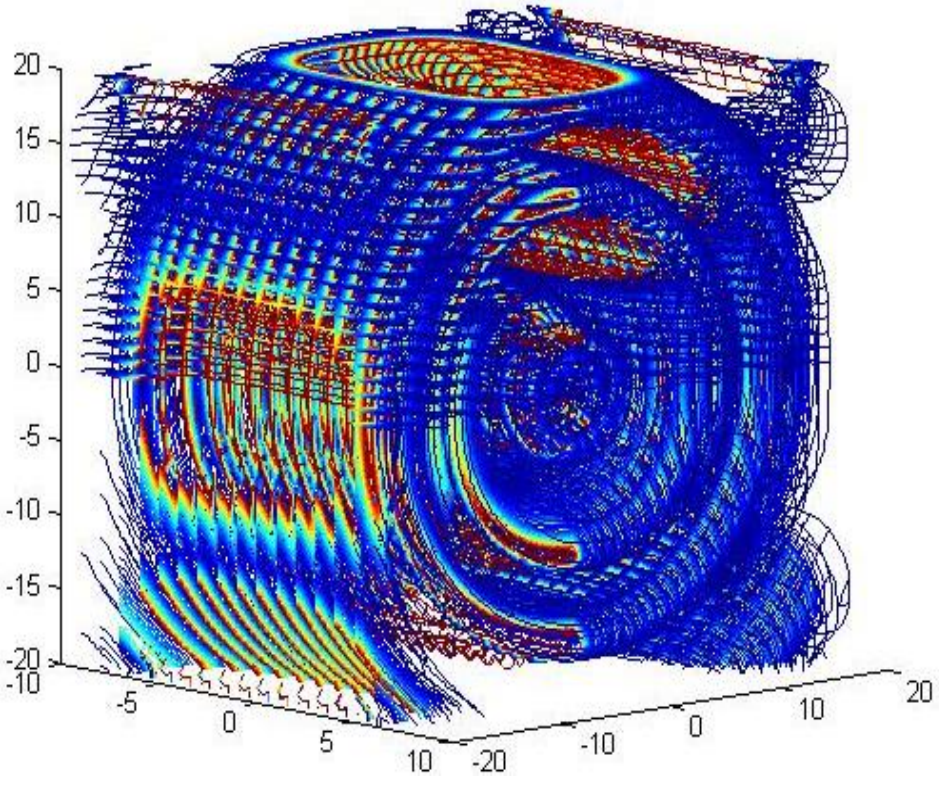
$$-\frac{Q}{4\pi a^2}\sum_{i=1}^{\infty}\frac{\left(J_0^{''}(k_n\varpi)\right)}{.k_n.J_0^2(k_n a)}.e^{ix}\sinh(kx)$$

Denklem (4.19) dan tünel içinde Rankine ovoidi üzerinde hızın *U* bileşeninin dağılımı Şekil 4.14a, Şekil 4.14b, Şekil 4.14c, Şekil 4.14d'de görülmektedir. Burada özellikle basınç ovoidin giriş ve çıkış noktalarında (A ve B) en düşük değerlere

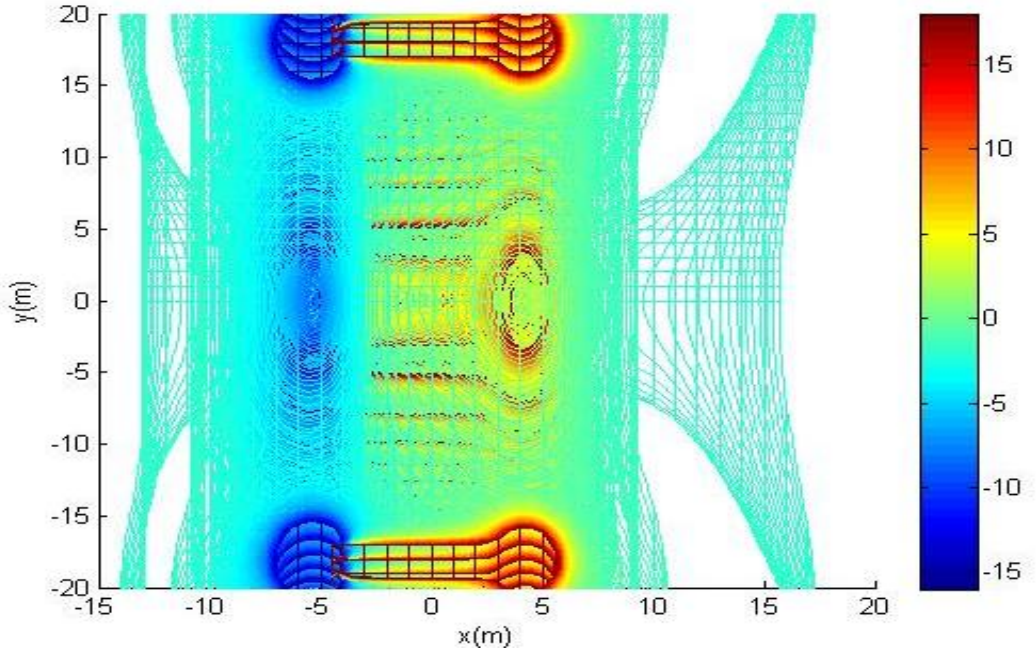
ulaşmaktadır. Ovoidin hareket ekseni boyunca tam orta hizasında (C hizasında) cidarı üstünde en üst seviyededir. Bir önemli husus ise eğer açık ortamdaki duruma göre daha yüksektir. Bu dağılımlar Şekil 4.13d'deki renk değişimleri ve renk değişim skalası değerlendirildiğinde çok açıktır.



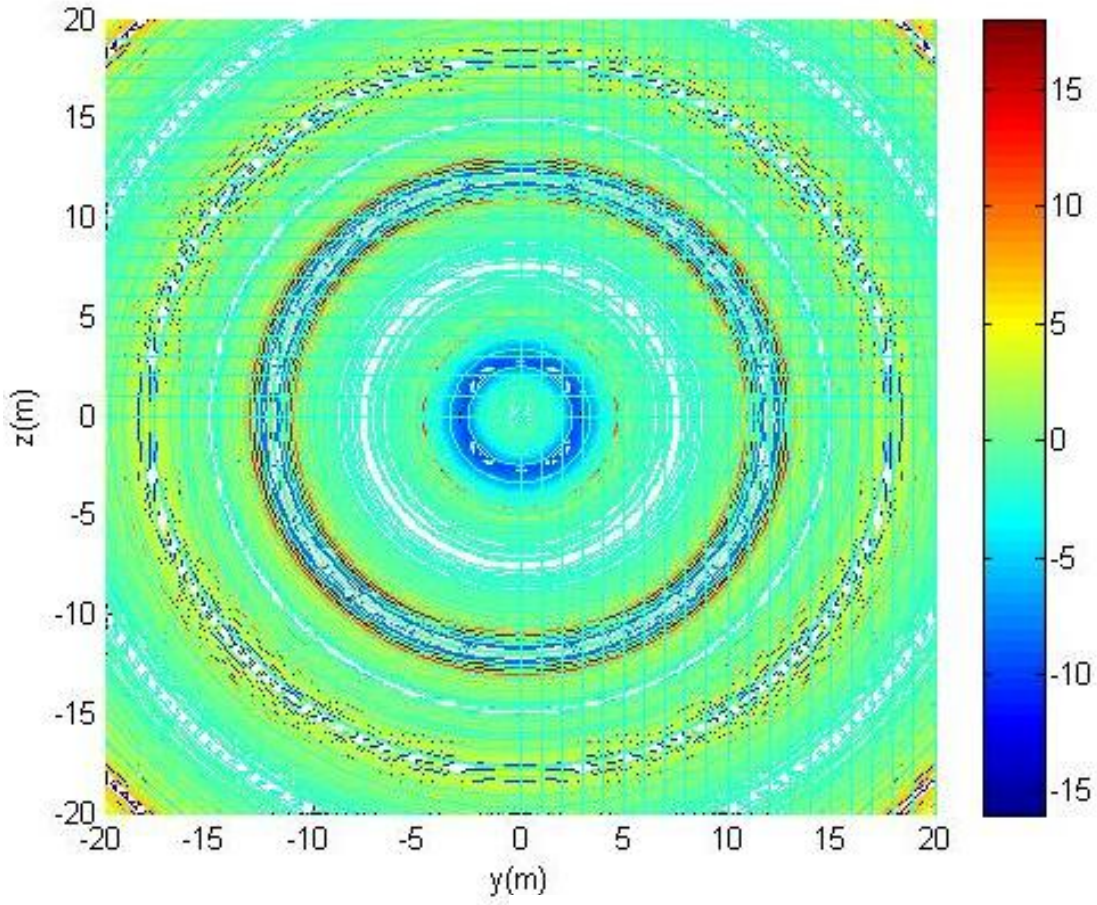
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.14. Tünel içinde Rankine ovoidi üzerinde hızın *U* bileşeninin dağılımının a) xy düzleminden, b) üç-boyutlu çapraz, c) önden, d) yz düzleminden değişimi

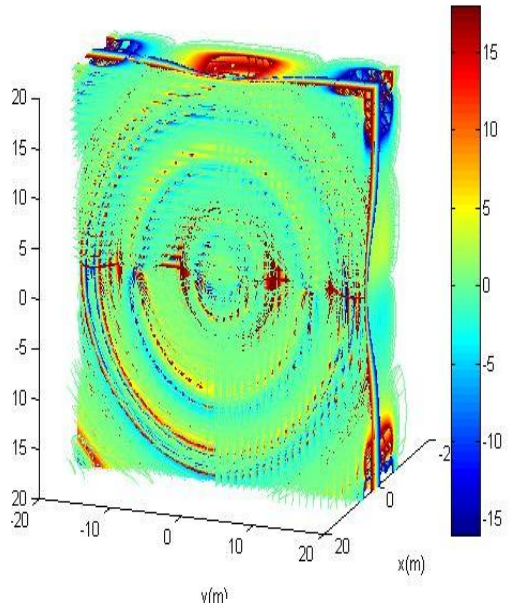
Hızın v bileşeninin denklemi Denklem (4.20) deki gibi türetilir.

$$\upsilon = \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\frac{-3m\left(\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)_{dC})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)(x - x_0)(\varpi - \varpi(i)_{dC})}{\varpi\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)_{dC})^2 \right)^{\frac{5}{2}}} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right]$$

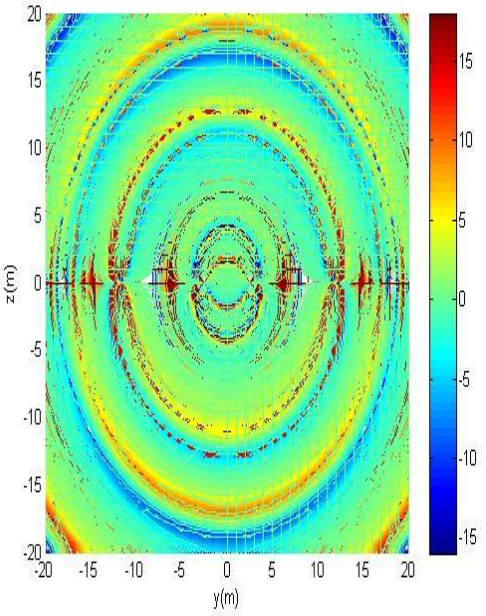
$$+ \lim_{n\to\infty} \sum_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\frac{-3m\left(\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)_{DC})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)(x - x(i))(\varpi - \varpi(i)_{DC})}{\varpi\left((x - x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)_{DC})^2 \right)^{3}} e^{i\alpha}(\dot{I}) \right) \right] \quad (4.20)$$

$$+ \frac{Q}{4\pi a^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{J_0^{'}(k_n \varpi)}{\varpi . k_n^2 . J_0^2(k_n a)} . e^{ix} \sinh(kx)$$

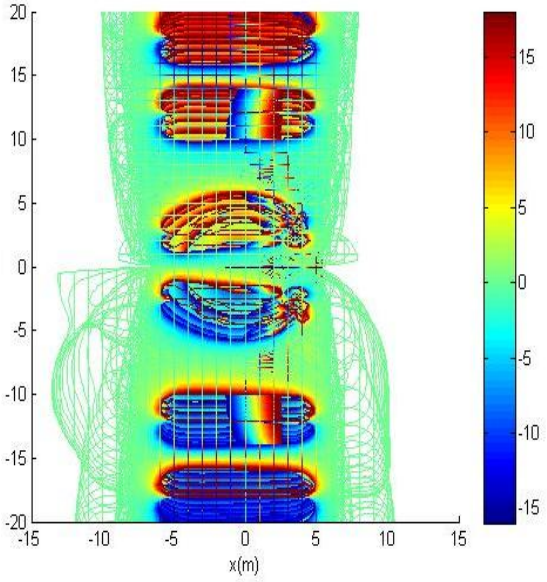
Denklem (4.20) den tünel içinde Rankine ovoidi üzerinde hızın *v* bileşeninin dağılımının Şekil 4.15a, …, Şekil 4.15e' de farklı açılardan ve kesitlerden değişimi görülmektedir. Burada hız dağılının *v* bileşeni özellikle Şekil 4.15f'de net bir biçimde görüldüğü gibi Rankine ovoidinin cidarına yakın yerde meydana gelmektedir. Şekil 4.15b, Şekil 4.15c, Şekil 4.15d'de birlikte değerlendirildiğinde Delikli Rankine ovoidinin üzerinde akışkan ile cisim temas ettiği noktadan itibaren önce belli bir değere kadar yükselir daha düşerek, cismin tam ortasının hizasında (C de) sıfırlanır. Boyuna uzunluğunun yarısından sonra negatif yönde arttıktan sonra azalarak sıfırlanır.



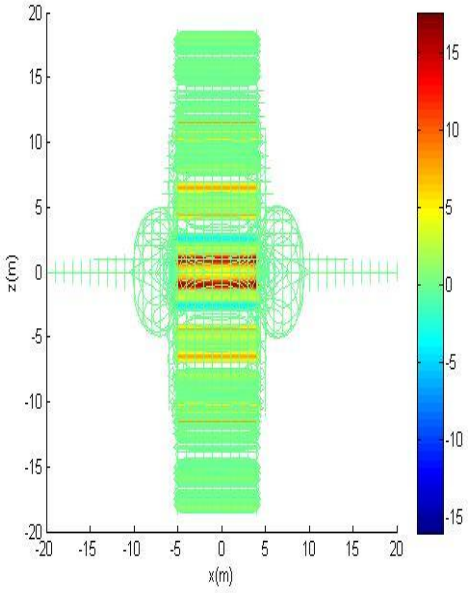
(a)



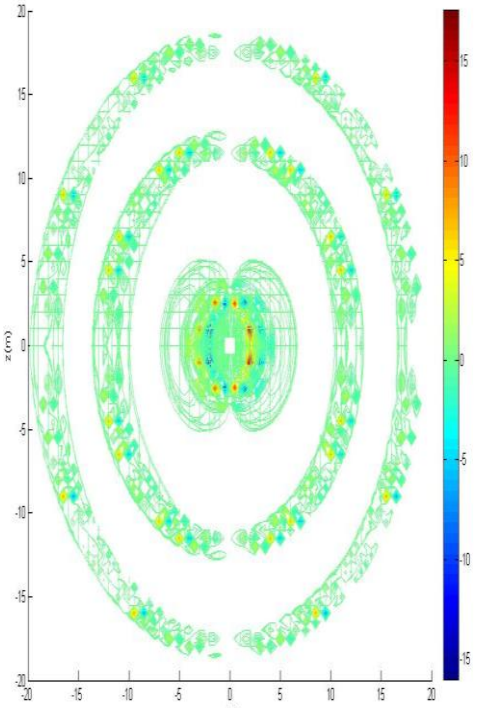
(b)



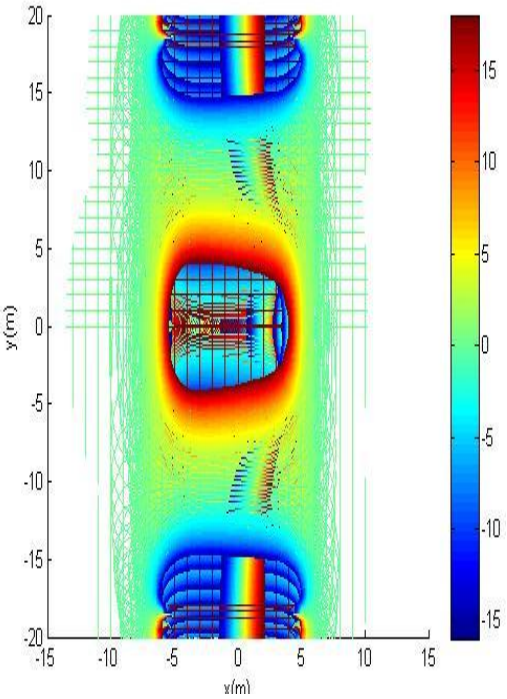
(c)



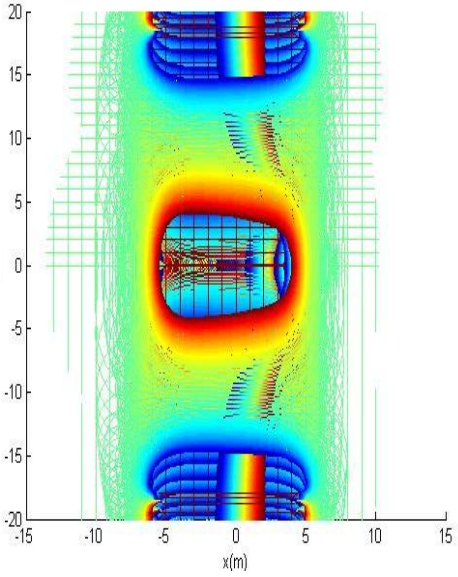
(d)



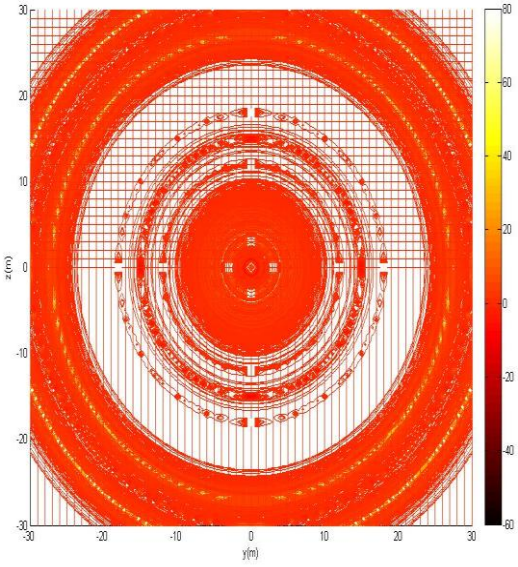
(e)



(f)



(g)



(h)

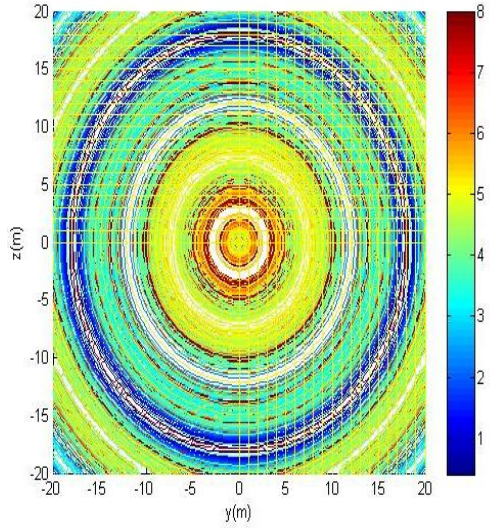
Şekil 4.125. Tünel içinde Rankine ovoidi üzerinde hızın *v* bileşeninin dağılımının a) önden b) yandan, c) çaprazdan, d) çapraz aşağı, e) karesinin önden, f) yüzey yoğunlunun dağılımı, g) bir kesit halindeki durumu, h) yz düzleminde karesinin dağılımı

$$
|V|^2 = \left[\begin{array}{l}
U_0 + \lim\limits_{n\to\infty} \sum\limits_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\dfrac{2m(\varpi - \varpi(i)_{dC})\left((x-x_0)^2 + (\varpi - \varpi(i)_{dC})^2\right) - 3m(x - x(\dot{I}))^3}{\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)_{dC})^2\right)^{\frac{5}{2}}} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \\
+ \lim\limits_{n\to\infty} \sum\limits_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\dfrac{2m(\varpi - \varpi(i)_{dC})\left((x-x_0)^2 + (\varpi - \varpi(i)_{dC})^2\right) - 3m(x - x(\dot{I}))^3}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)_{DC})^2\right)^{\frac{5}{2}}} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \\
+ \left[-\dfrac{Q}{4\pi a^2} \sum\limits_{i=1}^{\infty} \dfrac{\left(J_0''(k_n\varpi)\right)}{k_n . J_0^2(k_n a)} . e^{ix} \cosh(kx) \right]^2
\end{array} \right]^2
$$

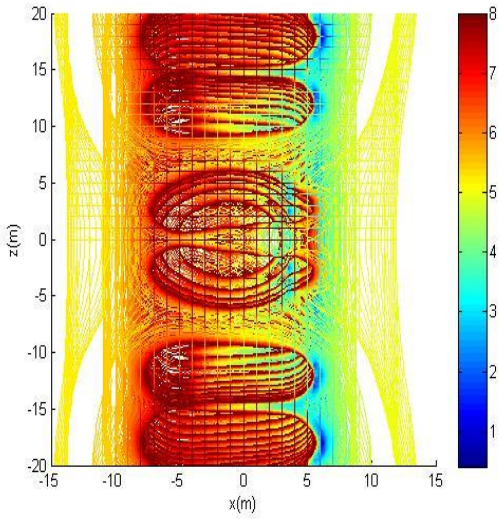
$$
+ \left[\begin{array}{l}
\lim\limits_{n\to\infty} \sum\limits_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\dfrac{-3m\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)_{dC})^2\right)^{\frac{1}{2}} (x - x(\dot{I}))(\varpi - \varpi(i)^2{}_{dC})}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)_{dC})^2\right)^{\frac{5}{2}}} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \\
+ \lim\limits_{n\to\infty} \sum\limits_{\dot{I}=1}^{n} \left[\left(\dfrac{-3m\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)_{DC})^2\right)^{\frac{1}{2}} (x - x(i))(\varpi - \varpi(i)^2{}_{DC})}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2 + (\varpi - \varpi(i)_{DC})^2\right)^{3}} e^{i\alpha(\dot{I})} \right) \right] \\
+ \dfrac{Q}{4\pi a^2} \sum\limits_{i=1}^{\infty} \dfrac{J_0'(k_n\varpi)}{\varpi . k_n^2 . J_0^2(k_n a)} . e^{ix} \sinh(kx)
\end{array} \right]^2 \qquad (4.21)
$$

Hız ve hızın karesinin dağılımı Şekil 4.16a, …., 4.16h'ta görülmektedir. Oyuklu Rankine ovoidinin tam önünde ve arkasında A ve B noktalarında bileşke hız sıfırdır. Buna göre yüksek hız değeri oyuklu Rankine ovoidinin en geniş çapının olduğu orta kısım hizasında gerçekleşmektedir. Normal iki-boyutlu hıza göre üç-boyutlu hız, iki boyutlu hızın daha büyük olduğu görülebilir. Cismin üzerindeki bileşke hızın karesi

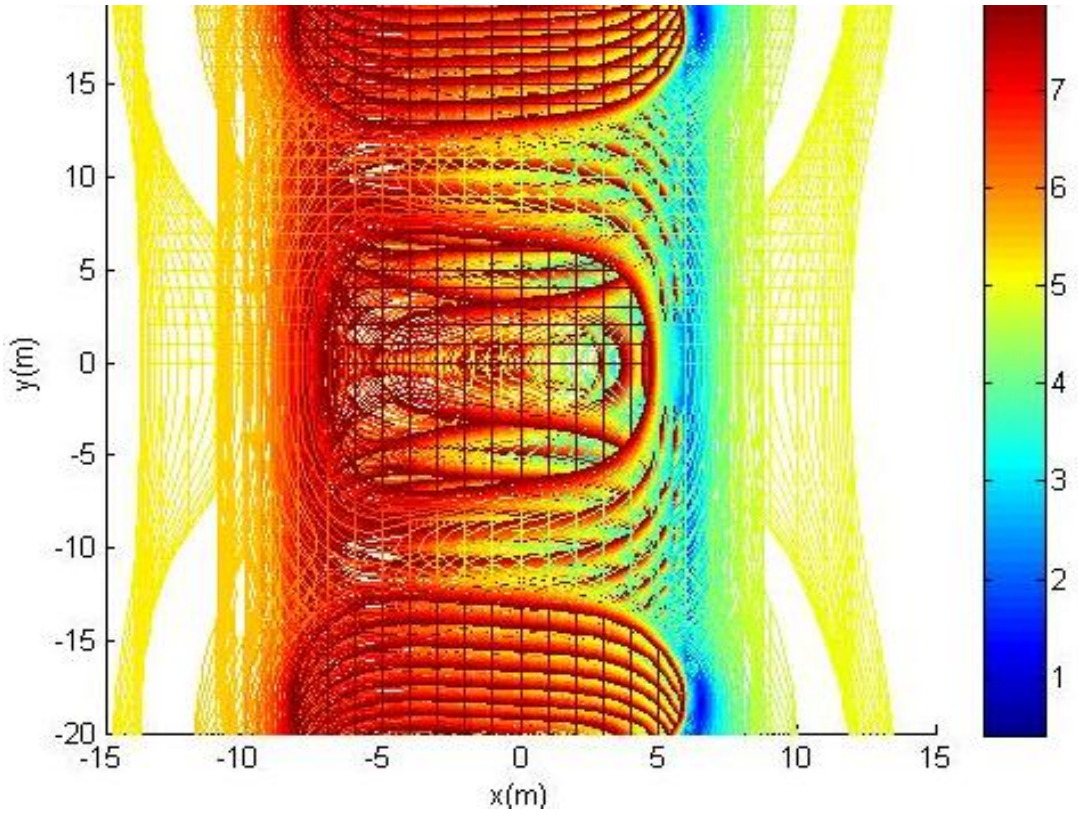
merkezin tam hizasında o kadar yüksek ki başlangıç ve diğer kısımlarda matlab programı ile görülmemektedir. Kırmızının koyuluk yüksekliği görünmeyen kısımlar çok yüksek değerleri ve koyu mavi kısımlarda çok düşük hız değerlerini ifade etmektedir.



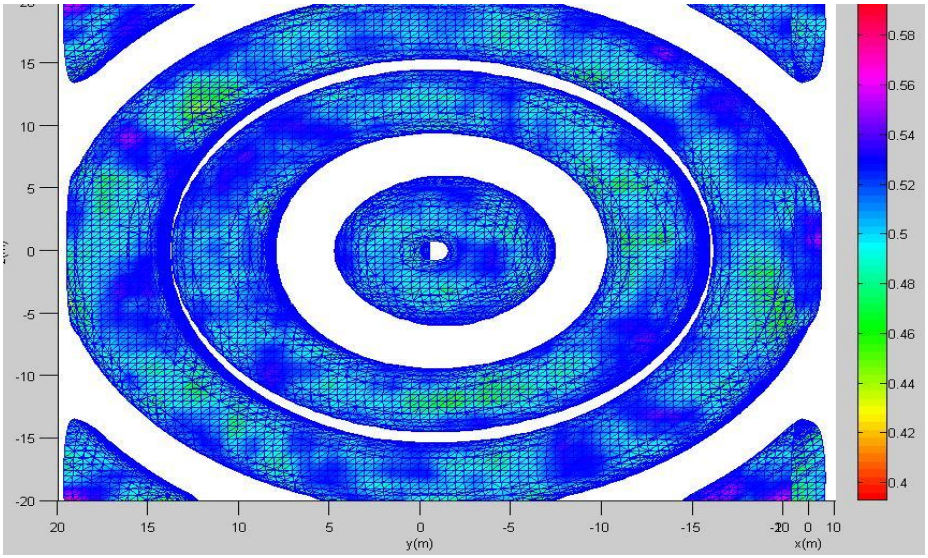
(a)



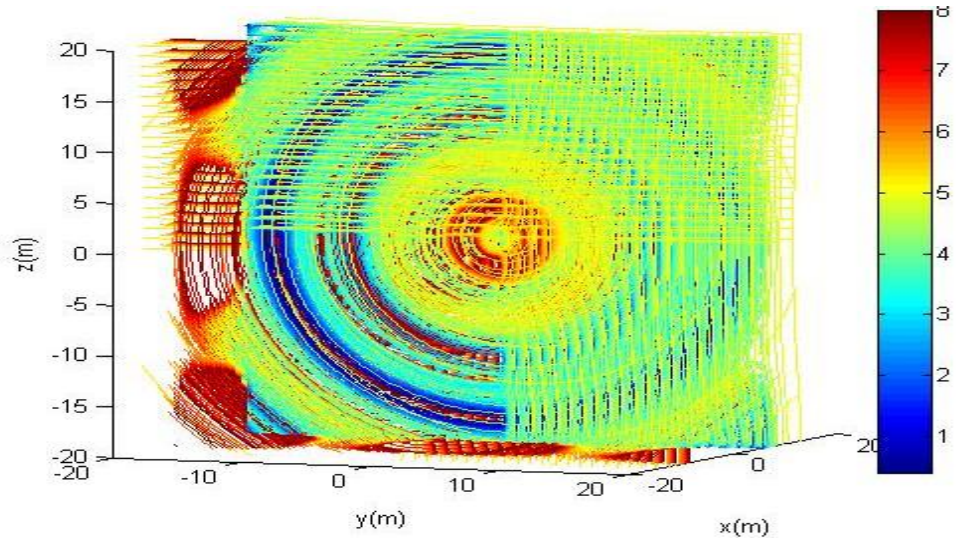
(b)



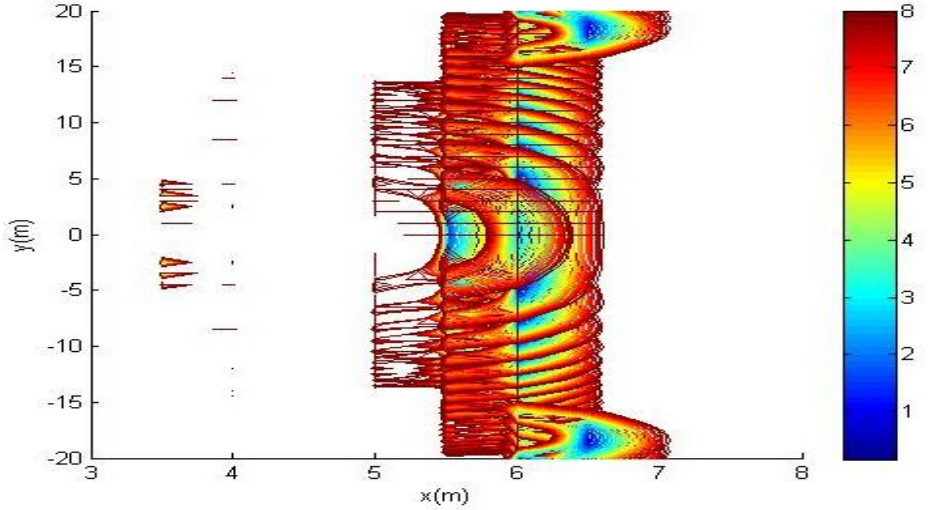
(c)



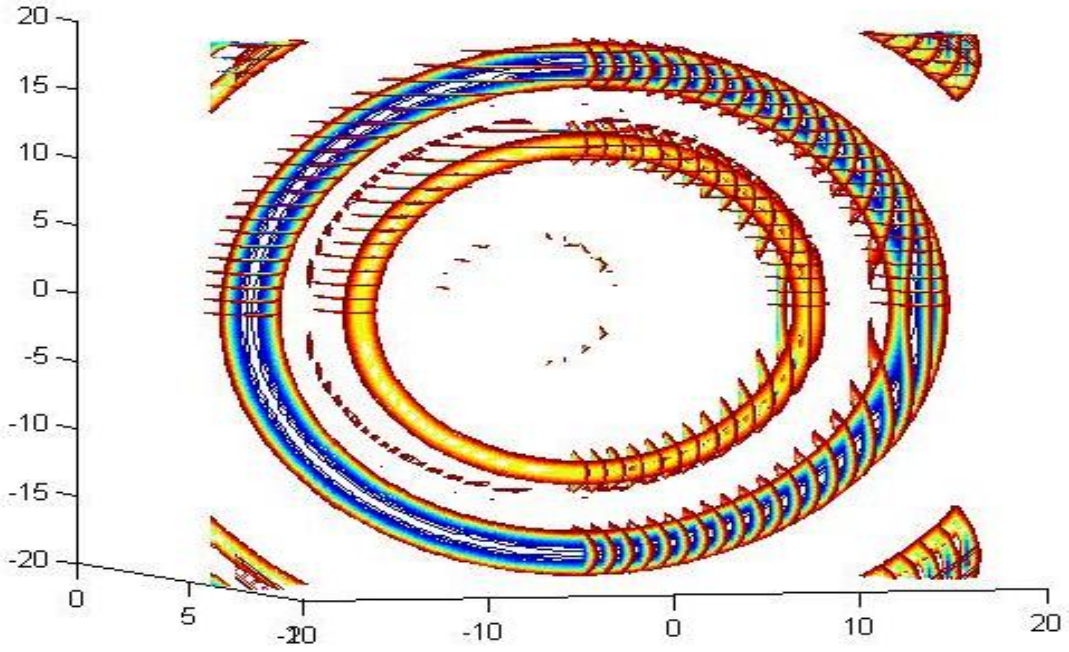
(d)



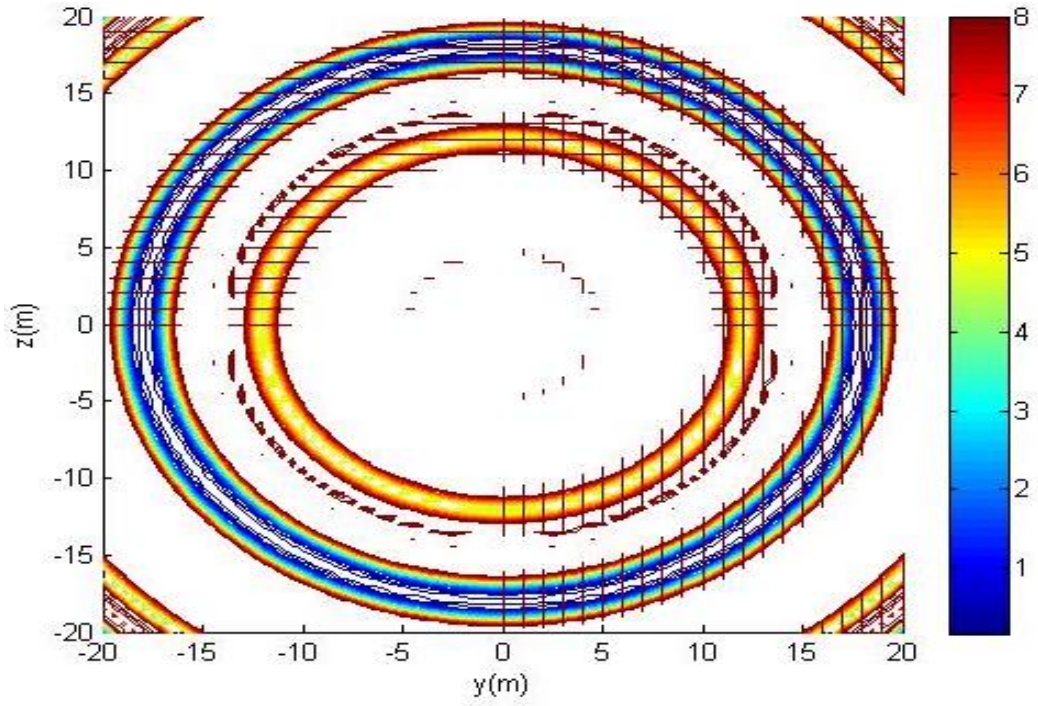
(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 4.136. Tünel içinde Rankine ovoidi üzerinde bileşke hızın dağılımının a) önden b) yandan, c) çaprazdan, d) çapraz aşağı, e) karesinin önden, f) yüzey yoğunlunun dağılımı, g) bir kesit halindeki durumu, h) yz düzleminde karesi

4.2.2. Tünel içinde delikli Rankine Ovoidi üzerindeki basınç dağılımı

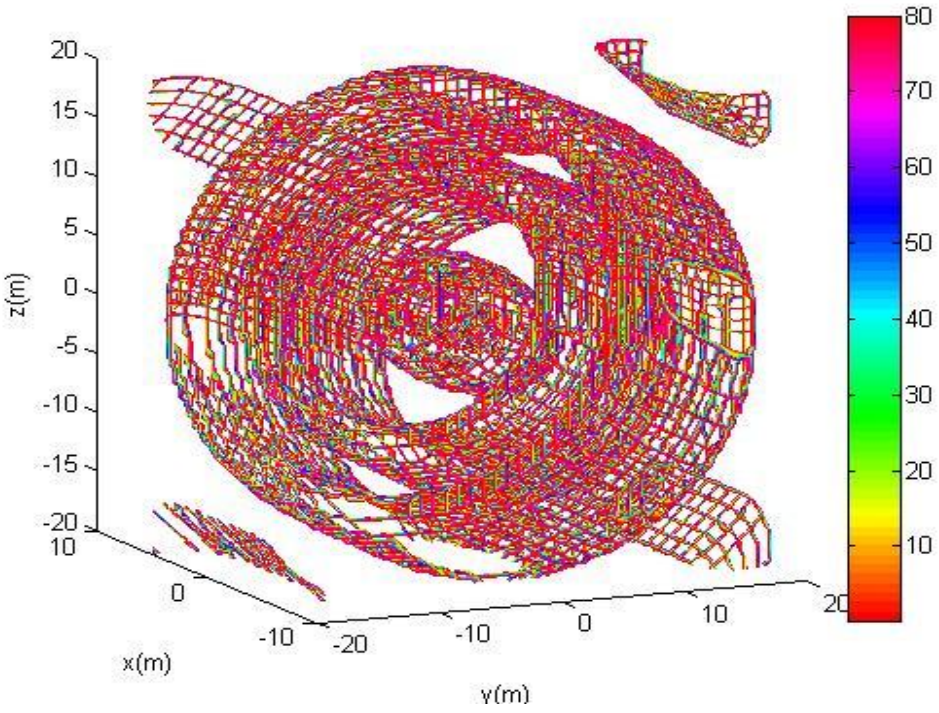
Elde edilen Denklem (4.21) hız değerleri Bernoulli denkleminde yerine yazılırsa basınç dağılımı x ve ϖ ye bağlı olarak Denklem (4.22) deki elde edilir.

$$P = P_0 + \frac{\rho}{2}U_0^2$$

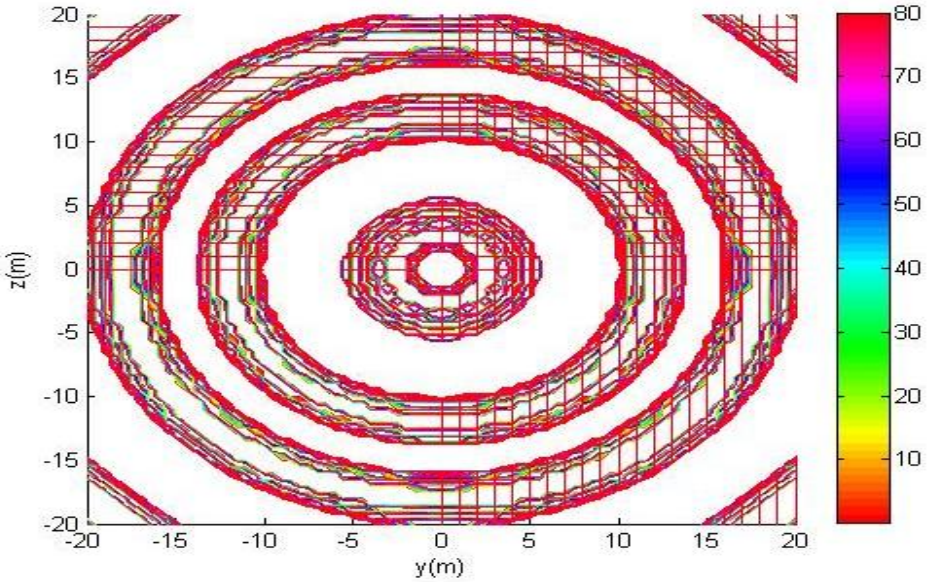
$$-\frac{\rho}{2}\left[\begin{array}{l}\lim\limits_{n\to\infty}\sum\limits_{\dot{I}=1}^{n}\left[\left(\frac{2m(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})^2\right)-3m(x-x(\dot{I}))^3}{\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})^2\right)^{\frac{5}{2}}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right] \\ +\lim\limits_{n\to\infty}\sum\limits_{\dot{I}=1}^{n}\left[\left(\frac{2m(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})^2\right)-3m(x-x(\dot{I}))^3}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC})^2\right)^{\frac{5}{2}}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right] \\ +\left[-\frac{Q}{4\pi a^2}\sum\limits_{i=1}^{\infty}\frac{\left(J_0^{''}(k_n\varpi)\right)}{.k_n.J_0^2(k_n a)}.e^{ix}\cosh(kx)\right]\end{array}\right]^2 \quad (4.22)$$

$$-\frac{\rho}{2}\left[\begin{array}{l}\lim\limits_{n\to\infty}\sum\limits_{\dot{I}=1}^{n}\left[\left(\frac{-3m\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})^2\right)^{\frac{1}{2}}\right)(x-x(\dot{I}))(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(i)_{dC})^2\right)^{\frac{5}{2}}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right] \\ +\lim\limits_{n\to\infty} \\ \sum\limits_{\dot{I}=1}^{n}\left[\left(\frac{-3m\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC})^2\right)^{\frac{1}{2}}\right)(x-x(\dot{I}))(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC})}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC})^2\right)^{3}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right] \\ +\frac{Q}{4\pi a^2}\sum\limits_{i=1}^{\infty}\frac{J_0^{'}(k_n\varpi)}{\varpi.k_n^2.J_0^2(k_n a)}.e^{ix}\sinh(kx)\end{array}\right]^2$$

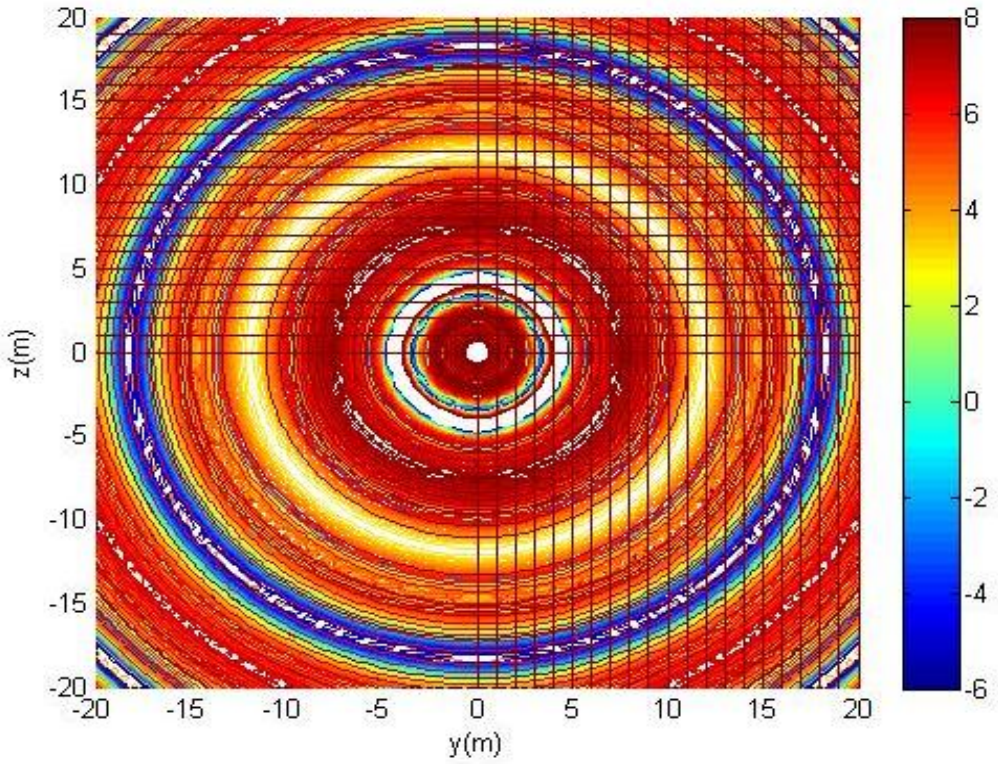
Hız ve hızın karesinin dağılımı Şekil 4.17a, …., 4.17e'de birlikte değerlendirilirse oyuklu Rankine ovoidinin tam önünde (A ve B noktaları) ve arkasında basınç en büyük değerine ulaşır. Buna göre en düşük basınç değeri hareket ekseni boyuna Oyuklu Rankine ovoidinin en geniş çapının olduğu orta kısımda C hizasında gerçekleşmektedir. Açık ortama göre burada boyuna tam orta hizasında daha da düşmektedir.



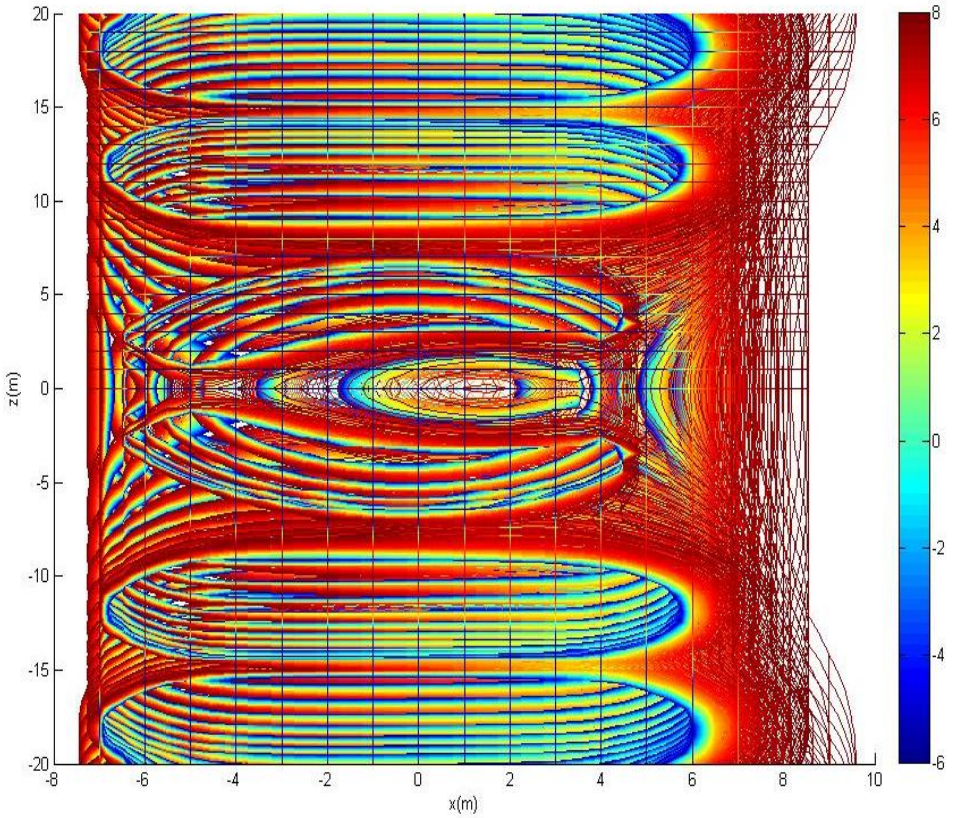
(a)



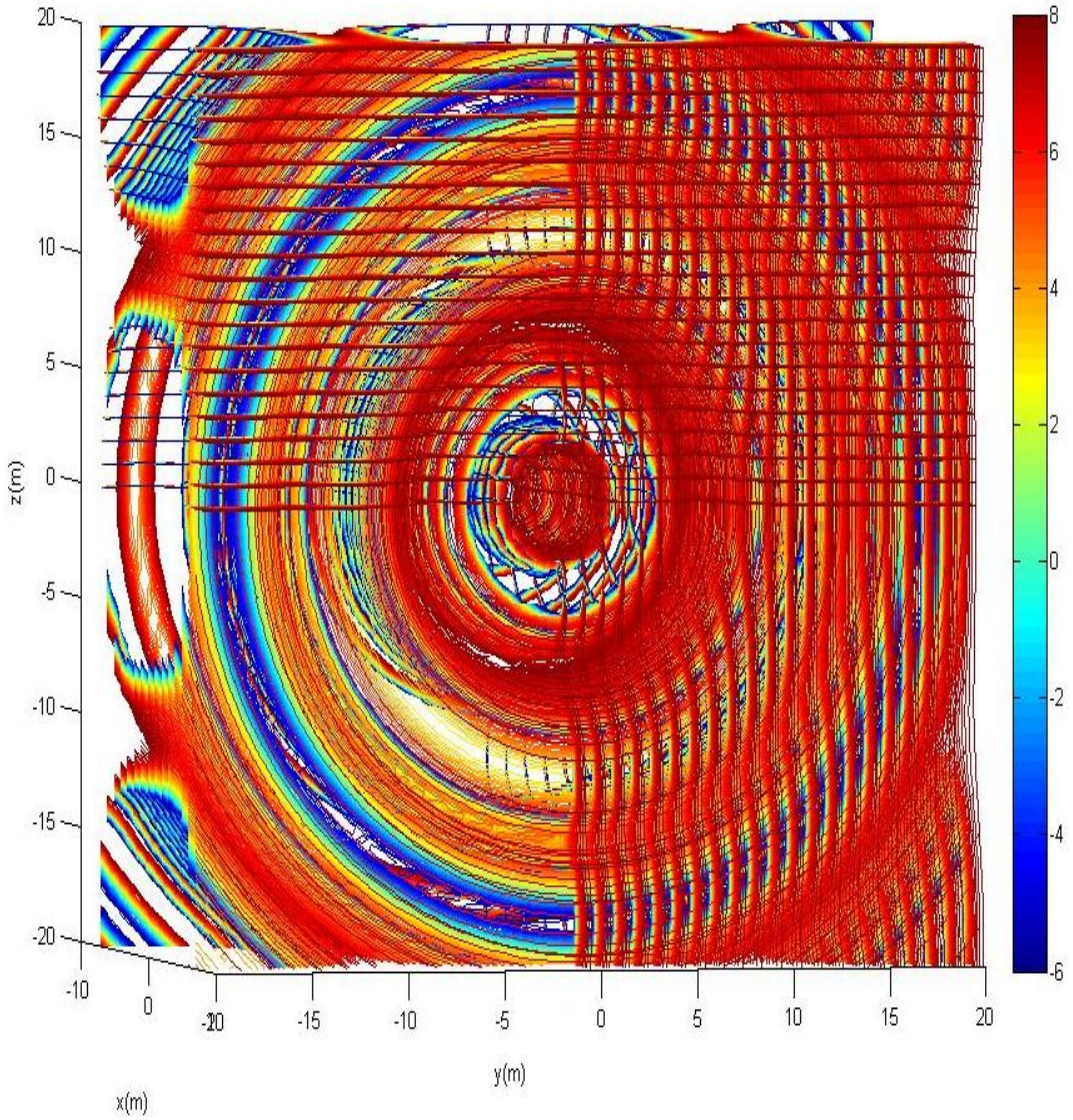
(b)


z(m)
y(m)
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20
8
6
4
2
0
-2
-4
-6

(c)


z(m)
x(m)
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-8 -6 -4 -2 0 2 4 6 8 10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6

(d)



(e)

Şekil 4.14. Tünel içinde Rankine ovoidi üzerindeki basınç dağılımının a) sıfır (0) basınç yüzeyi, b) sıfır (0) yz yüzeyi, c) yz basınç dağıımı, d) xz basınç dağılımı, e) hafif çaprazdan basınç dağılımı

4.3.3. Tünel içinde delikli Rankine ovoidi üzerindeki kuvvet dağılımı

Bir tünel içindeki oyuklu Rankine ovoid'i üzerindeki kuvvetin hesaplanabilmesi için gerekli olan basınç dağılımı Denklem (4.22) den yararlanılır ve $\psi = 0$ akım çizgisi kullanılarak hesaplanır. Delikli Rankine ovoidi üzerindeki kuvvet dağılımı denklem (4.23) gibi olur.

$$\vec{F} = \int_A P\vec{n}d\sigma = \iint P_0\vec{n}d\sigma + \iint U_0^2\vec{n}d\sigma$$

$$-\frac{\rho}{2}\left\{\left[\lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n}\left[\left(\frac{2m(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})^2\right)-3m(x-x(\dot{I}))^3}{\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})^2\right)^{\frac{5}{2}}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right]\right.\right.$$

$$+\lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n}\left[\left(\frac{2m(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})^2\right)-3m(x-x(\dot{I}))^3}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC})^2\right)^{\frac{5}{2}}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right]$$

$$\left.\left.+\left[-\frac{Q}{4\pi a^2}\sum_{i=1.k_n.J_0^2(k_n a)}^{\infty}\frac{\left(J_0''(k_n\varpi)\right)}{}.e^{ix}\cosh(kx)\right]\right]^2\right\}$$

$$+\left\{\left[\lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n}\left[\left(\frac{-3m\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})^2\right)^{\frac{1}{2}}(x-x(\dot{I}))(\varpi-\varpi(\dot{I})_{dC})}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(i)_{dC})^2\right)^{\frac{5}{2}}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right]\right.\right.$$

$$\left.\left.+\lim_{n\to\infty}\sum_{\dot{I}=1}^{n}\left[\left(\frac{-3m\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC})^2\right)^{\frac{1}{2}}(x-x(\dot{I}))(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC})}{\varpi\left((x-x(\dot{I}))^2+(\varpi-\varpi(\dot{I})_{DC})^2\right)^{3}}e^{i\alpha(\dot{I})}\right)\right]\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{Q}{4\pi a^2}\sum_{i=1\varpi.k_n^2.J_0^2(k_n a)}^{\infty}\frac{J_0'(k_n\varpi)}{}.e^{ix}\sinh(kx)\right]\right\}\vec{n}d\sigma \quad (4.23)$$

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; bir tünel içinde sabit veya hareketli akışkan ortamında, akışkan ile aynı veya ters yönde hareketli, oyuklu Rankine ovoidi hidrodinamiğinin incelenmesi analitik olarak yapılmıştır. Önce Boyut Analizi Yöntemi ile delikli Rankine ovoidinin tünel içindeki hareketi için, delikli Rankine ovoidine etki eden direncin bağlı olduğu direnç yasası ve benzerlik yasaları oluşturulmuştur. Delikli Rankine ovali ve delikli Rankine ovoidi biçimindeki tünel denizaltısının matematiksel modeli; katı cisim geometrisine ve etrafındaki akıma ait akım fonksiyonu, hız fonksiyonu, basınç ve kuvvet fonksiyonları potansiyel akım teorisi ile iki-boyutlu ve üç-boyutlu analitik olarak incelenmiştir.

Delikli Rankine ovali, Rankine ovali, alyuvar ve delikli alyuvar modelleri açık ve sınırlandırılmış akışkan ortamında hız, basınç dağılımları bulunmuş ve sınırlandırılmış akışkan ortamındaki (iki cidar arasında) eksenden kayma durumundaki kararlılıkları incelenmiş, sonrasında karşılaştırılmıştır.

Delikli Rankine ovoidi diğerlerine göre hareket doğrultusundaki basınç ve hacim yönünden daha avantajlıdır. Kararlılık ve hareket doğrultusundaki basınç yönünden ise delikli alyuvar modeli daha uygundur.

Seçilen sıra dışı geometri sayesinde (hareket ekseni boyunca Rankine ovoidinin içinde bir oyuğu bulunmaktadır) hareket doğrultusunda projeksiyon alanı azalmaktadır. Rankine ovoidinin projeksiyon alanın azalması, etki eden direnç kuvvetinin azalmasına sebep olacaktır. Boyut Analizi Yöntemi ile yapılan modellemede delikli Rankine ovoidi modelinin direnç kuvveti, geometriye, özellikle yoğunluğa ve dinamik viskoziteye bağlı olduğu görülmüştür. Katı cisim modelinde, dublelerin çok küçük olması ve akım hızının yüksek olması durumunda bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Dubleler arası uzaklık ve dublelerin şiddeti oluşan katı cisim cidarını etkilemektedir. Genel akım hızı yüksek ve dublelerin şiddeti küçük ise dubleler arası akım gerçekleşerek cidar bozulmaktadır. Dublelerin yüksek şiddete sahip olması durumunda, dubleler arasındaki etkileşim nedeni ile istenilen oyuk ve

tünel geometrisi gerçekleşmemektedir. Bu yüzden, aralığın sonsuz sayıda dubleyle doldurulması gerekmektedir, bunun için gerekli cidar denklemi dubleler kullanılarak katı cismin yüzey cidarının fonksiyonu olarak analitik yöntemle elde edilmiştir ve bu yüzey fonksiyonunun doğruluğu matlap programıyla ispatlanmıştır.

Zor görünen delikli Rankine ovoidi şeklindeki katı cisim geometrisi önce kaynak-kuyu ve genel akımla Rankine ovalinin sıfır çizgisi üzerinde dubleler ve genel akımla birleştirilerek ortada bir deliğin olması sağlanmış ve bu sisteme ait delikli Rankine ovalinin akım fonksiyonu analitik olarak bulunmuştur. Önce iki-boyutlu, sonra üç-boyutlu eksenel simetrik tünel denizaltı modeli oluşturulmuştur.

Bu çalışma sonunda elde edilen sonuçlardan biride deliksiz durumdaki Rankine ovali üzerinde etki eden eksenel basınç, delikli Rankine ovaline göre etkiyen basınçtan daha yüksek olduğu görülmüştür. Delik cidarı üzerinde yerleştirilen dublelerle dış yüzey cidarı üzerinde yerleştirilen dubleler aynı şiddette olması durumunda, oyuksuz halde kanal yüzeyine etkiyen basınç oyuklu halde cidara göre daha yüksektir. Bu yüzden, oyuk cidarı üzerindeki dublelerin şiddeti çok küçük olmalıdır.

Delikli Rankine ovoidinin hidrodinamiğinin analitiği (katı cisim modeli, akım, hız, basınç, kuvvet fonksiyonu) potansiyel akım teorisi yardımıyla analitik olarak elde edilmiştir. Delikli alyuyar ve delikli Rankine ovali uygulaması yapılmış ve elde edilen eğriler karşılaştırılmıştır. Delik çapı ve tünel çapının basınç dağılımına olan etkisi bulunmuştur.

Rankine Ovoidi geometrisi önce kaynak-kuyu ve genel akımla dış cidar yüzeyi elde edilmiştir. Ovoidin tam ortasında kaynak–kuyu yüzünden ilk başta delik açmak imkansız gibi görünmektedir. Oyuklu Rankine ovoidi için ilk önce kaynak-kuyu ve genel akımla iki-boyutlu dış yüzey eğrisi elde edilmiştir. Daha sonra ovalin dış yüzeyi üzerinde ve deliğin olduğu yerde dubleler yerleştirilmiştir. Buradan elde edilen delikli Rankine ovali dublelerle ve genel akımla eksenel simetrik üç-boyutlu oyuklu Rankine ovoidi ve etrafındaki akım hareketleri, hız, basınç, kuvvet alanları analitik olarak bulunmuştur. Matlab programı yardımı ile de geometriler ve bu geometrilere ait hız, basınç dağılımları gösterilmiştir. Bulunan oyuklu Rankine ovoidine ait akım fonksiyonu 3-boyutlu yüzey denklemini sağlamaktadır.

Bu, önce açık sistem için daha sonrada tünel içindeki hareketi için bulunmuştur ve tüm sistemin genel akım fonksiyonu elde edilmiştir. Bunu gerçekleştirirken, potansiyel akım teorisi süper pozisyon kullanılarak dubleler ve genel akım toplanmıştır. Tünel içindeki blokaj etkisi ve dubleler ile genel akımın etkileşimi nedeni ile oluşan ikincil akımlar potansiyel akım teorisiyle önlenebilir.

Yapılan bu analitik modelleme sayesinde; her türlü fonksiyondan ovoid modeli oluşturulabilir. İki-boyutlu sadece fonksiyonu değiştirilerek analitik olarak üç-boyutlu ovoidin akım, hız, basınç, kuvvet fonksiyonları rahatça bulunabilir. Bu açık akışkan ortamı, hemde kapalı (sınırlandırılmış) akışkan ortamı için uygulanabilir.

Eksenden uzaklaştıkça, yani duvara yakınlaştıkça Rankine ovoidi, delikli Rankine ovoidi, alyuvar, delikli alyuvar modellerinin hepsinin dengesinde basınçtan dolayı karasızlık ortaya çıkmaktadır. Bu kararsızlığa karşı önlem alınmalıdır. Bunun için denizaltıya simetrik 3-adet robot kolu, tünel denizaltı üzerinde 120°'lik açılarla yerleştirilerek basınç kararsızlığından çıkan eksenel kaymaya karşı duvarda tutunması sağlanabilir veya düşünülen cidar yüzeyi üzerinde 360^0 boyunca küçük açı aralıklarında pervaneler veya nozul sistemi kullanılabilir ve eksenel kaymanın önüne geçilebilir.

Delikli Rankine ovali, kan damarındaki alyuvar, delikli alyuvar ile karşılaştırıldığında duvara etkiyen basınç, kararlılık açısından dezavantajlar oluşsa da, kullanım ve hacim açısından avantajları daha fazla bulunmaktadır. Hareket doğrultusunda delikli Rankine ovoidi ve delikli alyuvar etki eden basınç, deliksiz durumdaki alyuvar ve deliksiz haldeki Rankine ovoidine göre daha azdır. Ayrıca delikli alyuvar geometrisi ıslak yüzey açısından daha fazladır. Kararlılık açısından oyuklu modife edilmiş Rankine ovoidi (İki-boyutlu alyuvarın üç-boyutlu silindirik hali) değerlendirilebilir. Sonsuz akışkan ortamında (açık akışkan ortamı), sınırlandırılmış akışkan ortamına göre cisim cidarına etkiyen basınç daha yüksek olacaktır. Eksi basınç vakum basıncıdır ve bunun için gerekli önlemler alınmalıdır. Kararlılık açısından, farklı geometriler karşılaştırıldığında (alyuvar, delikli alyuvar, Rankine ovoidi, oyuklu Rankine ovoidi) basınç dağılımlarından anlaşılacağı gibi alyuvar modeli diğer modellere göre daha avantajlı olduğundan tünel tipi denizaltı yapılırken bu model önerilebilir.

Potansiyel akımla yapılan tüm çözümler ideal akım için düşünüldüğünden, bundan sonraki çalışmalarda viskozite etkisinin göz önüne alınmasında, ayrıca laminer ve türbülanslı akım durumunun değerlendirilmesinde yarar görülmektedir.

Sistemde meydana gelen kararsızlığı ortadan kaldırmak için robot kolları ve nasıl olacağı üzerinde durulabilir. Bu sistemin deneysel çalışması hem açık akışkan ortamında, hemde sınırlandırılmış akışkan ortamında dairesel kesitli tüneller için yapılarak teorik elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla doğrulanması gerekmektedir.

Ayrıca seçilen geometri için, Rankine ovoidinin oyuğu içine pervanenin yerleştirilmesinin, modelin sevkini ne şekilde etkileyeceği, pervane verimi, pervanenin korumasına olan etkisi bundan sonraki çalışmalarda incelenebilir.

KAYNAKLAR

Allmendinger E. E., *Submersible vehicle systems design,* 4th ed., 1990, SNAME, Jarsey City, 1990.

Bell W. W., *Special Functions for scientist and Engineering,*Dover Publications, New York, 2003.

Bozkurt S., Potansiyel akım-sınır tabaka yaklaşımı ile kanat profili ve dizayn, İTÜ., Yüsek Lisans Tezi , İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991, 019412.

Blair A., Campbell R., Grant P. T., A submersible fish cage that can be rotated on the surface to remove biofouling and for other purposes, 1982, **29,** 177-184

Djerid H., Baraza M., Perin R., Harran G., Near wake turbulance properties around a circular cylinder at high Reynold number, *Flow and Turbulance and Cumbustion,* 2003, **71**, 19-33.

DSİ Genel Müdürlüğü, *Şanlıurfa Su Tünelleri verileri arşivi*, Ankara, 2007.

Durgun O., Kanallarda blokaj etkisinin belirlenmesi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora tezi, İstanbul, 1983, 002177

Emanuelle C., Rinaldo C. M., Cenceptual design of an auv equppied with a three degrees of freedom vectored thruster, *Journal of intellent and robotic systems*, 2004, **39**, 365-394.

Evans J. and Nahon M., Dynamics modeling and performance evaluation of an autonomous underwater vehicle, *Ocean Engineering*, 2004, **31**, 1835-1858.

Gencer A., Sınır Elemanları Yöntemi İle İki Boyutlu Potansiyel Dağılımının Hesaplanması, Yüksek Lisans, F.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2002, 116647.

Gilmanov A., Sotiropoulos F., A hybrid cartesian immersed body method for similating flows with 3D, geometrically complex, moving bodies, *Journal of Computituonal Physics,* 2005, **207**, 457-492.

Goel N. D., Gang F., A general and robotationally fast method for investigating incompressible flow, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 1994, **22,** 425-434.

Holzbecher B., *Erviromental Modeling Using MATLAB*, Springer, Newyork, 2007.

Hsu C. H., Liang C. C., Shiah S. W. and Jen C. Y., A study of stress concentration effect around penetrations on curved shell and failure modes for deep-diving submersible vehicle, *Ocean Engineering,* 2005, **32,** 1098-1121.

Huggins A., Packwood A. R., The optimum dimensions for a long-range, autonomous, deep- diving, underwater vehicle for oceanographic research, *Ocean Engineering, 1994*, ***21****, 45-56.*

Janson, Carl E., Potential flow panel method for calculattion of free surface flow with lift, *Doctor savhandlingar vid chalmers Tekniska Hogskola*, 1997, 1277.

Kauh J. S. and J. B. Suen A., 3D potential –based and designgularized high order panel method, *Ocean Engineering*, 2001, **28**, 1499-1516.

Lamb S. H., *Hydrodynamics*, 6th ed.,Dover Publication, London,1945.

Li J. H., Lee P. M., A neural network adaptive controller design for free-pitch-angle living behavior of an autonomous underwater vehicle, *Robotics and Autonomous Systems*, 2005, **52,** 132-147.

Liang C. C., Teng T.-L., Lai W.-H., A study of diving depth on deep-diving submersible vehicles, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, **75**, 1998, 447-457.

Liu Z., Xio Y., Tu C., Method to control unsteady force of submarine propeller based on the control of horseshoe vortex, *Journal of ship Research*, 2012, **56,** 12-22.

Madsen H. Ø., Christensen P., Lauridsen K., Securing the operational realibility of an autonomous mini- submarine, *Reliability Engineering & System Safety*, 2000, **68,** 7-16.

Mahfouz A. B. and Haddara M. R., Effect of the damping and excitation on the identification of the hydrodynamic parameters for an underwater robotic vehicle, *Ocean Engineering*, 2003, **30**, 1005-1025.

Milne-Thomson, L. M., *Theoretical Hydrodynamics*, 4th ed., Dover Publication, London, 1968.

Molenaar L. V., Applications of immersion technologies in underwater construction, *Tunnelling and Underground Space Technologies*, 1998, **3**, 353-358.

Morse P. M., *Feshbach, H. Methods of Theorical Physics*, Part II, McGraw-Hill Book Company, McGraw-Hill, New York, 1953.

Mraccek C. P., Kim M. J., Mook D. T., Three-Dimensional Potential Flow By A Vorticity- Panel Method, *Computers and Fluids*, 1992, **21,** 31-42.

Niazmand H. and Renksizbulut M., Surface effect on transient three-dimensional flow around a rotating at moderate Reynolds numbers, *Computer and Fluids*, 2003, **32**,1405-1433.

Ohring S. and Telste J., The direct matrix imbedding technique for computing three-dimensional potential flow about arbitrarily shaped bodies, *Computer methods in Applied Mechanics and Engineering*, 1980, **21,** 315-336.

Papoulias F. A., Bateman C. A., and Ornek S., Dynamic loss of stability in debth control of submersible vecihles, *Applied Ocean Research,* 1995, **17,** 205-216.

Perrault D., Bose N., Young S. O., Williams C. D., Sensitivity of AUV response to variations in hydrodynamic parameters, *Ocean Engineering*, 2003, **30,** 779-811.

Rapoport L., Rubin M. B., Seperation and velocity depence of drag forces applied to a rigid ovoid of Rankine nosed projectile penetrating an elastic-perfectly-plastic-target, *International Journal of Impact engineering*, 2009, **36,** 1012-1018

Reynolds T., Lomacky O., Krenzke M., Design and analysis of small submersible pressure hulls, 1973, **3**, 1125-1143.

Rong-quan C. (Marine Desing And Research Inst of China); Yi-gen C., Qi-xin S.,Zuo-gang C.,Investigation of free surface viscous flow around the ship by combination of Rankine source method with RANSFS.

Rubin M. B., Analytical formulas for penetration of a long rigid projectile including the effect of cavitation, *International Journal of Impact engineering*, 2012, **40-41,** 1-9.

Sabuncu, T., *Free Surface Hydrodynamics,* İ.T.Ü. Gemi İnş. ve Dz. Bil. Fakültesi, İstanbul, 2000.

Sabuncu, T., *Gemilerin Dalga Direnci Teorisi*, İ.T.Ü. Gemi Enstitüsü Bülten, **12,** İstanbul, 1980.

Sahin I. and Hyman M., Numerical calculation for the flow of submerged bodies under a free surface, *Journal of computituonal physics*, 1993, **20,** 339-347.

Sahin I., Hyman M. C. and Nguyen T. C., Three-dimensional flow around a submersible body in finite debth water, *Applied Mathematical Modelling*, 1994, **18,** 611-619.

Sahin I., Hyman M. and Nguyen T. C., Active control of flow over a sphere for drag reduction at a subcritical Reynolds number, *Applied Mathematical Modelling*, 1994, **18,** 611-619.

Selamoğlu S., *Fundamentals of Fluids Mechanics,* The Middle East Technical University, Ankara, 1988.

Sharp A. G., Sullivan J. R., A pendulum inclinometer for use with small deep-submersibles, *Ocean Engineering*, 1976, **3,** 157-158.

Streeter L. V., Wylie E. B., *Fluids mechanics*, 4th ed., Mc. Graw-Hill, New York, 1975.

Strutt J. W., Rayleigh B., *The Theory of Sound II,* 2nd ed., Dover Publucation, New York, 1944.

Szymzak W. G., Rogers J. C. W., Solomon J. M.and Berger A. E., A numerical algoritm for hydrodynamic free boundary problem, *Journal of computituonal physics*, 1993, **106,** 319-336.

Şaylan Ö., *Potential flow around three-dimensional arbitrary bodies*, İ.T.Ü. Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, 1980.

Thisilingiris, Design of a submersible low cost, flat response net radiometer, *Solar Energy*, 1993, **50,** 369-377.

Tsuji Y. Morikava Y. and Tereshima K., Fluid dynamics interaction between two sphere, *international Journal of Multipphase Flow*, 1982, **8,** 71-82.

URl_1:http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=-443716038&_sort=r&_st=4&_acct=C000038558&_version=1&_urlVersion=0&_userid=691171&md5=993c7a7603615eb448f15f994bae53bb&searchtype=a (Ziyaret tarihi :28.07.2004).

URL_2:http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=-443713662&_sort=r&_st=4&_acct=C000038558&_version=1&_urlVersion=0&_userid=691171&md5=3d4181e4fa84804b3e03846c20529718&searchtype=a (Ziyaret tarihi: 28 Temmuz 2005).

URL_3:http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiSearchURL&_method=requestForm&_ArticleListID=-443710634&_err=No%20results%20were%20found
Click%20the%20search%20tips%20link%20on%20the%20search%20form%20below%20for%20additional% (Ziyaret tarihi: 28 Temmuz 2005).

URL_4::http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=-443724043&_sort=r&_st=4&_acct=C000038558&_version=1&_urlVersion=0&_userid=691171&md5=2ec9c17c4b939ef72f1bf431b82c05dd&searchtype=a (Ziyaret tarihi: 11 Mart 2005).

URL-5: https://www.google.com.tr/?gws_rd=cr&ei=BK2PUo-HorMtAb3ooCACg#q=tunnel+submarines (Ziyaret tarihi: 28.12.2004).

URL-6: http://www.whoi.edu/marops/vehicles/alvin (Ziyaret tarihi: 20.03.2006).

Virgin L. N., Erickson B. K., A new approach to the over turning stability of floating stracture, *Ocean Engineering*, 1994, **21,** 67-80.

Wu J. and Chwang A. T., Investigation on a two part underwater maneuverable towed system, *Ocean Engineering*, 2001, **28,** 1070- 1096.

Wu J., Evans J., Nahon M., Dynamics modeling and performance evaluation of an autonomous underwater vehicle, *Ocean Engineering*, 2004, **31,** 1835-1858.

Wu J., Ye J., Yang C., Chen Y., Tian H. and Xiong X., Experimental study on a controllable underwater towed system, *Ocean Engineering-Oxford*, 2005, **32,** 1803-1817.

Xu Z., Chen X., Strurova IV., Surface characters of internal wawes generated by Rankine ovoid, *Acta Mechanica Sinica*, 2006, **22**, 417-423.

Xu Z., Li Q., Gorodtsov V. A., Wawe drag of rapidly and horizontally moving Rankine ovoid in uniformly stratified fluid, *Progress in Natural science- meterials international*, 2008, **18,** 723-727.

Xu Z., Zhou. X., Chen X., Drag increment deu to internal waves generated by Rankine ovoid, *Progress in Natural Science*, 2002, **12,** 849-853.

Yang C. I., Numerical Similation Three-dimensional Flow around a submersible body, *Fifth İnternational Conference On Numerical Ship Hydrodynamics,1990, 2-5* August,David Taylor Research Center P.M. Hartwich and P.Sundaram NASA Research Center.

Zubarev M. V., Laminar boundary layer on the moving surface of Rankine oval, *Fluid Dynamics*, 1984, 490-493.

Zungber M. D., Lee H. C., Global existance of weak solition for viscous incompressible flow around a moving rigid body in three dimensions, *Journal of Mathematical Fluid Mechanics*, 2000, **2,** 219-266.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Suner M.,** Uysal M., Soğutma sistemlerinde basınç kayıplarının analizi, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği,* 2006, **34**, 14-25.

[2] Salci A., **Suner M.**, Effect of Bilge geometries on resistance in diplacement boards ond importance fort he industry, *International Association of Maritime University, AGA-10,* Saint Petersburg, 2009.

[3] Kilic A., **Suner M.**, Operational and environmental costs of a certain ship due to the possible energy losses on board, *Global Conference on Global Warming***,** 11-14 July, Lizboa, Portugal, 2011.

[4] **Suner M.,** B. Onur., Prevention of Cavitations on Board, *Global Conference on Global Warming***,** 8-11 July, Istanbul, Turkey, 2012.

[5] Kırval L., **Suner M.,** Titus Tüneli ve Seleucia Pieria Antik Kenti ve Limanı (geçmişten kalma örnek bir başarı öyküsü), *Türkiye'nin Kıyıları ve Deniz Yapıları IX Konferansı,* 14-17 Kasım, Antakya, Türkiye, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Antakya'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antakya'da tamamladı. 1995 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Denizli Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1995-2007 Kocaeli Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak görev yaptı. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünden Makine Yüksek Mühendisi olarak mezun oldu. 2007 Yılında İTÜ Denizcilik Fakültesi Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği bölümünde öğretim görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı yerde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.