T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BATIK HİDROLİK SIÇRAMA KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL DENEYLERLE BELİRLENMESİ

Mehmet KÖSEN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2023

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BATIK HİDROLİK SIÇRAMA KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL DENEYLERLE BELİRLENMESİ

Mehmet KÖSEN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
3. MATERYAL ve YÖNTEM 14
3.1. Materyal 14
3.2. Yöntem 17
3.2.1. Sayısal modelleme 17
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 21
4.1. Sayısal Model Sonuçları 21
4.1.1. Durum 1.a için sayısal model sonuçları 21
4.1.2. Durum 1.b için sayısal model sonuçları 24
4.1.3. Durum 1.c için sayısal model sonuçları 28
4.1.4. Durum 1.d için sayısal model sonuçları 32
4.1.5. Durum 1.e için sayısal model sonuçları 35
4.1.6. Durum 1.f için sayısal model sonuçları 37
4.1.7. Durum 1.g için sayısal model sonuçları 41
4.1.8. Durum 1.h için sayısal model sonuçları 44
4.1.9. Durum 2.a için sayısal model sonuçları 48
4.1.10. Durum 2.b için sayısal model sonuçları 51
4.1.11. Durum 2.c için sayısal model sonuçları 55
4.1.12. Durum 2.d için sayısal model sonuçları 58
4.1.13. Durum 3.a için sayısal model sonuçları 62
4.2. Sınır Tabakası Bölgesi Özellikleri 66
4.2.1. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.a) 67
4.2.2. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.b) 68
4.2.3. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.c) 70
4.2.4. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.d) 71
4.2.5. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.e) 73
4.2.6. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.f) 74
4.2.7. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.g) 76
4.2.8. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.h) 77
4.2.9. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 2.a) 79
4.2.10. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 2.b) 81
4.2.11. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 2.c) 82
4.2.12. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 2.d) 84
4.2.13. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 3.a) 86
4.3. Enerji Kayıpları 88
4.3.1. Durum 1 için enerji kayıpları 88
4.3.2. Durum 2 için enerji kayıpları 89
4.3.3. Durum 3 için enerji kayıpları 90
4.4. Batık Hidrolik Sıçrama Karakteristik Özellikleri 91
4.5. Sayısal Model Sonuçlarının Ampirik Förmüllerle Karşılaştırılması 99
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 103
KAYNAKLAR 105
ÖZGEÇMİŞ 108
EKLER 109
EK 1: Durum 1.a İçin Sayısal Model Sonuçları 109

EK 2: Durum 1.b İçin Sayısal Model Sonuçları 110
EK 3: Durum 1.c İçin Sayısal Model Sonuçları 111
EK 4: Durum 1.d İçin Sayısal Model Sonuçları 117
EK 5: Durum 1.e İçin Sayısal Model Sonuçları 119
EK 6: Durum 1.f İçin Sayısal Model Sonuçları 121
EK 7: Durum 1.g İçin Sayısal Model Sonuçları 123
EK 8: Durum 1.h İçin Sayısal Model Sonuçları 125
EK 9: Durum 2.a İçin Sayısal Model Sonuçları 127
EK 10: Durum 2.b İçin Sayısal Model Sonuçları 128
EK 11: Durum 2.c İçin Sayısal Model Sonuçları 132
EK 12: Durum 2.d İçin Sayısal Model Sonuçları 140
EK 13: Durum 3.a İçin Sayısal Model Sonuçları 146

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BATIK HİDROLİK SIÇRAMA KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL DENEYLERLE BELİRLENMESİ

Mehmet KÖSEN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Oğuz ŞİMŞEK
Yıl: 2023, Sayfa:151

Batık hidrolik sıçrama genellikle kayar kapak veya dolusavak sonrası mansap su derinliğine bağlı olarak oluşan bir olaydır. Hidrolik sıçramanın karakteristik özelliklerinin bilinmesi, düşüm havuzu uzunluğunun ve koruyucu önlemlerin belirlenmesi için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, literatürde bulunan farklı memba ve mansap kapak yükseklikleri ve akım koşulları için deneysel olarak ölçülmüş batık hidrolik sıçramanın sayısal modellemesi yapılmıştır. Sayısal modellemede, batık hidrolik sıçramanının hareketini idare eden temel denklemler ANSYS-Fluent paket programı aracılığıyla sonlu hacimler yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Temel denklemlerde bilinmeyen olarak bulunan türbülans gerilmelerinin modellenmesinde, Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) tabanlı Reynolds Gerilme modeli ve serbest su yüzü profilinin belirlenmesinde ise akışkan hacimleri yöntemi kullanılmıştır. Sayısal modellemede elde edilen batık hidrolik sıçramanın karakteristik özellikleri deneysel bulgular ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, elde edilen bulgular hesaplamalı akışkanlar dinamiğine dayalı yöntemlerin batık hidrolik sıçramayı başarılı bir şekilde modellediğini göstermiştir. Sayısal modelleme sonucunda elde edilen akım çizgileri, dinamik basınç, türbülans kinetik enerjisi ve bileşke hıza ait desenler değerlendirilmiştir. Bunun yanında, batık hidrolik sıçramanın karakteristik özellikleri detaylıca analiz edilmiştir. Ayrıca, elde edilen bulgular farklı araştırmacılar tarafından ampirik olarak önerilen denklemler ile de hesap edilerek sayısal model sonuçları doğrulanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Batık hidrolik sıçrama, sıçrama karakteristikleri, Reynolds gerilme modeli, akışkan hacimleri yöntemi

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF SUBMERGED HYDRAULIC JUMP CHARACTERISTICS BY NUMERICAL EXPERIMENTS

Mehmet KÖSEN

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Oğuz ŞİMŞEK
Year: 2023, Page:151

Submerged hydraulic splash is an event that usually occurs depending on the downstream water depth after a slide gate or spillway. Knowing the characteristics of the hydraulic jump is very important for determining the length of the drop pool and protective measures. In this study, numerical modeling of the experimentally measured submerged hydraulic jump was performed for different upstream and downstream valve heights and flow conditions found in the literature. In numerical modelling, the basic equations governing the motion of the submerged hydraulic jump are solved using the finite volume method using the ANSYS-Fluent package program. The Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) based Reynolds Stress model was used in the modeling of the turbulent stresses, which are found as unknowns in the basic equations, and the fluid volumes method was used in the determination of the free water surface profile. Characteristics of submerged hydraulic jump obtained in numerical modeling were compared with experimental findings. As a result of the comparison, the obtained findings showed that computational fluid dynamics based methods successfully model submerged hydraulic jump. The patterns of streamlines, dynamic pressure, turbulent kinetic energy, and resultant velocity obtained as a result of numerical modeling were evaluated. In addition, the characteristics of submerged hydraulic jump were analyzed in detail. In addition, the obtained findings were calculated with the empirically suggested equations by different researchers, and the numerical model results were verified.

KEYWORDS: Submerged hydraulic jump, jump characteristics, Reynolds stress model, volume of fluid method

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmama başladığım günden bugüne kadar tüm aşamada bilgisini ve tecrübesini benden esirgemeyen kıymetli hocalarım Sn. Doç. Dr. Oğuz ŞİMŞEK'e ve Doç. Dr. Veysel Gümüş'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Hayatımın her anında olduğu gibi tez çalışmalarım sırasında da maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen canım eşim ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. 1. Batmış ve serbest hidrolik sıçramanın geometrisi 2
Şekil 4. 1. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.a)..... 22
Şekil 4. 2. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.a)..... 22
Şekil 4. 3. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.a) 23
Şekil 4. 4. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.a) 24
Şekil 4. 5. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.b)..... 25
Şekil 4. 6. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.b)..... 26
Şekil 4. 7. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.b)..... 27
Şekil 4. 8. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.b) 28
Şekil 4. 9. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.c)..... 29
Şekil 4. 10. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.c)..... 30
Şekil 4. 11. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.c) 31
Şekil 4. 12. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.c) 31
Şekil 4. 13. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.d)..... 32
Şekil 4. 14. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.d)..... 33
Şekil 4. 15. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.d) 34
Şekil 4. 16. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.d) 34
Şekil 4. 17. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.e)..... 35
Şekil 4. 18. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.e)..... 36
Şekil 4. 19. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.e) 36
Şekil 4. 20. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.e) 37
Şekil 4. 21. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.f) 38
Şekil 4. 22. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.f) 39
Şekil 4. 23. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.f)..... 40
Şekil 4. 24. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.f)..... 41
Şekil 4. 25. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.g)..... 42
Şekil 4. 26. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.g)..... 43
Şekil 4. 27. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.g) 43
Şekil 4. 28. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.g) 44
Şekil 4. 29. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.h)..... 46
Şekil 4. 30. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.h)..... 46
Şekil 4. 31. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.h) 47
Şekil 4. 32. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.h) 47
Şekil 4. 33. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 2.a)..... 48
Şekil 4. 34. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 2.a)..... 49
Şekil 4. 35. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 2.a) 50
Şekil 4. 36. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 2.a) 51
Şekil 4. 37. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 2.b)..... 52
Şekil 4. 38. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 2.b)..... 53
Şekil 4. 39. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 2.b) 54
Şekil 4. 40. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 2.b) 55
Şekil 4. 41. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 2.c)..... 56
Şekil 4. 42. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 2.c)..... 57
Şekil 4. 43. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 2.c) 57
Şekil 4. 44. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 2.c) 58
Şekil 4. 45. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 2.d)..... 59
Şekil 4. 46. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 2.d)..... 60
Şekil 4. 47. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 2.d) 61
Şekil 4. 48. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 2.d) 62
Şekil 4. 49. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 3.a)..... 63
Şekil 4. 50. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 3.a)..... 64
Şekil 4. 51. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 3.a) 65
Şekil 4. 52. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 3.a) 66

Şekil 4. 53. Batık hidrolik sıçramada sınır tabakası bölgesi 66
Şekil 4. 54. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.a) 67
Şekil 4. 55. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.a) 68
Şekil 4. 56. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.b) 69
Şekil 4. 57. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.b) 69
Şekil 4. 58. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.c) 70
Şekil 4. 59. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.c) 71
Şekil 4. 60. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.d) 72
Şekil 4. 61. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.d) 72
Şekil 4. 62. U_{mak}/U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.e) 73
Şekil 4. 63. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.e) 74
Şekil 4. 64. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.f) 75
Şekil 4. 65. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.f) 75
Şekil 4. 66. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.g) 76
Şekil 4. 67. δ/Y1'in X/Y1 ile değişimi (Durum 1.g) 77
Şekil 4. 68. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.h) 78
Şekil 4. 69. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.h) 79
Şekil 4. 70. U_{mak}/U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.a) 80
Şekil 4. 71. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.a) 80
Şekil 4. 72. U_{mak}/U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.b) 81
Şekil 4. 73. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.b) 82
Şekil 4. 74. U_{mak}/U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.c) 83
Şekil 4. 75. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.c) 84
Şekil 4. 76. U_{mak}/U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.d) 85
Şekil 4. 77. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.d) 86
Şekil 4. 78. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 3.a) 87
Şekil 4. 79. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 3.a) 88
Şekil 4. 80. Rölatif enerji kayıplarının Fr_1 ile değişimi (Durum 1) 89
Şekil 4. 81. Rölatif enerji kayıplarının Fr_1 ile değişimi (Durum 2) 90
Şekil 4. 82. Rölatif enerji kayıplarının Fr_1 ile değişimi (Durum 3) 91
Şekil 4. 83. Rölatif geri dönüş bölgesi uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 1) 92
Şekil 4. 84. Rölatif hidrolik sıçrama uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 1) 93
Şekil 4. 85. Rölatif vena kontrakta noktası uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 1) 94
Şekil 4. 86. Rölatif geri dönüş bölgesi uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 2) 95
Şekil 4. 87. Rölatif hidrolik sıçrama uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 2) 96
Şekil 4. 88. Rölatif vena kontrakta noktası uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 2) 96
Şekil 4. 89. Rölatif geri dönüş bölgesi uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 3) 97
Şekil 4. 90. Rölatif hidrolik sıçrama uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 3) 98
Şekil 4. 91. Rölatif vena kontrakta noktası uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 3) 99
Şekil 4. 92. Batık hidrolik sıçrama uzunluklarının karşılaştırılması 102

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3. 1. Akım ve hidrolik sıçrama özellikleri 15
Çizelge 4. 1. Geri dönüş bölgesine ait karşılaştırma kriterleri 101

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ε	Türbülans kinetik enerji kaybı
Fr_1	Kapak altı Froude sayısı
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
TKE	Türbülans kinetik enerji
L_{sr}	Batık hidrolik sıçramanın geri dönüş bölgesi(roler) uzunluğu
L_{sj}	Batık hidrolik sıçrama uzunluğu
Q	Debi
$\overline{P}$	Zamansal ortalama basınç
ρ	Akışkan yoğunluğu
RSM	Reynolds gerilme modeli
S	Rölatif batıklık oranı
$\overline{u}$	x doğrultusundaki ortalama zamansal hız bileşeni
U	x doğrultusundaki hız
U_{max}	Maksimum hız
U_1	Akımın kayar kapak altı hızı
$\overline{v}$	y doğrultusundaki ortalama zamansal hız bileşeni
VOF	Akışkan hacmi yöntemi (Volume of Fluid)
ω	Türbülans kinetik enerji özgül kayıp oranı
μ	Akışkanın dinamik viskozitesi
μ_t	Türbülans viskozitesi
τ_{ij}	Türbülans (Reynolds) gerilmelerini
Y_{mak}	Maksimum hızın gerçekleştiği yükseklik
Y_1	Kayar kapak açıklığı
Y_2	Serbest sıçramada mansap derinliği
Y_3	Batmış sıçramada kapak önü derinliği
Y_4	Batmış sıçramada mansap derinliği
Y_5	Mansap kapak yüksekliği
Y_v	Vena kontrakta bölgesi yüksekliği

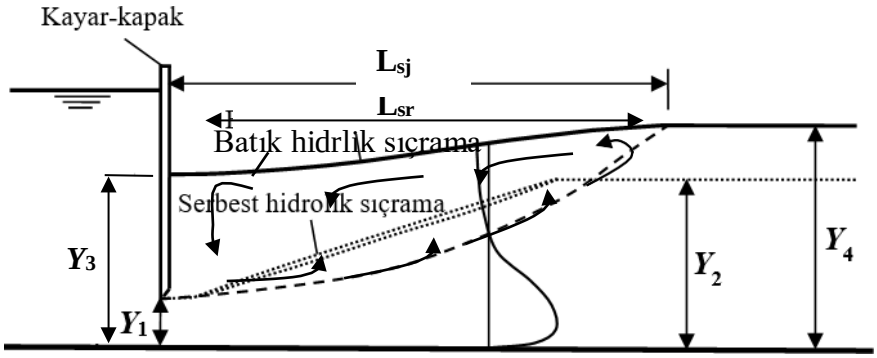
1. GİRİŞ

"Barajlar, su kaynaklarından enerji üretimi, sulama ve içme suyu temini gibi çeşitli amaçlar için inşa edilen hidrolik yapılardır. Baraj yapısının elemanlarından olan baraj gövdesi; akarsu yatağını tamamen kapatarak su akışını engelleyerek suyun baraj rezervuarında depolanmasını sağlamak üzere inşa edilir iken, barajın güvenliğini sağlayan dolusavaklar taşkın anında veya baraj haznesinin depolama kapasitesinden fazla gelen suyun membadan mansaba aktarılmasında görev almaktadır" (Şimşek ve ark., 2021).

"Dolusavak şüt kanalı aracılığıyla memba bölgesinden mansap bölgesine aktarılan su, memba ve mansap arasındaki kot farkından dolayı dolusavak topuk noktasında aşırı hıza sahip olmaktadır. Yüksek hızla mansap bölgesindeki yatağa ulaşan akım, topuk bölgesinde oyulmalara ve aşınmalara neden olarak baraj dolusavak yapısının stabilizesini riske etmektedir. Bu olumsuz durumların yaşanmaması için akımın enerjisinin sönümlenmesi (nehir rejimine dönüşmesi) gerekmektedir. En etkili enerji sönümleme yolu, akımın enerji kırıcı tesis içerisinde hidrolik sıçrama sürecinden geçmesini sağlamaktır. Buradan da görüleceği üzere hidrolik sıçramanın oluşması için enerji kırıcı yapıların tasarımı oldukça önemlidir" (Şimşek ve ark., 2021).

"Dolusavak mansap bölgesinde enerji kırıcı tesislerin yanında, açık kanal akımlarında su seviyesini ve akımı kontrol etmek üzere inşa edilen kayar kapakların mansap su derinliğinin fazla olması durumunda akımın enerjisinin bir miktarını korumak için akım hidrolik sıçrama gerçekleştirmek zorunda kalmaktadır. Hidrolik sıçrama sürecinde, akım içerisine fazla miktarda hava karışmakta ve türbülans oluşmaktadır. Hidrolik sıçrama, mansap bölgesindeki akım derinliğine bağlı olarak batık veya serbest hidrolik sıçrama olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 1.1.). Mansap su derinliğinin, hidrolik sıçrama sonrası oluşan eşlenik derinlikten (Y_2) büyük olması durumunda, sıçrama kapak veya dolusavak şüt kanalına ulaşmakta ve enerji sönümleme miktarının, sıçrama ve geri dönüş bölgesi uzunluğunun serbest hidrolik sıçramaya kıyasla daha küçük olduğu batık hidrolik sıçrama oluşmaktadır. Mansap su derinliğinin, hidrolik sıçrama sonrası su derinliğinden eşit veya bu derinlikten daha küçük olması durumunda ise serbest hidrolik sıçrama oluşmaktadır" (Şimşek ve ark.,

2021). Batık hidrolik sıçrama, çoğunlukla kayar kapak veya dolusavak yapısından sonra yaşanan bir hidrolik olaydır. Kayar kapaklar aracılığıyla kapak memba bölgesinde su alma yapılarının alma koduna kadar suyun yükselmesi sağlanır. Kapak altı bölgesinden mansap bölgesine aktarılan su kapak altında oldukça yüksek hızlara sahip olmaktadır. Şekil 1.1.'de bulunan, Y_1 kapak açıklığını (hidrolik sıçrama öncesi akım derinliğini), Y_2 serbest sıçrama durumunda mansap derinliğini, Y_4 batmış sıçramanın mansap derinliğini, Y_3 batmış sıçramada kapak önü su derinliğini, L_{sr} batık hidrolik sıçramanın geri dönüş bölgesi (roler) uzunluğunu ve L_{sj} ise batık hidrolik sıçramanın uzunluğunu ifade etmektedir.



Şekil 1. 1. Batmış ve serbest hidrolik sıçramanın geometrisi

"Hidrolik sıçrama karmaşık akım yapısına sahip olmasından dolayı birçok araştırmaya konu olmuş ve yapılan çalışmalarda hidrolik sıçrama sürecinde meydana gelen enerji kayıpları, hidrolik sıçrama uzunluğu ve türbülans karakteristikleri, fiziksel modeller ile deneysel olarak araştırılmıştır" (Long ve ark., 1990; Hager ve ark., 1990; Varol ve ark., 2009; Yousefi ve ark., 2019; Şimşek ve ark., 2021). Bunun yanında, son yıllarda elektronik cihazlarda ve bilgisayar teknolojisinde meydana gelen gelişmelerle beraber birçok alanda sayısal modelleme tekniklerinin kullanımı yaygınlaşmıştır (Şimşek ve ark., 2021; Gumus ve ark., 2016). Hidrolik alanında da birçok akım probleminin çözümünde, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) tekniklerine dayalı sayısal modelleme programlarının kullanımı yaygınlaşmıştır(Akoz ve ark., 2019). Her ne kadar bu programların kullanımı artsa da, sayısal modellemeler üzerinde bir çok değişkenin etki ettiği sayısal modelleme programlarını kullananlar tarafından bilinmektedir. Sayısal modelleme sonuçlarının güvenirliliğinin arttırılması için

deneysel model sonuçlarıyla doğrulanması gerekmektedir. Sayısal modellemelerde, akımın hareketini idare eden temel denklemlerin (süreklilik ve momentum) çözümünde farklı yaklaşımlar ile bilinmeyen sayısı azaltılarak temel denklemlerin çözümü mümkün olmaktadır. Momentum denklemi içinde bilinmeyen olarak bulunan türbülans gerilmelerinin hesabında türbülans modelleri kullanılmaktadır. İki fazlı akışının söz konusu olduğu batık hidrolik sıçramının sayısal modellenmesinde su ile havanın arakesitinin belirlenmesi de gerekmektedir. Su-hava arakesitinin belirlenmesinde akışkan hacimleri yöntemi (Volume of Fluid-VOF) oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Sayısal modellerin oldukça sık tercih edilmelerinde, fiziksel modellere kıyasla daha az insan gücüne ihtiyaç duymaları, deney düzenekleri kadar büyük fiziksel ortama ihtiyaç duymamaları ve akımla ilgili oldukça fazla karakteristik özelliğin elde edilmesinde özel ekipman gerektirmemeleri etkin rol oynamaktadır. Ayrıca, fiziksel modellere kıyasla sayısal modeller farklı akım ve yapı koşulları için herhangi bir yeni bir kaynaga ihtiyaç duyulmadan tekrar edilme avantajı bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Yoluk (2021), tarafından laboratuvar ortamında ölçülen içerisinde batık hidrolik sıçrama gerçekleşen açık kanal akımı deneylerle aynı koşullar altında sayısal olarak modellenmiştir. Akımının hareketini yöneten temel denklemler (süreklilik ve momentum), ANSYS- Fluent paket programı yardımıyla iki boyutlu olarak çözülmüştür. Su yüzü profilinin sayısal olarak belirlenmesinde Akışkan Hacimleri Yöntemi ve türbülans viskozitesinin sayısal modellenmesinde ise Gumus ve ark. (2016), tarafından farklı koşullar altında oluşan batık hidrolik sıçramanın sayısal modellemesinde başarılı olduğu belirlenen Reynolds Gerilme Modeli (Reynolds Stress Model-RSM) kullanılmıştır. Farklı batıklık oranlarında oluşan hidrolik sıçramanın RSM modeli kullanılarak sayısal olarak elde edilen akım çizgileri, bileşke hız, türbülans kinetik enerjisi, dinamik basınç desenleri ve batık sıçrama karakteristikleri çok farklı akım durumunda değerlendirilmiştir. Ayrıca, sayısal modelleme sonucunda elde edilen hidrolik sıçramanın karakteristik özellikleri literatürdeki ampirik denklemlerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Batık hidrolik sıçramanın deneysel ve sayısal olarak modellenmesinin ve analizinin araştırıldığı çalışmalar incelenmiş olup bu çalışmalara ait özetler aşağıda sunulmuştur.

Hager ve ark. (1990), tarafından kapsamlı deneysel ölçümlere dayanarak, klasik hidrolik sıçramada geri dönüş bölgesi uzunluğunun kesin bir tanımı yapılmıştır. Gelişmiş ve gelişmemiş roler akışı arasında ayrım yapılmış ve ikincil uzunluk ölçümleri ihmal edilmiştir. Üç farklı kanalda yürütülen dört farklı deney seti, batık hidrolik sıçramanın uzunluğunun belirlenmesi için yeterli olduğu bildirilmiştir. Hidrolik sıçramanın karakteristiklerinin hesabında sıçrama öncesi kesitin özelliklerine dayalı ilişkiler önerilmiştir.

Afzal ve Bushra (2002), türbülanslı hidrolik sıçramanın eksenel akış yapısı analiz etmişler ve değişken kesitli bir kanal için geçerli olan genel denklem önermişlerdir. Hidrostatik basınç dağılımına maruz kalan iki boyutlu sabit sıkıştırılamaz akımda ortalama türbülanslı hareketin Reynolds denklemlerine dayanarak, değişken kesit alanlı bir kanal üzerindeki derinlik ortalamalı akışın integral denklemleri elde edilmiştir. Atalet, basınç gradyanı ve derinlik ortalamalı normal Reynolds geriliminin baskın rol oynadığı bir integral yöntemi geliştirilmiştir. Derinlik ortalamalı normal Reynolds geriliminin varyasyonu için türbülans kapatma modeli, sabit girdap viskozitesinin ve eksenel mesafeye göre derinlik ortalamalı eksenel hızın gradyanının ürünü olarak ifade edilmiştir. Trapez kanalda, hidrolik sıçramanın yüzey profili ve eksenel uzunluğu için kapalı form çözümü elde edilmiştir. Teorik sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırılış ve uyumun oldukça yüksek olduğu belirtilmiştir. Teori, sabit bir değerden daha büyük olan F için, yüzey profilinin, değişkenlerin uygun şekilde boyutlandırılmamış olması koşuluyla, sınırlayıcı bir evrensel çözüme yaklaştığını göstermiştir. Ayrıca, çalışma sonucunda roler uzunluğuna ilişkin mevcut tahminler, dikdörtgen ve üçgen kanallardaki deneysel verilerle de desteklenmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Nasrabadi ve ark. (2012), tarafından dikdörtgen bir kanalda batık hidrolik sıçramanın özellikleri üzerinde, askıdaki sediment konsantrasyonunun etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Deneysel çalışmayı, %0.43-16.15 sediment konsantrasyonlarında ve jet akımnın Froude sayısının 1.9-5 aralığında değiştiği akım koşullarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 0.15 ve 0.03 mm (ρ_s=2.65 g/cm^3) olmak üzere iki tane boyuta sediment kullanılmıştır. Kapaktaki batma derinliği, batık hidrolik sıçramanın uzunluğu, enerji kaybı, hız ve konsantrasyon dağılımı dahil olmak üzere batık hidrolik sıçramanın özellikleri hem düz hem de pürüzlü yataklarda incelenmiştir. Sonuçlar, batma derinliğinin ve enerji yayılımının sediment konsantrasyonundan bağımsız olarak sabit olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, asılı sediment varlığında, batık hidrolik sıçramanın uzunluğu, temiz su akışının uzunluğundan daha küçük dolduğu belirlenmiştir. Askıda kalan sedimentin, maksimum akış hızındaki azalmanın bir sonucu olarak akış direncini arttırdığı da tespit edilmiştir.

Helal ve ark. (2020), hidrolik sıçrama öncesi kesitte Froude sayısının (Fr_1) 2.2 ile 6.06 arasında değiştiği akım koşulları için batık hidrolik sıçramada yatak su jeti akımını sayısal modellemişlerdir. Batık hidrolik sıçrama akımına ait süreklilik, enerji ve momentum denklemlerinin çözümü için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemlerinden yararlanılmıştır. Batık hidrolik sıçrama bulunan açık kanal akımının serbest su yüzü profilini belirlemede akışkan hacimleri (Volume of Fluids-VOF) yöntemi kullanılmıştır. Türbülans gerilmelerinin modellenmesinde RANS tabanlı kayma gerilmesi taşınımı (Shear Stress Transport-SST k-ω) türbülans modeli kullanılmıştır. SST türbülans modeli kullanılarak elde edilen hız profilleri deneysel ölçümlerle karşılaştırılmış ve profillerin birbiriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Modellemeden elde edilen sonuçlar, jetsiz sisteme kıyasla, yataklı durumunda batık hidrolik sıçramanın verimliliğinin % 85.4'e kadar artırdığı ve batık hidrolik sıçramanın uzunluğunu ise % 59'a kadar azalttığını göstermiştir.

Şimşek (2006), tarafından bir hidrolik sıçramanın temel karakteristikleri üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak için, farklı boylamsal aralıklara ve düzenlemelere sahip prizmatik pürüzlülük elemanları dikdörtgen bir kanalda test edilmiştir. Değişen düzenlemelerle iki temel pürüzlülük tipi oluşturulmuştur. Birinci tipteki pürüzlülük elemanları, farklı düzenlemeler için değişen uzunluk ve adım

oranları ile akışa karşı kanal genişliği boyunca uzanırken, ikinci tipte kademeli temel ve ilk tipte tanımlanan pürüzlülük elemanlarının uzunlukları eşit olan üç parçaya birleştirilmesiyle üretilmiştir. Yanlardaki parçalardan oluşan ikili, ardışık iki pürüzlülük sırasının kanal açıklığını tamamen sarmalaması için sonraki sıraya kaydırılmıştır. Bu düzenlemenin kanal boyunca tekrarlanması ile kademeli pürüzlülük tipi oluşturulmuştur. Tip düzenlemelerinden bağımsız olarak, pürüzlülük elemanlarının tamamı, kanal girişi ile aynı hizada olan pürüzlülük elemanlarının tepelerinin oyuklara daha az maruz kalacağı varsayımına dayalı olarak, akışa çıkıntı yapmalarını önlemek için kanal yatağına gömülmüştür. Bu yatak düzenlemeleriyle oluşan hidrolik sıçrama değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, hem sınır hem de kademeli pürüzlülüğün hidrolik sıçrama özelliklerine olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir. Kaba yataklardaki sıçramalarda klasik hidrolik sıçramalara göre % 3-7 daha fazla enerji kaybı gözlenmiştir. Mansap suyu derinliğinde azalma için şerit pürüzlülüğü % 5-13 sağlarken, kademeli pürüzlülük klasik hidrolik sıçramaya kıyasla mansap suyu derinliğinde % 7-15 azalmaya yol açtığı vurgulanmıştır.

Long ve ark. (1990), rölatif batıklık oranının (S) 0.20 ila 1.70 arasında ve Froude sayısının 3.0, 5.5 ve 8 olduğu durumda sabit genişliğe sahip yatay bir dikdörtgen kanaldaki batık hidrolik sıçramanın akım alanını Lazer Doppler Anemometrisini (LDA) kullanarak ölçmüşlerdir. LDA ile akımla ilgili hidrolik özelliklerin yanında, türbülans çalkantılarına bağlı olarak gerilmeleri hesap etmişlerdir. Farklı durumlarda oluşan batık hidrolik sıçramanın önemli akış özellikleri tartışılmış ve analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, farklı akım durumlarında tamamen gelişmiş akım bölgesinin belirli bir dereceye kadar benzer ve batık hidrolik sıçramanın doğada üç boyutlu olduğu belirtilmiştir.

Şimşek ve ark. (2021), kayar kapak mansabında farklı akım durumlarında oluşan batık hidrolik sıçramayı sayısal olarak analiz etmişlerdir. ANSYS- Fluent programı kullanılarak akımı idare eden temel denklemlerin sayısal olarak çözümünde, RANS tabanlı RSM türbülans modeli ve serbest su yüzü profilinin belirlenmesinde ise VOF yöntemi kullanılmıştır. “En büyük debi durumunun sayısal modellemesinden elde edilen hız profilleri, deneysel hız profilleriyle karşılaştırılmıştır. Farklı batıklık

oranlarına sahip batmış hidrolik sıçramanın sayısal modellemesi sonucunda, meydana gelen hidrolik sıçrama ve geri dönüş bölgesi uzunlukları ve hız alanında meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir. Bunun yanında, hidrolik sıçramada meydana gelen sınır tabakası kalınlığı farklı akım durumlarında incelenmiştir. Çalışma sonucunda, HAD tekniklerinin, farklı batıklık oranlarında oluşan hidrolik sıçramanın sayısal modellemesinde oldukça başarılı olduğu ve deneysel çalışmalara kıyasla akımla ilgili detaylı bilgi sunma avantajından dolayı su yapılarının tasarımında tercih edilebileceği belirlenmiştir".

Ma ve ark. (2001), batık hidrolik sıçramanın türbülans özellikleri, standart k-ε (SKE) türbülans modeli ile sayısal olarak incelemişlerdir. Su hava arakesitinin belirlenmesinde VOF yönteminden yararlanılmıştır. Sayısal modelleme sonucunda, su yüzü profilleri, hidrodinamik basınçlar, ortalama hızlar, türbülans şiddeti, kayma gerilmeleri, maksimum yatay hızlar ve kanal yatağı boyunca sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Froude sayısının 3.2 ile 8.2 arasında değiştiği ve batıklık oranının (S) 0.24 ile 0.85 arasında değiştiği akım durumlarında elde edilen sayısal modelleme sonuçları değerlendirilmiştir. Sayısal modelleme sonucunda elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve sayısal modellemelerin batık hidrolik sıçramaların hem makroskopik yapısı hem de türbülanslı yapısı hakkında bilgi sağladığı belirlenmiştir.

Pagliara ve ark. (2008), homojen ve homojen olmayan kaba yatak kanallarında meydana gelen hidrolik sıçramayı analiz etmişlerdir. Ardışık akış derinliğini ve sıçrama uzunluğunu etkileyen parametreler sistematik olarak araştırmışlardır. Yatak pürüzlülüğünü ve homojen olmama durumunu açıklayan genel sıçrama denkleminin düzeltme katsayısının yeni bir formülasyonunu sağlamak için deneysel veriler detaylandırılmıştır. Hidrolik sıçramanın karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için önerilen yeni förmüllerin deneysel verilerle tatmin edici bir şekilde uyuştuğu bildirilmiştir.

Wu ve Rajaratnam (1995), çalışmalarında benzer akışların bir sınıfı olarak hidrolik sıçramaları, batık sıçramaları ve düzlemsel türbülanslı duvar jetlerini detaylıca ele almışlardır. Literatürde mevcut olan deneysel sonuçların yanı sıra bazı

yeni sonuçlar kullanılarak, hidrolik sıçrama ve duvar jetinin ve batık sıçramanın oluşumu hakkında bulgular elde edilmiştir. Çalışmada, hız dağılımının benzerliği, hız ölçeğinin bozulması ve uzunluk ölçeğinin büyümesi göz önünde bulundurulmuştur. Hız dağılımı tüm akışlar için yaklaşık olarak aynı olduğu tespit edilmiştir. Daha uzun bir uzunluk ölçeği L kullanılarak, son durumlar için hız ölçeklerinin bozulması yeniden tanımlanmış ve batık sıçramalar için düşüşün serbest sıçrama benzeri veya duvar jeti benzeri olduğu bulunmuştur. L uzunluk ölçeğinin varyasyonunun, farklı akışlar için belirgin varyasyonlara sahip olduğu belirlenmiştir. Batık sıçramaların ters akış alanı için bazı yeni sonuçlar da sunulmuştur.

Varol ve ark. (2009), yatay kanalda su jetinin hidrolik sıçramaya etkisini araştırmışlardır. Deneyler, 3.43-4.83 aralığındaki Froude sayılarında ve beş farklı su boşaltım jetinin oluştuğu akım koşullarında gerçekleştirilmiştir. Serbest sıçrama ve jetli sıçramalar, yüksek hızlı bir SVHS kamera ile görüntü işleme tekniği ile analiz edilmiştir. Serbest hidrolik sıçrama ve su jeti ile hidrolik sıçramalar sırasında akış yapıları, roler uzunlukları, su yüzeyi profilleri ve enerji kayıpları incelenmiştir.

Javan ve Eghbalzadeh (2013), batık hidrolik sıçramanın gerçekleştiği açık kanal akımını SKE tütbülans modeliyle ve kararsız Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemleri çözülerek sayısal olarak modellemişlerdir. Serbest yüzeyin belirlenmesi için Lagrange hareketli ızgara yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen modelde, kinematik serbest yüzey sınır koşulu momentum ve süreklilik denklemleri ile eş zamanlı olarak çözülmekte, böylece çözümün bir parçası olarak hız ve basınç alanları ile birlikte su yüksekliğinin de elde edilmesi sağlanmıştır. 3.2 ile 8.2 arasında değişen Froude sayıları ve 0.24 ile 0.85 arasında değişen batıklık faktörleri için sayısal modeller gerçekleştirilmiştir. Sayısal model sonuçlarının deneysel ölçümlerle karşılaştırılmasından, sayısal modelleme ile hız alanları, serbest yüzey değişimi, maksimum hız, Reynolds kayma ve çeşitli noktalardaki normal gerilmelerin kabul edilebilir seviyede doğru tahmin edildiği görülmüştür.

Ali ve ark. (2014), farklı aralıklı oluklu zeminler üzerinde batık hidrolik sıçramanın mansap bölgesinde meydana gelen yerel oyulma üzerindeki etkilerini

incelemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Oyulmayı en aza indiren optimal oluk ve dalga boyunu belirlemek için yatay bir dikdörtgen kanalda çok fazla sayıda ölçüm yapılmıştır. Oluklu zeminlerin oyulma deliklerinin boyutları üzerindeki etkisini tahmin etmek için bir düz zemin üzerinde de deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel ölçümler, Froude sayısının 1.68 ile 9.29 arasında değiştiği çeşitli akım durumlarında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, aralıklı üçgen oluklu zeminlerin kullanılmasının, klasik sıçramaya kıyasla ince kumun oyulma derinliğini ve uzunluğunu sırasıyla %63.4 ve %30.2, kaba kum için ise %44.2 ve %20.6 oranında azaltığını göstermiştir.

Sadeghfam ve ark. (2015), fiziksel deneyler gerçekleştirerek küçük hidrolik yapılarda, eleklerin enerji dağıtıcı olarak kulanılabilirliğini araştırmışlardır. Deney tasarımında Froude sayısı, elek düzeni ve elek gözenekliliği ana kontrol parametreleri olarak kullanılmıştır. Deneyler, Froude sayısının 2.5 ile 8.5 arasında, elek gözenekliliğinin %40 ile %50 arasında ve çift elek boşluklarının 1 ile 5 cm arasında değiştiği durumlarda yapılmıştır. Deneysel olarak elde edilen akış derinliği, türbülans oluşumu ve enerji kayıp sonuçları, literatürdeki karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, çift sıralı eleklerin hidrolik sıçrama sürecinde oldukça etkili olduğu ve daha fazla enerjinin kaybolmasına neden olduğu belirtilmiştir. Froude sayısı en etkili parametre olarak bulunduğunda, bu sayının bir fonksiyonu olarak ikinci dereceden denklem önerilmiştir. Önerilen bu denklemle elde edilen sonuçların, yüksek R^2 ve çok düşük karakök karasel hata değerleri ile deneysel sonuçlara oldukça yakın tahmin ettiği ifade edilmiştir.

Ead ve Rajaratnam (2002), tarafından oluklu yataklar üzerinde meydana gleen hidrolik sıçrama laboratuvar ortamında incelenmiştir. Deneyler, Froude sayısının 4 ile 10 arasında ve pürüzlülüğün 0.50, 0.43 ve 0.25 olduğu durumlarda gerçekleştirilmiştir. Oluklu yatak üzerinde hidrolik sıçrama oluşturmak için gereken mansap derinliğinin, düz yatakta meydana gelen hidrolik sıçramanın oluşması için gerekli olan mansap derinliğinden çok daha küçük olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, oluklu yatak üzerinde meydana gelen hidrolik sıçrama uzunluğunun düz yatak üzerindeki hidrolik sıçramanın yarısı kadar olduğu bildirilmiştir. Oluklu yatak üzerindeki entegre yatak

kayma gerilmesinin, düz yataklardaki kayma gerilmesinin yaklaşık 10 katı olduğu görüldü. Farklı bölümlerdeki eksenel hız profilleri, basit duvar jet profilinden bazı farklılıklarla birlikte genel olarak benzer olduğu ifade edilmiştir. Herhangi bir bölümde maksimum hız u_m, süper kritik akımın hızı U_1 açısından x uzunluk mesafesi ile ilişkilendirilerek L uzunluk mesafesi ile, $u_m = 50.5U_1$ olduğu mesafeyi gösterir ve bu ilişki, düz yataklardaki sıçramalar için geçerli olan ilişkiyle aynıydı, ancak L/y_1 değeri, oluklu yataklardaki sıçramalar için çok daha küçük olmuştur. Standart sınır tabaka kalınlığı d/b, b hız profilinin uzunluk ölçeğidir, oluklu yataklardaki sıçramalar için 0.45 iken, basit duvar jet için 0.16 idi. Bu çalışmanın sonuçları, hidrolik yapıların altında enerji dağılımı için oluklu yatakların uyumluluğunu göstermiştir.

Jesudhas ve ark. (2017b), hidrolik sıçrama öncesi Froude sayısının 8.2 ve batıklık faktörünün (S) 0.24 olduğu bir batık hidrolik sıçramanın üç boyutlu, kararsız, bağımsız girdap simülasyonunun sonuçlarını sunmaktadır. Akışkan hacimleri yöntemi (VOF), serbest yüzey ve hava sürüklenme özelliklerini belirlemek için kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar, deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Sayısal modellemeyle belirlenen batık hidrolik sıçramanın özellikleri değerlendirilmiştir. Batık hidrolik sıçramanın batıklık faktörü düşük olduğundan, akışta önemli miktarda hava sürüklendiği bildirilmiş ve batık hidrolik sıçramada hava sürüklenme mekanizması da analiz edilmiştir.

Haghighi ve ark. (2012), tarafından batık hidrolik sıçrama (SHJ) özelliklerinden sıçrama uzunluğu, kapak önü batık derinlik ve enerji dağılımının sediment konsantrasyonuna olan etkisi araştırılmıştır. Deneyler derinliği 46 cm ve uzunluğu 12 m olan bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Kanalın genişliği, girişte 10 cm iken çıkışta 60 cm'dir. Sediment yükü ve akış yoğunluğu, kapak önü derinliği, sıçrama uzunluğu ve göreli enerji dağılımı dahil olmak üzere etkilemektedir. Yüksek Froude sayılarında, süspansiyonlu sediment yoğunluğunun 28,7 gr/l'e çıkarılmasının, kapak önü derinliğin %6'ya kadar azalmasına ve sıçrama uzunluğunun %10'a kadar azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, batık hidrolik sıçramanın enerji sönümleme miktarı %4 oranında artmıştır. Ayrıca 30 gr/l'den yüksek yoğunluklarda,

akış sedimentin tamamını taşıyamamakta ve sonuç olarak kritik altı bölgede ve savak ardında depolamaya yol açtığı belirlenmiştir.

Jesudhas ve ark. (2017a), hidrolik sıçrama öncesi Froude sayısının 8.2 olduğu akım durumunda oluşan batık hidrolik sıçramanın üç boyutlu analizini DES modelini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Serbest su yüzü profilini elde etmek için yüksek çözünürlüklü arayüz yakalama şemasıyla VOF yöntemi kullanılmıştır. Ortalama akım hızı, turbülans oluşumu, Reynolds gerilmeleri dahil olmak üzere sayısal modelleme sonucunda elde edilen bulgular, mevcut deneysel verilere karşılaştırılarak sayısal sonuçları doğrulanmıştır. Batık hidrolik sıçramanın gelişen ve gelişmiş bölgesinde akışın üç boyutlu yapısının λ_2 kriterleri kullanılarak uyumlu yapıları inceleyerek değerlendirilmiştir. Ayrıca, uygun ortogonal ayrıştırma analiziyle, batık hidrolik sıçramanın gelişmiş bölgesinde daha küçük yapıların hakim olduğu ortaya konmuştur.

Long ve ark. (1991), tarafından batık hidrolik sıçramanın ortalama akış hızı ve türbülans özelliklerinin sayısal olarak modellenmesinde iki boyutlu Standart k-ε (SKE) turbülans modelini kullanılmıştır. 3.2 ile 8.2 arasında değişen kritik üstü Froude sayılarına sahip ve 0.24 ile 0.85 arasında değişen batıklık faktörlerine sahip üç akım koşulunda sayısal modelleme sonuçları deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sayısal modellemenin farklı akım koşulları altında oluşan batık hidrolik sıçramanın serbest yüzey profilini, ortalama hız alanını ve türbülans yapısını tahmin etmek için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

Gupta ve Mehta (2010), tarafından yatay prizmatik kanal içinde meydana gelen hidrolik sıçrama incelenmiş ve analiz edilmiştir. Hidrolik sıçrama öncesi Froude ve Reynolds sayılarının etkisi dikkate alınarak deney verilerine dayalı ampirik modeller geliştirilmiştir.

Ali ve Elhamaimi (2020), tarafından kapak altındaki batık sıçramanın akış parametreleri fiziksel ve sayısal modeller kullanılarak belirlenmiştir. Froude sayılarının 1.5 ile 9.5 arasında değiştiği temel özelliklere göre aralıklı oluklu yataklar batık hidrolik sıçramanın temel özelliklerine etkisini incelemek için 20 adet deneysel

çalışma gerçekleştirilmiştir. Aralıklı oluklu yatak üzerindeki batık hidrolik sıçramanın en temel özelliklerinin karşılaştırılmasından, Fluent yazılımıyla RNG türbülans modeli kullanılarak elde edilen sonuçların diğer türbülans modellerine kıyasla deneysel sonuçlara en yakın tahminde bulunmuştur. Serbest su yüzü profilinin belirlenmesinde ise VOF yönteminden yararlanılmıştır. Sonuçlar, deneysel ve sayısal benzetim arasında büyük bir uyum olduğunu, oluklu yatakların ortalama olarak hidrolik sıçrama uzunluğunu %5.69 ve ardışık derinliği %12.96 oranında azalttığını göstermiştir.

Raiford ve Khan (2006), tarafından batık hidrolik sıçamaya ait deney verileri, SKE ve RNG türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal modleleme sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sıçramanın iç akış yapısı, yatay ve dikey hız profilleri ve su yüzey profilleri deneysel ve sayısal olarak elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Çalışmada ayrıca, sıçrama uzunluğu boyunca maksimum türbülans kinetik enerji ve yatay hız dağılımı da incelenmiştir. Roler özellikleri ve yatay yönünde ters akışın yerini belirlenmiş ve irdelenmiştir. Önceki hidrolik sıçramalarla ilgili yapılan araştırmalar, türbülans akış alanı hakkında varsayımlara dayandırılmış, ancak bu çalışmada türbülans çözümün bir parçası olarak alınmıştır. Sonuçlar, RNG modelinin yatak bölgelerine yakın bölgelerde SKE modeline göre daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir.

Raiford ve Khan (2013), SKE ve RNG türbülans modeli kullanılarak bir batık hidrolik sıçrama modellenmiştir. Üç farklı giriş Froude sayısı ve batıklık oranı durumunda hesaplanan ortalama ve türbülans akış özellikleri, ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, RNG modelinin yatay hız profilini ve dikey yönde maksimum değerini daha iyi tahmin ettiğini göstermektedir. Çalışmada kullanılan iki türbülans modeli de, daha yüksek Froude sayılarında geri dönüş bölgesi içinde su yüzeyi seviyesini aşırı tahmin etmektedir. Her iki modelde, girişteki kayma katmanında boylam hızlarını daha büyük tahmin etmiştir. Yatay uzunluk ve ters hızların büyüklüğü, iki şema tarafından iyi modellenmiştir. Özgül kinetik enerjinin dikey profillerinin, girişten uzakta deneysel bulgularla daha uyumlu olduğu belirlenmiştir. Hidrolik sıçrama öncesi kesite yakın olan bölgede akımlar iyi tahmin edilir; ancak, maksimum kinetik enerjinin gerçekleştiği yükseklik ve büyüklük de

farklılıklar bulunmaktadır. Ayrıca, akışın üç boyutlu yapısı çalışmada detaylıca ele alınmıştır.

Shekari ve ark. (2014), batık hidrolik sıçrama üç boyutlu olarak sayısal modellenmiştir. Serbest su yüzü profili ve türbülans yapısını simüle etmek için VOF yöntemi ve akımın hareketini idare eden temel denklemlerin çözümünde ise RSM türbülans modeli kullanılmıştır. Standart duvar fonksiyonları, dengesiz duvar fonksiyonu ve geliştirilmiş duvar fonksiyonu dahil olmak üzere farklı duvar fonksiyonlarının, batık hidrolik sıçramanın akış alanı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sayısal sonuçlar ve deneysel ölçümler arasındaki karşılaştırma, sayısal modelin batık hidrolik sıçramaların akış düzenini ve serbest yüzeyini tahmin etmek için yeterli olduğunu göstermiştir. Sayısal sonuçlar, standart ve denge duvarı olmayan fonksiyonlarla simüle edilen boylamsal hız ve serbest yüzey profillerinin yaklaşık olarak benzer olmuştur. Batık hidrolik sıçramanın sayısal simülasyonunda, standart duvar fonksiyonları, kanal boyunca serbest yüzey, boylamasına türbülans yoğunluğu, türbülans kesme gerilimi ve türbülans kinetik enerjisini tahmin etmede ve ayrıca kanal boyunca boylamsal hızın dağılımını simüle etmede makul derecede doğru tahmin etmiştir. Geliştirilmiş duvar işleme yöntemi, yüksek hesaplama süresine rağmen, kanal yatağı yakınındaki boyuna hız ve yatak kayma gerilmesi katsayısı gibi akışın duvara yakın davranışını iyi tahmin edebilmiştir. Ayrıca, geliştirilmiş duvar işlemiyle simüle edilen maksimum ortalama hız ve dikey türbülans yoğunluğunun, duvar işlevlerinden daha doğru olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yousefi ve ark. (2019), dolusavakların mansabındaki batık hidrolik sıçramadaki basınç dalgalanmasının özelliklerini ve ayrıca batıklık oranının basınç dalgalanması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler, Froude sayısının 7.07 olduğu ve farklı batıklık oranlarında dikdörtgen bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Basınç verileri, örnekleme hızı 100 Hz olan basınç transdüserleri ile kaydedilmiştir. Deneyler, hidrolik sıçrama yatağındaki basınç dalgalanmasının yoğunluğunun, Froude sayısının, havzanın başlangıcından ve batıklık oranından göreceli bir uzaklığın bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmalar incelendiğinde, son yıllarda batık hidrolik sıçramanın sayısal modellemesi üzerine çalışmaların çoğaldığını ve çok farklı akım koşullarında batık hidrolik sıçramanın karakteristik özelliklerinin incelendiği belirlenmektedir. Bu tez çalışması kapsamında 100 farklı akım koşulunda batık hidrolik sıçramanın karakteristik özelliklerinin sayısal modellemelerle belirlenmesi literatürde bulunan sayısal modelleme sonuçlarının doğrulanmasına katkı sunacak ve batık hidrolik sıçramanın özellikleri ve akımla ilgili oldukça detaylı bilgi edinme imkanı sunacağı değerlendirilmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, Yoluk (2021), tarafından laboratuar ortamında deneysel olarak elde edilen batık hidrolik sıçramanın karakteristik özelliklerinin HAD tekniklerine dayalı paket programlar yardımıyla sayısal modellemesi yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular literatürde bulunan çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlere ait detaylı bilgi aşağıda sunulmuştur.

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında, sayısal modellemesi yapılan akım koşulları ve batık hidrolik sıçrama karakteristikleri Yoluk (2021), tarafından Harran Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik laboratuarında bulunan dikdörtgen kesitli açık kanal modelinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel ölçümlerin gerçekleştirildiği açık kanal modelinin uzunluğu 4.0 m, genişliği ve yüksekliği ise 0.35 m'dir. Açık kanal modelinin tüm yüzeyleri camdan imal edilmiş ve mansap çıkış noktasında bulunan hazne aracılığla açık kanal modelinin kapalı sistem olarak çalışması sağlanmıştır. Kanal içerisinde batık hidrolik sıçramanın meydana gelmesi için kanal ortasına ve mansap çıkış noktasına kayar kapak yerleştirilmiştir. Her iki kapağın yüksekliği değiştirilerek batık hidrolik sıçramanın farklı batıklık oranında oluşması sağlanmıştır. Deneysel olarak batık hidrolik sıçramanın uzunluğunun belirlenmesinde boya deneyi yapılmıştır. Ayrıca, deneyler esnasında debi değeri kanal giriş kesitinde bulunan digital göstergeli ultrasonik debimetreyle, su yükseklikleri ise limmnimetre kullanılarak ölçülmüştür. Değerlerin belirlenmesinde çok sayıda okuma ve ölçüm yapılarak bulunan değerlerin ortalaması alınmıştır. Farklı batıklık oranlarına sahip batık hidrolik sıçramanın deneysel olarak ölçülen karakteristik özellikleri ve akım özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Mansap çıkışında bulunan kayar kapağın yüksekliği Y_5 ile gösterilmiş ve Y_2 derinliği Denklem 3.1. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Y_2 = \frac{1}{2} Y_1 \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1\right) \tag{3.1}$$

Aynı mansap ve orta kapak açıklıklarında debinin azalmasıyla kapak altı hızının azaldığı ve aynı bölgede Fr_1 sayısı azalmaktadır. Bu iki değerin bir fonksiyonu olan Y_2 değeri de azalmıştır. Toplam 100 adet deneysel ölçüm gerçekleştirilerek kayar kapak sonrasında meydana gelen batık hidrolik sıçramanın özellikleri belirlenmiştir. Bu tez kapsamında Çizelge 3.1.'de verilen tüm durumların iki boyutlu sayısal analizi yapılmıştır.

Çizelge 3. 1. Akım ve hidrolik sıçrama özellikleri

	Deney no	Y_5 (cm)	Y_1 (cm)	Q (l/s)	U_1 (m/s)	Fr_1	Y_2 (cm)
Durum 1.a	1	9	1.5	29.51	1.539	4.012	7.79
	2	9	1.5	27.34	1.426	3.718	7.17
	3	9	1.5	25.25	1.317	3.434	6.57
	4	9	1.5	22.12	1.154	3.007	5.67
Durum 1.b	5	9	1.8	21.09	0.917	2.182	4.73
	6	9	1.8	16.24	0.706	1.680	3.47
	7	9	1.8	15.73	0.684	1.627	3.34
	8	9	1.8	11.54	0.502	1.194	2.27
Durum 1.c	9	9	1.9	37.27	1.535	3.555	8.65
	10	9	1.9	36.95	1.521	3.524	8.57
	11	9	1.9	34.93	1.439	3.332	8.05
	12	9	1.9	32.20	1.326	3.072	7.36
	13	9	1.9	30.28	1.247	2.888	6.87
	14	9	1.9	28.55	1.176	2.723	6.43
	15	9	1.9	25.93	1.068	2.473	5.76
	16	9	1.9	27.99	1.153	2.670	6.29
	17	9	1.9	21.75	0.896	2.075	4.71
	18	9	1.9	19.52	0.804	1.862	4.14
	19	9	1.9	16.84	0.693	1.606	3.47
	20	9	1.9	14.31	0.589	1.365	2.84
	21	9	1.9	11.93	0.491	1.138	2.25
Durum 1.d	22	9	2	37.18	1.455	3.284	8.34
	23	9	2	34.30	1.342	3.030	7.63
	24	9	2	30.33	1.187	2.679	6.64
	25	9	2	25.82	1.010	2.280	5.53
	26	9	2	21.27	0.832	1.879	4.41
	27	9	2	17.07	0.668	1.507	3.38
Durum 1.e	28	9	2.3	37.22	1.266	2.665	7.60
	29	9	2.3	34.96	1.189	2.504	7.07
	30	9	2.3	30.22	1.028	2.164	5.98
	31	9	2.3	26.34	0.896	1.887	5.09
	32	9	2.3	21.67	0.737	1.552	4.03
	33	9	2.3	16.83	0.573	1.205	2.94

Çizelge 1.1. **(devam)**

Durum 1.f	34	9	2.5	37.44	1.172	2.366	7.21
	35	9	2.5	35.31	1.105	2.232	6.74
	36	9	2.5	30.48	0.954	1.926	5.67
	37	9	2.5	26.09	0.817	1.649	4.71
	38	9	2.5	21.38	0.669	1.351	3.69
	39	9	2.5	16.67	0.522	1.053	2.68
Durum 1.g	40	9	2.7	37.22	1.079	2.096	6.76
	41	9	2.7	35.29	1.023	1.987	6.36
	42	9	2.7	31.49	0.913	1.773	5.55
	43	9	2.7	26.31	0.762	1.481	4.46
	44	9	2.7	21.74	0.630	1.224	3.51
	45	9	2.7	16.97	0.492	0.956	2.54
Durum 1.h	46	9	2.9	37.27	1.005	1.885	6.42
	47	9	2.9	35.50	0.958	1.796	6.06
	48	9	2.9	30.72	0.829	1.554	5.09
	49	9	2.9	26.25	0.708	1.328	4.19
	50	9	2.9	21.76	0.587	1.101	3.29
	51	9	2.9	17.04	0.460	0.862	2.37
Durum 2.a	52	11.2	1	16.06	1.257	4.012	5.20
	53	11.2	1	14.04	1.098	3.506	4.48
	54	11.2	1	11.69	0.914	2.919	3.66
	55	11.2	1	9.19	0.719	2.296	2.79
Durum 2.b	56	11.2	1.5	28.72	1.498	3.906	7.57
	57	11.2	1.5	26.92	1.404	3.661	7.05
	58	11.2	1.5	25.71	1.341	3.496	6.70
	59	11.2	1.5	23.54	1.228	3.201	6.08
	60	11.2	1.5	21.30	1.111	2.897	5.44
	61	11.2	1.5	18.73	0.977	2.547	4.70
	62	11.2	1.5	16.58	0.865	2.255	4.09
	63	11.2	1.5	14.51	0.757	1.973	3.50
	64	11.2	1.5	11.91	0.621	1.620	2.77
Durum 2.c	65	11.2	1.9	36.89	1.519	3.518	8.55
	66	11.2	1.9	34.69	1.428	3.309	7.99
	67	11.2	1.9	31.50	1.297	3.005	7.18
	68	11.2	1.9	29.24	1.204	2.789	6.60
	69	11.2	1.9	26.76	1.102	2.552	5.97
	70	11.2	1.9	24.60	1.013	2.346	5.43
	71	11.2	1.9	22.24	0.916	2.121	4.83
	72	11.2	1.9	20.58	0.848	1.963	4.41
	73	11.2	1.9	18.81	0.774	1.794	3.96
	74	11.2	1.9	16.79	0.691	1.602	3.46
	75	11.2	1.9	13.91	0.573	1.326	2.74
	76	11.2	1.9	11.25	0.463	1.073	2.08

Çizelge 1.1. **(devam)**

Durum 2.d	77	11.2	2	37.06	1.450	3.273	8.31
	78	11.2	2	36.02	1.409	3.182	8.05
	79	11.2	2	33.40	1.307	2.950	7.40
	80	11.2	2	30.12	1.178	2.660	6.59
	81	11.2	2	28.27	1.106	2.497	6.13
	82	11.2	2	26.16	1.023	2.310	5.61
	83	11.2	2	24.02	0.940	2.122	5.08
	84	11.2	2	21.27	0.832	1.879	4.41
	85	11.2	2	18.96	0.742	1.674	3.84
	86	11.2	2	16.96	0.664	1.498	3.35
	87	11.2	2	14.43	0.564	1.274	2.74
	88	11.2	2	11.86	0.464	1.047	2.13
Durum 3.a	89	12.5	2	37.23	1.457	3.288	8.35
	90	12.5	2	37.16	1.454	3.282	8.34
	91	12.5	2	35.45	1.387	3.131	7.91
	92	12.5	2	32.66	1.278	2.884	7.22
	93	12.5	2	30.68	1.200	2.709	6.73
	94	12.5	2	27.90	1.092	2.464	6.04
	95	12.5	2	26.20	1.025	2.314	5.62
	96	12.5	2	23.50	0.919	2.075	4.95
	97	12.5	2	21.71	0.849	1.917	4.51
	98	12.5	2	18.90	0.739	1.669	3.83
	99	12.5	2	18.03	0.705	1.593	3.61
	100	12.5	2	16.88	0.660	1.491	3.33

3.2. Yöntem

3.2.1. Sayısal modelleme

Bu tez çalışmasında, "içerisinde batık hidrolik sıçrama oluşan açık kanal akımı; zamana ve yere göre bağlı, iki-boyutlu, sıkışmayan, türbülanslı ve serbest yüzeyli akım özelliklerine sahiptir. Bu akım türünün hareketini yöneten temel denklemler süreklilik ve momentum denklemleri olup aşağıda Denklem 3.2, 3.3 ve 3.4'te sırasıyla verilmiştir" (Şimşek ve ark., 2021).

Kütlenin korunumu:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}+\frac{\partial \bar{v}}{\partial y}=0 \tag{3.2}$$

Momentumun korunumu denkleminin *x* doğrultusundaki bileşeni:

$$\rho\left(\frac{\partial \overline{u}}{\partial t}+\overline{u}\frac{\partial \overline{u}}{\partial x}+\overline{v}\frac{\partial \overline{u}}{\partial y}\right)=\rho X-\frac{\partial \overline{p}}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 \overline{u}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \overline{u}}{\partial y^2}\right)+\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \tag{3.3}$$

Momentumun korunumu denkleminin *y* doğrultusundaki bileşeni:

$$\rho\left(\frac{\partial \overline{v}}{\partial t}+\overline{u}\frac{\partial \overline{v}}{\partial x}+\overline{v}\frac{\partial \overline{v}}{\partial y}\right)=\rho Y-\frac{\partial \overline{p}}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 \overline{v}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \overline{v}}{\partial y^2}\right)+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \tag{3.4}$$

"Yukarıdaki denklemlerde bulunan $\overline{u}$ ve $\overline{v}$ sırasıyla *x* ve *y* doğrultusundaki zamansal ortalama hız bileşenini, *X* ve *Y* sırasıyla *x* ve *y* doğrultusunda birim kütleye gelen kütlesel kuvvet bileşenini, $\overline{p}$ zamansal ortalama basıncı, μ dinamik viskoziteyi, ρ akışkan yoğunluğunu ve τ_{xx}, τ_{xy} ve τ_{yy} türbülans (Reynolds) gerilmelerini ifade etmektedir" (Şimşek ve ark., 2021).

"Yukarıdaki denklemlerde bulunan bilinmeyenler incelendiğinde sayılarının altı olduğu, buna karşılık çözümde kullanılabilecek denklem adetinin üç olduğu görülmektedir. Bu haliyle bilinmeyenlerin bu denklemler yardımıyla çözümü mümkün olmamaktadır. Bu noktada sayısal modellemelerde denklem takımının çözülerek bilinmeyenlerin belirlenmesi için momentum denkleminde bulunan Reynolds gerilmelerinin çözümünün, türbülans modelleri kullanılarak yapılması gerekmektedir. Doğrusal bünye denklemleri kullanılarak, türbülans kayma gerilmeleri, sıkışmayan akımlar için Boussinesq'in türbülans viskozitesi yaklaşımına göre aşağıdaki gibi tanımlanmıştır" (Şimşek ve ark., 2021):

$$\tau_{xx}=-\rho\overline{u'u'}=\mu_t\left(\frac{\partial \overline{u}}{\partial x}+\frac{\partial \overline{u}}{\partial x}\right)-\frac{2}{3}\rho k \tag{3.5}$$

$$\tau_{xy}=-\rho\overline{u'v'}=\mu_t\left(\frac{\partial \overline{v}}{\partial x}+\frac{\partial \overline{u}}{\partial y}\right) \tag{3.6}$$

$$\tau_{yy} = -\rho \overline{v'v'} = \mu_t \left(\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{2}{3} \rho k \tag{3.7}$$

Burada," u' yatay doğrultudaki türbülans hız sapıncını ve v' düşey doğrultudaki türbülans hız sapıncını, μ_t türbülans viskozitesini ve k ($= u_i' \overline{u_i'} / 2$) türbülans kinetik enerjisini temsil etmektedir" (Şimşek ve ark., 2021).

"Farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen türbülans viskozitesinin hesaplanmasında, akımın farklı özelliklerini kullanan türbülans modelleri önerilmiştir (Shih ve ark., 1995; Launder ve ark., 2006; Şimşek ve ark., 2021). Bu modellerde, türbülans viskozitesinin tanımlanmasında türbülans kinetik enerjisi (k), türbülans kinetik enerji kayıp miktarının (ε), türbülans kinetik enerjinin özgül kayıp oranı (ω) gibi parametrelerin kullanıldığı, bazı türbülans modellerinin ise Reynolds gerilmelerini doğrudan hesap ettiği görülmektedir. Reynolds gerilmelerini doğrudan hesaplama özelliğine sahip olan RSM modelinin bu özelliğinden dolayı ikinci mertebe türbülans modeli olarak adlandırılmaktadır (Gumus ve ark., 2016). Ayrıca, bu modeli önerilen araştırmacılar tarafından akımda ayrılmaların bulunduğu, ikincil akımların mevcut olduğu ve akım çizgilerinin eğrisel bir yapıya sahip olduğu akım türlerinde diğer türbülans modellerine kıyasla üstünlüklere sahip olduğu belirtilmiştir (Launder ve ark., 2006; Gumus ve ark., 2016; Şimşek ve ark., 2021). Yapılan literatür araştırmasından, RSM türbülans modelinin batık hidrolik sıçramanın bulunduğu açık kanal akımlarının ve dolusavak üzerinden geçen akımın sayısal modellemesinde başarılı olduğu belirlenmiştir(Şimşek ve ark., 2021; Gumus ve ark., 2016). Bu sonuçtan, RSM modeli bu çalışmada batık hidrolik sıçramanın sayısal modellemesinde kullanılmıştır" (Şimşek ve ark., 2021).

"Yapılan sayısal modellemelerden, akımda sürekliliğinin 25 saniyelik hesaplama süresinde sağlandığı belirlenmiş olup, bu süreden sonra 10 saniyelik çözümler yapılarak akım karakteristiklerinin ortalaması alınmıştır. Böylelikle, toplamda 35 saniyelik sayısal modelleme süresi belirlenmiştir" (Şimşek ve ark., 2021). İterasyon adımının büyüklüğü kullanılan paket program tarafından Courant sayısı, $C_n \leq 2$ olacak şekilde belirlenmiştir (Şimşek ve ark., 2021). Hesaplama adımlarında

hesaplanan parametrelerin değerleri arasındaki farktan kaynaklı olarak oluşan artığın elde edilen değerle oranının 0.00001 olması sağlanmıştır. Eğer tahmin edilen değerlerde bu yakınsama olursa, iterasyon adımlarında yapılan iterasyon sayısı azalmaktadır. Eğer istenilen seviyeye yakınsama olmazsa kullanılan program tarafından her bir iterasyon adımında en fazla 10 adet iterasyon yapılması sağlanmıştır.

"Sayısal modellemelerde türbülans viskozitesinin hesap edilmesinin yanında diğer bir problem ise iki farklı akışkanın arakesitinin net olarak belirlenmesidir. Akışkan Hacimleri Yöntemi, bu problemin çözümünde farklı araştırmacılar tarafından oldukça sık tercih edilmiş ve başarılı olduğu belirlenmiştir (Hirt ve Nichols, 1981; Gopala ve van Wachem, 2008; Weymouth ve Yue, 2010; Akoz ve ark., 2019). Bu yöntemde, hesaplama ağının doluluk oranını ifade eden bir "F" fonksiyonu tanımlanarak, bu "F" fonksiyonu iki veya daha fazla akışkan türlerinin hesaplama ağının doldurduğu oranda sıfır ile bir arasında değer almaktadır. Eğer iki farklı akışkandan birisi su diğeri hava ise, hesaplama ağının su ile dolu olması durumunda "F" bir değerini, hava ile dolu ise "F" sıfır değerini almaktadır. Bu çalışmada da su hava arakesitinin belirlenmesinde Akışkan Hacimleri Yöntemi kullanılmıştır" (Şimşek ve ark., 2021).

"Sayısal modelleme sonuçları etki eden bir diğer parametre ise hesaplama ağı tasarımıdır. Sayısal model sonuçlarının hesaplama ağından bağımsız olup olmadığının kontrolünde Ağ Yakınsama İndeksi araştırmacılar tarafından oldukça sık kullanılan bir yöntemdir (Akoz ve ark., 2019; Soydan Oksal ve ark., 2020). Bu yöntemde, 3 farklı yoğunlukta hesaplama ağı tasarımı gerçekleştirilmektedir. Bu hesaplama ağları arasında, akım ile ilgili parametrelerin hesaplama ağlarındaki değişimi değerlendirilerek, ağ yapısının çözümler üzerindeki etkisinin olup olmadığı belirlenmektedir" (Şimşek ve ark., 2021). Yapılan analizler sonucunda sayısal çözümlerin ağ yapısından bağımsız hale geldiği belirlenmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

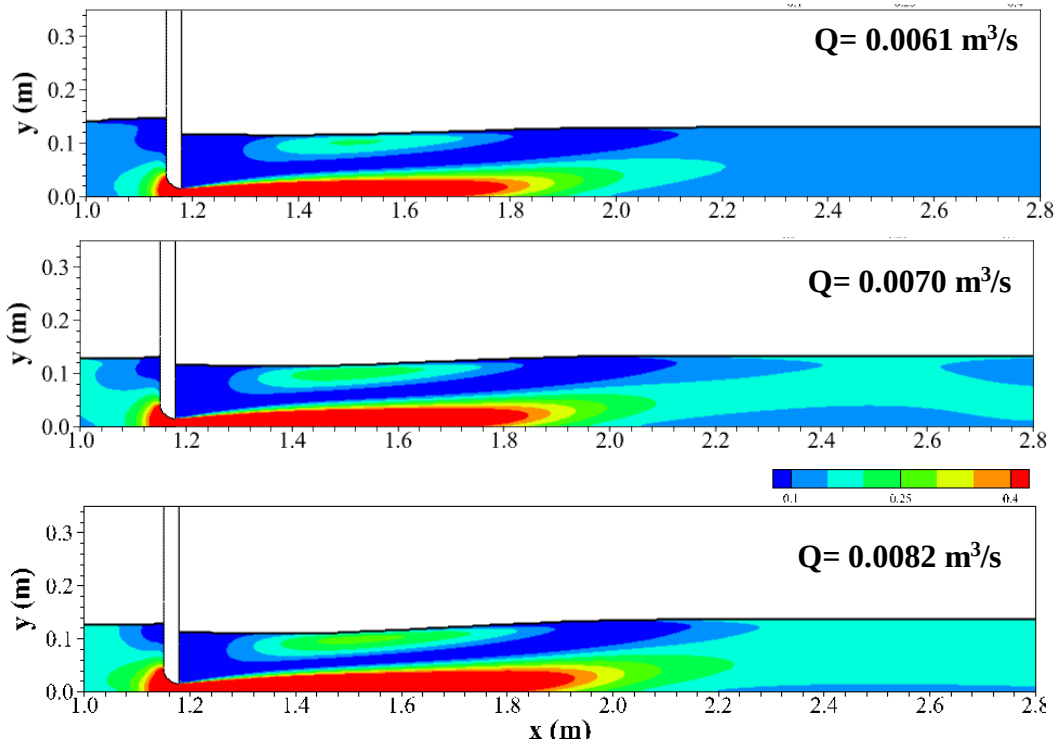
4.1. Sayısal Model Sonuçları

Deneylerle aynı koşullar altındaki açık kanal akımı 13 farklı yapı ve akım durumu için 100 adet farklı sayısal analiz yapılmıştır. Sonuçların daha anlaşılır ve detaylı irdelenmesi için her durumda en düşük, orta ve en büyük debi durumları için sonuçlar verilmiş ve değerlendirilmiştir. Diğer durumlara ait sayısal model sonuçlarına ait grafikler eklerde verilmiştir.

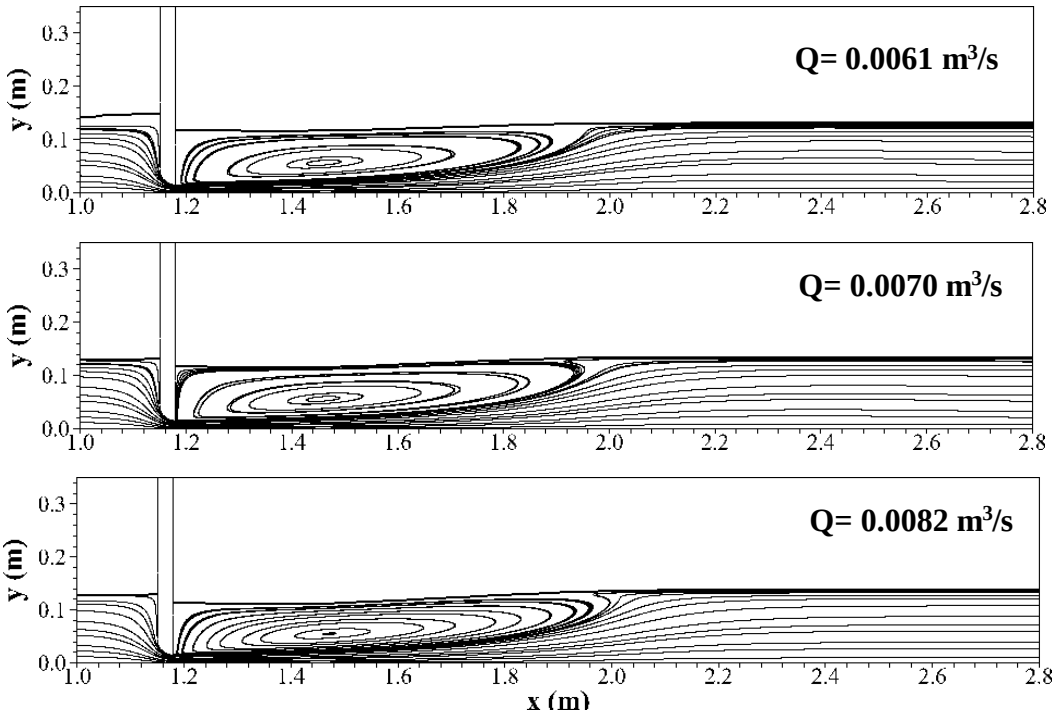
4.1.1. Durum 1.a için sayısal model sonuçları

Mansap kontrol kapağının yüksekliğinin 9 cm ve kayar kapak açıklığının 1.5 cm olduğu durumda sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri Şekil 4.1.'de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere akım maksimum hız değerine kayar kapak altından geçtiği bölgede sahiptir. Ayrıca, bu bölgede görülen jetin etkinliği debinin artmasıyla artmaktadır. Kayar kapak memba bölgesinde eğri yörüngeli akımın oluştuğu görülmektedir. Debinin artmasıyla birlikte batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgenin uzunluğunun büyüdüğü anlaşılmaktadır. Kayar kapak memba bölgesinde ayrılmaların olduğu verilen şekillerden görülmektedir.

Durum 1.a'da farklı debiler için sayısal modelleme ile elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 4.2.'de verilmiştir. Akım çizgisi desenleri incelendiğinde batık hidrolik sıçramının ve geri dönüş bölgesinin uzunluklarının debinin büyümesiyle arttığı görülmektedir. Kapak memba bölgesinden kapak altına yönelen akımın eğriselliğe maruz kaldığı anlaşılmaktadır. Akım hızının büyük olduğu kapak altı ve jetin oluştuğu bölgede akım çizgilerinin birbirine çok yakındır. Ayrıca, kayar kapak mansap bölgesinde batık sıçramanın hız alanı üzerindeki etkisininin kaybolduğu bölgenin uzunluğu debinin büyümesiyle artmaktadır.

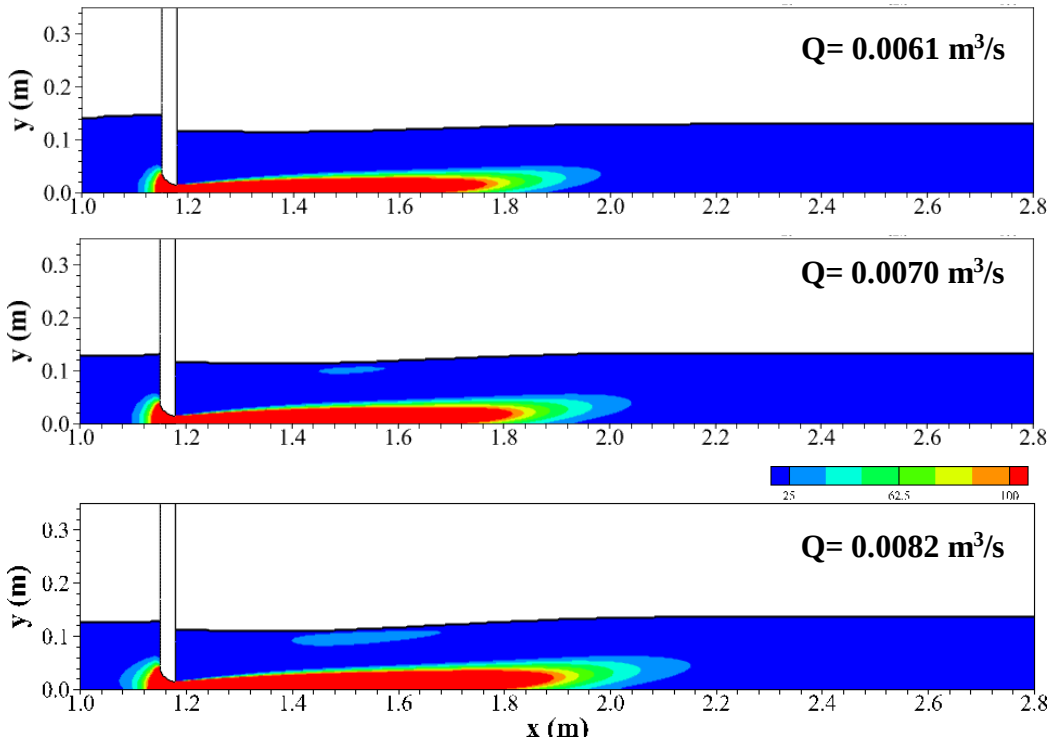


Şekil 4. 1. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.a)



Şekil 4. 2. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.a)

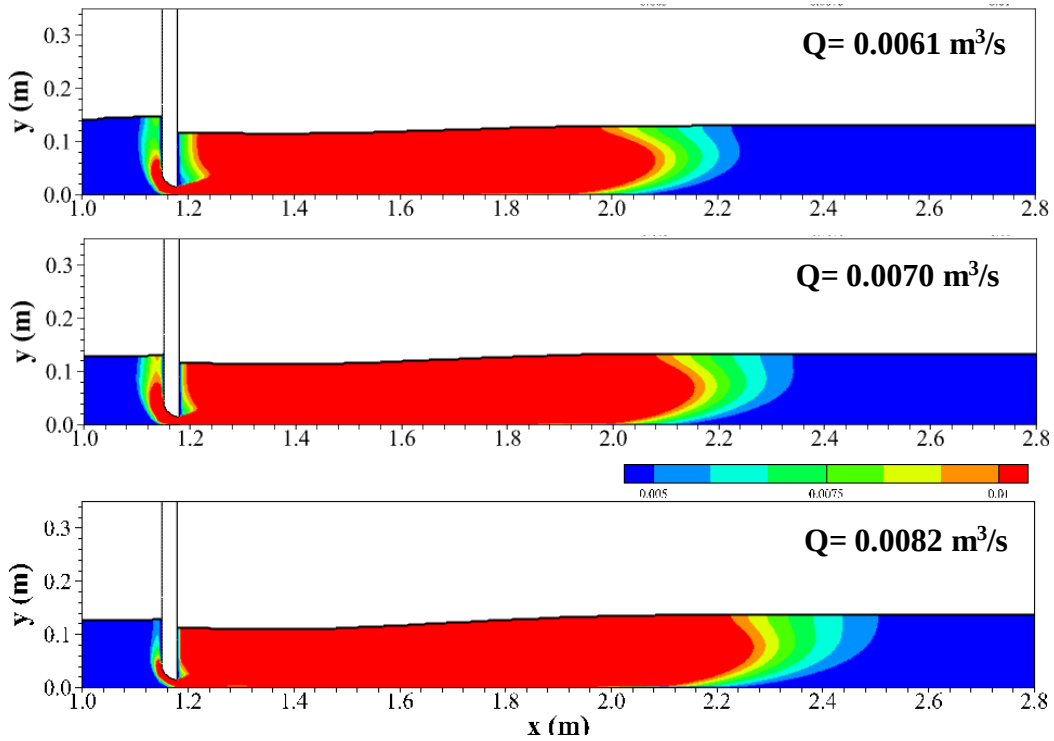
Şekil 4.3.'te Durum 1. a için farklı debi durumunda elde edilen dinamik basınç desenleri verilmiştir. Dinamik basınç değerinin ele alınan debi koşulları altında maksimum değerine hız alanına benzer olarak kayar kapağın hemen membasında başlarak, kayar kapak altı ve jet akımının oluştuğu bölgede sahip olduğu görülmektedir. Maksimum dinamik basınçın oluştuğu bölgenin büyüklüğü debinin artmasına paralel olarak artmaktadır. Kayar kapağın memba bölgesinde görülen dinamik basınç dağılımın debinin büyümesiyle daha geniş bir alana sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 3. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.a)

Durum 1.a için farklı debilerde elde edilen türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 4.4.'te verilmiştir. Verilen şekiller incelendiğinde batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgede meydana gelen TKE değerlerinin oldukça büyük olduğu görülmektedir. Debinin büyümesine paralel olarak akımın diğer özelliklerinde olduğu gibi TKE'nin büyük değerlere sahip olduğu bölgenin büyüklüğü de artmıştır. Debinin artmasıyla birlikte kayar kapak memba bölgesinde görülen TKE bölgesinin azaldığı dikkat çekmektedir. Türbülans kinetik enerjisine ait desenler incelendiğinde batık

hidrolik sıçrama da enerji sönümleme açısından oldukça etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca, debide meydana gelen artış batık hidrolik sıçramayı etkileyerek kayar kapak mansap yüzeyine çok yakın bölgede daha büyük türbülans kinetik enerjisi oluşmasına neden olmuştur.

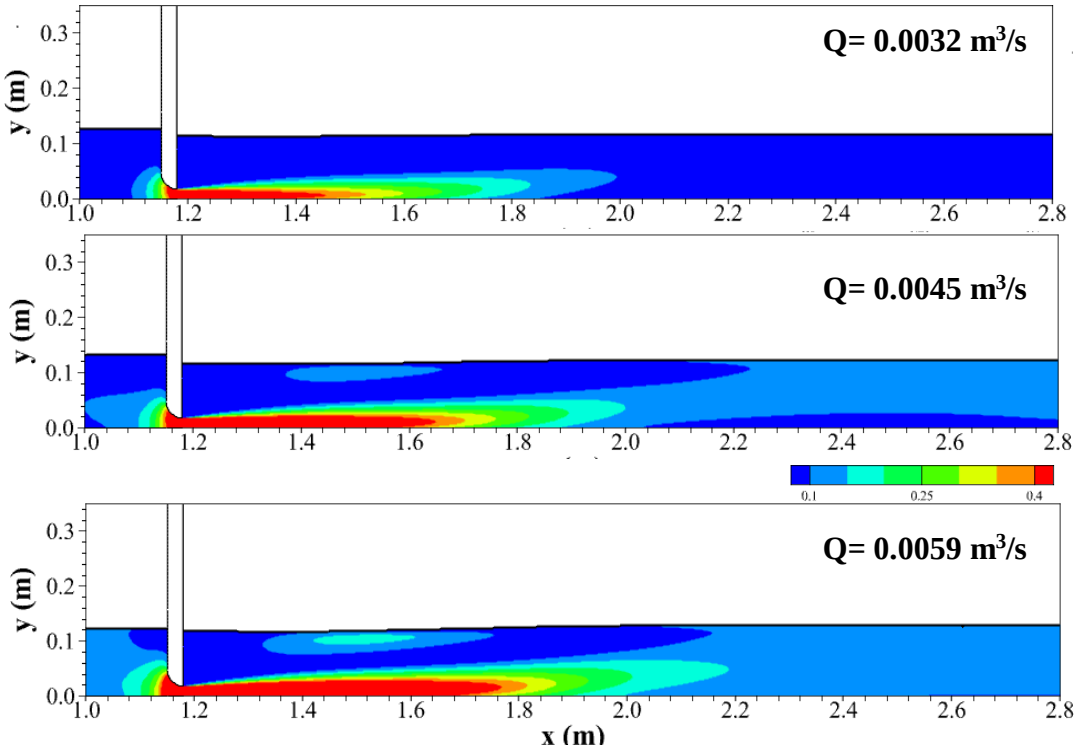


Şekil 4. 4. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.a)

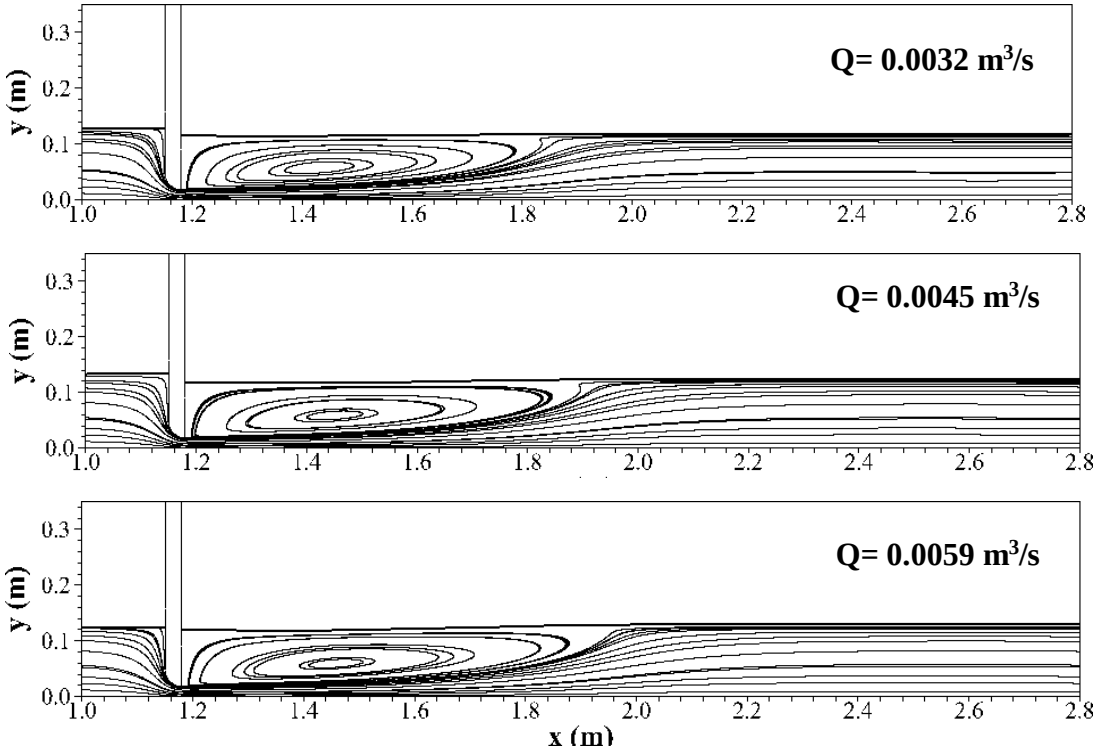
4.1.2. Durum 1.b için sayısal model sonuçları

Mansap kontrol kapağının yüksekliğinin 9 cm ve kayar kapak açıklığının 1.8 cm olduğu durumda sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri Şekil 4.5.'te verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi bileşke hızın debinin artması ile memba bölgesine doğru daha büyük alana sahip olduğunu görüyoruz. Debinin artmasıyla birlikte batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgenin uzunluğunun büyüdüğü anlaşılmaktadır. Bileşke hız küçük debide geri dönüş bölgesinde etki göstermezken büyük debide görülmektedir.

Durum 1. b durumunda farklı debiler için sayısal modelleme ile elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 4.6.'da verilmiştir. Akım çizgisi desenleri incelendiğinde batık hidrolik sıçramının uzunluğunun ve geri dönüş bölgesinin uzunluklarının debinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Akım çizgilerinin geri dönüş bölgesinin olduğu yerin kanal tabanında ve kapak altında birbirine çok yakın olduğu söylenebilir. Geri dönüş bölgesi bittikten paralellik göstermekte ve normal açık kanal akımına dönüşmektedir.

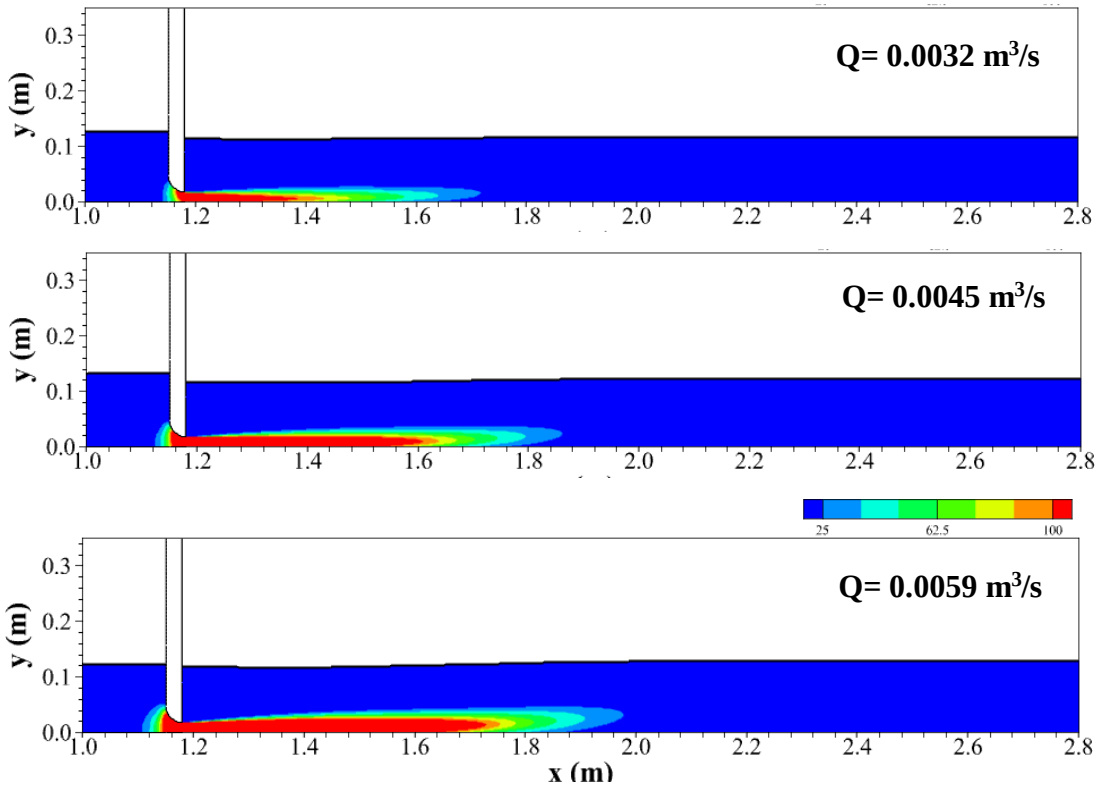


Şekil 4. 5. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.b)



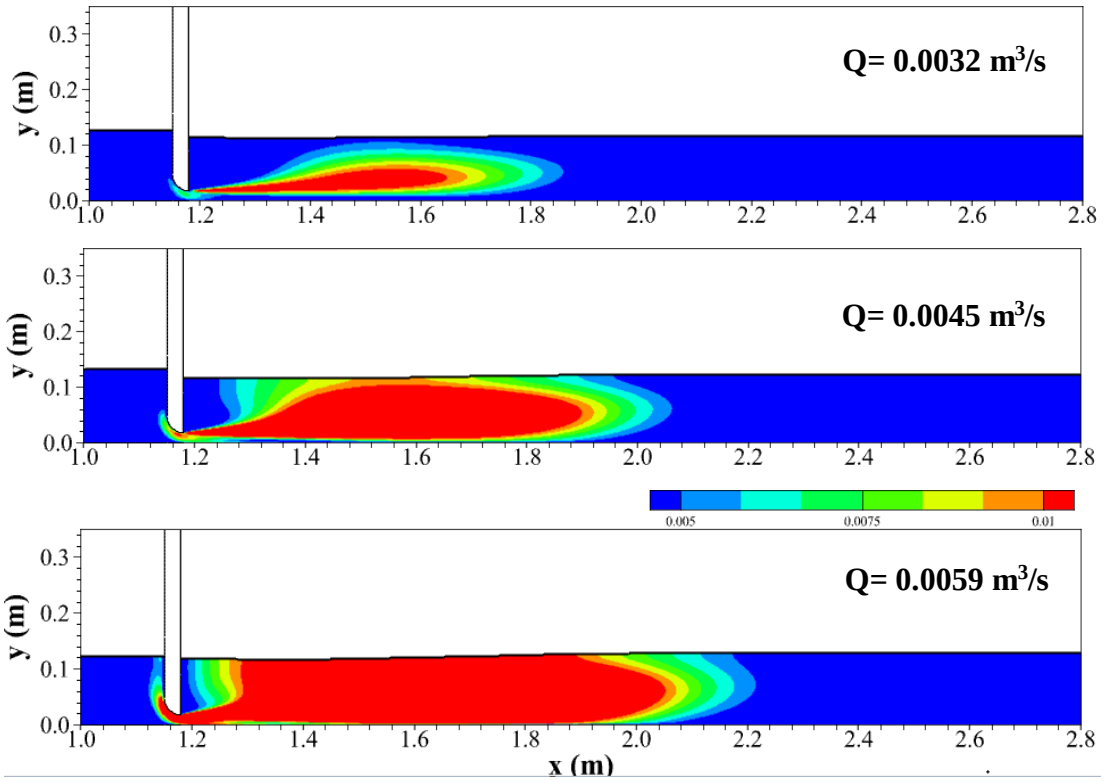
Şekil 4. 6. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.b)

Şekil 4.7.'de, Durum 1. b için farklı debi durumunda elde edilen dinamik basınç dağılımlarının desenleri sunulmuştur. Dinamik basınç desenlerinin kayar kapak altında ve mansap bölgesinde kanal tabanı yakın bölgede oluştuğu görülmektedir. Maksimum basıncın oluştuğu bölgenin büyüklüğü, akım debisinin artmasına paralel olarak artmaktadır. Debinin artması ile memba bölgesindeki maksimum dinamik basınç alanı artmaktadır. Sonuç olarak, bilekşe hızın yüksek olduğu bölgede dinamik basınç değerleri de yüksek olmuştur.



Şekil 4. 7. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.b)

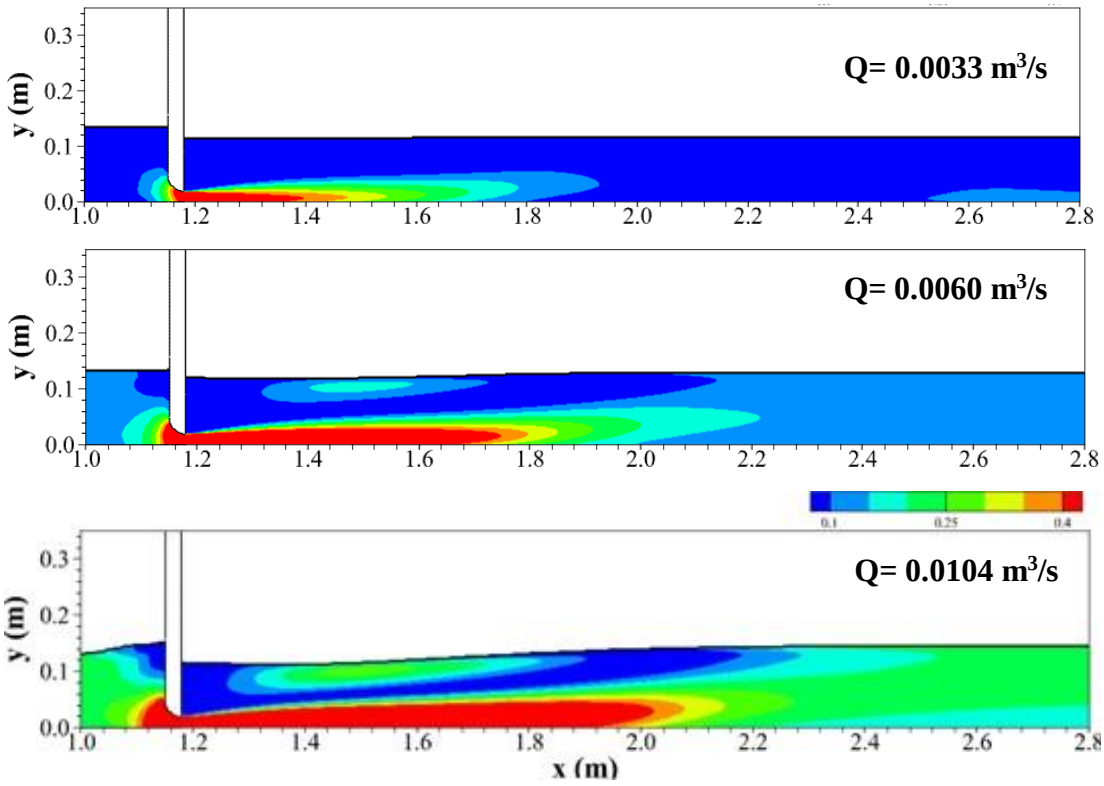
Durum 1. b için farklı debilerde elde edilen sayısal türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 4.8.'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde sıçramanın olduğu bölgede TKE değerleri daha büyük olduğu görülmektedir. Debi arttıkca TKE'nin büyük olduğu alanın büyüdüğü ve yüzeye doğru arttığı söylenebilir. Memba tarafında debi büyüdükçe TKE değerinin büyük olduğu alan kayar kapak dibinde yüzeye doğru uzanmaktadır. Büyük debilerde alanın mansap tarafında kayar kapağa doğru kaymaktadır. Türbülans kinetik enerjisi değerlerinin yüksek olduğu alan, sıçrama uzunluğunun debinin artmasıyla daha belirgin olmuştur.



Şekil 4. 8. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.b)

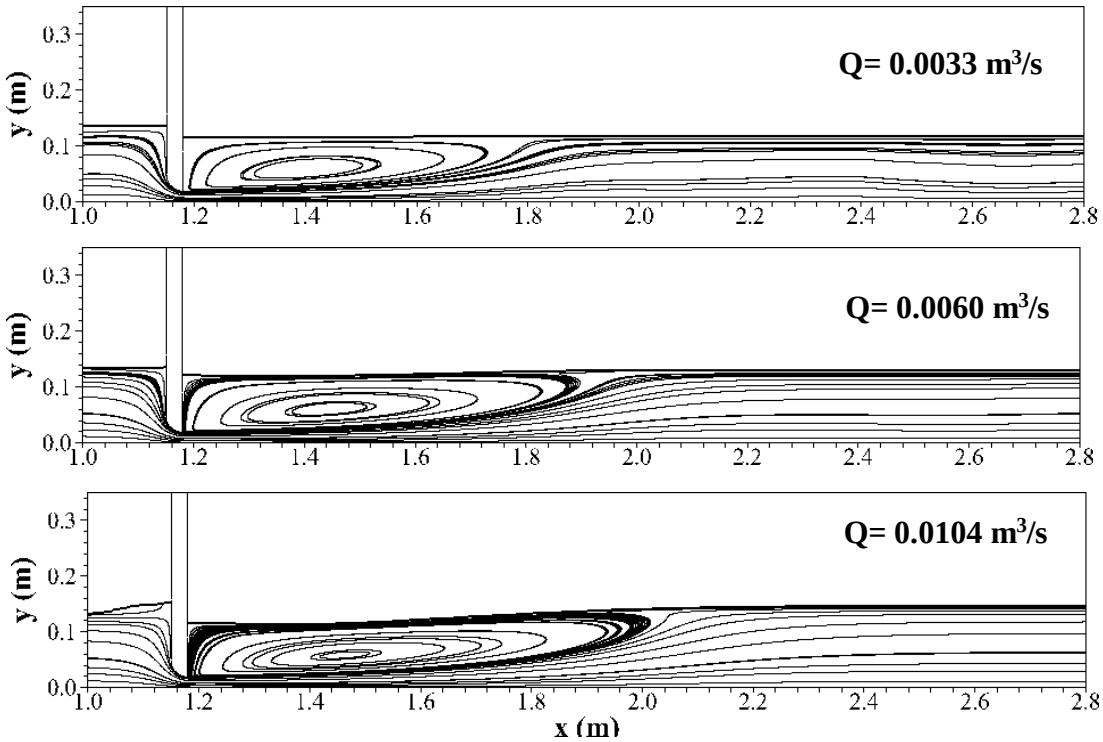
4.1.3. Durum 1.c için sayısal model sonuçları

Mansap kontrol kapağının yüksekliğinin 9 cm ve kayar kapak açıklığının 1.9 cm olduğu durumda sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri Şekil 4.9.'da verilmiştir. Maksimum akım hızı değeri kayar kapak altı ve bu bölgeden başlayarak duvar jetinin olduğu bölgede elde edilmiştir. Ayrıca, debinin artması ile maksimum hız değerleri mansap tarafına doğru kanal dibinden artmaktadır. Kayar kapak memba bölgesinde maksimum hız alanı debi artması ile artmaktadır. Debinin artmasıyla birlikte batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgede ortalama hız alanı artmaktadır. Mansap bölgesinin büyük bir alanın ortalama hız değeri büyük debilerde 0.25 m/s'nin üstüne çıktığı görülmektedir. Ayrıca, maksimum hızın oluştuğu jet akımının olduğu bölgenin kalınlığı debinin artmasına paralel olarak artmaktadır.



Şekil 4. 9. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.c)

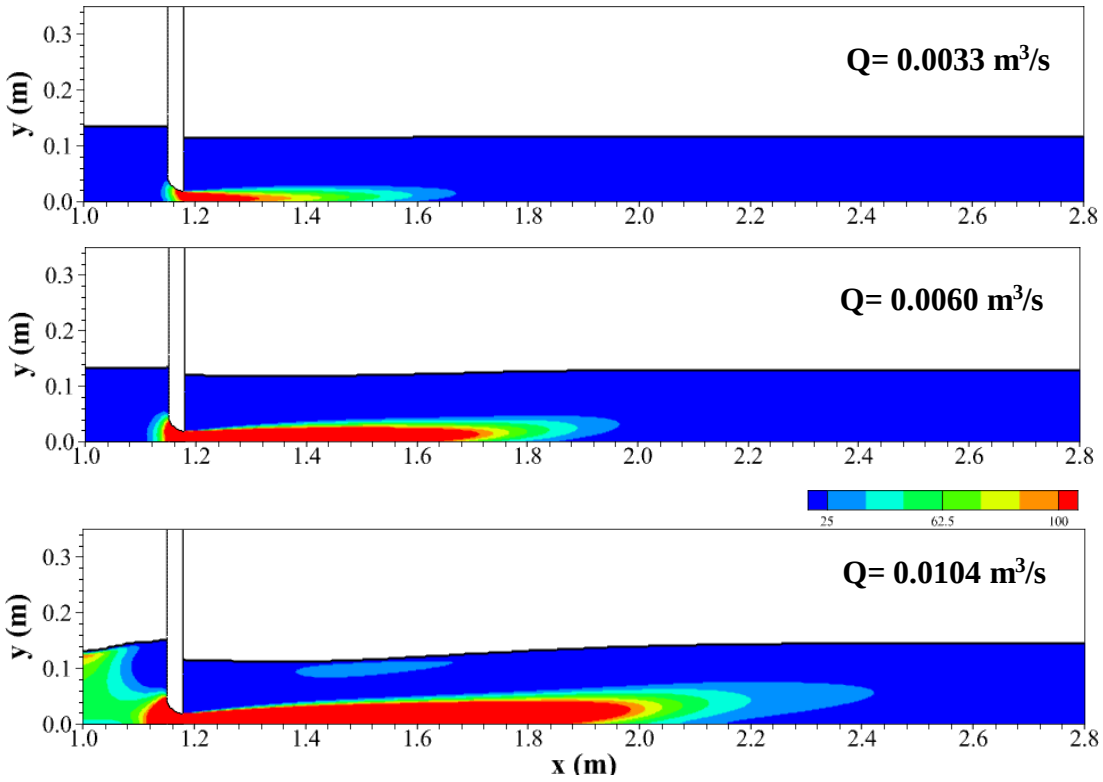
Durum 1. c durumunda farklı debiler için sayısal modelleme ile elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 4.10.'da verilmiştir. Akım çizgisi desenleri incelendiğinde batık hidrolik sıçramanın ve geri dönüş bölgesinin uzunluklarının debinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Akım hızının büyük olduğu kapak altı ve jetin oluştuğu bölgede akım çizgilerinin birbirine çok yakındır. Ayrıca, kayar kapak mansap bölgesinde batık sıçramanın hız alanı üzerindeki etkisininin kaybolduğu bölgenin uzunluğu debinin büyümesiyle artmaktadır. Batık hidrolik sıçramanın bittiği bölgede akım çizgilerinde paralellik oluşmakta ve klasik açık kanal akımına dönüşmektedir.



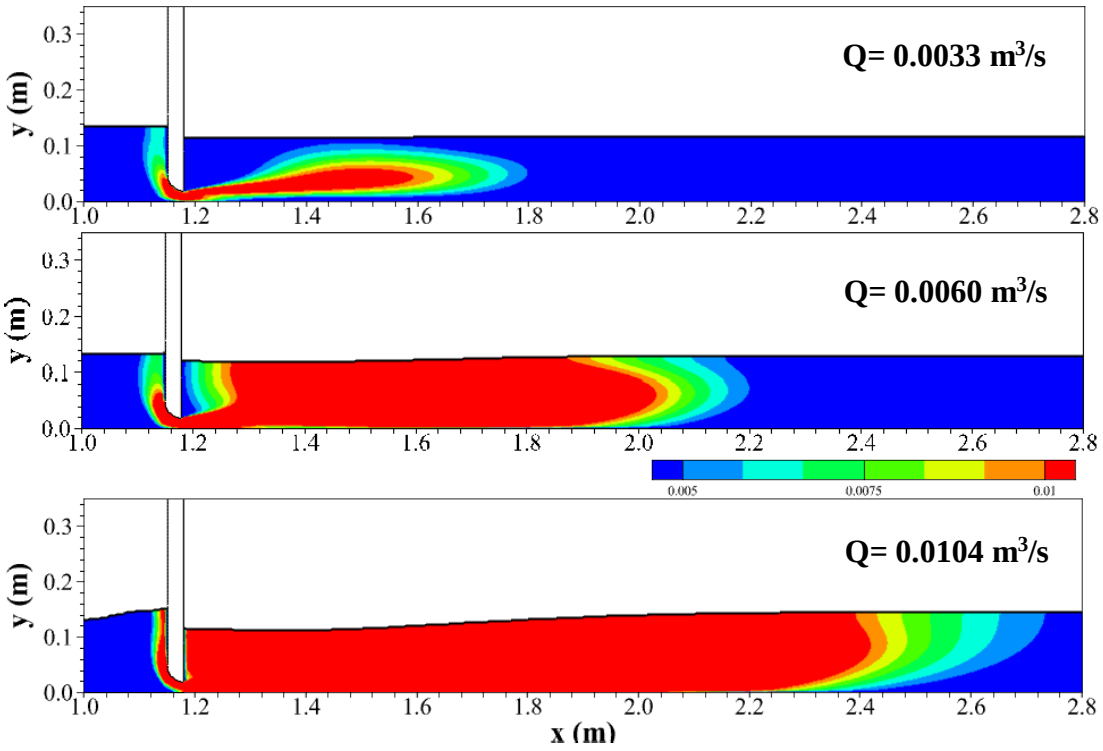
Şekil 4. 10. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.c)

Şekil 4.11.'de Durum 1. c için farklı debi durumunda elde edilen dinamik basınç desenleri verilmiştir. Maksimum dinamik basınç değerinin ele alınan debi koşulları altında kayar kapağın hemen membasında başlarak, kayar kapak altı ve jet akımının oluştuğu bölgede sahip olduğu görülmektedir. Maksimum basıncın oluştuğu bölgenin büyüklüğü debinin artmasına paralel olarak artmaktadır. Kayar kapağın memba bölgesinde görülen dinamik basınç dağılımın debinin büyümesiyle daha geniş bir alana sahip olduğu görülmektedir.

Durum 1. c için farklı debilerde elde edilen sayısal türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 4.12.'de verilmiştir. Verilen şekiller incelendiğinde batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgede meydana gelen TKE değerlerinin oldukça büyük olduğu görülmektedir. Debinin büyümesi ile birlikte akımın diğer özelliklerinde olduğu gibi TKE'nin büyük değerlere sahip olduğu bölgenin büyüklüğü de artmıştır. Debinin artmasıyla birlikte kayar kapak memba bölgesinde görülen TKE bölgesinin arttığı dikkat çekmektedir. Ayrıca, debide meydana gelen artış batık hidrolik sıçramayı etkileyerek kayar kapak mansap yüzeyine çok yakın bölgede daha büyük türbülans kinetik enerjisi oluşmasına neden olmuştur.



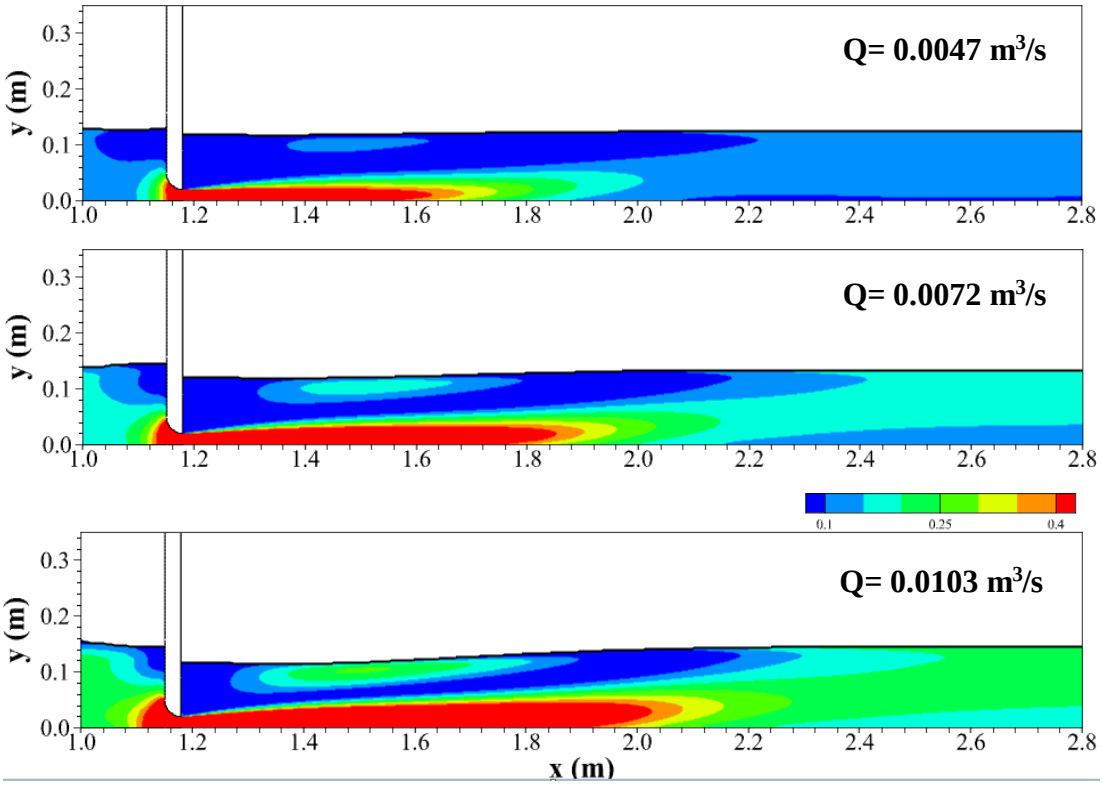
Şekil 4. 11. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.c)



Şekil 4. 12. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.c)

4.1.4. Durum 1.d için sayısal model sonuçları

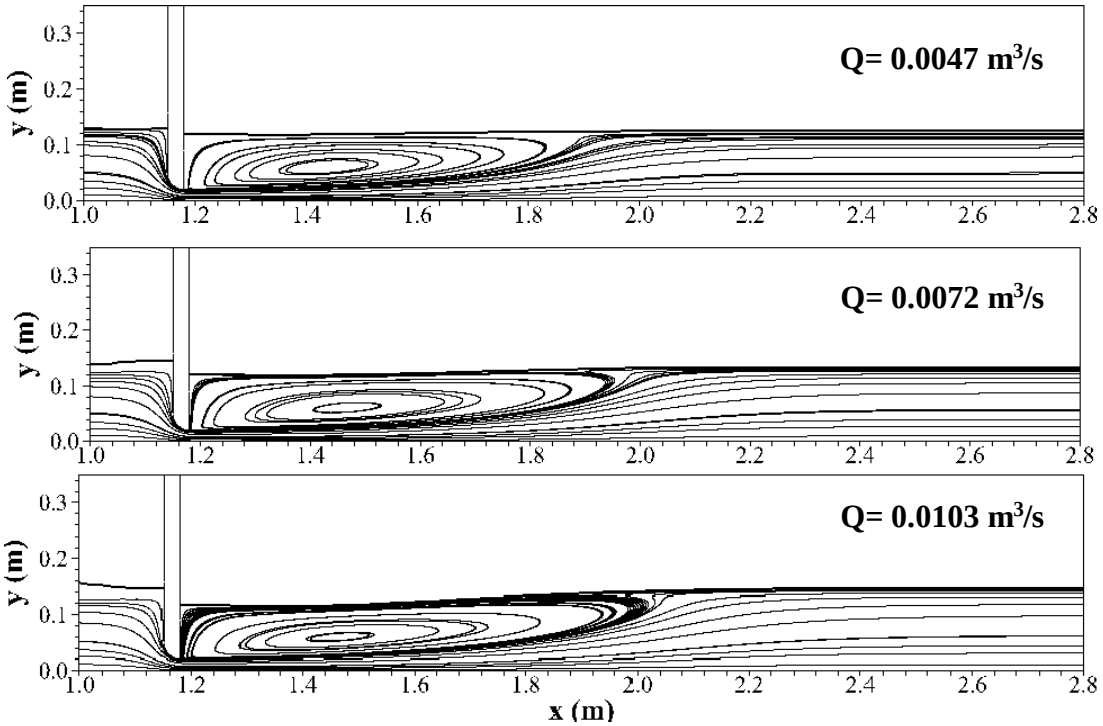
Mansap kontrol kapağının yüksekliğinin 9 cm ve kayar kapak açıklığının 2.0 cm olduğu durumda sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri Şekil 4.13.'te verilmiştir. Verilen şekillerden, akım maksimum hız değerine kayar kapak altından geçtiği bölgede sahiptir. Ayrıca, bu bölgede görülen jetin etkinliği debinin artmasıyla artmaktadır. Debinin artmasıyla birlikte batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgenin uzunluğunun büyüdüğü anlaşılmaktadır. Geri dönüş bölgesinde debinin artması ile bileşke hız değerleri 0.25 m/s'ten büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 13. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.d)

Durum 1. d durumunda farklı debiler için sayısal modelleme ile elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 4.14.'te verilmiştir. Akım çizgisi desenleri incelendiğinde batık hidrolik sıçramanın ve geri dönüş bölgesinin uzunluklarının debinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Kapak memba bölgesinden kapak altına yönelen akımın eğriselliğe maruz kaldığı söylenebilir. Jet akımın olduğu bölgede akım çizgileri

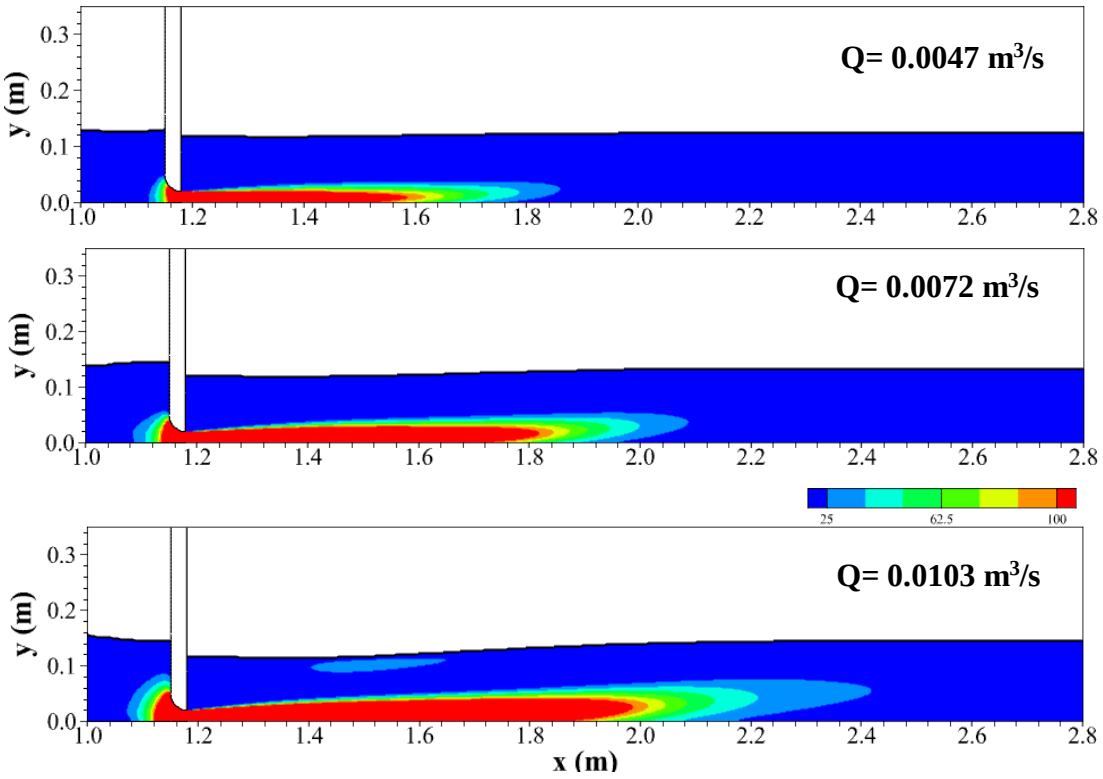
birbirine çok yakın görülmektedir. Akım çizgilerinin deselerinden, geri dönüş bölgesinin özelliklerinin detaylı olarak incelenmesi imkanı vermektedir.



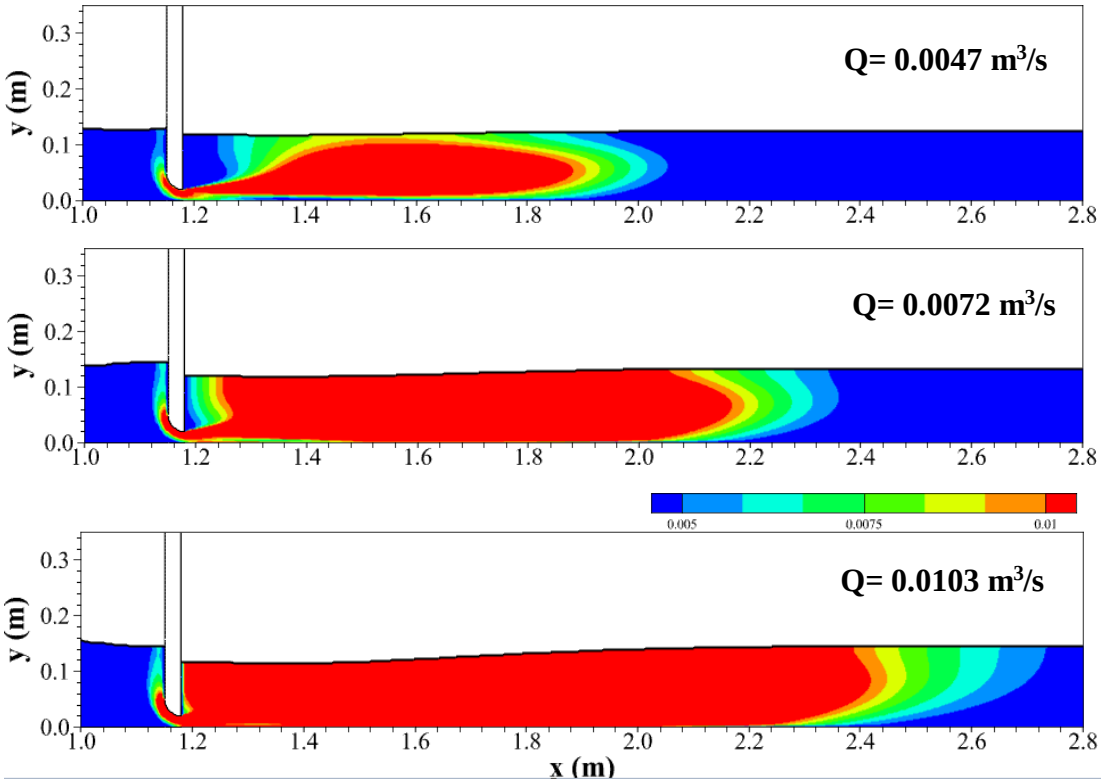
Şekil 4. 14. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.d)

Şekil 4.15.'te, Durum 1.d için farklı debi durumunda elde edilen sayısal dinamik basınç dağılımlarının desenleri verilmiştir. Dinamik basınç değerinin ele alınan debi koşulları altında maksimum değerine hız alanına benzer olarak kayar kapağın hemen membasında başlarak, kayar kapak altında olduğu görülmektedir. Maksimum basıncın oluştuğu bölgenin büyüklüğü debinin artmasına paralel olarak artmaktadır. Kayar kapağın memba bölgesinde görülen dinamik basınç dağılımın debinin büyümesiyle daha geniş bir alana sahip olduğu söylenebilir.

Şekil 4.16.'da Durum 1.d için farklı debi durumlarında elde edilen sayısal türblans kinetik enerji desenleri verilmiştir. Debinin artmasına bağlı olarak TKE'nin arttığı açıkça görülmektedir. Debinin artmasına paralel olarak maksimum TKE değerinin oluştuğu bölge su yüzeyine kadar ulaşmaktadır.



Şekil 4. 15. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.d)

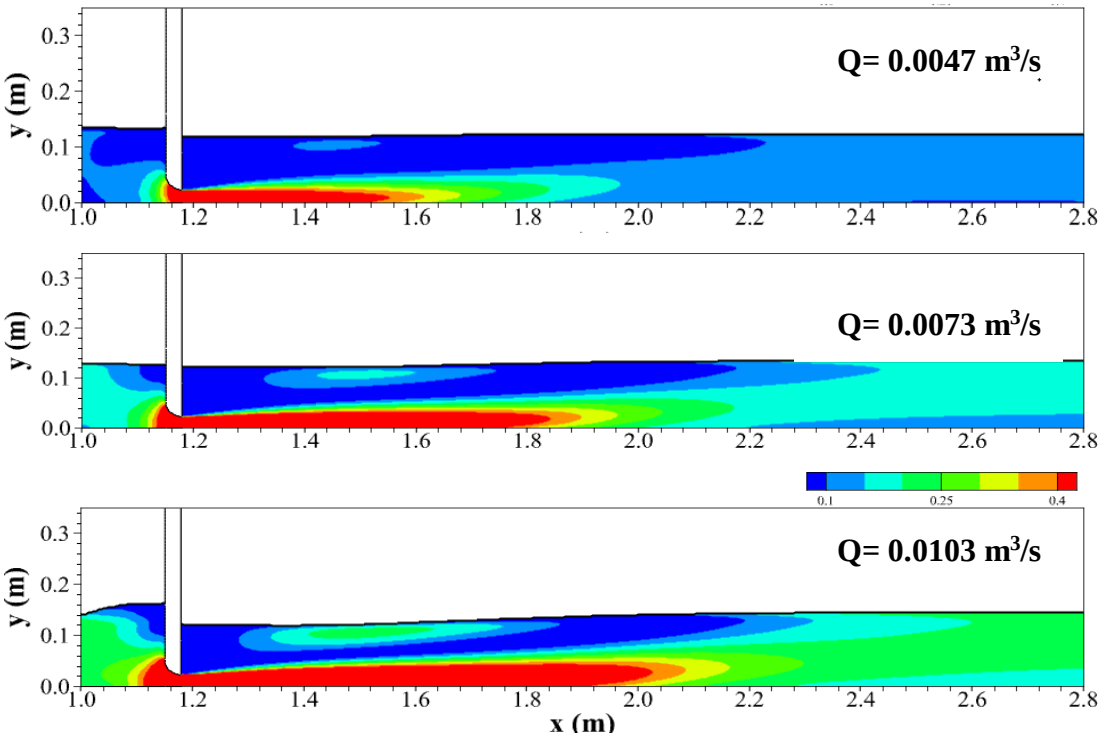


Şekil 4. 16. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.d)

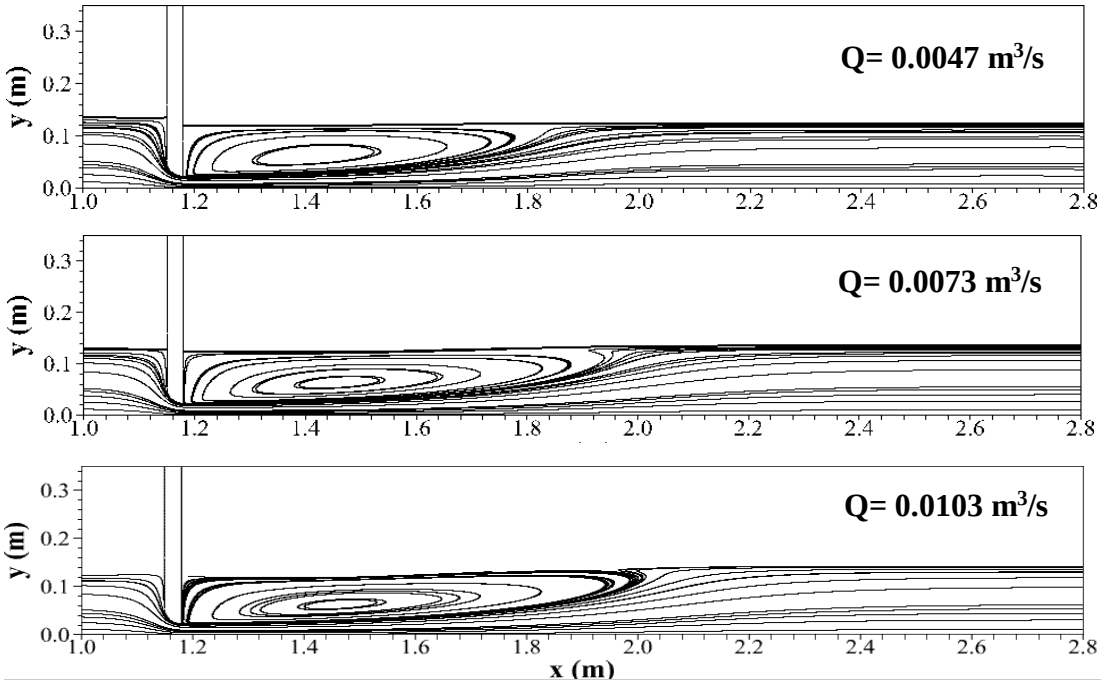
4.1.5. Durum 1.e için sayısal model sonuçları

Mansap kontrol kapağının yüksekliğinin 9 cm ve kayar kapak açıklığının 2.3 cm olduğu durumda sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri Şekil 4.17.'de verilmiştir. Şekilden görüleceği akım maksimum hız değerine kayar kapak altından geçtiği bölgede sahiptir. Ayrıca, bu bölgede görülen jetin etkinliği debinin artmasıyla artmaktadır. Kayar kapak memba bölgesinde eğri yörüngeli akımın oluştuğu görülmektedir. Debinin artmasıyla birlikte batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgedeki dönüş hızlarının da arttığı görülmektedir.

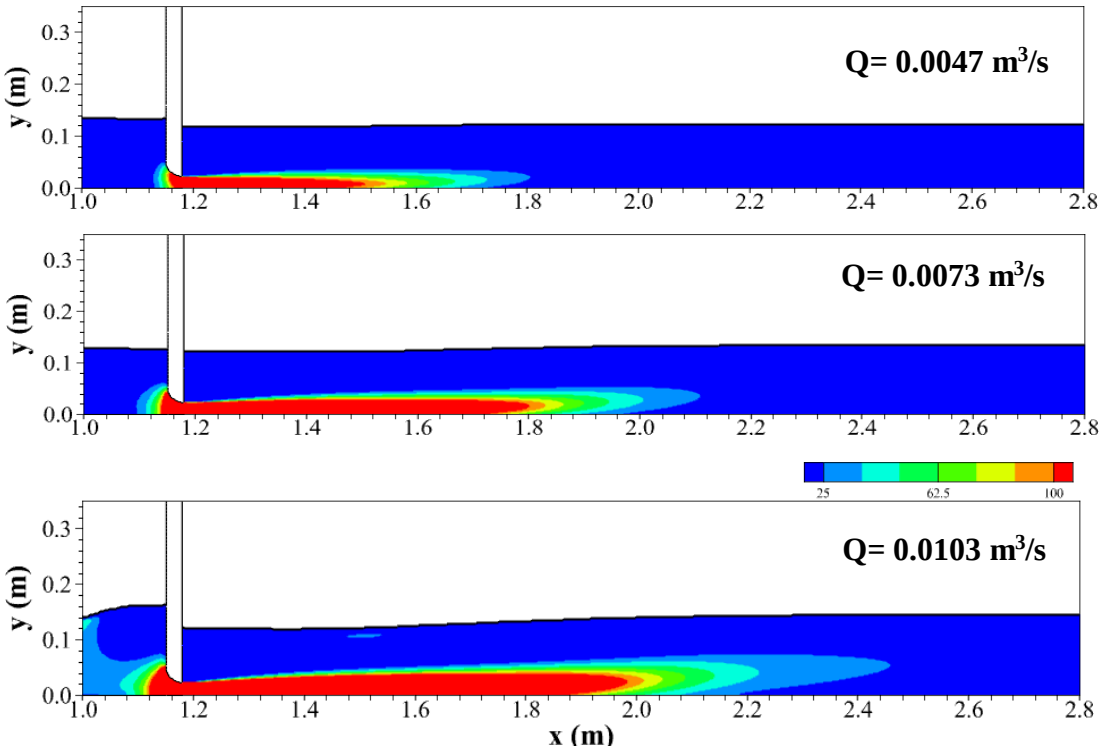
Şekil 4.19.'da, Durum 1. e için farklı debi durumunda elde edilen sayısal dinamik basınç dağılımlarının desenleri verilmiştir. Maksimum dinamik basınç değeri kayar kapağın hemen altından başlayarak jet akımın olduğu yere doğru bir alan oluşturmaktadır. Debinin artması ile bu alan genişlendiği ve uzadığı görülmektedir. Büyük debilerde memba bölgesinde daha büyük maksimum dinamik basınç alanları olduğu söylenebilir. Ayrıca, jet akımının olduğu bölgenin kalınlığı debinin artmasıyla büyümektedir.



Şekil 4. 17. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.e)

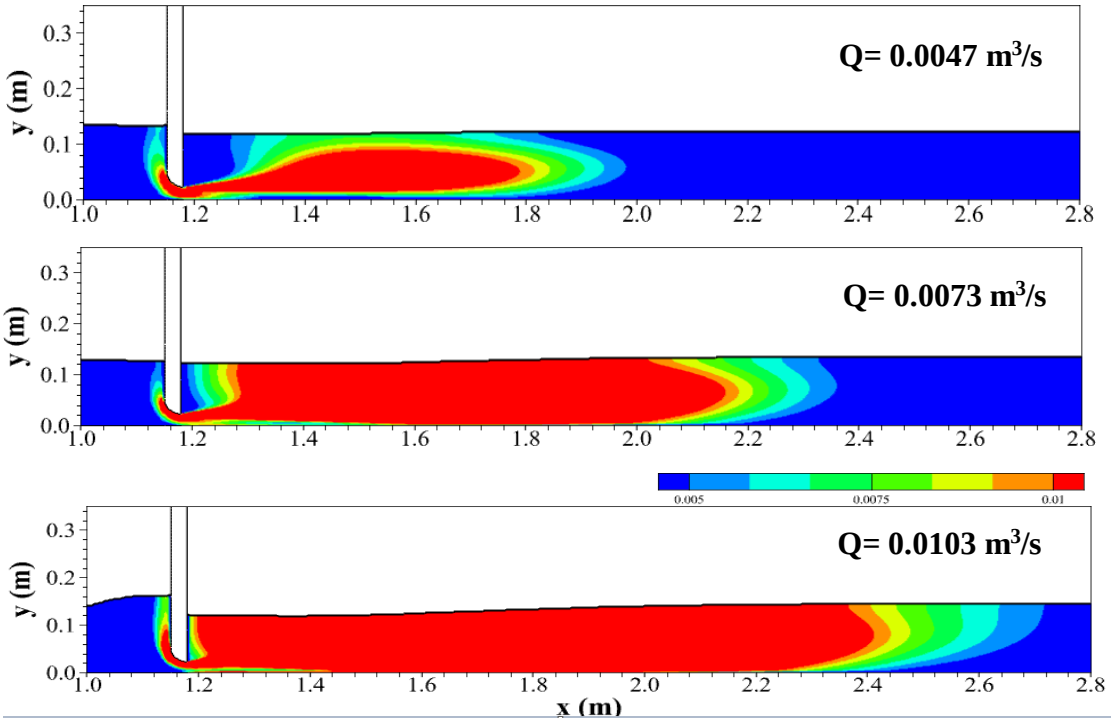


Şekil 4. 18. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.e)



Şekil 4. 19. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.e)

Durum 1.e için farklı debilerde elde edilen sayısal türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 4.20.'de verilmiştir. Şekillerden, batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgede meydana gelen TKE değerlerinin oldukça büyük olduğu görülmektedir. Debinin büyümesine paralel olarak akımın diğer özelliklerinde olduğu gibi TKE'nin büyük değerlere sahip olduğu bölgenin büyüklüğü de artmıştır. Debinin artmasıyla birlikte kayar kapak memba bölgesinde görülen TKE bölgesinin arttığı söylenebilir. Türbülans kinetik enerjisine ait desenler incelendiğinde batık hidrolik sıçrama da enerji sönümleme açısından oldukça etkili olduğu söylenebilir. Debinin artması ile TKE'nin büyük olduğu alanın mansap bölgesinde kayar kapak yüzeyine yaklaşmaktadır. Memba bölgesinde debinin artması ile türbülans kinetik enerjinin büyük olduğu alanın kapak yüzeyinden su yüzüne doğru artmaktadır.



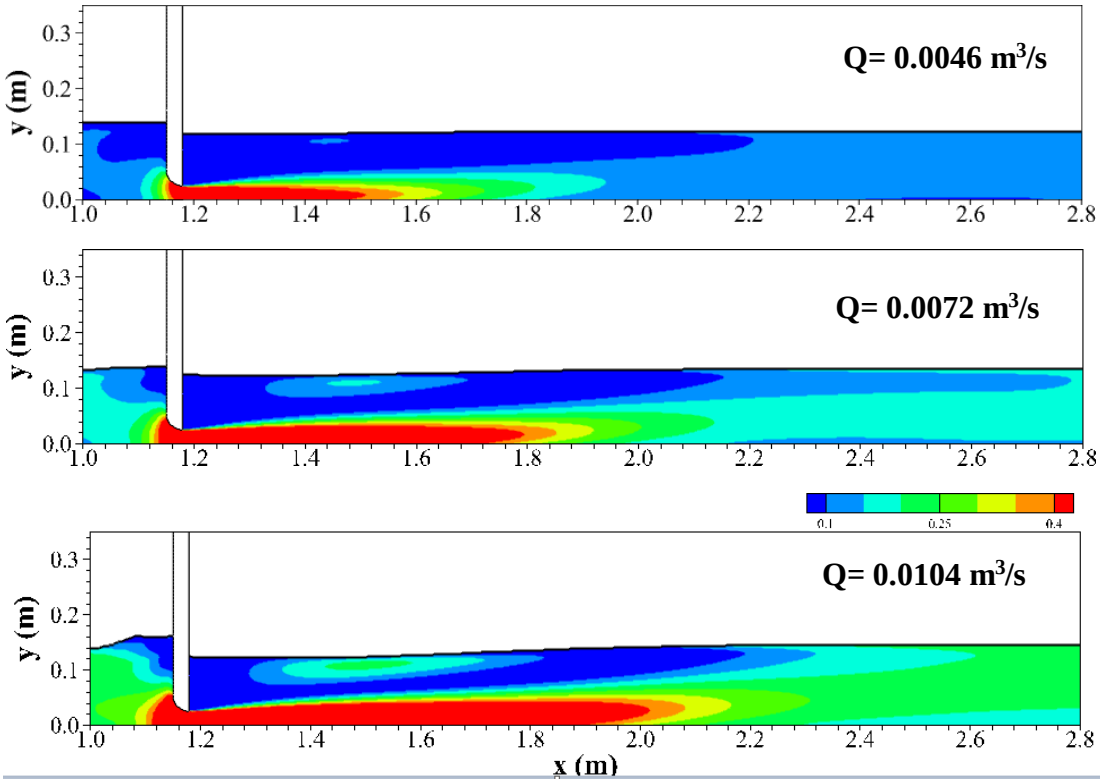
Şekil 4. 20. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.e)

4.1.6. Durum 1.f için sayısal model sonuçları

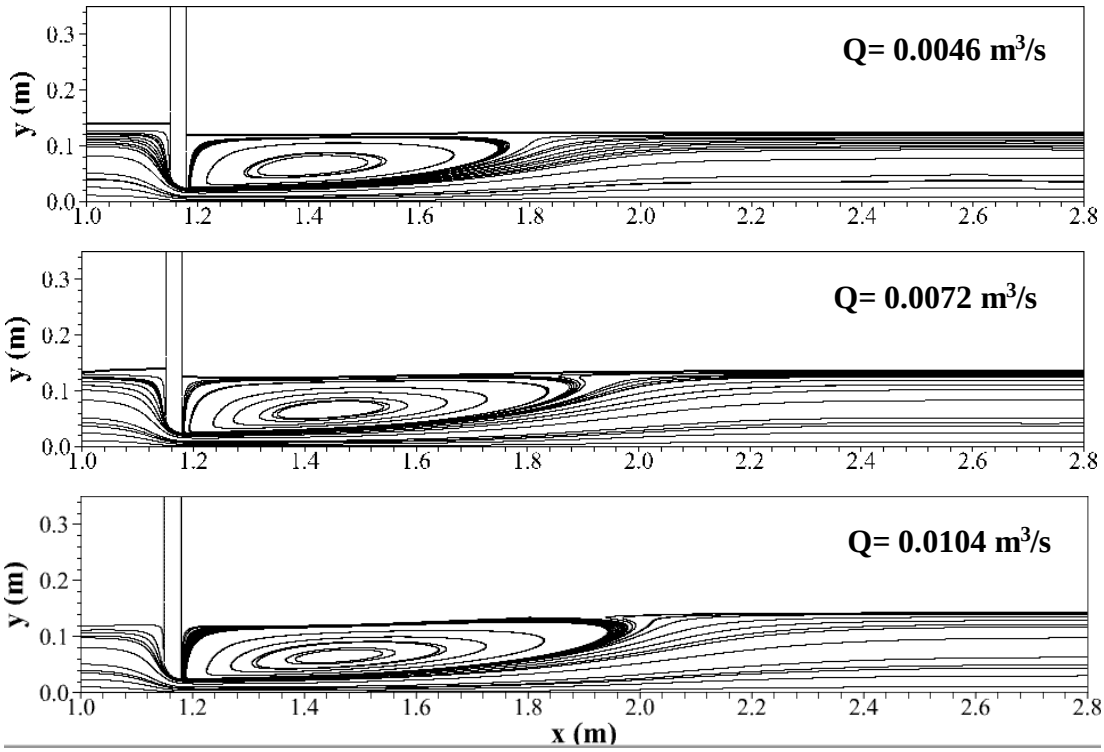
Mansap kontrol kapağının yüksekliğinin 9 cm ve kayar kapak açıklığının 2.5 cm olduğu durumda sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri

Şekil 4.21.'de verilmiştir. Maksimum hızın kapak altında gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Ayrıca bu bölgede görülen jetin etkinliği debinin artmasıyla artmaktadır. Kayar kapak memba bölgesinde eğrisellik oluştuğu görülmektedir. Debinin artmasıyla birlikte batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgenin uzunluğunun büyüdüğü anlaşılmaktadır. Kayar kapak mansap bölgesinde geri dönüş bölgesi dışındaki tüm alanda büyük debilerde hızının 0.25 m/s'den büyük olduğu görülmektedir.

Durum 1.f durumunda farklı debiler için sayısal modelleme ile elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 4.22.'de verilmiştir. Akım çizgisi desenleri incelendiğinde batık hidrolik sıçramının uzunluğunun ve geri dönüş bölgesinin uzunluklarının debinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Kapak memba bölgesinden kapak altına yönelen akımın eğriselliğe maruz kaldığı söylenebilir. Akım hızının büyük olduğu kapak altı ve jetin oluştuğu bölgede akım çizgilerinin birbirine çok yakındır. Ayrıca, kayar kapak mansap bölgesinde batık sıçramanın uzunluğu debinin büyümesiyle artmaktadır. Sıçramanın etkisini kaybetmesi ile akım çizgilerinde paralellik oluşmaktadır.

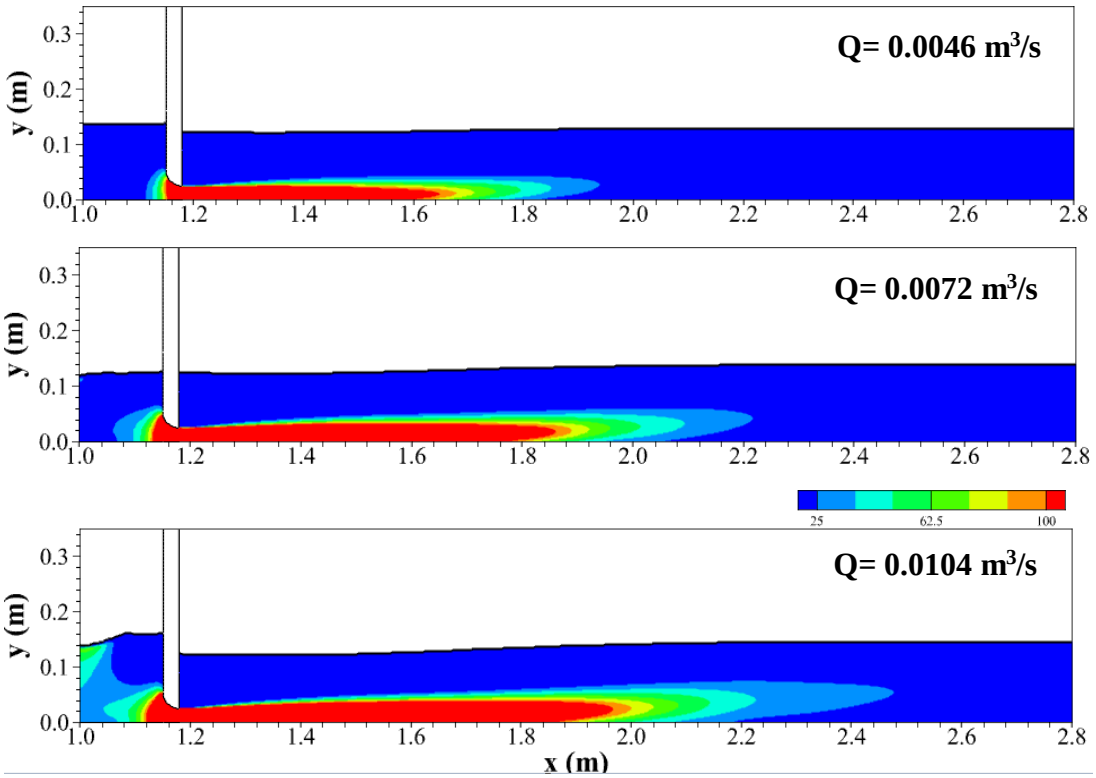


Şekil 4. 21. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.f)



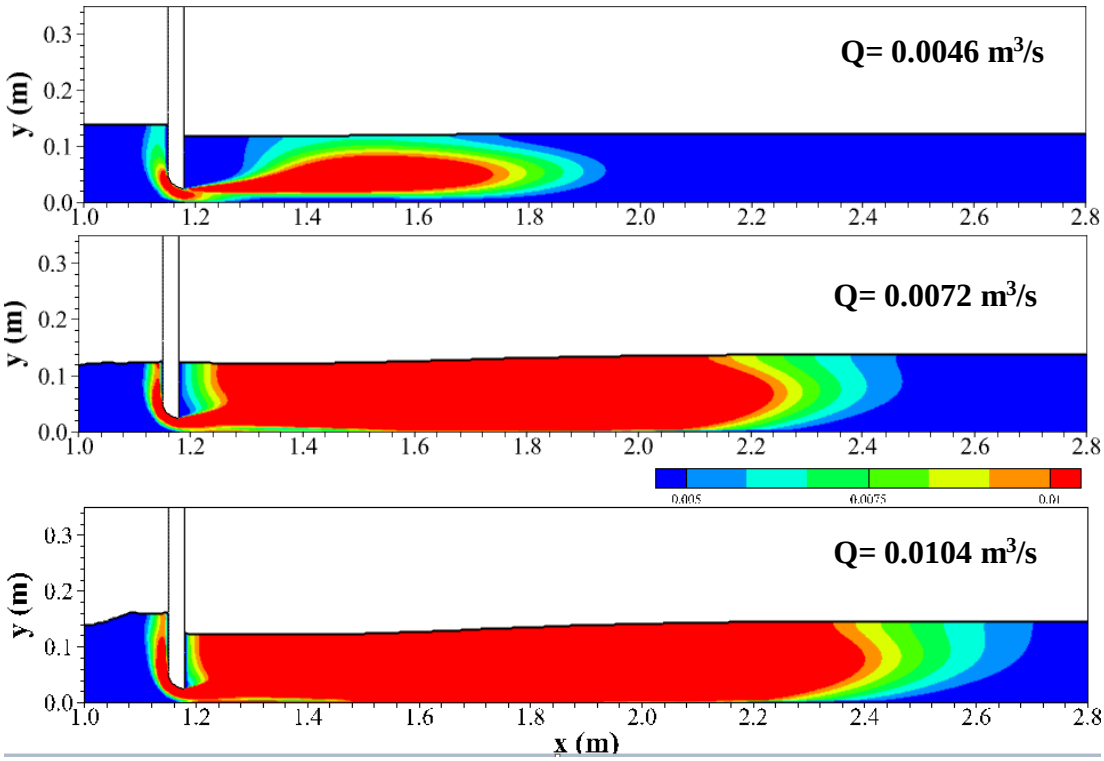
Şekil 4. 22. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.f)

Şekil 4.23.'te Durum 1.f için farklı debi durumunda elde edilen sayısal dinamik basınç dağılımlarının desenleri verilmiştir. Dinamik basınç değerinin ele alınan debi koşulları altında maksimum değerine hız alanına benzer olarak kayar kapağın hemen membasında başlarak, kayar kapak altı ve jet akımının oluştuğu bölgede sahip olduğu görülmektedir. Maksimum basınçın oluştuğu bölgenin büyüklüğü debinin artmasına paralel olarak artmaktadır. Kayar kapağın memba bölgesinde görülen dinamik basınç büyük debilerde 60 Pa değerinin üzerindeki alanın genişlediğini söyleyebiliriz.



Şekil 4. 23. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.f)

Durum 1. f için farklı debilerde elde edilen sayısal türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 4.24.'te verilmiştir. Debinin büyümesine paralel olarak akımın diğer özelliklerinde olduğu gibi TKE'nin büyük değerlere sahip olduğu bölgenin büyüklüğü de artmıştır. Debinin artmasıyla birlikte kayar kapak memba bölgesinde görülen TKE bölgesinin arttığı görülmektedir. Türbülans kinetik enerjisine ait desenler incelendiğinde batık hidrolik sıçrama da enerji sönümleme açısından oldukça etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca, debide meydana gelen artış batık hidrolik sıçramayı etkileyerek kayar kapak mansap yüzeyine çok yakın bölgede daha büyük türbülans kinetik enerjisi oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 4. 24. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.f)

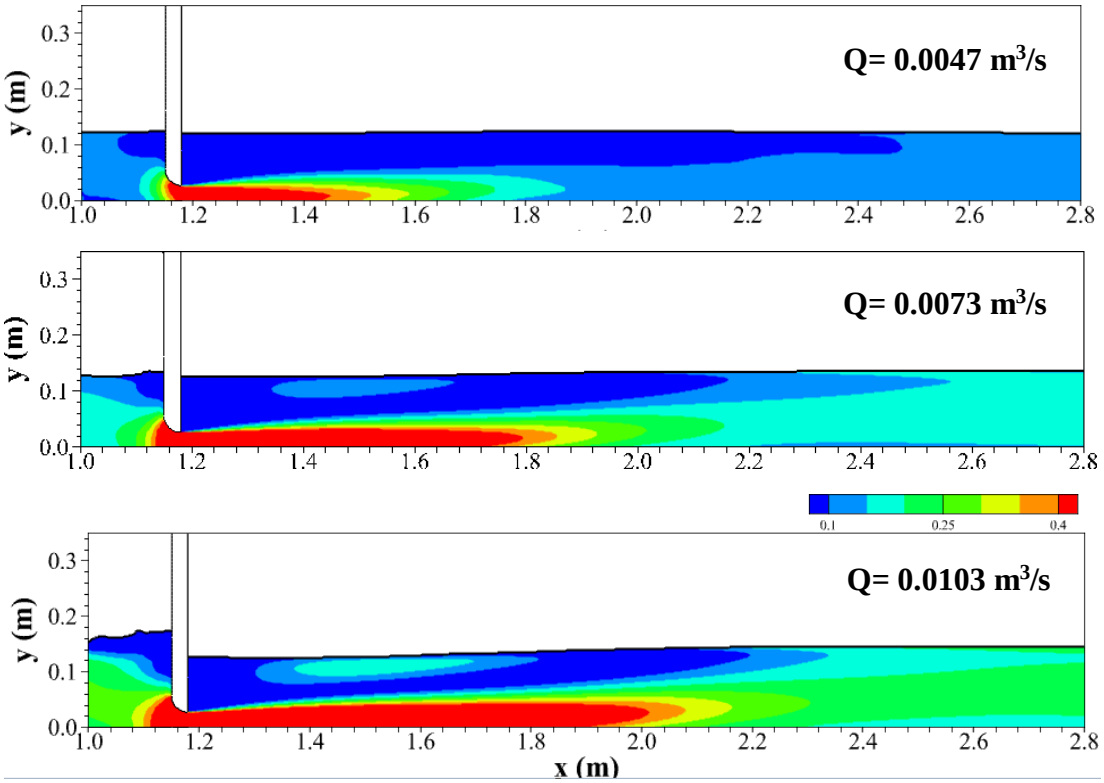
4.1.7. Durum 1.g için sayısal model sonuçları

Mansap kontrol kapağının yüksekliğinin 9 cm ve kayar kapak açıklığının 2.7 cm olduğu durumda sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri Şekil 4.25.'te verilmiştir. Şekilden görüleceği akım maksimum hız değerine kayar kapak altından geçtiği bölgede sahiptir. Ayrıca bu bölgede görülen jetin etkinliği debinin artmasıyla artmaktadır. Debinin artmasıyla birlikte batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgenin uzunluğunun büyüdüğü anlaşılmaktadır. Mansap tarafında geri dönüş bölgesi dışında debinin artması ile bileşke değerleri 0.25 m/s'nin üstüne çıktığı görülmektedir.

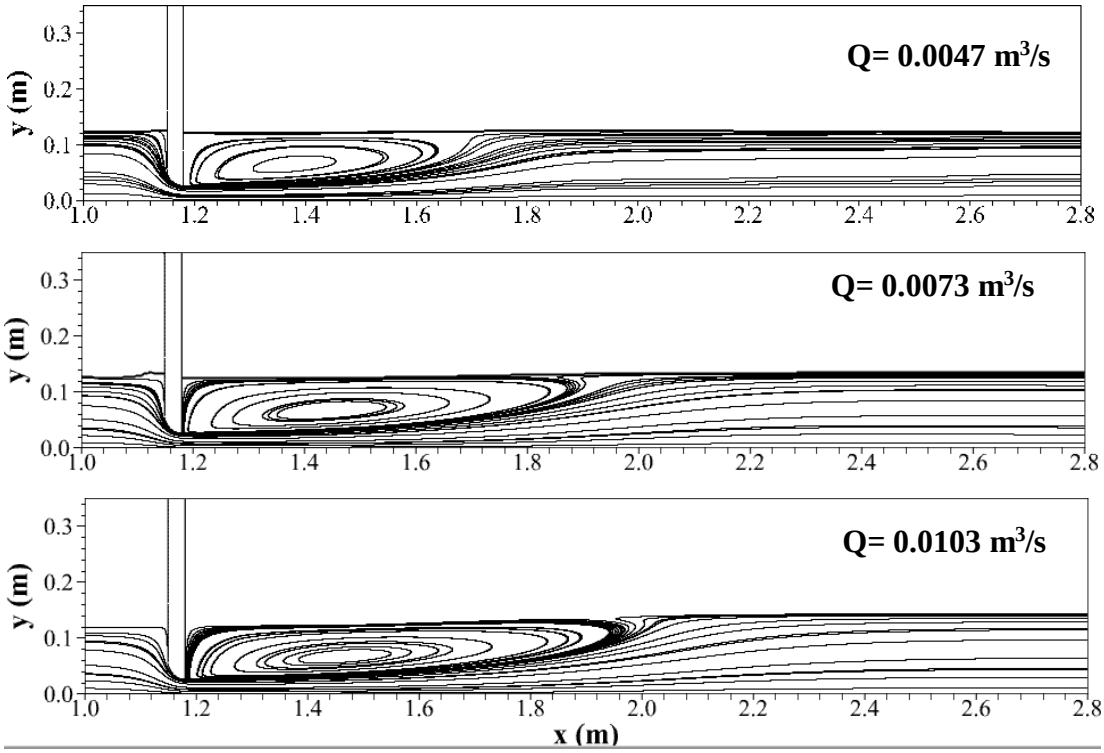
Durum 1. g durumunda farklı debiler için sayısal modelleme ile elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 4.26.'da verilmiştir. Akım çizgisi desenleri incelendiğinde batık hidrolik sıçramının uzunluğunun ve geri dönüş bölgesinin uzunluklarının debinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Ayrıca, jet akımın oluştuğu bölgede akım çizgilerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Sıçramanın etkisini kaybetmesiyle mansap

bölgesinde akım çizgileri paralellik oluştumaktadır. Batık hidrolik sıçrama bölgesinde, akım çizgilerinin deseninden, geri dönüş bölgesinin uzunluğu ve kalınlığı çok açık olarak görülmektedir.

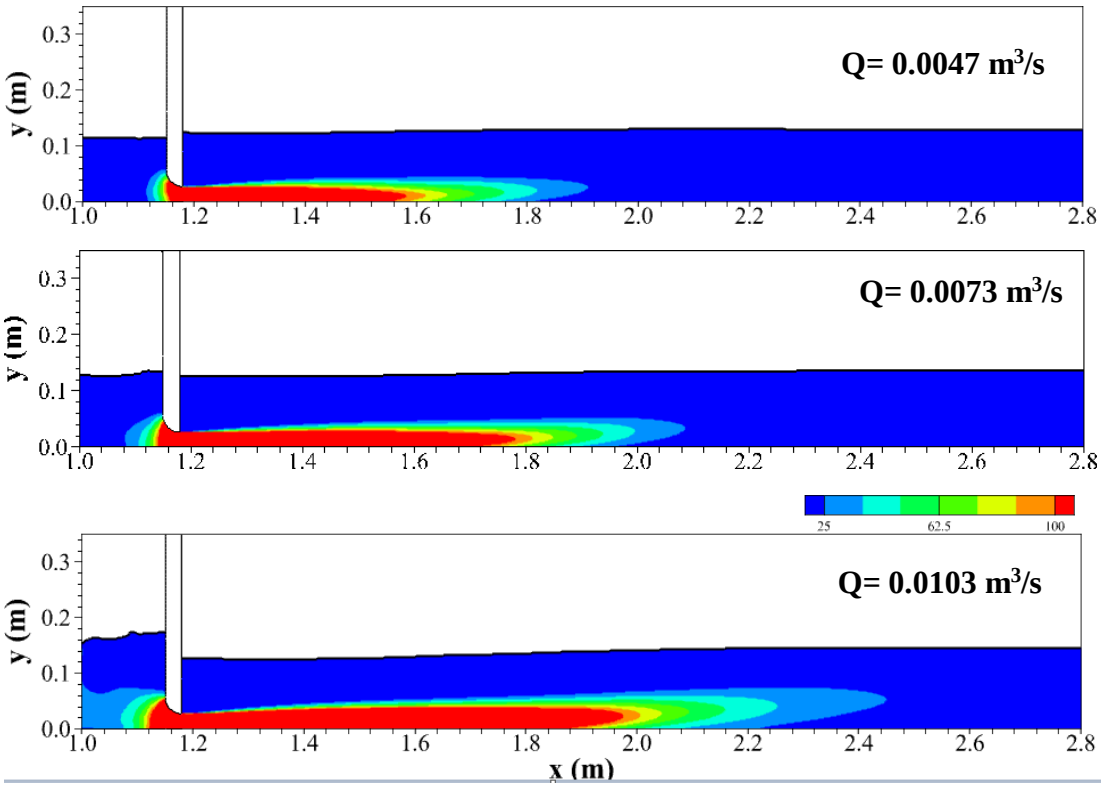
Şekil 4.27.'de, Durum 1. g için farklı debi durumunda elde edilen sayısal dinamik basınç dağılımlarının desenleri verilmiştir. Maksimum dinamik basınç kayar kapağın hemen altından başlayarak jet akımın olduğu yere doğru bir alan oluşturmaktadır. Debinin artması ile bu alan genişlendiği ve uzadığı görülmektedir. Büyük debilerde memba bölgesinde daha büyük maksimum dinamik basınç alanları olduğu söylenebilir. Büyük debilerde 60 Pa değerinde dinamik basınçlar memba bölgesinde artış göstermektedir.



Şekil 4. 25. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.g)

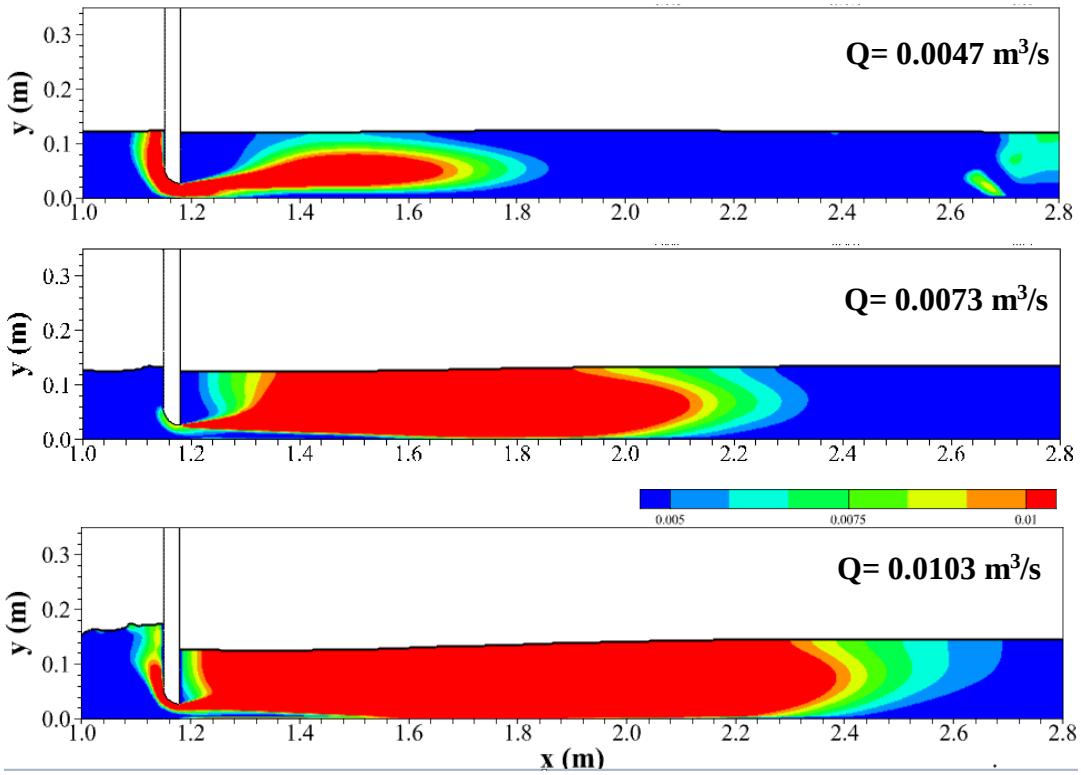


Şekil 4. 26. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.g)



Şekil 4. 27. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.g)

Durum 1. g için farklı debi durumlarında elde edilen sayısal türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 4.28.'de verilmiştir. Verilen şekillerden, batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgede meydana gelen TKE değerlerinin oldukça büyük olduğu görülmektedir. Debinin büyümesine paralel olarak akımın diğer özelliklerinde olduğu gibi TKE'nin en büyük değerlere sahip olduğu bölgenin büyüklüğü de artmıştır. En küçük debide arka kapak dibinde ayrılma görülmektedir. Memba bölgesinde kapak yüzeyinde TKE'nin debi artıkça azaldığını söylenebilir. TKE'nin mansap bölgesinde debi artıkça kayar kapak yüzeyine yakınlaşmaktadır.



Şekil 4. 28. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.g)

4.1.8. Durum 1.h için sayısal model sonuçları

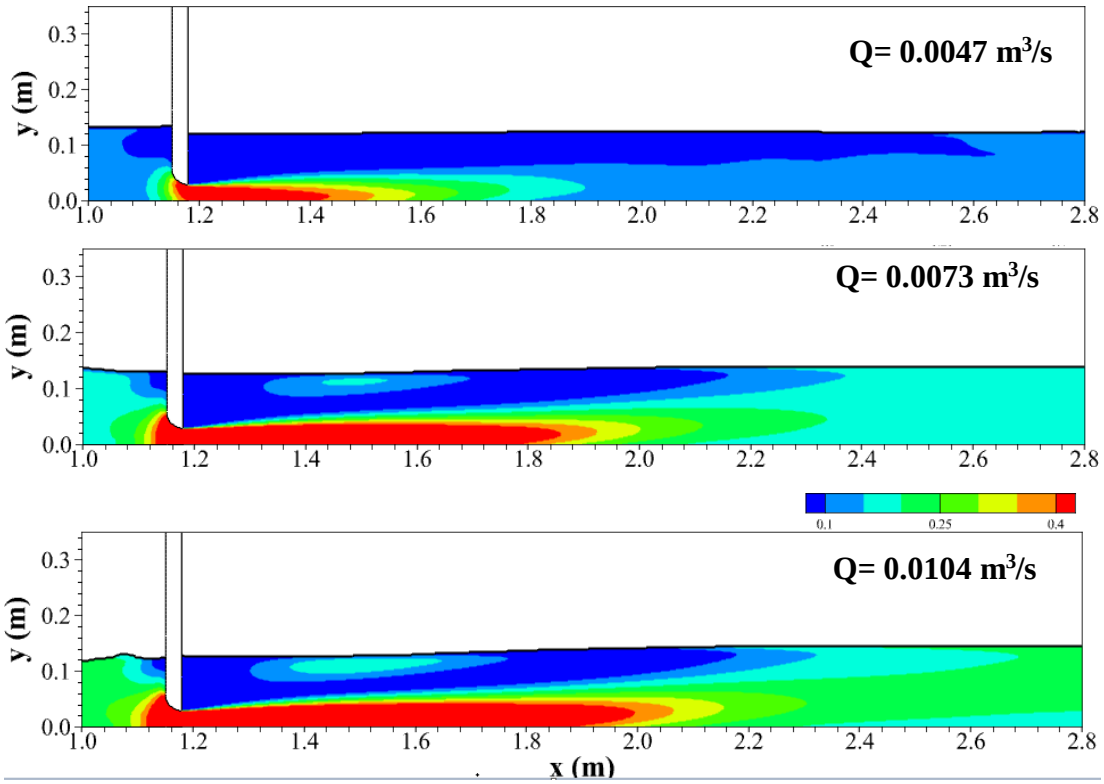
Mansap kontrol kapağının yüksekliğinin 9 cm ve kayar kapak açıklığının 2.9 cm olduğu durumda (Durum 1.h) sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri Şekil 4.29.'da verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere akım maksimum hız değerine akım alanında daralmanın en fazla olduğu kayar kapak altından geçtiği

bölgede sahiptir. Debinin artmasıyla maksimum hız değerleri memba bölgesinde artmaktadır. Mansapta geri dönüş bölgesi dışında kalan bölgede hız 0.25 m/s'nin üstüne çıktığı söylenebilir. Maksimum hız alanı debinin artması ile artmakta ve jet akım bölgesinde etki göstermektedir.

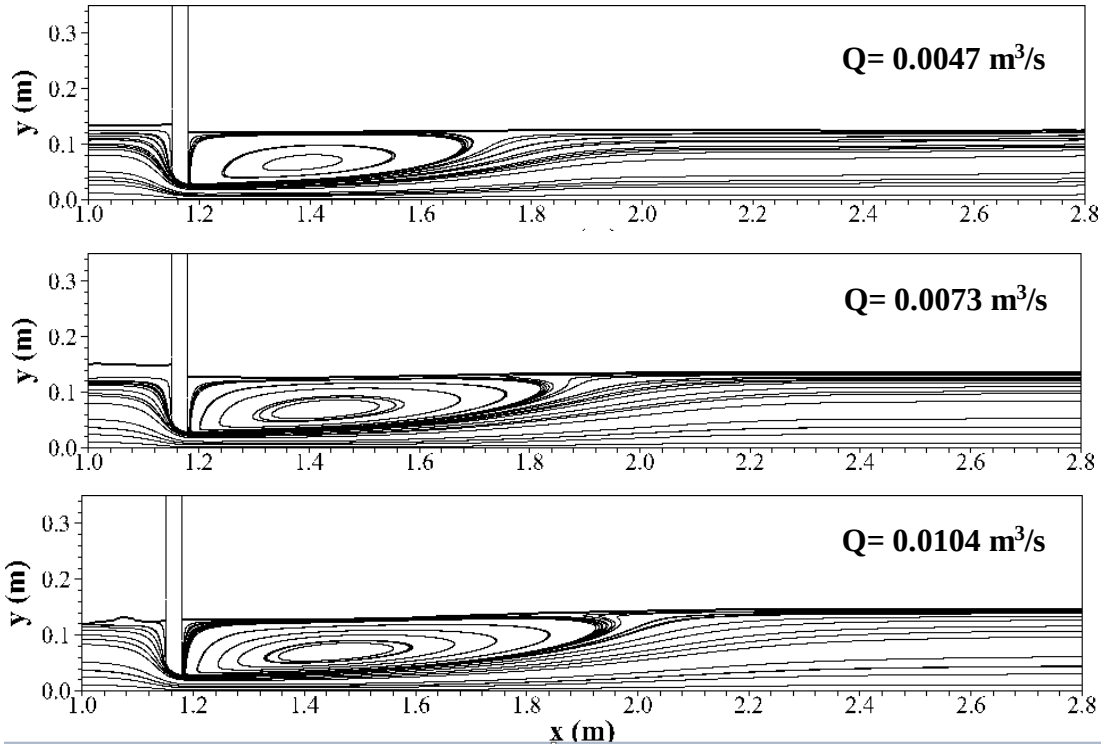
Durum 1. h durumunda farklı debiler için sayısal modelleme ile elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 4.30.'da verilmiştir. Akım çizgilerinin kapak altında ve jet akım bölgesinde birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Kayar kapak memba yüzeyinde eğrisellik görülmektedir. Debinin artması ile batık hidrolik sıçramanın geri dönüş bölgesinin uzunluğunun ve hidrolik sıçrama uzunluğunun da artığı söylenebilir. Sıçramanın bittiği bölgede akım çizgileri paralellik kazanmaktadır.

Şekil 4.31.'de Durum 1. h için farklı debi durumunda elde edilen sayısal dinamik basınç dağılımlarının desenleri verilmiştir. Dinamik basınçın maksimum değeri kayar kapak hemen altında başlayarak mansap bölgesinde artış göstermektedir. Dinamik basınç maksimum değerleri jet akım bölgesinde oluşmaktadır. Memba bölgesinde dinamik basınç alanı debinin artması ile artmaktadır. Debinin artması ile maksimum dinamik basınç alanı mansap bölgesinde jet akım alanı ile paralel artığı söylenebilir.

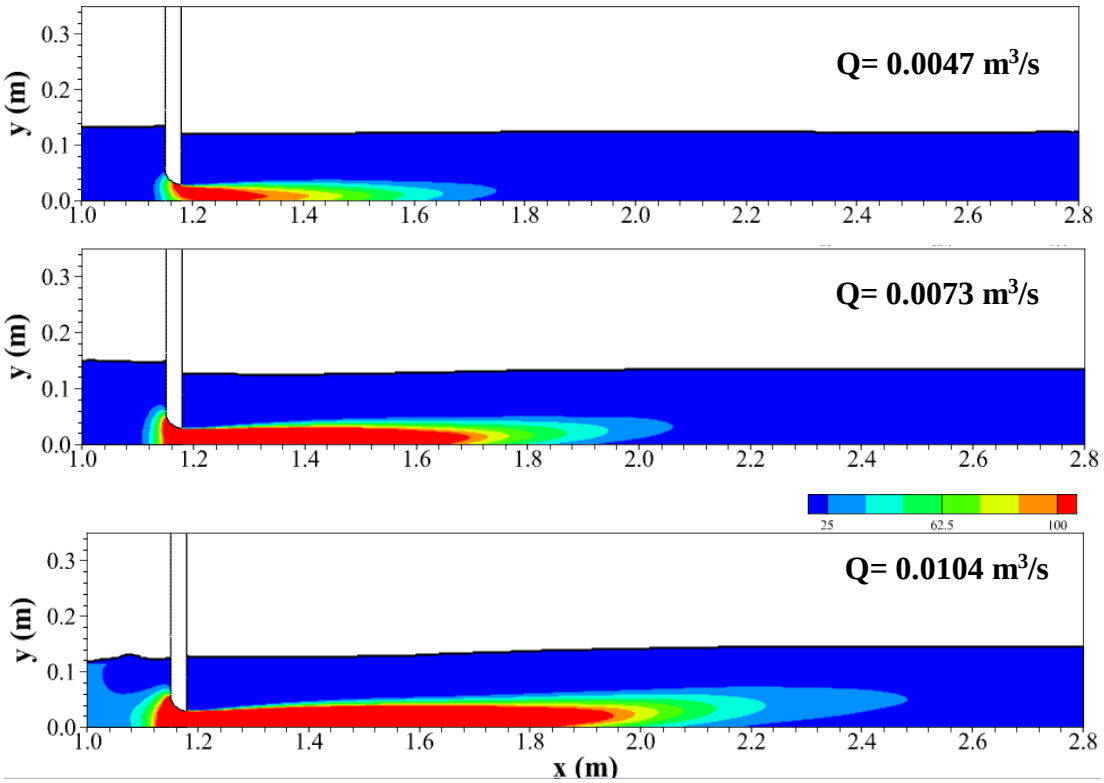
Durum 1. h için farklı debilerde elde edilen sayısal türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 4.32.'de verilmiştir. Verilen şekiller incelendiğinde batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgede meydana gelen TKE değerlerinin oldukça büyük olduğu görülmektedir. Debinin artmasıyla birlikte kayar kapak memba bölgesinde görülen TKE bölgesinin arttığı söylenebilir. Türbülans kinetik enerjisine ait desenler incelendiğinde batık hidrolik sıçrama da enerji sönümleme açısından oldukça etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca, debide meydana gelen artış batık hidrolik sıçramayı etkileyerek kayar kapak mansap yüzeyine çok yakın bölgede daha büyük türbülans kinetik enerjisi oluşmasına neden olmuştur.



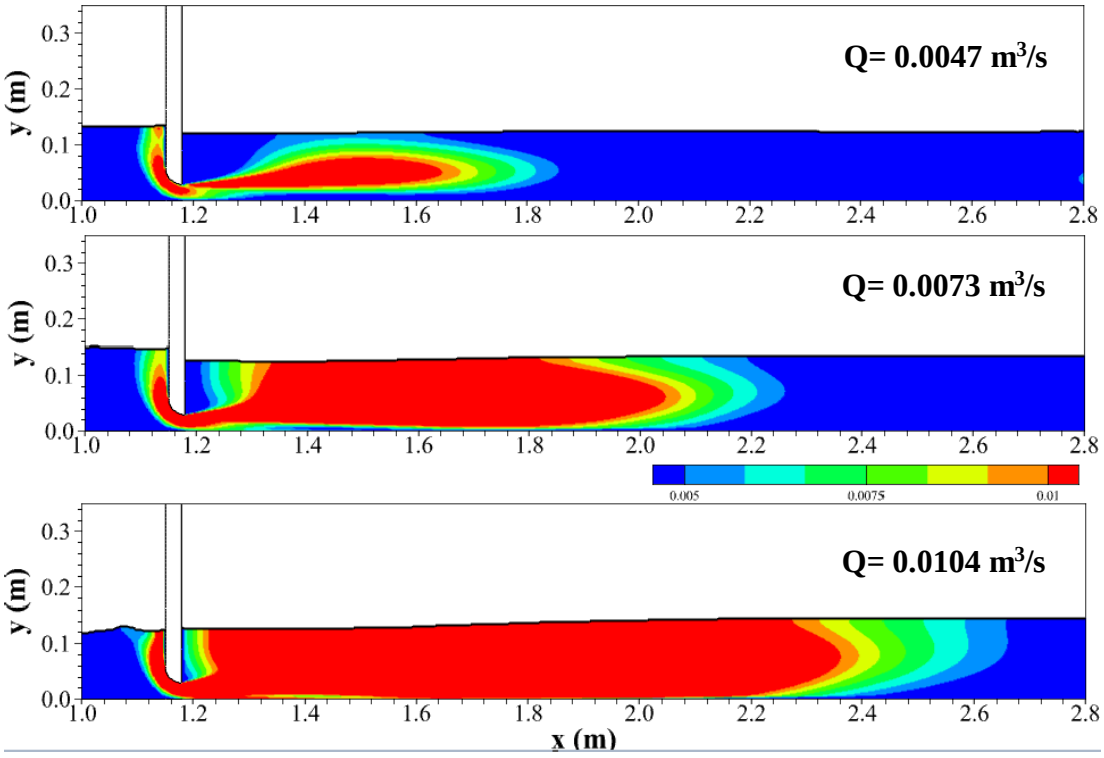
Şekil 4. 29. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 1.h)



Şekil 4. 30. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 1.h)



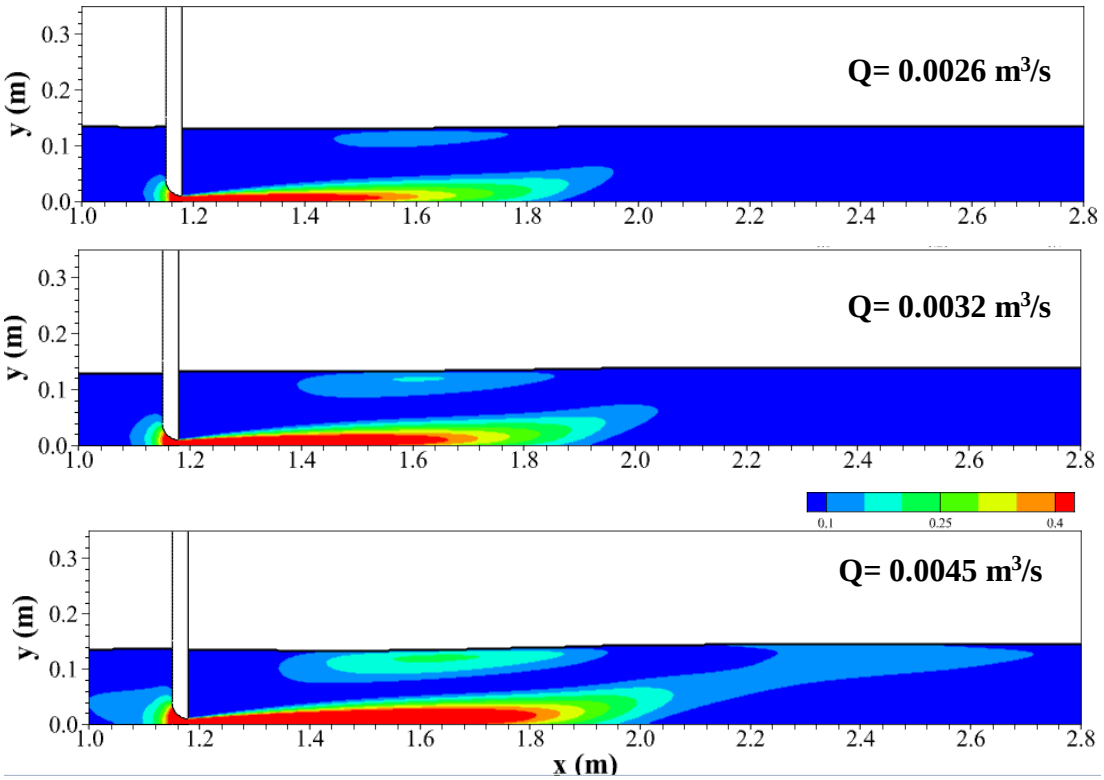
Şekil 4. 31. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 1.h)



Şekil 4. 32. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.h)

4.1.9. Durum 2.a için sayısal model sonuçları

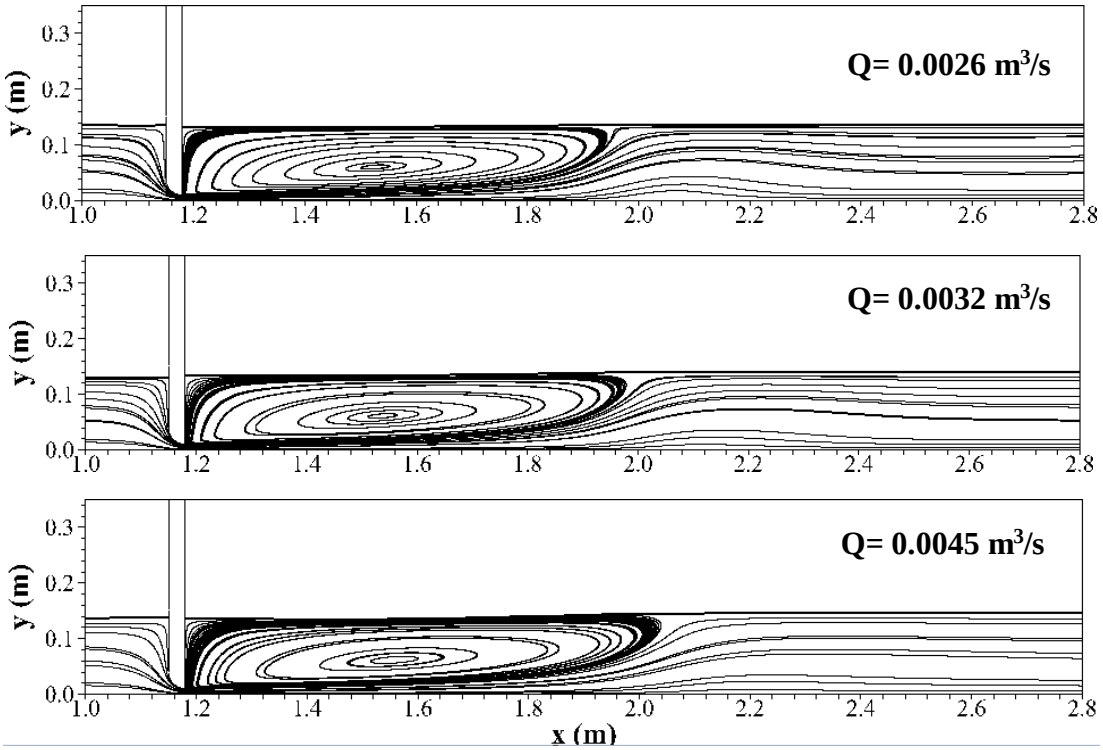
Mansap kontrol kapağının yüksekliğinin 11.2 cm ve kayar kapak açıklığının 1.0 cm olduğu durumda (Durum 2.a) sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri Şekil 4.33.'te verilmiştir. Şekilden görüleceği akım maksimum hız değerine kayar kapak altından geçtiği bölgede sahiptir. 13 farklı durum arasında en küçük kapak açıklığına sahip bu dört farklı debide görünen maksimum hız değerlerinin alanı diğerlerine göre daha küçük olduğu görünüyor. Geri dönüş bölgesinde büyük debilerde daha büyük hız alanı oluşmaktadır. Memba tarafında debi artması ile maksimum hız alanı artmıştır.



Şekil 4. 33. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 2.a)

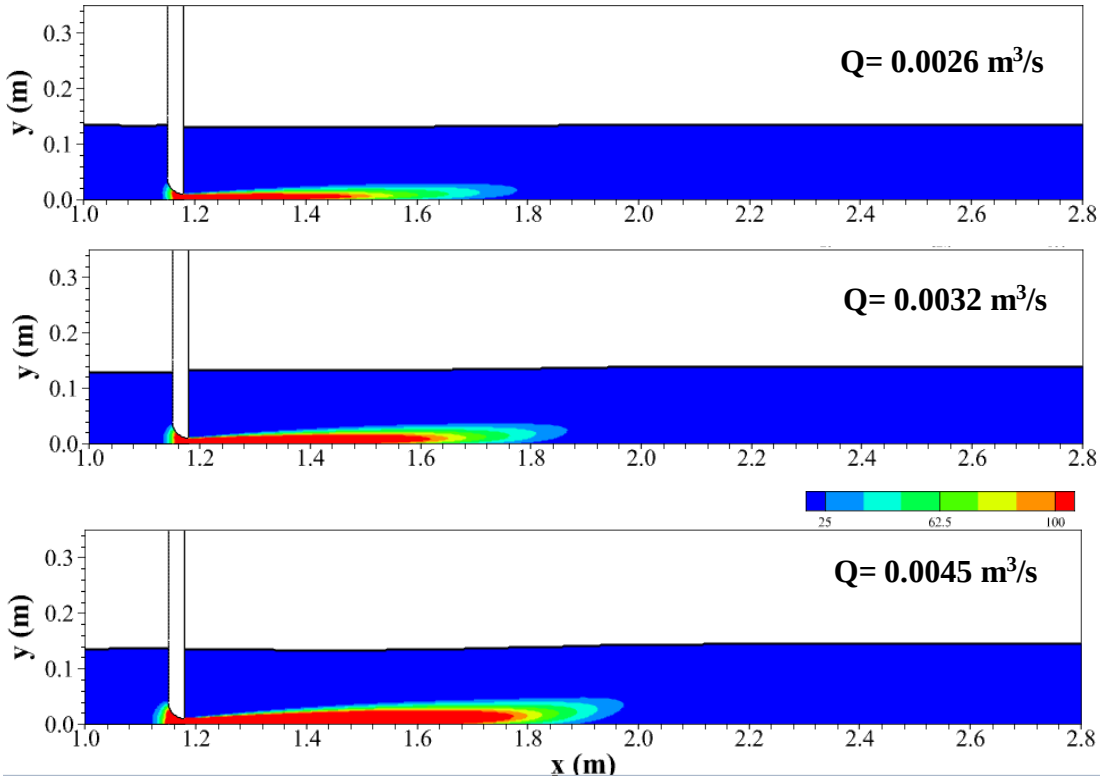
Durum 2. a durumunda farklı debiler için sayısal modelleme ile elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 4.34.'te verilmiştir. Akım çizgisi desenleri incelendiğinde batık hidrolik sıçramının uzunluğunun ve geri dönüş bölgesinin uzunluklarının debinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Kayar kapak altında ve jet akım bölgesinde akım

çizgileri birbirine çok yakın görülmektedir. Sıçramanın etkisini kaybettiği mansap bölgesinde akım çizgilerinin paralel bir düzen aldığı söylenebilir. Kayar kapak memba yüzünde akım çizgileri eğrisellik yaptığı görünüyor.



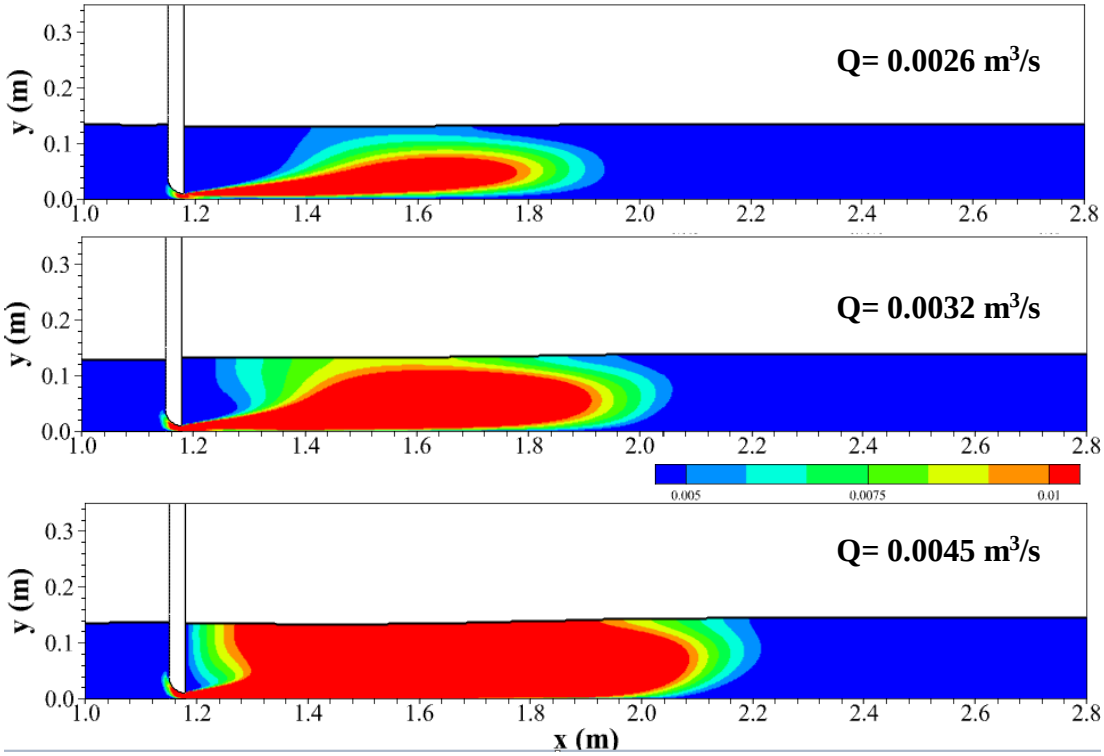
Şekil 4. 34. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 2.a)

Şekil 4.35.'te, Durum 2. a için farklı debi durumunda elde edilen sayısal dinamik basınç dağılımlarının desenleri verilmiştir. Maksimum hız değerlerinde olduğu gibi küçük kapak açıklığı sebebiyle maksimum dinamik basınç alanı oldukça küçük ve debinin arması ile artmaktadır. Dinamik basınç alanı jet akım bölgesinde etki göstermektedir. Memba bölgesinde çok az bir alan görülmektedir ve debinin artması ile artış göstermektedir.



Şekil 4. 35. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 2.a)

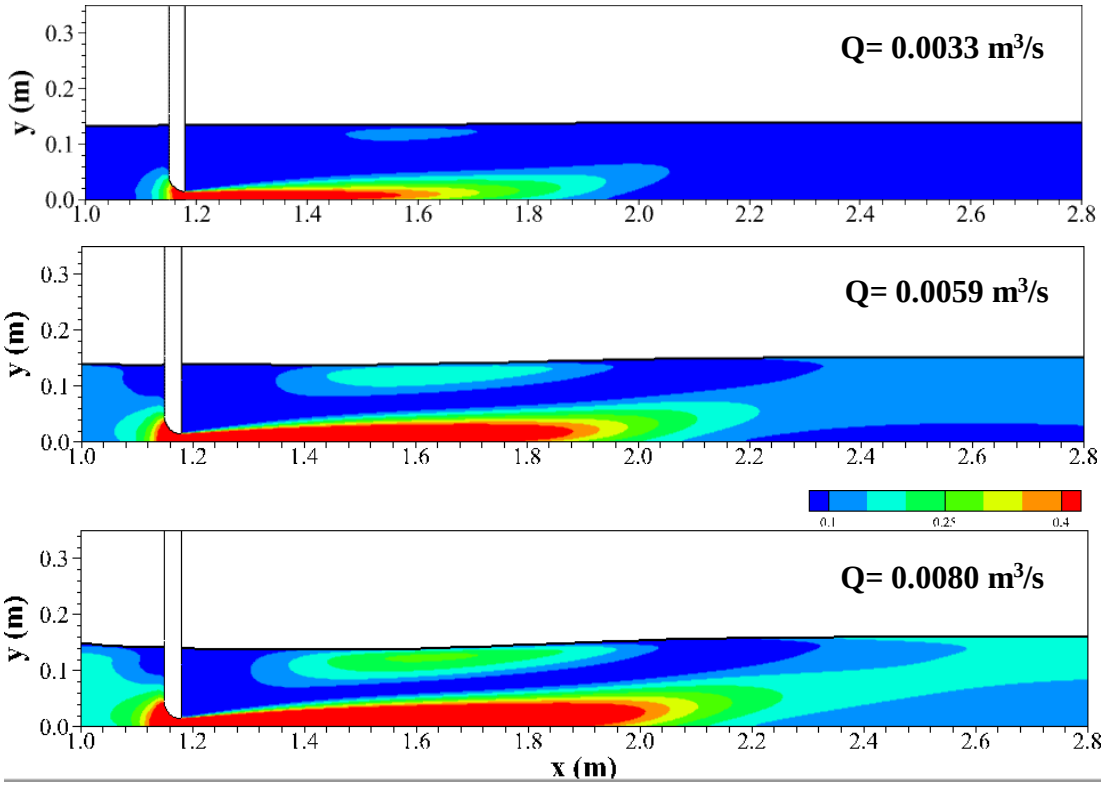
Durum 2. a için farklı debilerde elde edilen sayısal türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 4.36.'da verilmiştir. Debinin büyümesine paralel olarak akımın diğer özelliklerinde olduğu gibi TKE'nin büyük değerlere sahip olduğu bölgenin büyüklüğü de artmıştır. Debinin artmasıyla birlikte kayar kapak memba bölgesinde görülen TKE bölgesinin arttığı görülmektedir. Türbülans kinetik enerjisine ait desenler incelendiğinde batık hidrolik sıçrama da enerji sönümleme açısından oldukça etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca, diğer durumlar kadar büyük bir TKE alanı görülmüyor. Diğer durumlara benzer olarak debi artışı ile TKE alanı kayar kapak mansap yüzüne yakınlaşmış söylenebilir.



Şekil 4. 36. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 2.a)

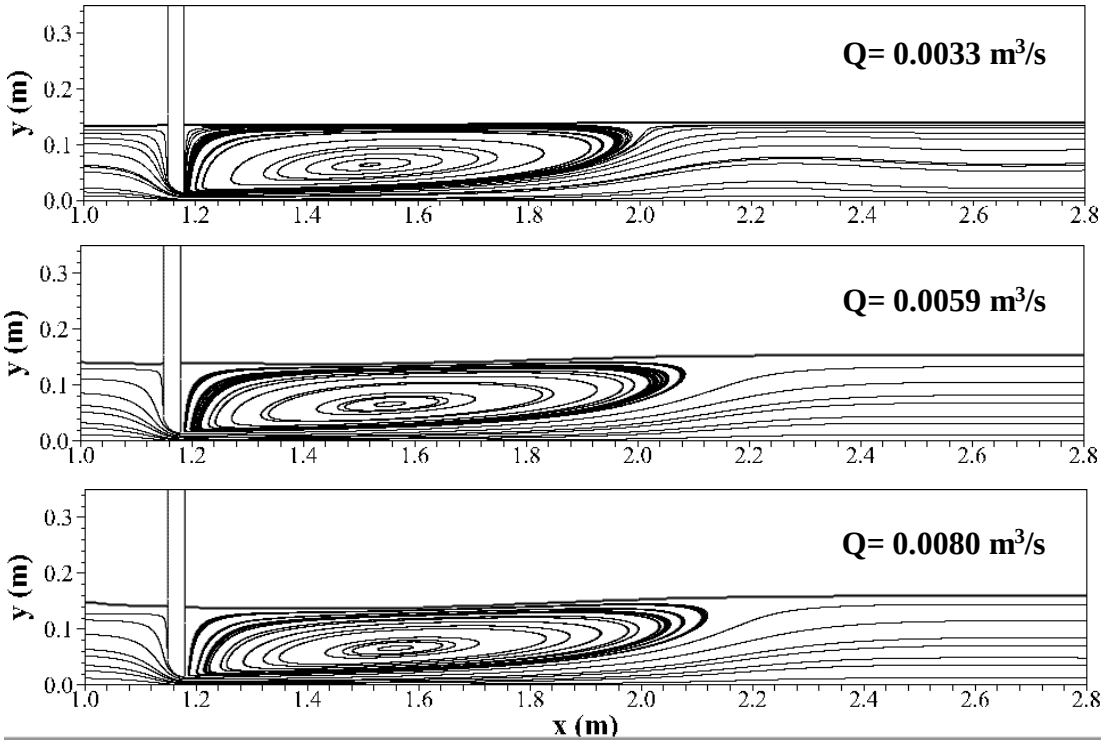
4.1.10. Durum 2.b için sayısal model sonuçları

Durum 2.b için sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri Şekil 4.37.'de verilmiştir. Şekilden görüleceği akım maksimum hız değerine kayar kapak altından geçtiği bölgede sahiptir. Ayrıca bu bölgede görülen jetin etkinliği debinin artmasıyla artmaktadır. Mansap kontrol kapağı yüksekliğinin 9 cm olduğu ve kapak açıklığının bu durum gibi 1.5 cm olan Durum 1.a hız bileşke desenlerine kıyasla aynı debilerde maksimum hız alanları uzunluğunda iki durum arasında yaklaşık 10 cm fark oluşmaktadır.



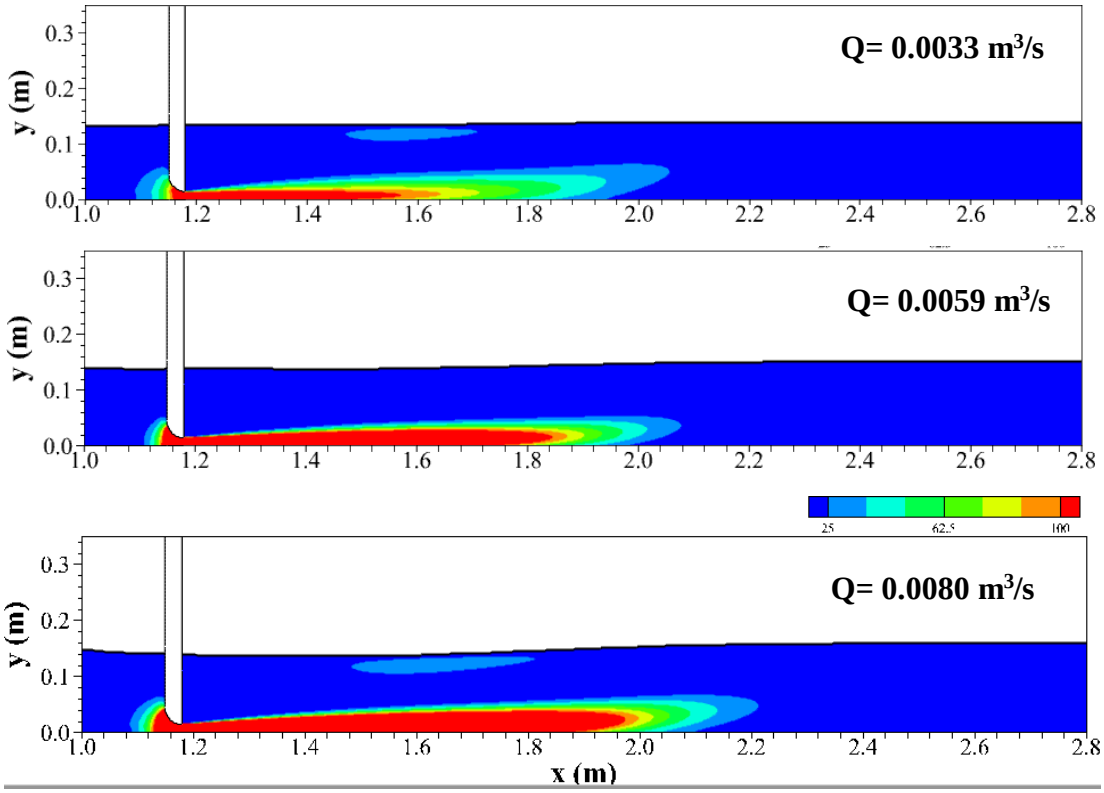
Şekil 4. 37. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 2.b)

Durum 2. b durumunda farklı debiler için sayısal modelleme ile elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 4.38.'de verilmiştir. Akım çizgisi desenleri incelendiğinde, batık hidrolik sıçramının uzunluğunun ve geri dönüş bölgesinin uzunluklarının debinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Akım hızının büyük olduğu kapak altı ve jetin oluştuğu bölgede akım çizgilerinin birbirine çok yakındır. Mansap kontrol kapağı yüksekliğinin 9 cm olduğu ve kapak açıklığının bu durum gibi 1.5 cm olan Durum 1.a akım çizgilerine bakıldığında aynı debilerde batık hidrolik sıçrama uzunluğu iki durum arasında yaklaşık 10 cm fark oluşmaktadır. Bu durumda aynı kayar kapak açıklığında mansap kontrol kapağı yükseldikçe batık hidrolik sıçrama uzunluğunun arttığı söylenebilir.



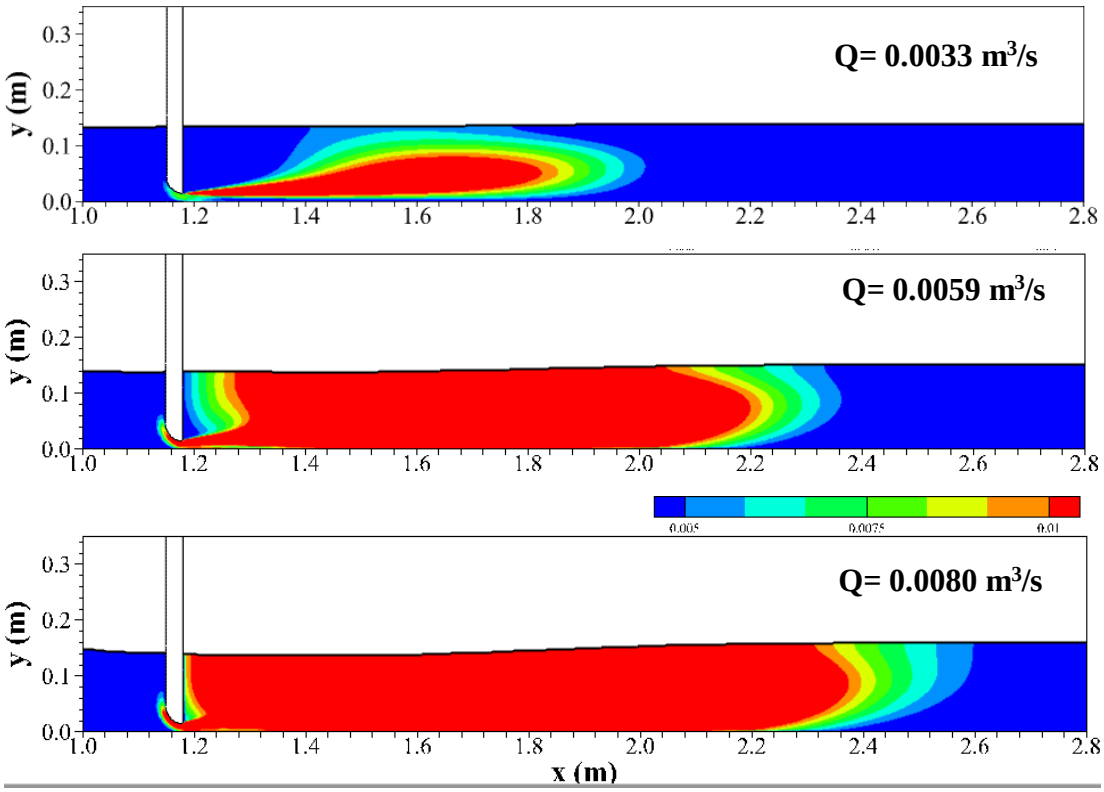
Şekil 4. 38. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 2.b)

Şekil 4.39.'da, Durum 2. b için farklı debi durumunda elde edilen sayısal dinamik basınç dağılımlarının desenleri verilmiştir. Dinamik basınç değerinin ele alınan debi koşulları altında maksimum değerine hız alanına benzer olarak kayar kapağın hemen membasın da başlayarak, kayar kapak altı ve jet akımının oluştuğu bölgede sahip olduğu görülmektedir. Maksimum basıncın oluştuğu bölgenin büyüklüğü debinin artmasına paralel olarak artmaktadır. Bileşke hız değerleri ve akım çizgilerinde olduğu gibi Durum 1.a ile karşılaştırıldığında yaklaşık 10 cm daha büyük dinamik basınç alanı olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 39. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 2.b)

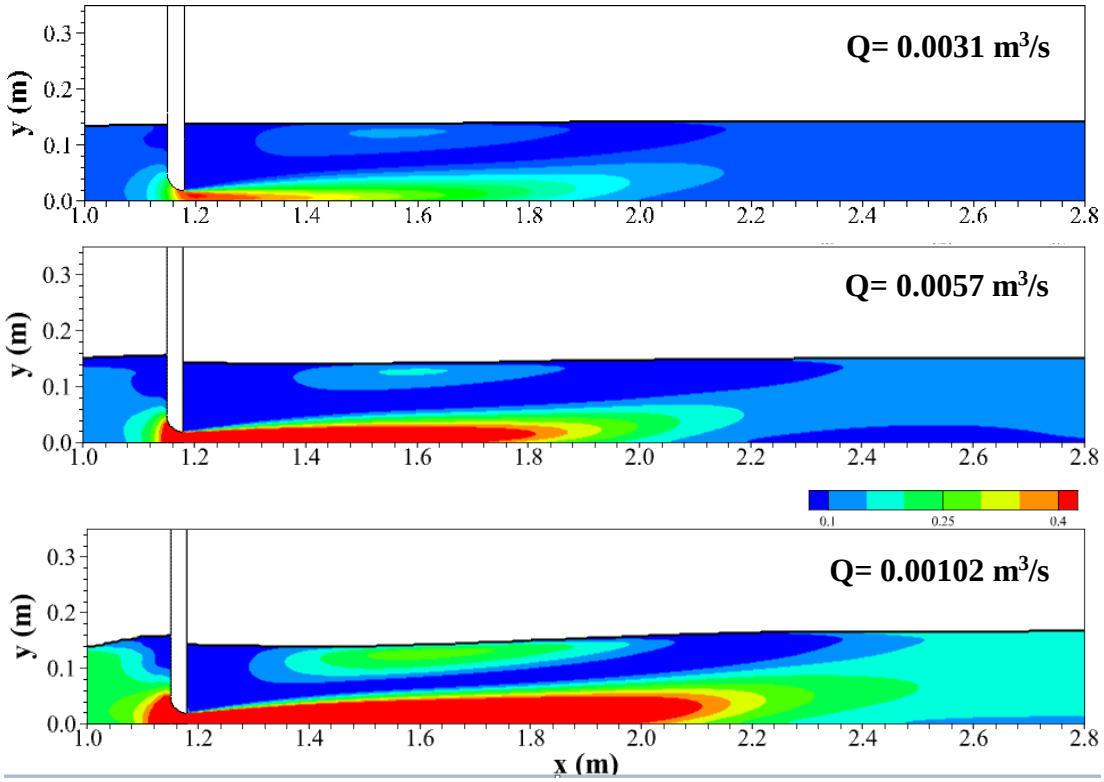
Durum 2. b için farklı debilerde elde edilen sayısal türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 4.40.'ta verilmiştir. Batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgede meydana gelen TKE değerlerinin oldukça büyük olduğu görülmektedir. Debinin büyümesine paralel olarak akımın diğer özelliklerinde olduğu gibi TKE'nin büyük değerlere sahip olduğu bölgenin büyüklüğü de artmıştır. Debinin artmasıyla birlikte kayar kapak memba yüzeyinde görülen TKE bölgesinin arttığı söylenebilir. Aynı kayar kapak açıklığına sahip Durum 2.a'ya göre mansap kontrol kapağı daha yüksek olduğu için yaklaşık 10-15 cm daha uzun bir TKE alanı gözlenmektedir. Bu karşın kapağın memba yüzeyinde oluşan TKE alanı Durum 1.a'da daha büyük olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 40. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 2.b)

4.1.11. Durum 2.c için sayısal model sonuçları

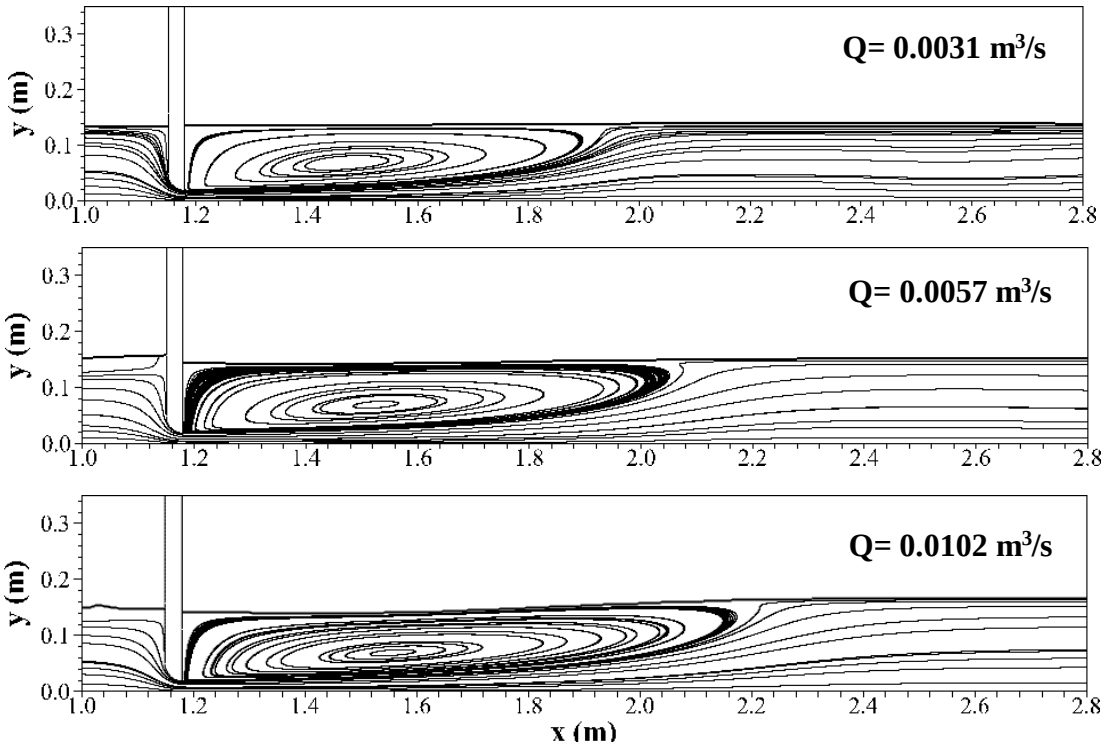
Mansap kontrol kapağının yüksekliğinin 11.2 cm ve kayar kapak açıklığının 1.9 cm olduğu durumda (Durum 2.c) sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri Şekil 4.41.'de verilmiştir. Maksimum bileşke hız diğer durumlara benzer debi artışına paralel arttığı söylenebilir. Maksimum bileşke hız alanı jet akım bölgesinde oluşmaktadır. Farklı mansap kontrol kapağına sahip ama kayar kapak açıklığı olan Durum 2.b ile karşılaştırıldığında aynı debilerde 4-8 cm arasında değişen daha uzun alan gözlemlenebilir. Ayrıca, bu alan memba bölgesinde de benzerlik göstermektedir.



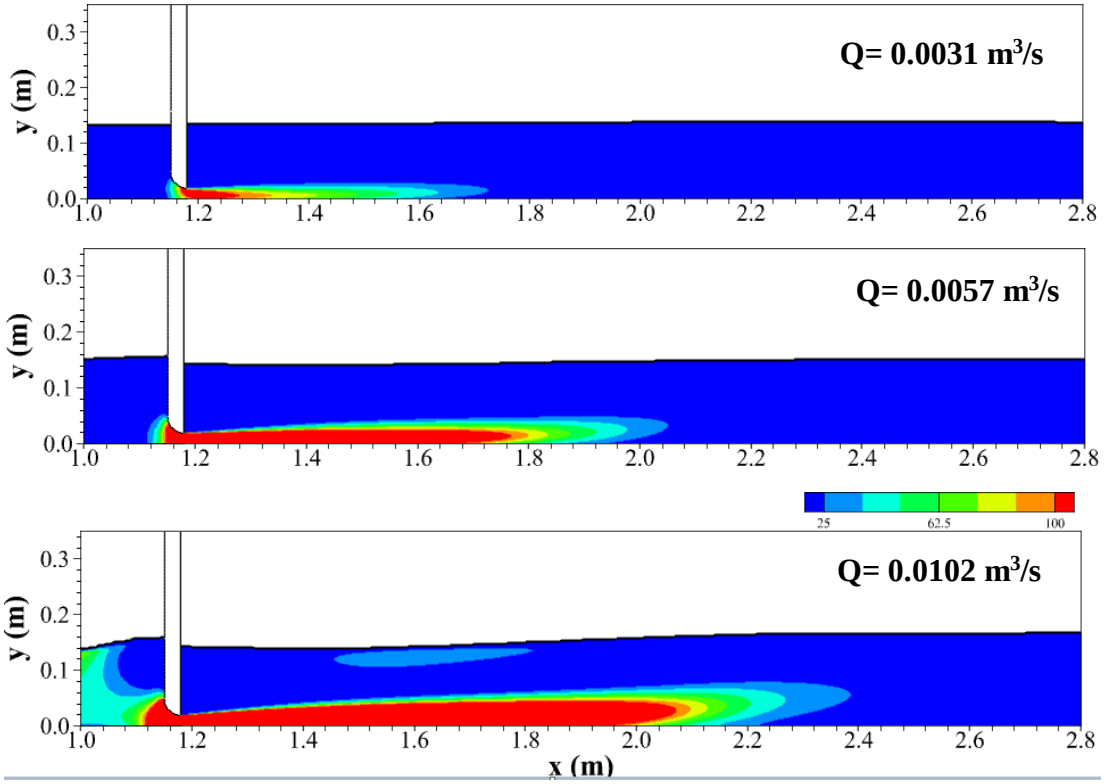
Şekil 4. 41. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 2.c)

Durum 2. c durumunda farklı debiler için sayısal modelleme ile elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 4.42.'de verilmiştir. Akım çizgisi desenleri incelendiğinde batık hidrolik sıçramanın uzunluğunun ve geri dönüş bölgesinin uzunluklarının debinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Sıçramanın bitmesi ile akım çizgileri paralellik oluşturmaktadır. Jet akım bölgesinde ve kapak altında akım çizgilerinde eğrisellik ve yakınlık olduğu söylenebilir.

Şekil 4.43.'te Durum 2. c için farklı debi durumunda elde edilen sayısal dinamik basınç dağılımlarının desenleri verilmiştir. Maksimum dinamik basınç alanı diğer sayısal sonuçlar gibi debinin artması ile artmaktadır. Kayar kapak memba yüzünde oluşan dinamik basınç alanı debinin artması ile arttığı söylenebilir. Maksimum dinamik basınç alanı jet akım bölgesinde oluşmaktadır. Diğer sayısal sonuçlar gibi Durum 1.c ile kıyasla 8 cm daha uzun dinamik basınç alanı olduğu söylenebilir. Aynı debide memba bölgesinde dinamik basınç alanı Durum 2.b ile benzerlik göstermektedir.

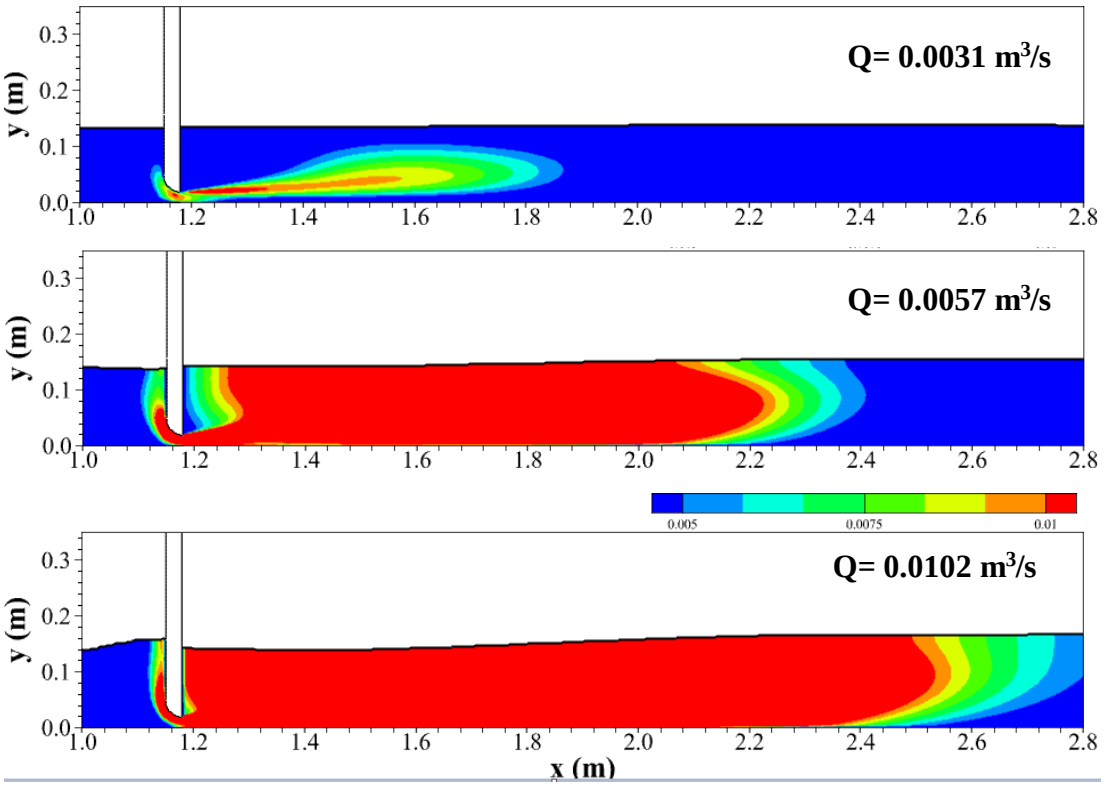


Şekil 4. 42. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 2.c)



Şekil 4. 43. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 2.c)

Durum 2.c için farklı debilerde elde edilen sayısal türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 4.44.'te verilmiştir. Debinin büyümesine paralel olarak akımın diğer özelliklerinde olduğu gibi TKE'nin büyük değerlere sahip olduğu bölgenin büyüklüğü de artmıştır. TKE alanı bize geri dönüş bölgesi hakkında fikir vermektedir. Debinin artmasıyla birlikte kayar kapak memba bölgesinde görülen TKE bölgesini artmaktadır. Debide meydana gelen artış batık hidrolik sıçramayı etkileyerek kayar kapak mansap yüzeyine çok yakın bölgede daha büyük türbülans kinetik enerjisi oluşmasına neden olmuştur. Durum 2.b ile kıyasla 15 cm daha uzun TKE alanı olduğu söylenebilir. Memba bölgesinde benzer alanlar gözlemlenmektedir.

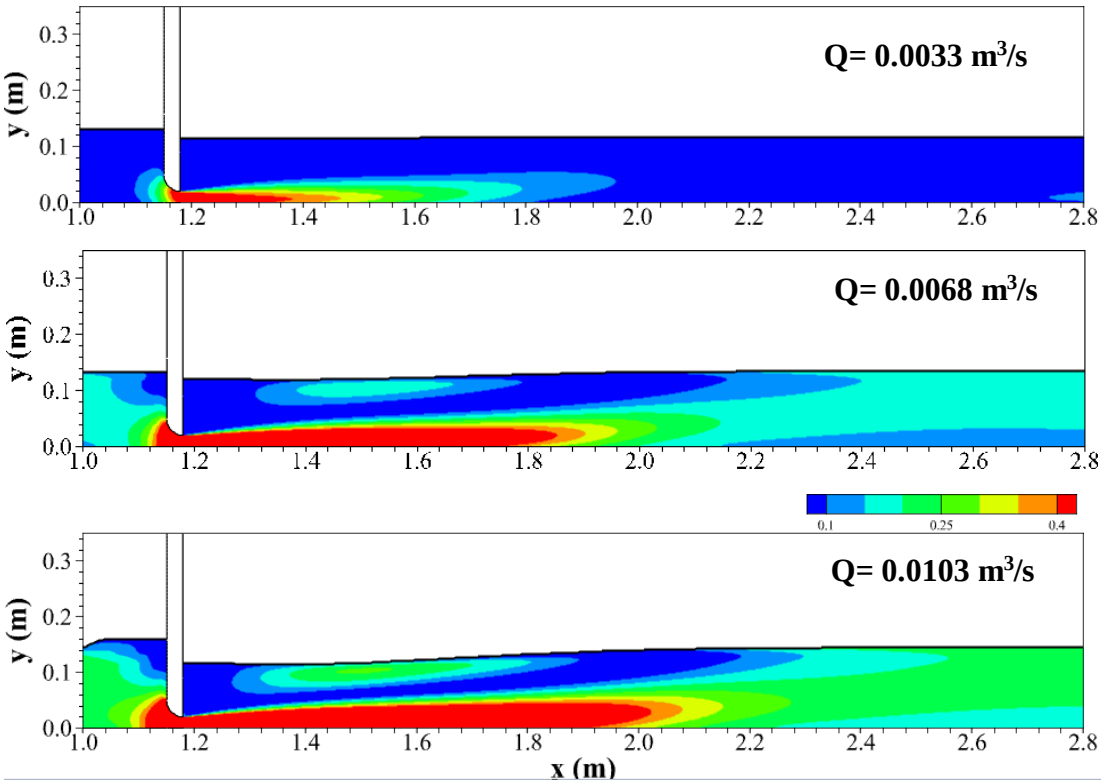


Şekil 4. 44. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 2.c)

4.1.12. Durum 2.d için sayısal model sonuçları

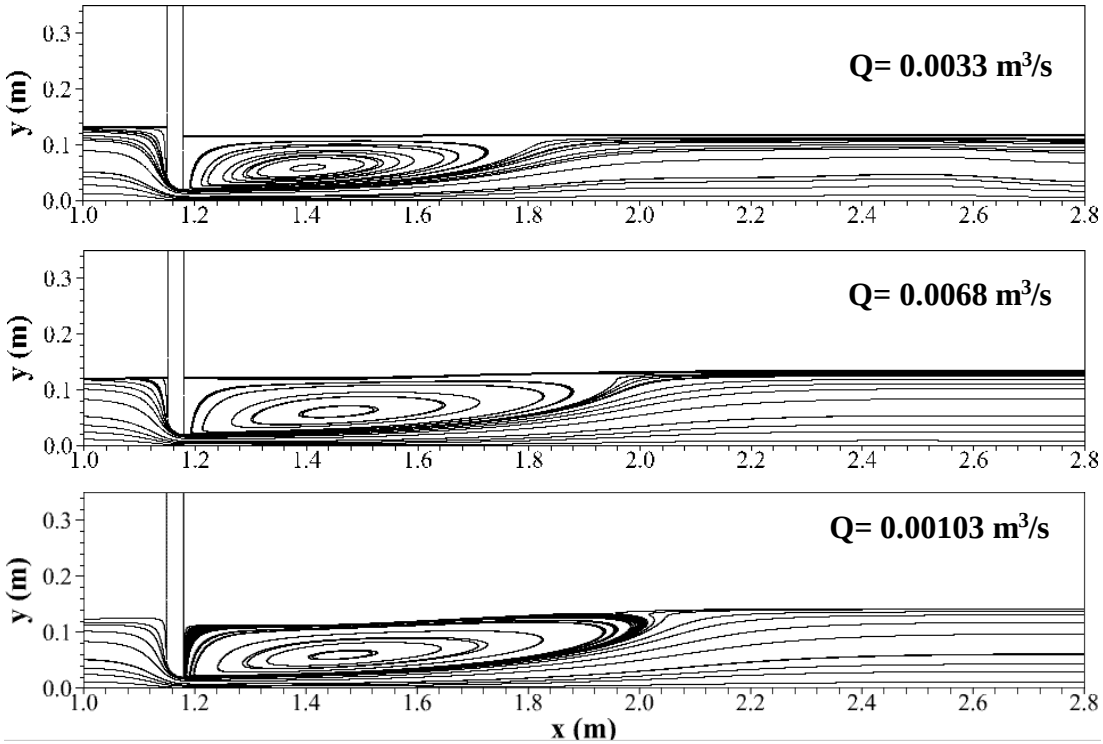
Mansap kontrol kapağının yüksekliğinin 11.2 cm ve kayar kapak açıklığının 2.0 cm olduğu durumda (Durum 2.d) sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri Şekil 4.45.'te verilmiştir. Şekilden görüleceği akım maksimum

hız değerine kayar kapak altından geçtiği bölgede sahiptir. Ayrıca, bu bölgede görülen jetin etkinliği debinin artmasıyla artmaktadır. Aynı kapak açıklığına sahip Durum 1.d ile karşılaştırıldığında aynı debide maksimum bileşke hız alanlarının benzerlik gösterdiği söylenebilir.



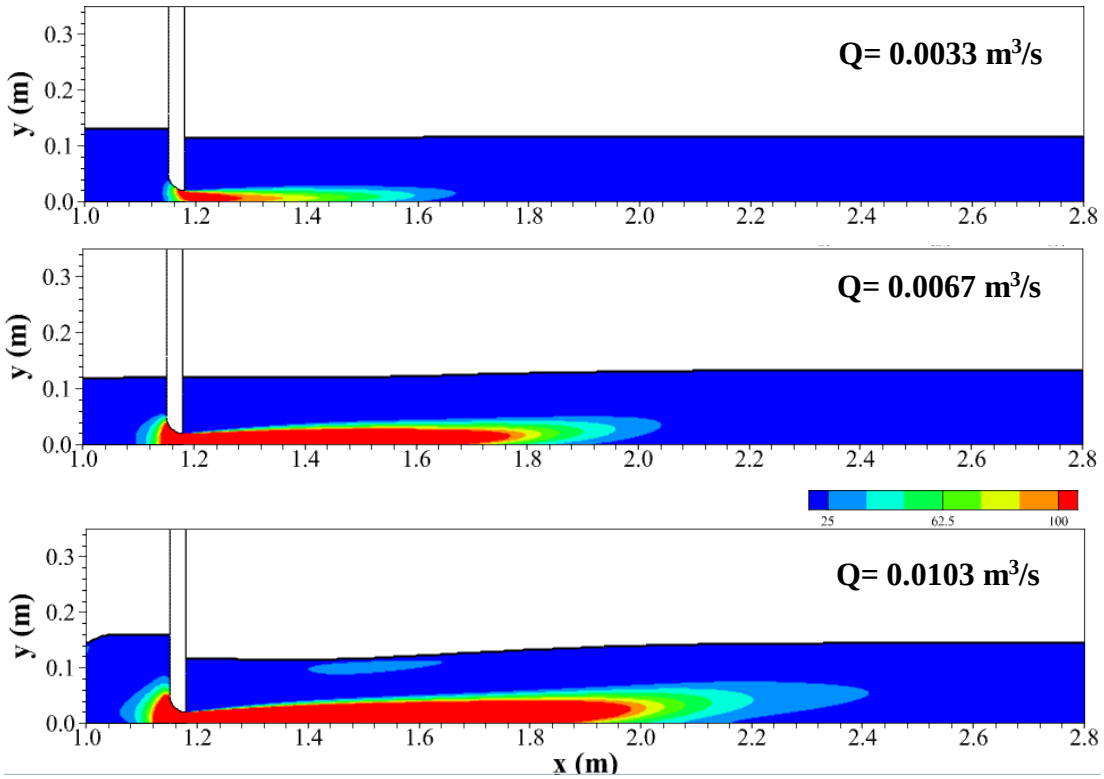
Şekil 4. 45. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 2.d)

Durum 2. d durumunda farklı debiler için sayısal modelleme ile elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 4.46.'da verilmiştir. Akım çizgisi desenleri incelendiğinde batık hidrolik sıçramanın uzunluğunun ve geri dönüş bölgesinin uzunluklarının debinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Akım hızının büyük olduğu kapak altı ve jetin oluştuğu bölgede akım çizgilerinin birbirine çok yakındır. Batık hidrolik sıçramanın bittiği memba bölgesinde akım çizgileri paralel olduğu söylenebilir. Maksimum bileşke hız değerlerinde olduğu gibi akım çizgileri de Durum 1.d ile karşılaştırıldığında aynı debide batık hidrolik sıçrama uzunluğu benzerlik göstermektedir.



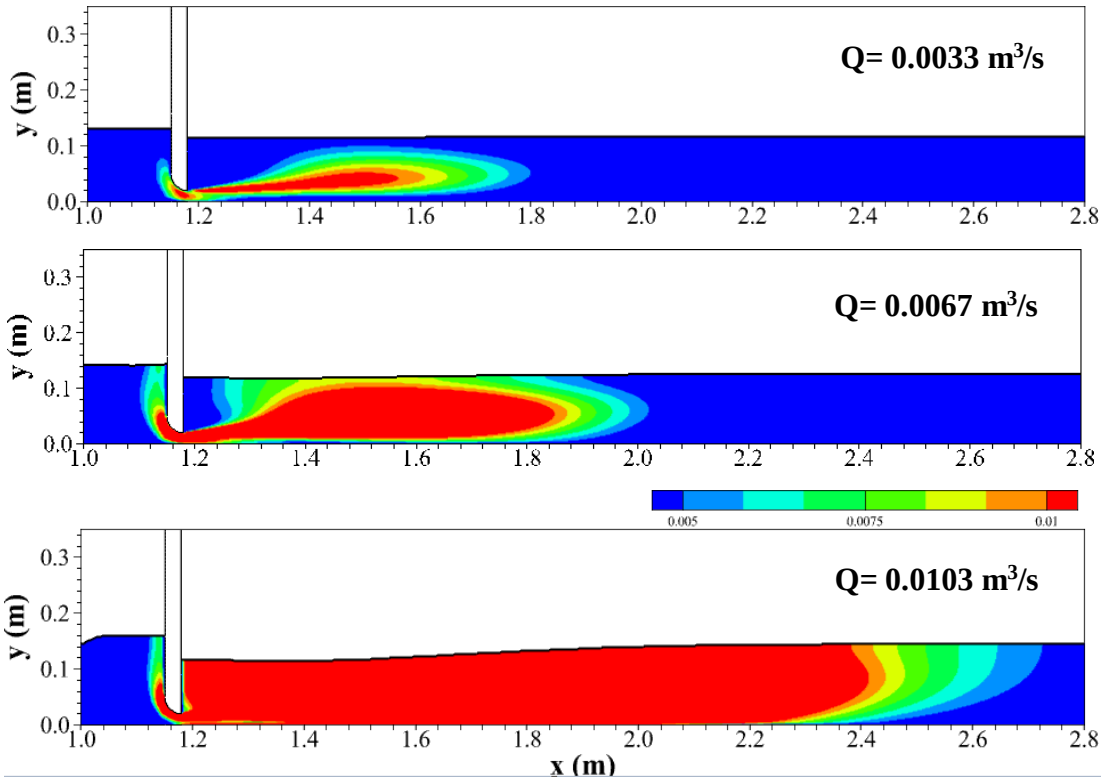
Şekil 4. 46. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 2.d)

Şekil 4.47.'de Durum 2. d için farklı debi durumunda elde edilen sayısal dinamik basınç dağılımlarının desenleri verilmiştir. Dinamik basınç değerine bakıldığında debinin artması ile maksimum dinamik basınç alanı artış göstermektedir. Oluşan dinamik basınç alanı jet akım bölgesinde oluşmaktadır. Memba bölgesinde debinin artması ile dinamik basınç alanı da artmaktadır. Diğer sayısal sonuçlar gibi dinamik basınç değerleri de Durum 1.d ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 4. 47. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 2.d)

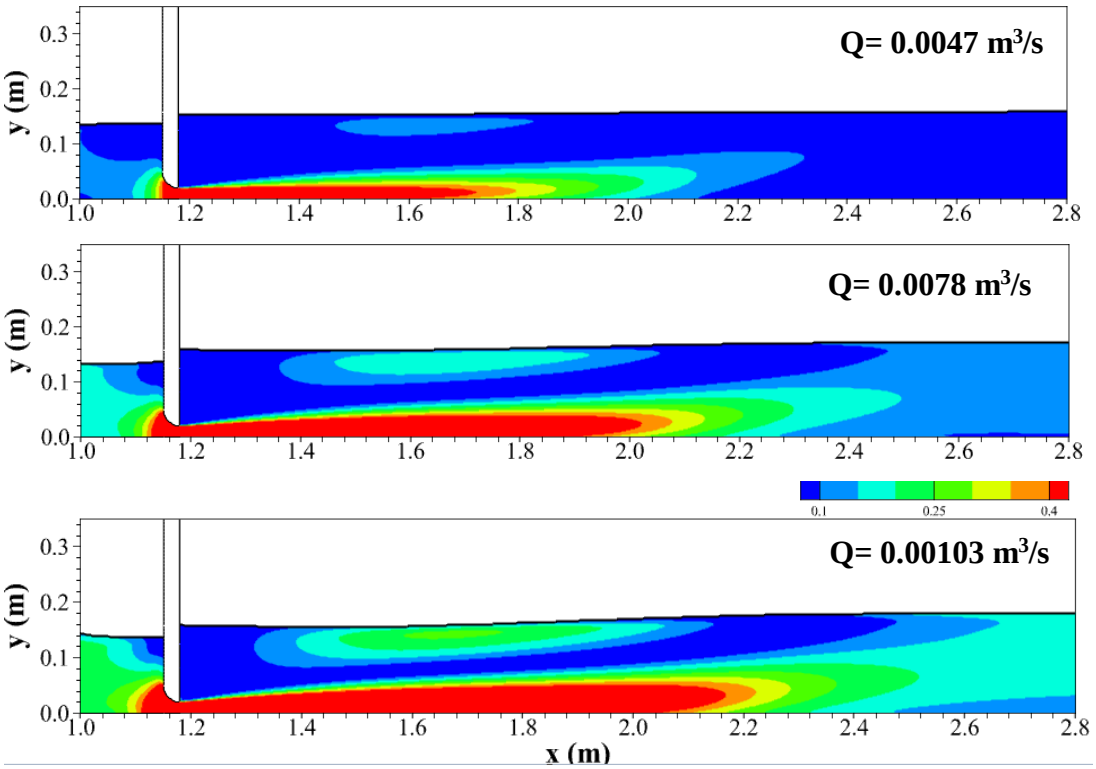
Durum 2. d için farklı debilerde elde edilen sayısal türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 4.48.'de verilmiştir. Debinin büyümesine paralel olarak akımın diğer özelliklerinde olduğu gibi TKE'nin büyük değerlere sahip olduğu bölgenin büyüklüğü de artmıştır. Debinin artmasıyla birlikte kayar kapak memba bölgesinde görülen TKE bölgesi artmaktadır. Türbülans kinetik enerjisinin alanı debinin artması ile kayar kapak yüzeyine yakınlaşmaktadır. Diğer sayısal sonuçlar gibi TKE'de aynı debide Durum 1.d ile benzerlik olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 48. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 2.d)

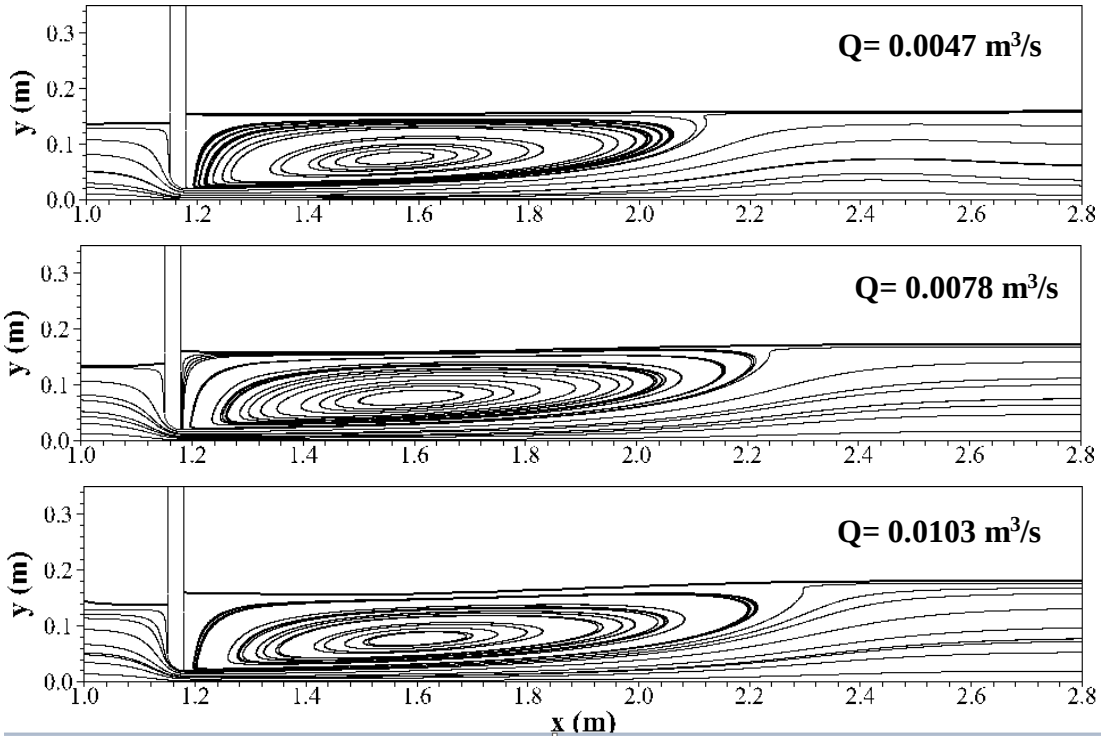
4.1.13. Durum 3.a için sayısal model sonuçları

Mansap kontrol kapağının yüksekliğinin 12.5 cm ve kayar kapak açıklığının 2.0 cm olduğu durumda sayısal modelleme ile farklı debilerde elde edilen bileşke hız desenleri Şekil 4.49.'da verilmiştir. Şekilden görüleceği akım maksimum hız değerine kayar kapak altından geçtiği bölgede sahiptir. Debinin artmasıyla birlikte batık hidrolik sıçramanın oluştuğu bölgenin uzunluğunun büyüdüğü anlaşılmaktadır. Aynı kapak açıklığına sahip Durum 1.d ve Durum 2.d benzer alanlar gözlemlenmişti. Buna karşın bu iki durumla aynı açıklığa sahip Durum 3.a aynı debilerde yaklaşık 15 cm daha uzun alana sahip olduğu söylenebilir.



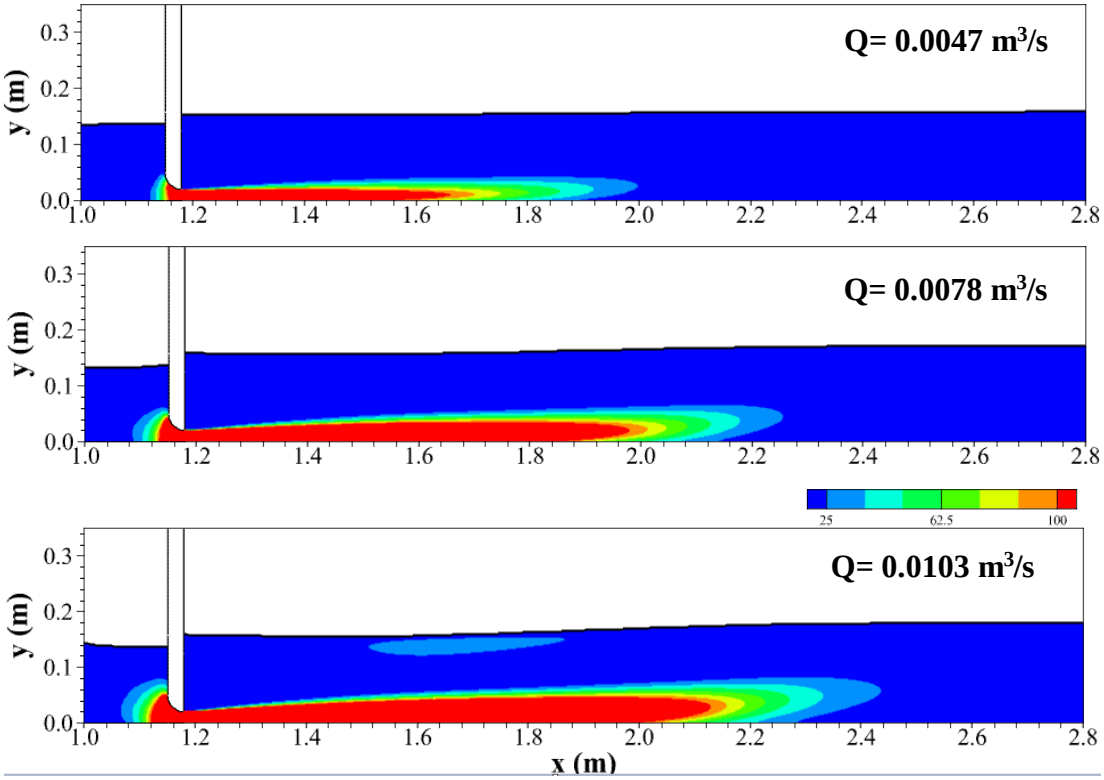
Şekil 4. 49. Farklı akım durumları için sayısal bileşke hız desenleri (Durum 3.a)

Durum 3. a durumunda farklı debiler için sayısal modelleme ile elde edilen akım çizgilerinin desenleri Şekil 4.50.'de verilmiştir. Akım çizgisi desenleri incelendiğinde batık hidrolik sıçramanın uzunluğunun ve geri dönüş bölgesinin uzunluklarının debinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Akım hızının büyük olduğu kapak altı ve jetin oluştuğu bölgede akım çizgilerinin birbirine çok yakındır. Mansap bölgesinde sıçramanın etkisini kaybetmesi ile akım çizgileri paralellik kazanmaktadır. Aynı kapak açıklığına sahip Durum 1.d ve Durum 2.d benzer sıçrama uzunluğu gözlemlenmişti. Buna karşın bu iki durumla aynı açıklığa sahip Durum 3.a aynı debilerde yaklaşık 25 cm daha uzun batık hidrolik sıçramaya sahip olduğu söylenebilir.



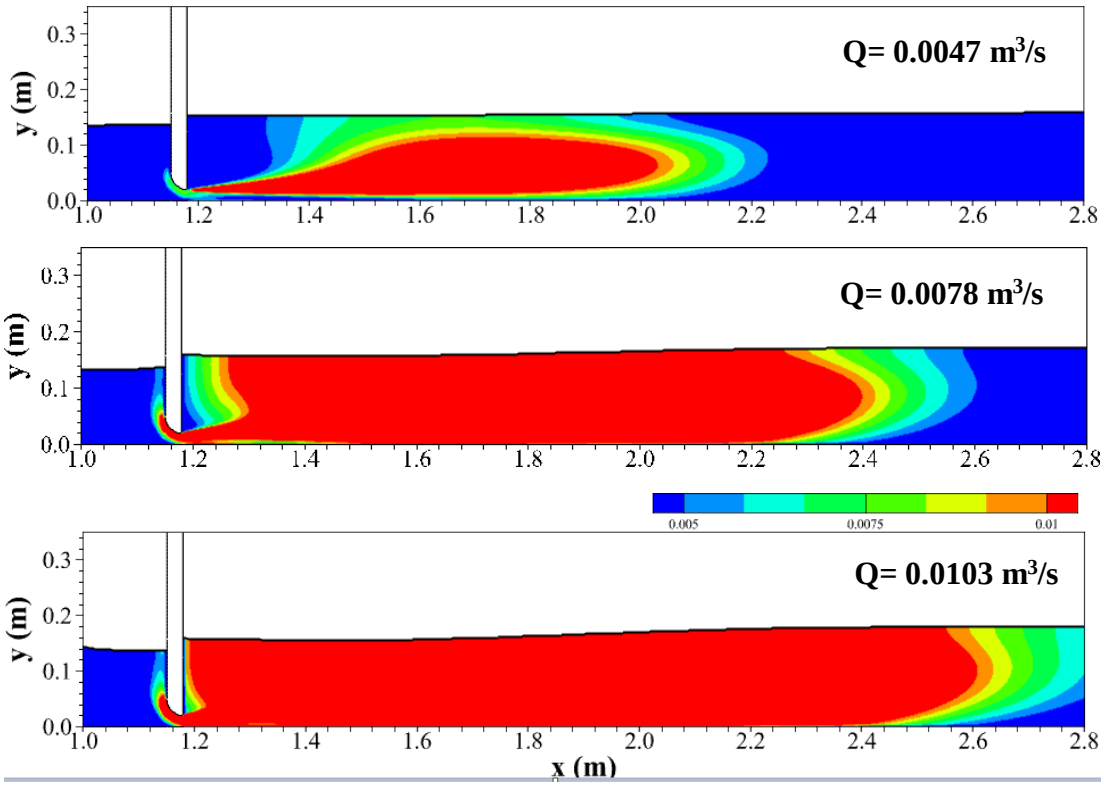
Şekil 4. 50. Farklı akım durumları için sayısal akım çizgisi desenleri (Durum 3.a)

Şekil 4.51.'de Durum 3.a için farklı debi durumunda elde edilen sayısal dinamik basınç dağılımlarının desenleri verilmiştir. Maksimum dinamik basınç alanları debinin artışı ile arttığı söylenebilir. Jet akımın oluştuğu bölgede dinamik basınç alanının oluştuğu görülmektedir. Memba bölgesinde debinin artışı ile dinamik basınç alanı da artmaktadır. Aynı kapak açıklığına sahip Durum 1.d ve Durum 2.d benzer alanlar gözlemlenmişti. Buna karşın bu iki durumla aynı açıklığa sahip Durum 3.a aynı debilerde yaklaşık 10-15 cm daha uzun alana sahip olduğu söylenebilir. Memba bölgesinde benzer artışlar olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 51. Farklı akım durumları için sayısal dinamik basınç desenleri (Durum 3.a)

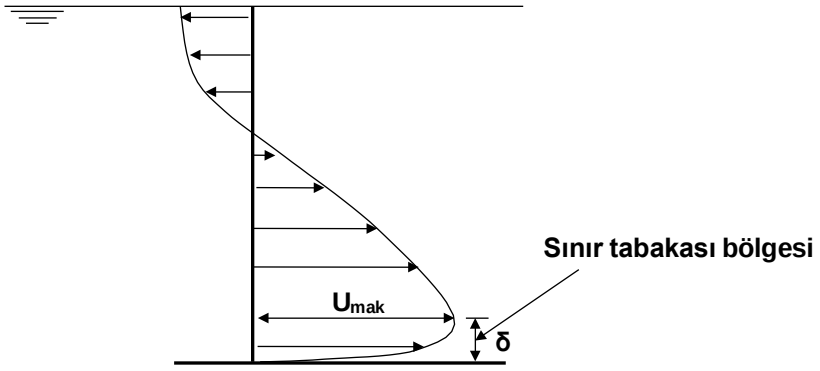
Durum 3.a için farklı debilerde elde edilen sayısal türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 4.52.'de verilmiştir. Verilen şekillere bakıldığında debinin artması ile türbülans kinetik enerjisi de artış göstermektedir. Maksimum TKE alanının oluştuğu bölgenin geri dönüş bölgesi hakkında fikir verdiği söylenebilir. Debinin artması ile TKE alanının kayar kapak yüzeyine yaklaştığı gözlemlenebilir. Memba bölgesinde debi artışı ile TKE alanı artış gösterdiği söylenebilir. Aynı kapak açıklığına sahip diğer iki ile kıyasla aynı debide diğer sayısal sonuçlar gibi yaklaşık 15-20 cm daha uzun alanlar oluşmaktadır.



Şekil 4. 52. Farklı akım durumları için sayısal türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 3.a)

4.2. Sınır Tabakası Bölgesi Özellikleri

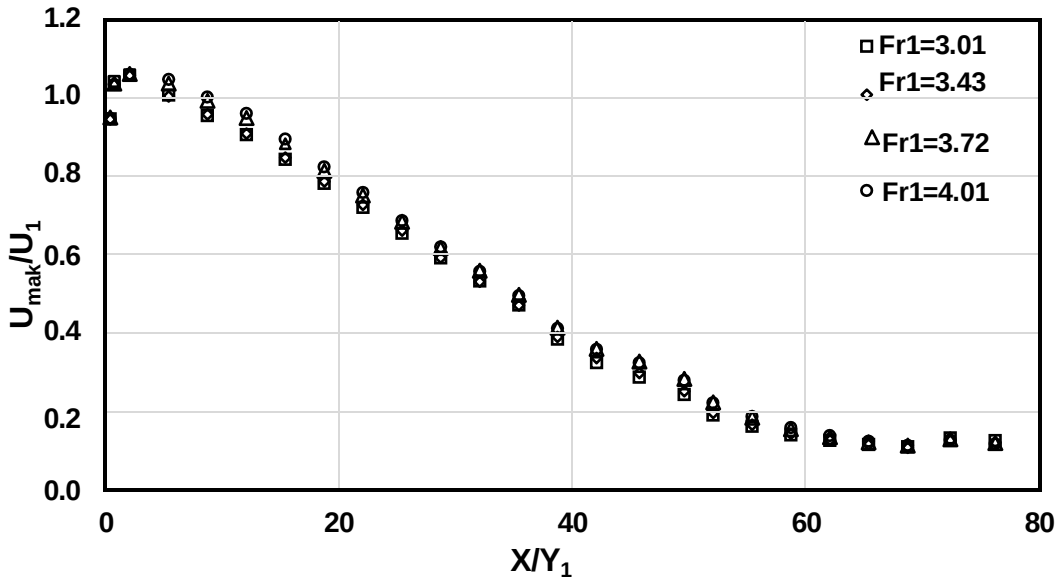
Şekil 4.53.'te batık hidrolik sıçramadaki sınır tabakası bölgesinin özellikleri verilmiştir. Batık hidrolik sıçrama akımında ileri akış bölgesinde maksimum hızın oluştuğu derinlik sınır tabakası bölgesinin kalınlığı (δ) olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4. 53. Batık hidrolik sıçramada sınır tabakası bölgesi

4.2.1. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.a)

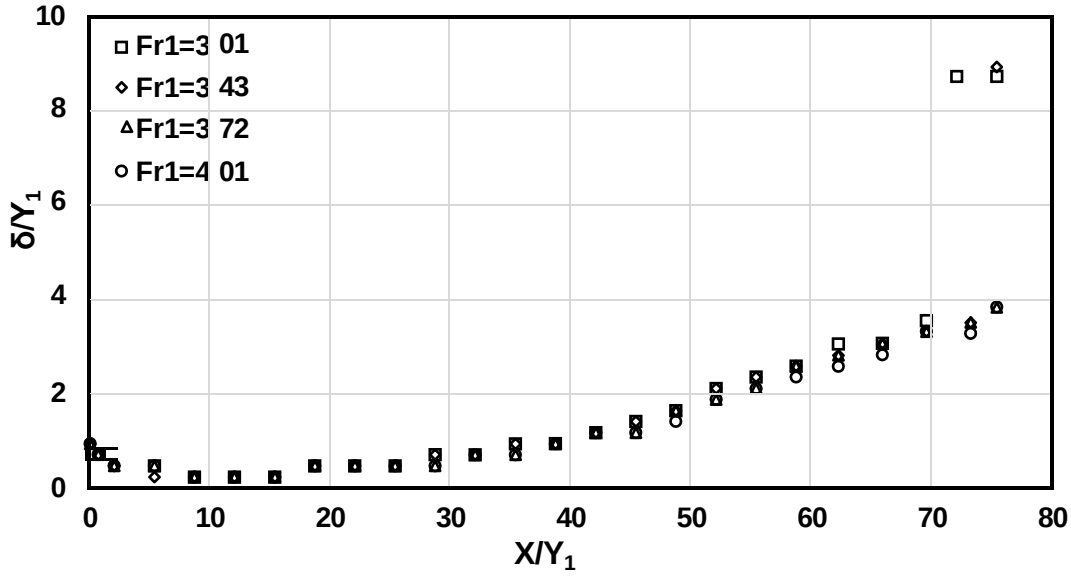
Durum 1.a için farklı Froude sayıları için U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi Şekil 4.54.'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde U_{mak}/U_1 değeri en büyük olduğu yer diğer bir ifadeyle vena contracta bölgesi X/Y_1 oranının 2 olduğu noktada elde edilmiştir. X/Y_1 oranın artmasıyla birlikte U_{mak}/U_1 oranı azalmaktadır. Aynı kapak açıklığında farklı debi durumlarında elde edilen farklı Fr_1 değerleri için U_{mak}/U_1 oranın X/Y_1 ile değişiminin oldukça benzer olduğu görülmektedir. Düşük debi değerleri için U_{mak}/U_1'in diğer Fr sayılarına göre daha altta olduğu debi değerinin büyümesiyle birlikte U_{mak}/U_1 değerinin arttığı görülmekte ve en üstte Fr_1=4.01 durumu bulunmaktadır.



Şekil 4. 54. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.a)

Durum 1.a için farklı Froude sayılarında δ/Y_1 oranının X/Y_1 değerlerine göre değişimi Şekil 4.55.'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1 değerinin kayar kapaktan mansap bölgesinde ileriye doğru gidildikçe arttığı görülmektedir. Farklı Froude sayılarında aynı kesitlerde değerlerin birbirine çok yakın olduğu söylenebilir. Küçük Froude sayılarında δ/Y_1 değerinin roler bölgesinin bittiği kesitlerde sapma yaşadığı söylenebilir. Küçük Froude sayılarında sıçramanın bittiği kesitlerde

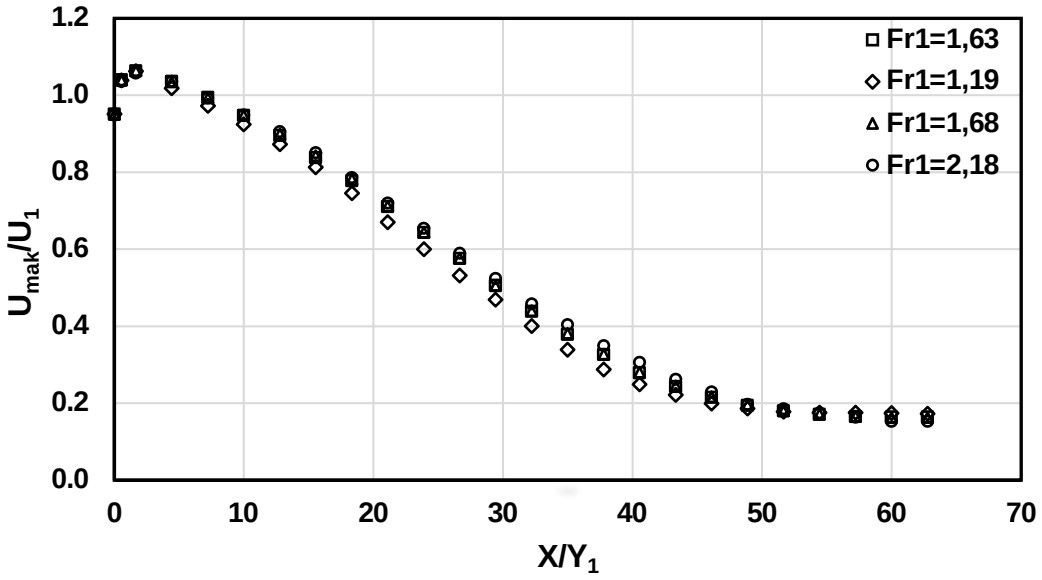
(X/Y_1=70'ten sonra) δ/Y_1 değerinin oldukça büyüdüğü yani saptığı görülmektedir. Büyük Froude sayılarında bu durumdan söz etmek mümkün değildir.



Şekil 4. 55. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.a)

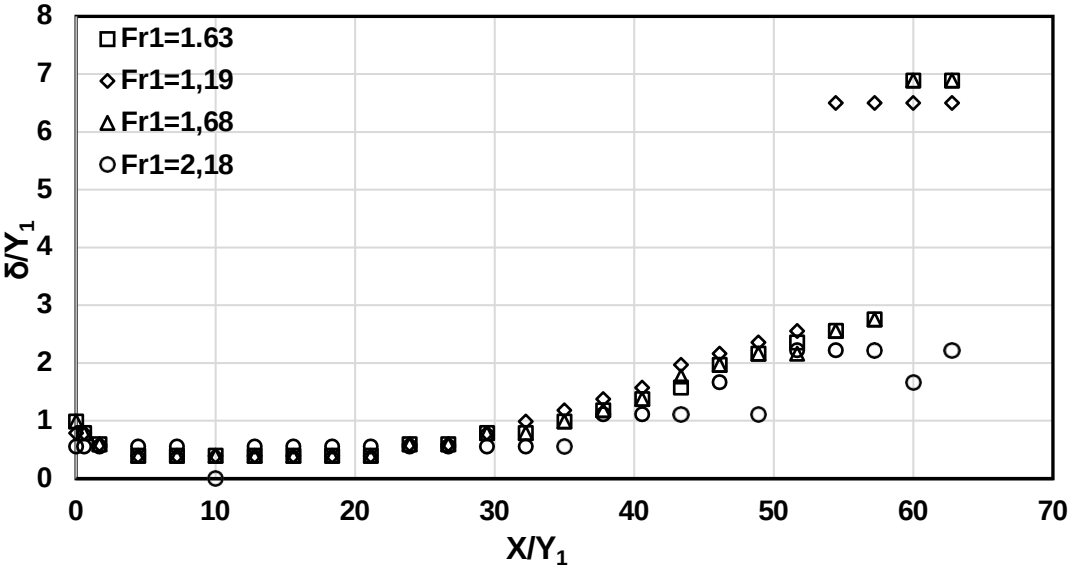
4.2.2. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.b)

Durum 1.b için farklı Froude durumların U_{mak}/U_1 değerinin X/Y_1 ile değişimi Şekil 4.56.'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde U_{mak}/U_1'in en yüksek değerlerinin kayar kapak altında oluştuğu görülmektedir. Kapak mansap tarafında ileriye doğru gidildikçe U_{mak}/U_1 değeri azalmaktadır. Farklı Froude sayılarında aynı kesitlerde değerlerin birbirine çok yakın olduğu söylenebilir. Batık hidrolik sıçramanın etkisini kaybettiği kesitlerdeki U_{mak}/U_1 değerlerindeki değişimin oldukça azaldığı görülmektedir.



Şekil 4. 56. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.b)

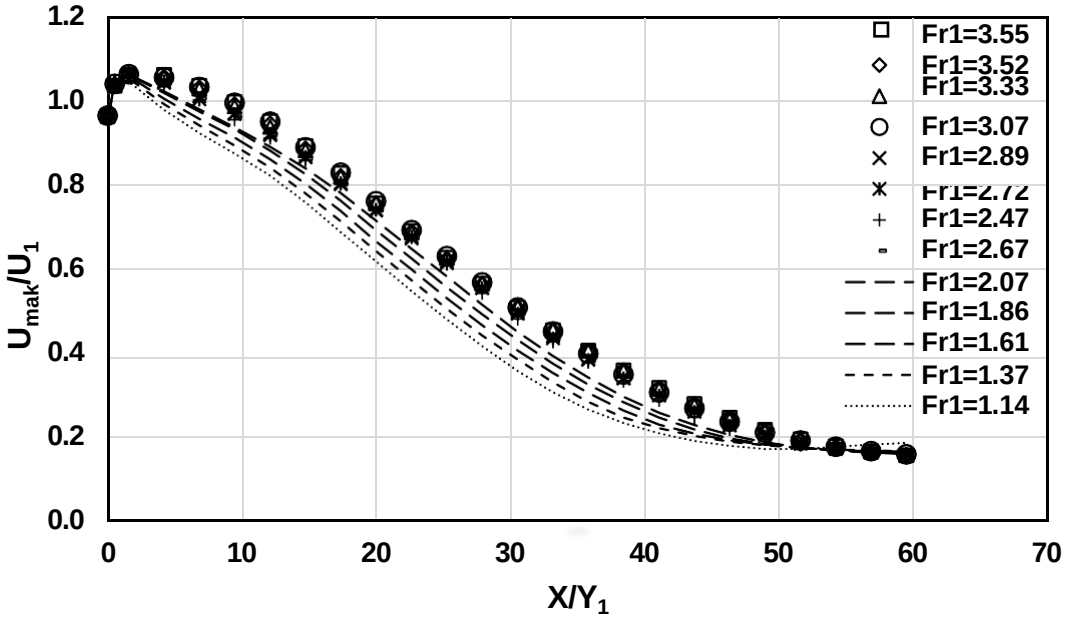
Durum 1.b için farklı Froude sayıları ile maksimum hızın gerçekleştiği noktanın yükseklikleri Şekil 4.57.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1 değerinin mansap tarafına ileriye doğru gidildikçe arttığı görülmektedir. Jet akım bölgesinde δ/Y_1 en düşük değerini almaktadır. Farklı Froude sayılarında jet akım etkisini kaybettiği kesitlerde Fr_1=2.18'de sapmalar olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 57. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.b)

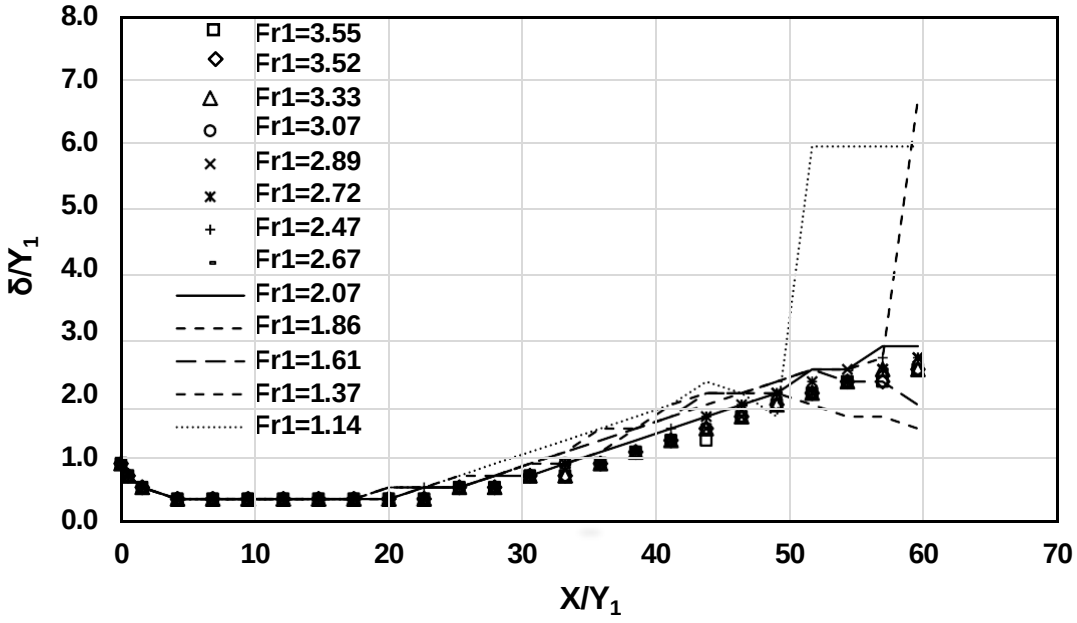
4.2.3. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.c)

Şekil 4.58.'de, Durum 1.c için farklı Froude sayıları ile U_{mak}/U_1 değerlerinin kayar kapaktan sonraki boyutsuz uzaklık ile değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde U_{mak}/U_1 oranının en yüksek değerlerine diğer durumlara benzer olarak kayar kapak altında sahip olduğu görülmektedir. Kapak altında ve batık hidrolik sıçramanın etkisini kaybettiği kesitlerde farklı Froude sayılarında değerler birbirine çok yakın görülmektedir. Buna karşın jet akımın olduğu kesitlerde ayrılmalar olduğu söylenebilir. Diğer debilerde olduğu gibi mansap tarafına gidildikçe değerler azalmaktadır. Froude sayısının azalmasıyla U_{mak}/U_1 oranının azaldığı genel olarak bu azalma miktarı ele alınan Froude sayıları için benzer olmuştur.



Şekil 4. 58. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.c)

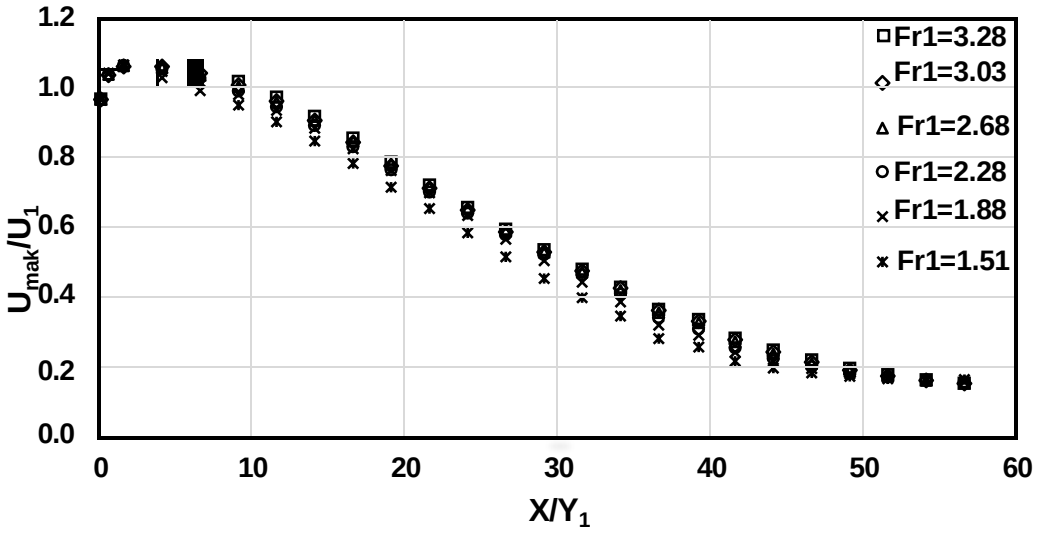
Durum 1.c için farklı Froude sayılarında δ/Y_1 değerinin X/Y_1 ile değişimi Şekil 4.59.'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1'ın mansap tarafına ileriye doğru gidildikçe arttığı ve en düşük değerlerin jet akım bölgesinde olduğu söylenebilir. Sıçramanın etkisini kaybettiği kesitlerde ayrılmalar görülmekte ve en küçük Froude sayısında o bölgede sapmalar gözlemlenmektedir.



Şekil 4. 59. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.c)

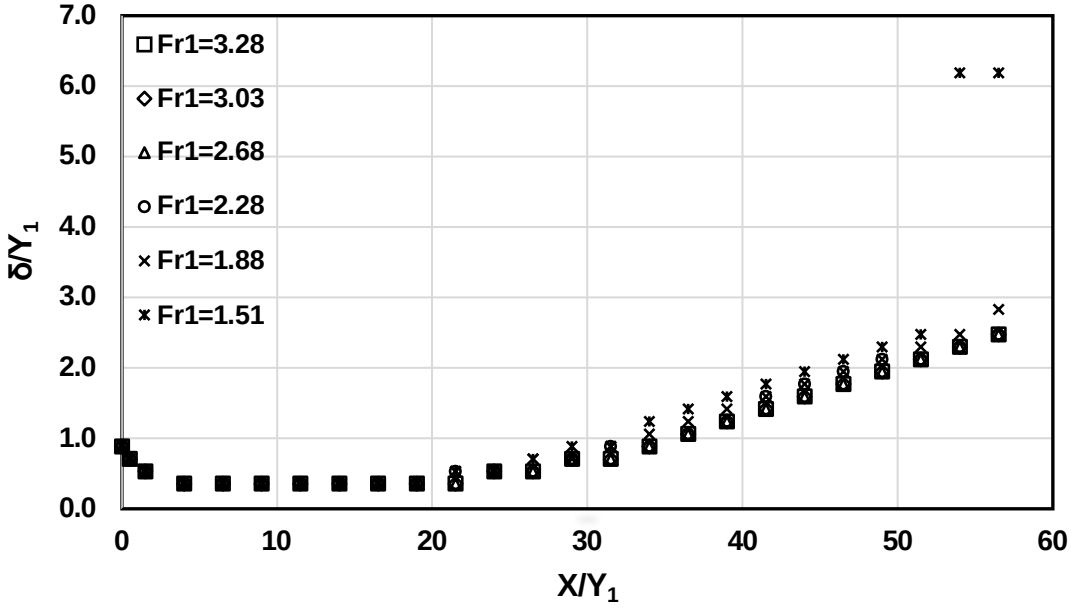
4.2.4. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.d)

Durum 1.d durumunda farklı Froude için ile U_{mak}/U_1 değerlerinin X/Y_1 ile değişimi Şekil 4.60.'da verilmiştir. Kapak mansap tarafında ileriye doğru gidildikçe U_{mak} değerinde azalma görünüyor. Farklı Froude sayılarında tüm kesitlerde değerlerin bir önceki durumun aksine birbirine çok yakın olduğu söylenebilir. Batık hidrolik sıçramanın etkisini kaybettiği kesitlerdeki U_{mak} değerlerinin yatay bir şekil aldığı görünüyor. Maksimum değeri diğer durumlara benzerlik göstermektedir.



Şekil 4. 60. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.d)

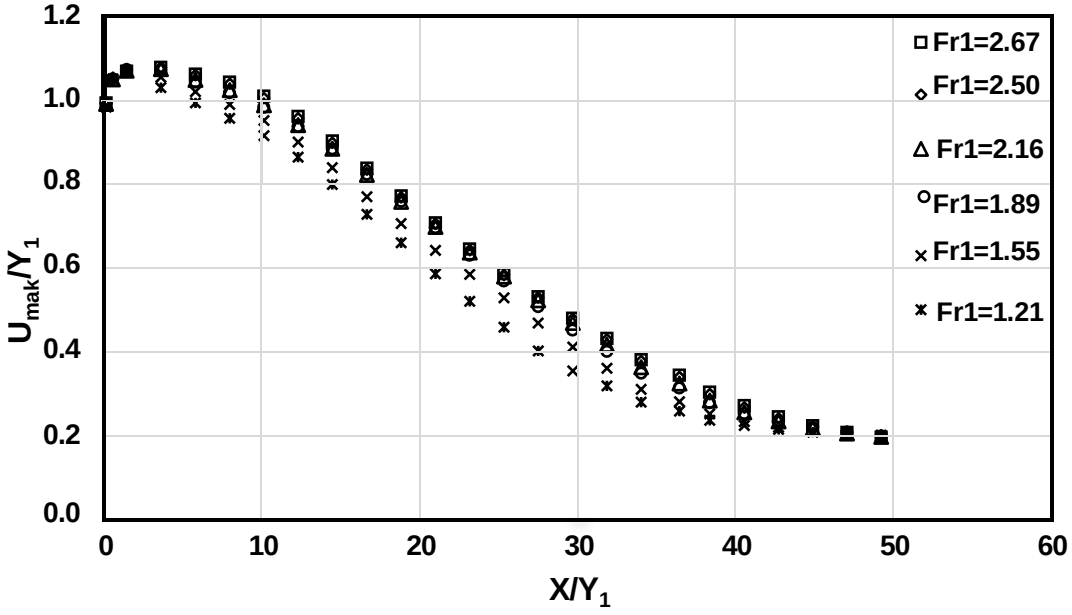
Durum 1.d için farklı Froude sayıları ile maksimum hızın gerçekleştiği noktanın yükseklikleri Şekil 4.61.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1 kapak altından jet akım bölgesine doğru azalmakta, jet akım bölgesinde değerler yatay bir şekil almakta ve mansap tarafına gidildikçe bir olduğu söylenebilir. Jet akım bölgesinde aynı kesitlerde tüm değerlerin büyük bir oranda benzerlik gösterdiği söylenebilir.



Şekil 4. 61. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.d)

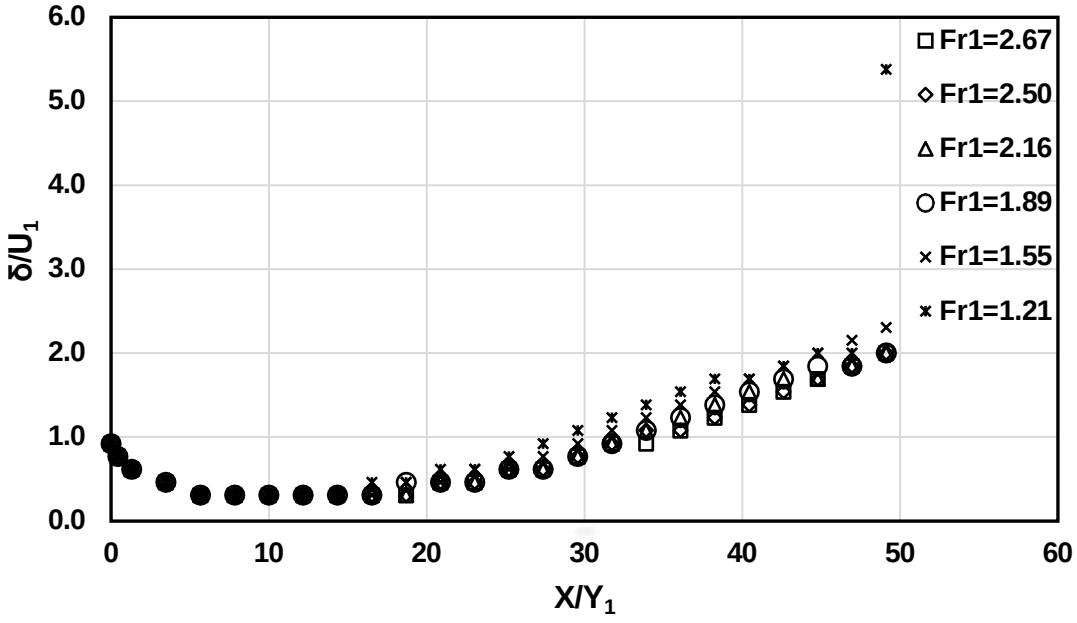
4.2.5. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.e)

Durum 1.e için farklı Froude sayıları ile U_{mak} /U_1'in değişimi Şekil 4.62.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde U_{mak} /U_1'in Froude sayısına bağlı değişiminin Durum 1.c'ye benzer bir şekilde jet akım bölgesinde değerlerde ayrılmalar olduğu söylenebilir. Diğer durumlar gibi en düşük değerlerin batık hidrolik sıçrama sonunda gözlemlenmektedir.



Şekil 4. 62. U_{mak}/U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.e)

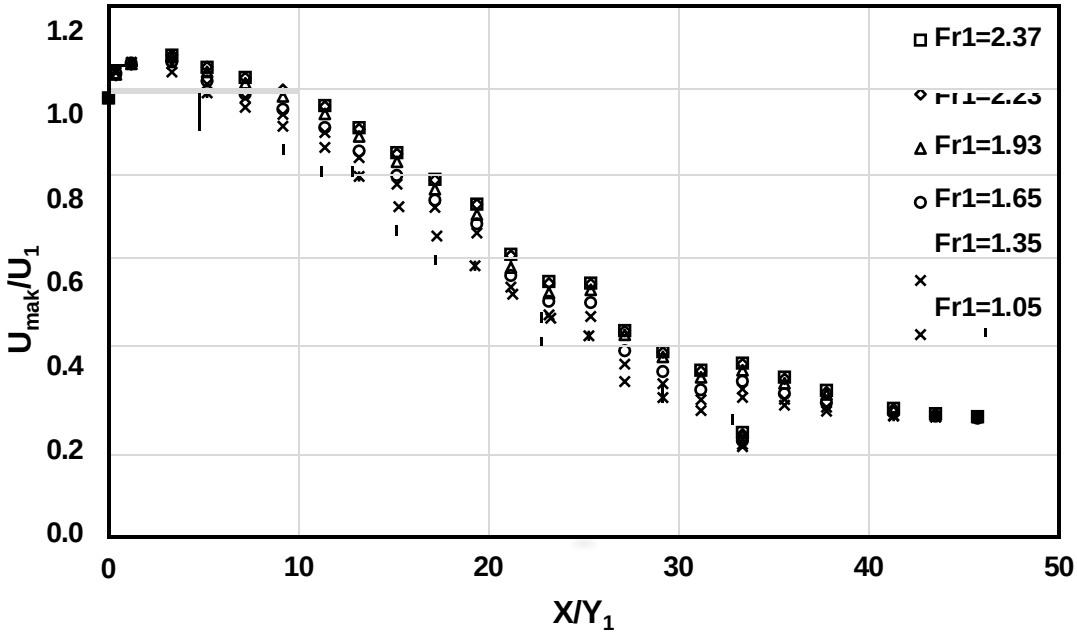
Durum 1.e için farklı Froude sayıları ile maksimum hızın gerçekleştiği noktanın yükseklikleri Şekil 4.63.'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1 değerinde meydana gelen değişimin Durum 1.d'de meydana gelen değişim ile benzerlik gösterdiği söylenebilir. U_{mak}/U_1 değerlerindeki değişimin aksine değerlerde sıçrama sonunda ayrılmalar gerçekleşmektedir. Yine en küçük değerlerin jet akım bölgesinde olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 63. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.e)

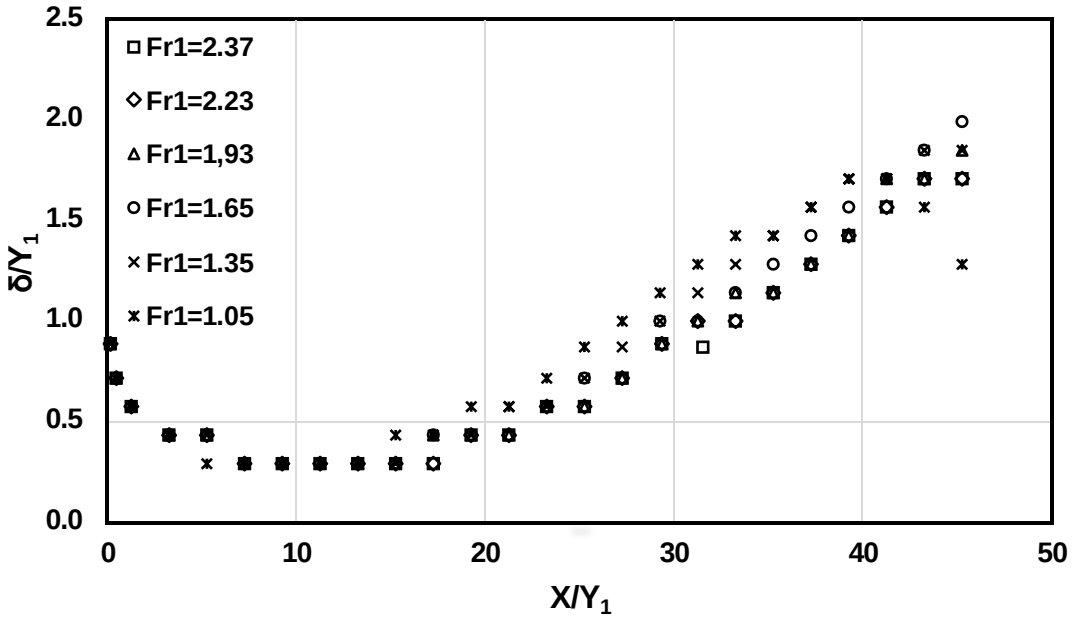
4.2.6. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.f)

Durum 1.f için farklı Froude sayıları ile U_{mak}/U_1 değerleri Şekil 4.64.'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde U_{mak}/U_1 değerinin en yüksek olduğu değerleri kayar kapak altında görülmektedir. Kapak mansap tarafında ileriye doğru gidildikçe U_{mak}/U_1 değerinde azalma görünüyor. Jet akım bölgesinde ayrılmalar olmasına karşın kapak altı ve sıçrama sonundaki kesitlerde birbirine çok yakın değerler olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 64. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.f)

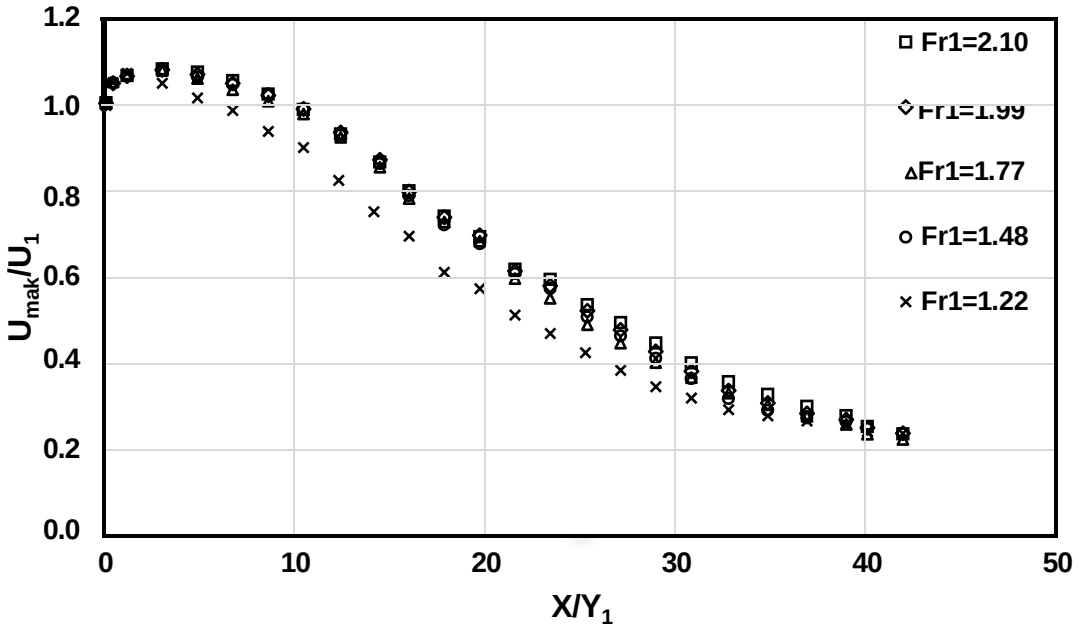
Durum 1.f için farklı Froude sayıları ile maksimum hızın gerçekleştiği noktanın yükseklikleri Şekil 4.65.'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1 değerinin diğer durumlara kıyasla değerlerin yükselişe geçtiği jet akım sonrasındaki bölgede ayrılmaların daha çok olduğu söylenebilir. Düşük debide sıçrama sonunda sapma görülmektedir.



Şekil 4. 65. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.f)

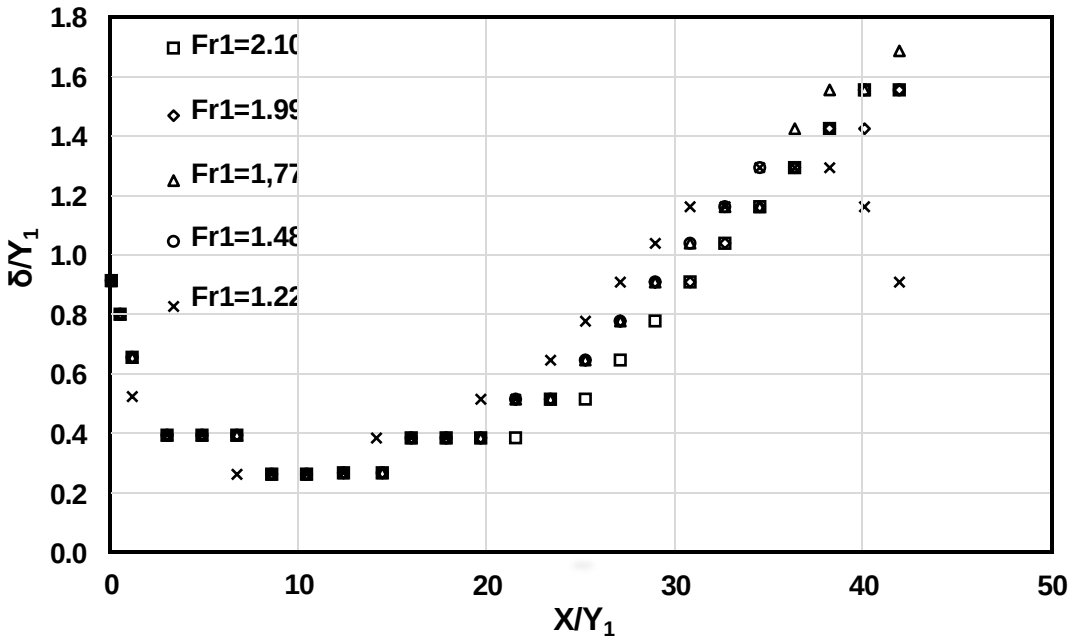
4.2.7. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.g)

Durum 1.g için farklı Froude sayıları ile U_{mak} değerleri Şekil 4.66.'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde U_{mak}'ın en yüksek olduğu değerleri kayar kapak altında görülmektedir. Kapak mansap tarafında ileriye doğru gidildikçe U_{mak}/U_1 değerinde azalma görünüyor. En düşük debinin değerleri diğer değerlerden saparak paralel bir şekilde azaldığı söylenebilir.



Şekil 4. 66. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.g)

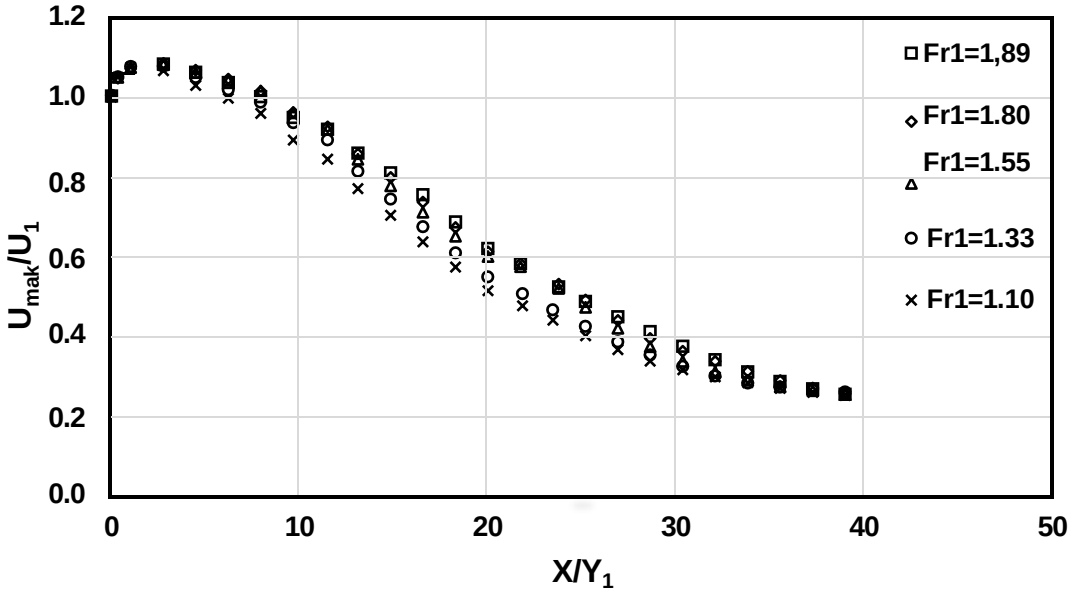
Durum 1.g için farklı Froude sayıları ile maksimum hızın gerçekleştiği noktanın yükseklikleri Şekil 4.67.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1 değerindeki değişim diğer durumlardan farklı olarak jet akım bölgesinde değerler sapmalar göstermektedir. En küçük Froude sayısında batık hidrolik sıçrama sonlarında aşırı bir sapma yaptığı söylenebilir.



Şekil 4. 67. δ/Y1'in X/Y1 ile değişimi (Durum 1.g)

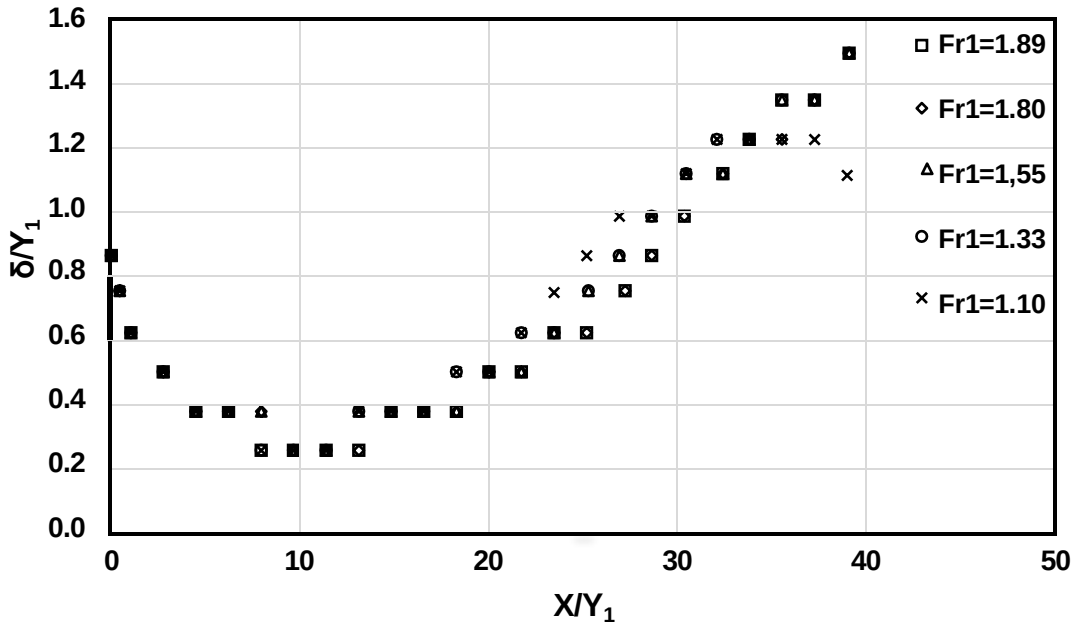
4.2.8. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 1.h)

Durum 1.h için farklı Froude sayıları ile U_{mak}/U_1 değerlerinin değişimi Şekil 4.68.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde mansap konrol kapağının 9 cm olduğu ve farklı kayar kapak açıklığına sahip tüm durumlara baktığımızda hepsinde benzer bir şekilde azalan bir grafiğe sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca, en düşük değere sahip kesitte kapak açıklığının artması ile değerin arttığı görülmektedir. Tüm durumlarda olduğu gibi en yüksek değer kapak altında gerçekleşmektedir.



Şekil 4. 68. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.h)

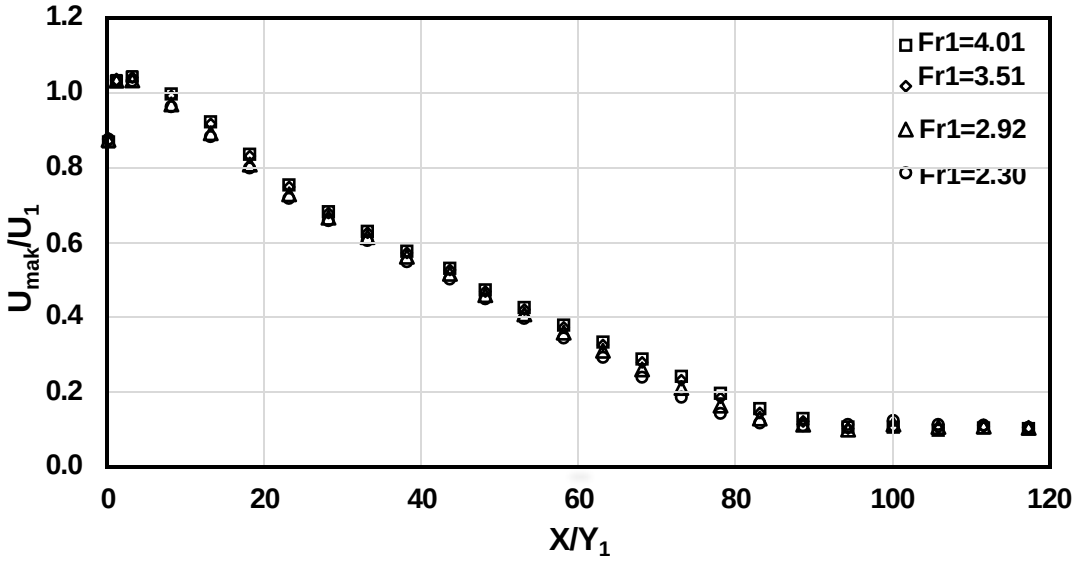
Durum 1.h için farklı Froude sayıları ile maksimum hızın gerçekleştiği noktanın yükseklikleri Şekil 4.69.'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1 oranının mansap tarafına ileriye doğru gidildikçe arttığı görülmektedir. Mansap kontrol kapağının 9 cm olduğu tüm durumlara bakıldığında Fr=1.55'ten küçük Froude sayılarında sıçrama sonunda sapma olduğu söylenebilir. Jet akım bölgesinde tüm durumlarda en düşük değerler gözlemlenmişti. Sayısal sonuçların bulgularında da dinamik basınç değerlerinin aynı bölgede maksimum değerlerde olduğunu gözlenmişti. Tüm durumlarda bu bölgede benzer sonuçlar olduğu gözlemlenebilir. Bundan yola çıkarak dinamik basıncın maksimum olduğu bölgede δ'ın minimum değerlere sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 69. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 1.h)

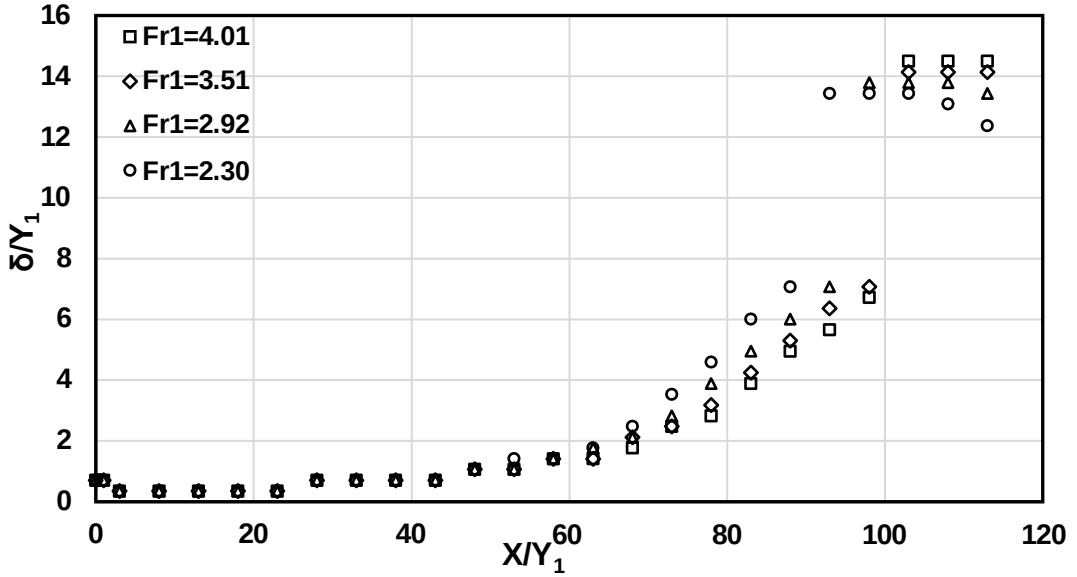
4.2.9. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 2.a)

Durum 2.a için farklı Froude sayıları ile U_{mak} /U_1 değerlerinin değişimi Şekil 4.70.'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde en büyük U_{mak} /U_1 değerleri kayar kapak altında görülmekte ve kayar kapak girişindeki değerin kapağın altındaki değerden daha küçük olduğu söylenebilir. Kapak mansap tarafında ileriye doğru gidildikçe U_{mak} değerinde azalma görünüyor. Tüm kesitlerde değerlerin birbirine çok yakın olduğu söylenebilir. Batık hidrolik sıçramanın etkisini kaybettiği kesitlerdeki U_{mak} değerlerinin yatay bir şekil aldığı görünüyor.



Şekil 4. 70. U_{mak}/U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.a)

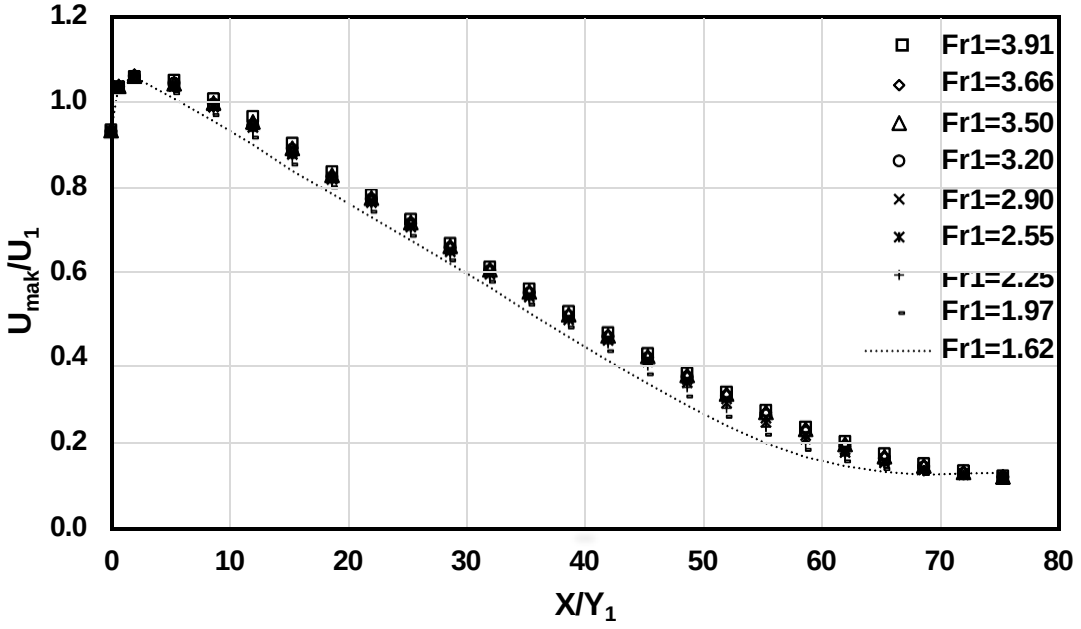
Durum 2.a için farklı Froude sayıları ile maksimum hızın gerçekleştiği noktanın yükseklikleri Şekil 4.71.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1 değerinin mansap tarafına ileriye doğru gidildikçe arttığı görülmektedir. Jet akım bölgesinde δ/Y_1 en düşük değerini almaktadır. Ayrıca, mansap kontrol kapağının 9 cm olduğu durumlardan farklı olarak sıçrama sonunda tüm debilere sapma görülmektedir.



Şekil 4. 71. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.a)

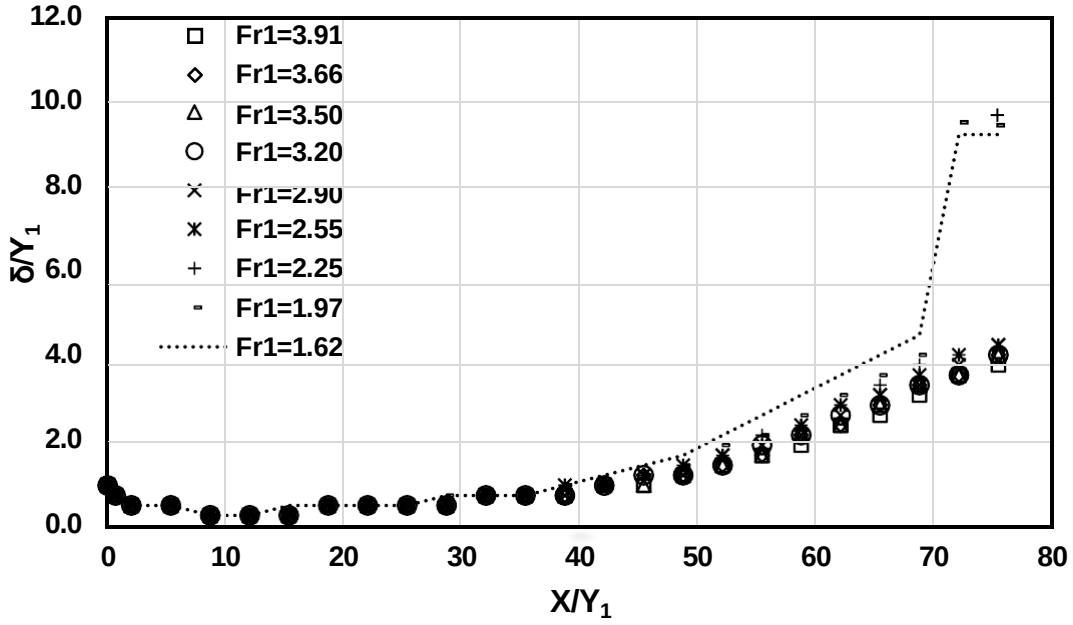
4.2.10. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 2.b)

Durum 2.b için farklı Froude sayıları ile U_{mak} /U_1'in değişimi Şekil 4.72.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde U_{mak}/U_1 Durum 2.a'ya çok benzer bir değişime sahip olduğu söylenebilir. Maksimum değerlerin olduğu kapak altı kesitlerde değerler çok yakın olsa da minimum değerin olduğu son kesitlerde kapak açıklığının artması ile arttığı söylenebilir.



Şekil 4. 72. U_{mak}/U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.b)

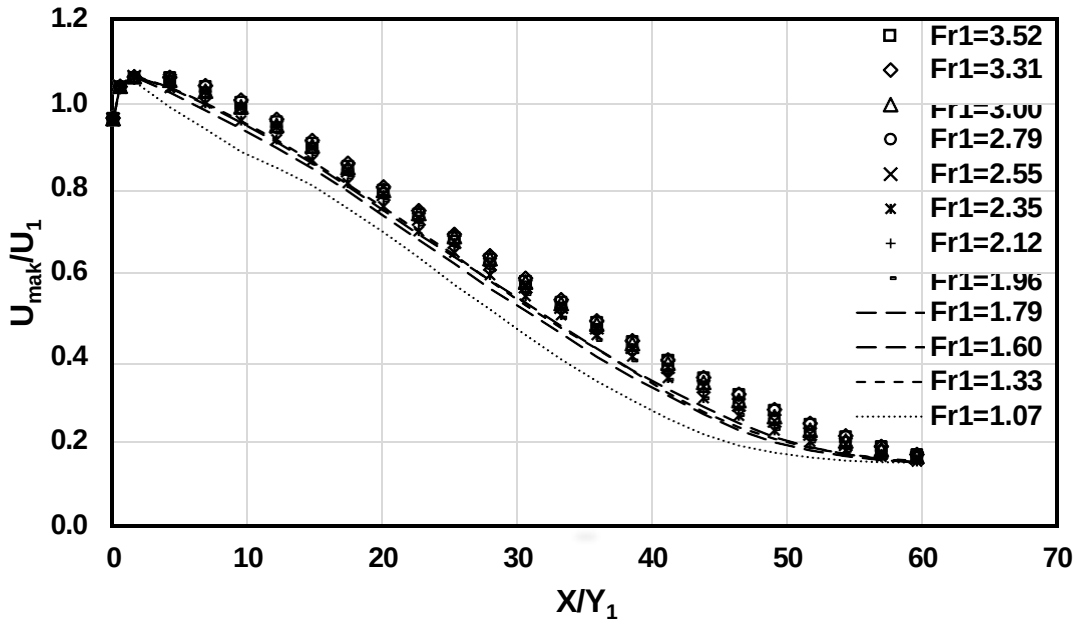
Durum 2.b için farklı Froude sayıları ile maksimum hızın gerçekleştiği noktanın yükseklikleri Şekil 4.73.'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1 değerlerinin yine jet akım bölgesinde minimum değerlere sahip olduğu ve bu bölgeden sonra değerlerin arttığı söylenebilir. Durum 2.a'dan farklı olarak son kesitlerde sadece iki küçük debide sapam görülmektedir.



Şekil 4. 73. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.b)

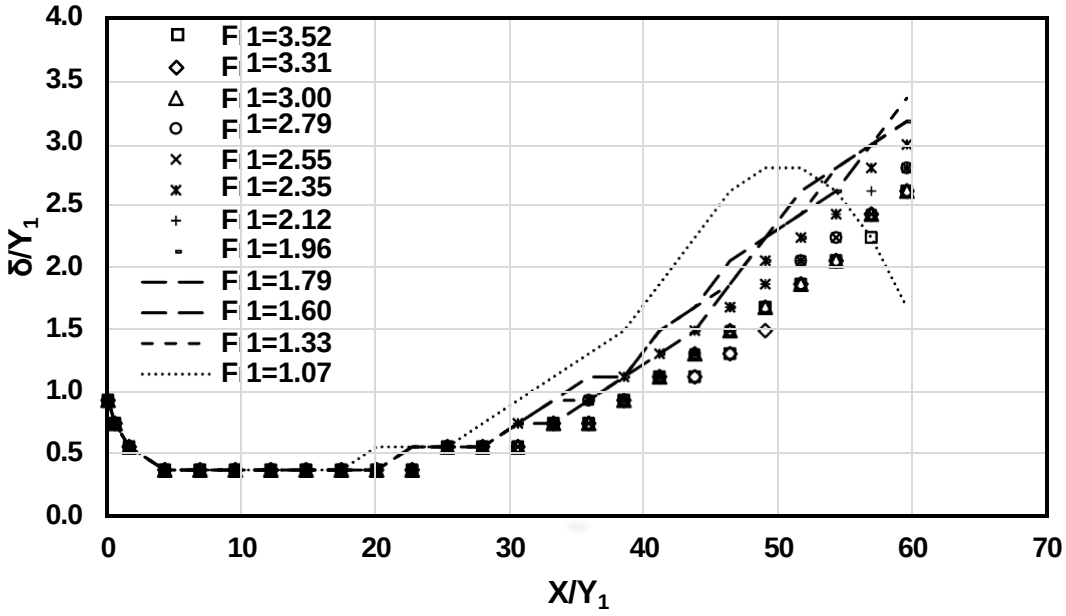
4.2.11. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 2.c)

Durum 2.c için farklı Froude sayıları ile U_{mak}/U_1'in değişimi Şekil 4.74.'te verilmiştir. Kapak mansap tarafında ileriye doğru gidildikçe U_{mak}/U_1 değerinde azalma görünüyor. Durum 2.a ve Durum 2.b'den farklı olarak ayrılmaların olduğu söylenebilir. Kapak açıklığının artması ile en düşük değerin de arttığı görülmektedir.



Şekil 4. 74. U_{mak}/U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.c)

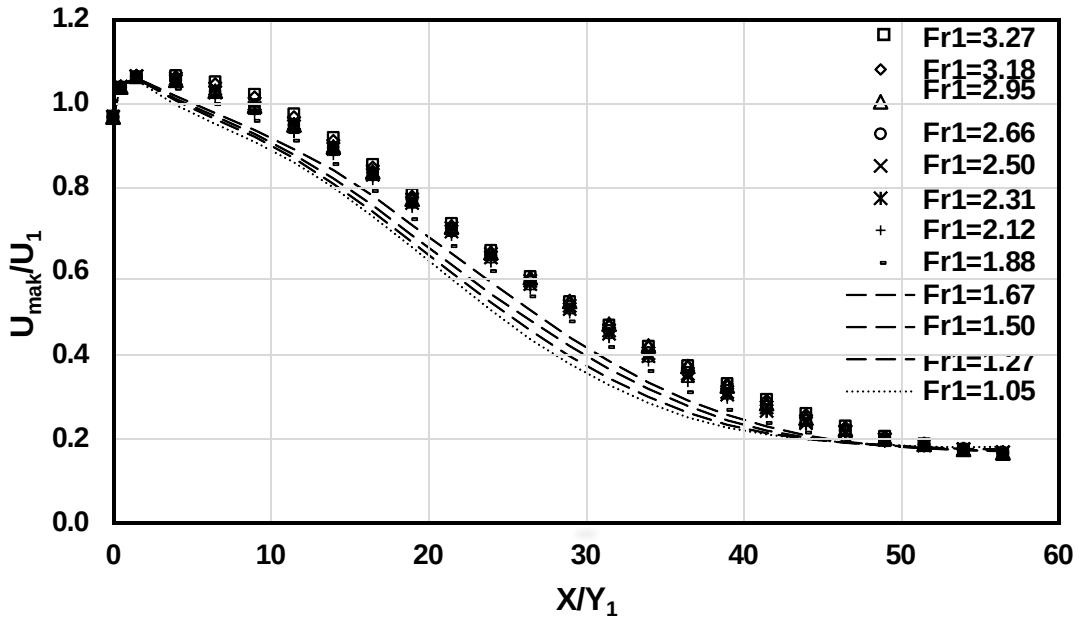
Durum 2.c için farklı Froude sayıları ile maksimum hızın gerçekleştiği noktanın yükseklikleri Şekil 4.75.'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1 değerinin diğer durumlara benzer olarak en küçük değerine jet akım bölgesinde minimum ve yatay değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu bölge sonrasında değerlerde artış ve diğer debilerden sapma yaptığı söylenebilir. Diğer tüm durumlarda olduğu gibi jet akıma geçmeden önce kapak altında daha büyük değerler olduğu görünüyor.



Şekil 4. 75. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.c)

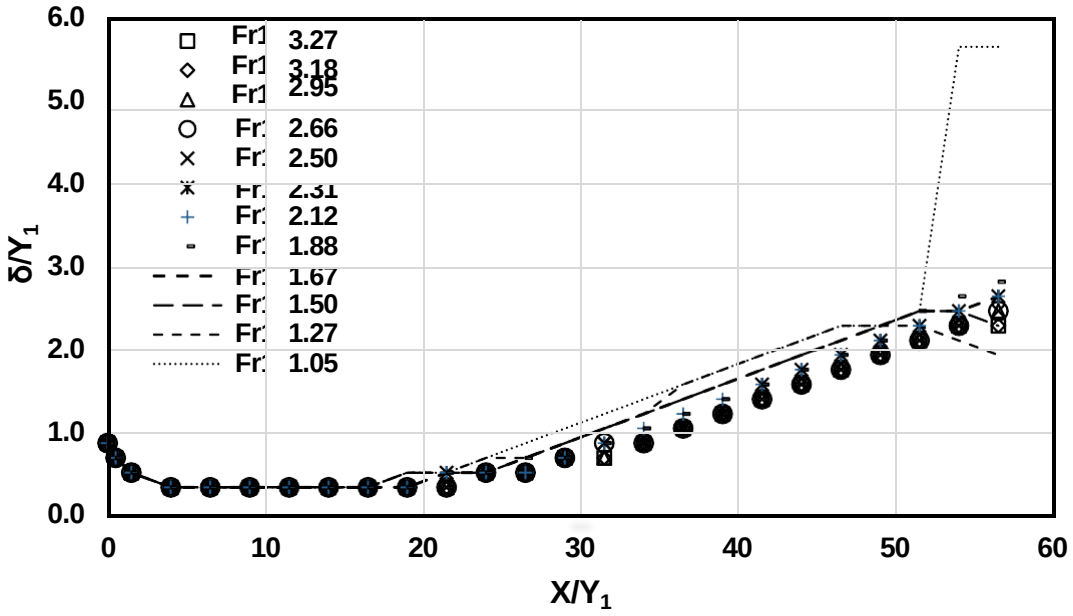
4.2.12. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 2.d)

Durum 2.d için farklı Froude sayıları ile U_{mak} /U_1'in değişimi Şekil 4.76.'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde U_{mak}/U_1 değerinin tüm durumlara benzer olarak değişim gösterdiği söylenebilir. Jet akım bölgesinde biraz ayrılmalar olsa da aynı kesitteki farklı debilerin U_{mak} değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Mansap kontrol kapağının 11.2 cm olduğu durumlarsa kayar kapak açıklığının artması ile minimum U_{mak} değerlerinin de arttığı söylenebilir.



Şekil 4. 76. U_{mak}/U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.d)

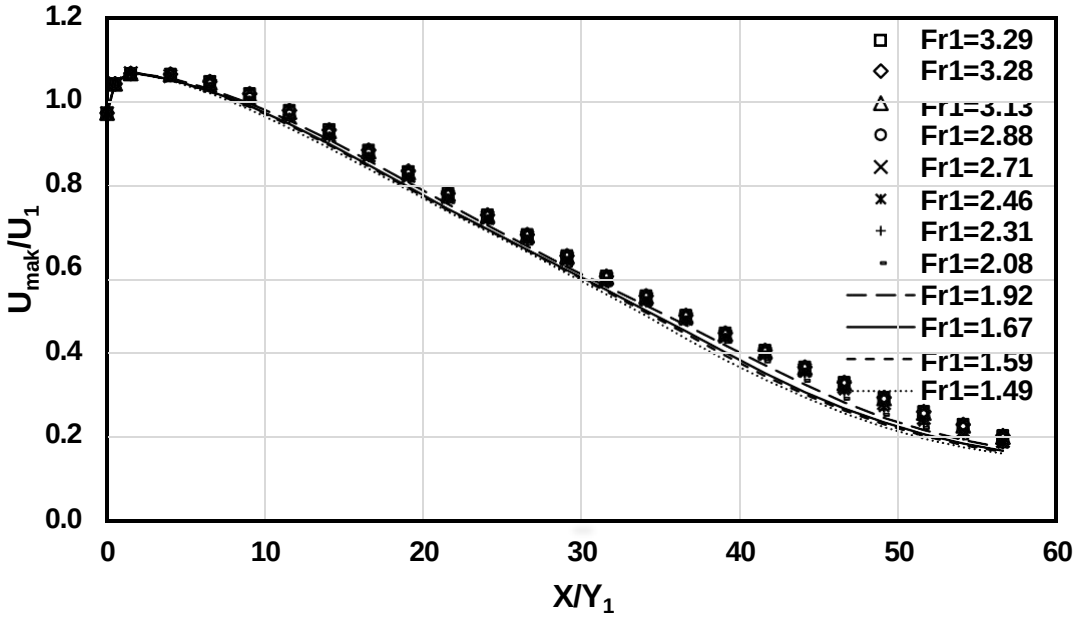
Durum 2.d için farklı Froude sayıları ile maksimum hızın gerçekleştiği noktanın yükseklikleri Şekil 4.77.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1 değerinin tüm durumlar gibi en düşük değeri jet akım bölgesinde sahip olduğu söylenebilir. Mansap kontrol kapağının 9 cm olduğu durumlarda sıçrama sonunda 1.55'ten küçük Froude sayılarında sapma yaptığı gözlenmişti fakat mansap kontrol kapağının 11.2 cm olduğu durumlara bakıldığında sapmaların gerçekleştiği bir Froude sayısı olduğu söylenemez.



Şekil 4. 77. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 2.d)

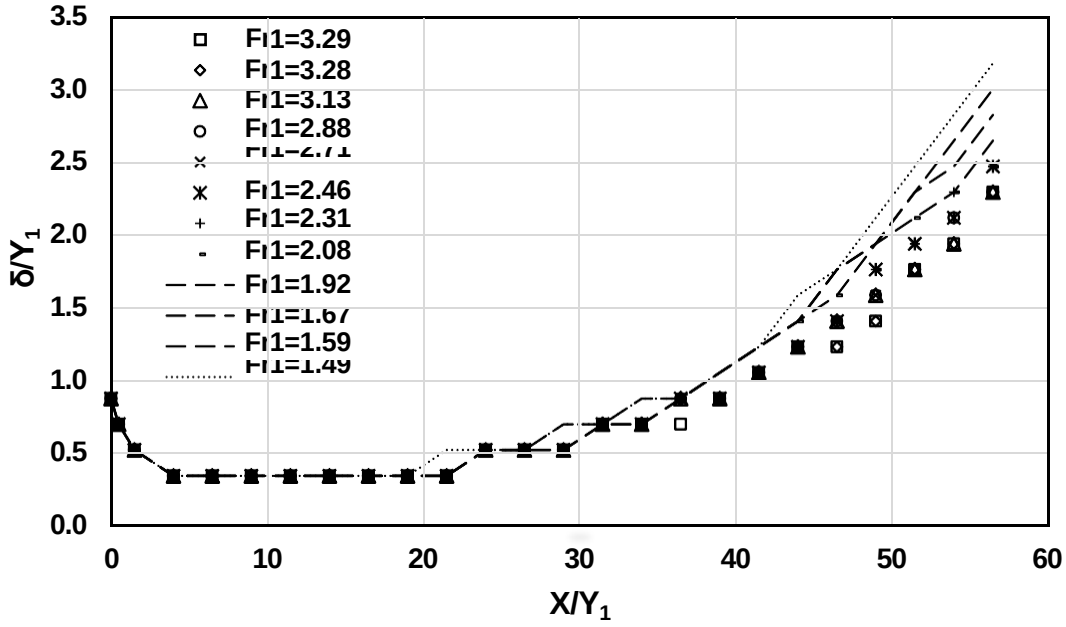
4.2.13. Sınır tabakası bölgesi özellikleri (Durum 3.a)

Durum 3.a için farklı Froude sayıları ile U_{mak} /U_1'in değişimi Şekil 4.78.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde en büyük U_{mak}/U_1 değeri kayar kapak altında görülmektedir. Kapak mansap tarafında ileriye doğru gidildikçe U_{mak} /U_1 değerinde azalma görünüyor. Aynı kapak açıklığına sahip diğer durumlara kıyasla minimum değerin daha büyük olduğu söylenebilir. Değerler tüm kesitlerde benzerlik göstermektedir.



Şekil 4. 78. U_{mak} /U_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 3.a)

Durum 3.a için farklı Froude sayıları ile maksimum hızın gerçekleştiği noktanın yükseklikleri Şekil 4.79.'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde δ/Y_1 değerindeki değişimin hiçbir kesitte sapma yapmadığı söylenebilir. Tüm durumlarda olduğu gibi jet akım bölgesinde en düşük değerler görülmektedir. Maksimum değerin en büyük olduğu durumun Durum 3.a'da görülmektedir. Sıçrama sonunda aynı kesitte değerler arasında sapmalar olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 79. δ/Y_1'in X/Y_1 ile değişimi (Durum 3.a)

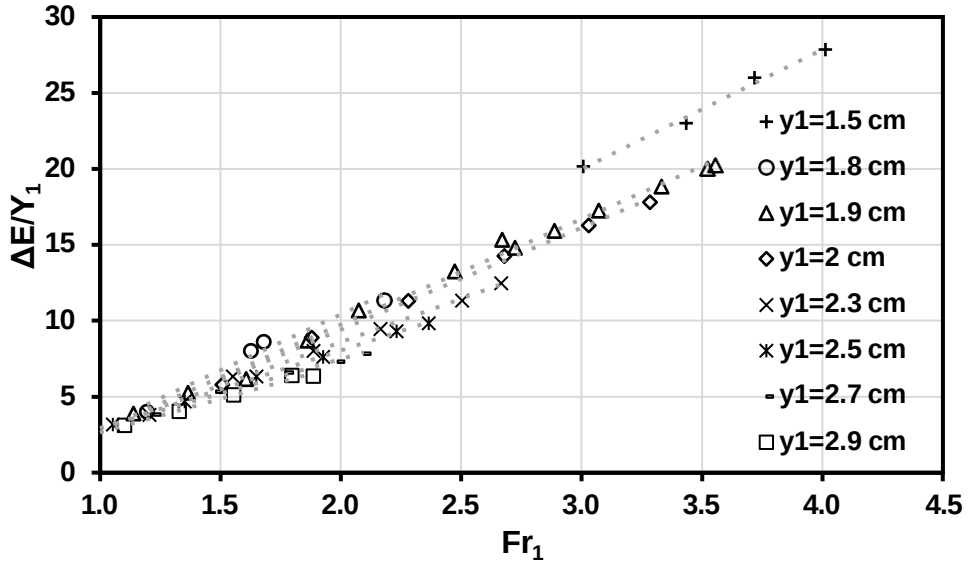
4.3. Enerji Kayıpları

Batık hidrolik sıçrama sürecinde meydana gelen enerji kaybı (ΔE) Denklem 4.1.'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$\Delta E = \left(\frac{V_1^2}{2g} + Y_3\right) - \left(\frac{V_4^2}{2g} + Y_4\right) \tag{4.1}$$

4.3.1. Durum 1 için enerji kayıpları

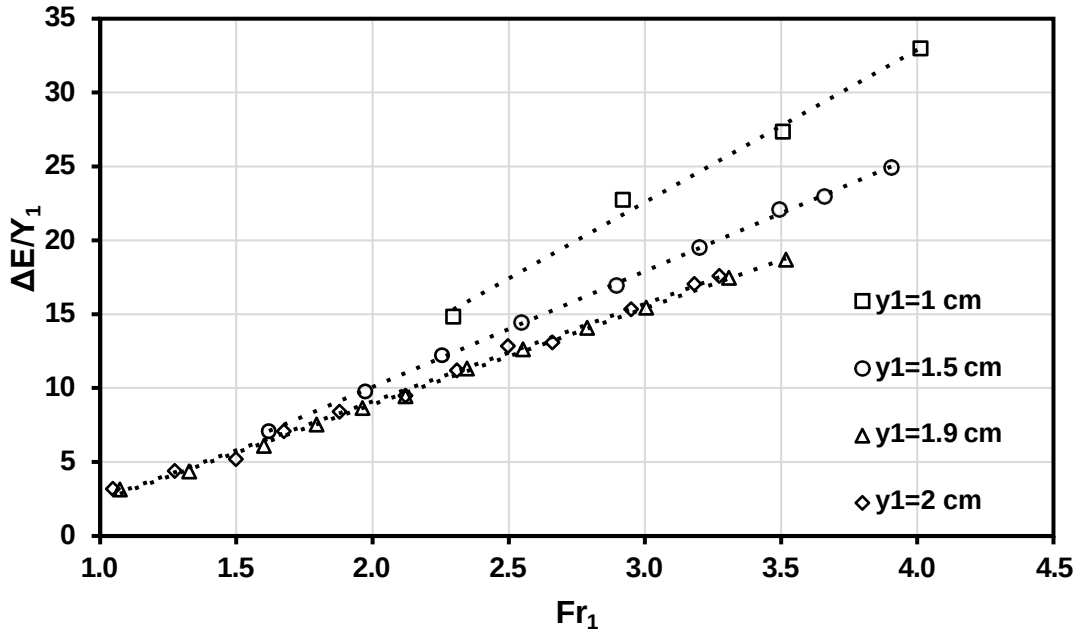
Durum 1 için farklı akım ve kayar kapak açıklığı durumlarında elde edilen enerji kayıplarının değişimi Şekil 4.80.'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde tüm kapak açıklıklarında Froude sayısının artması ile enerji kayıplarının da arttığı söylenebilir. Aynı Froude sayılarında kayar kapak açıklığının artması ile enerji kaybının azaldığı görülmektedir. Durum 1 için en büyük enerji kaybı Y_1=1.5 cm durumunda ve en küçük enerji kaybı ise Y_1=2.9 cm durumunda gerçekleşmiştir. Kapak açıklığının birbirine oldukça yakın olduğu durumlarda (Y_1=2.3 cm'den Y_1=2.9 cm'ye kadar olan durumla) enerji kayıp miktarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 80. Rölatif enerji kayıplarının Fr_1 ile değişimi (Durum 1)

4.3.2. Durum 2 için enerji kayıpları

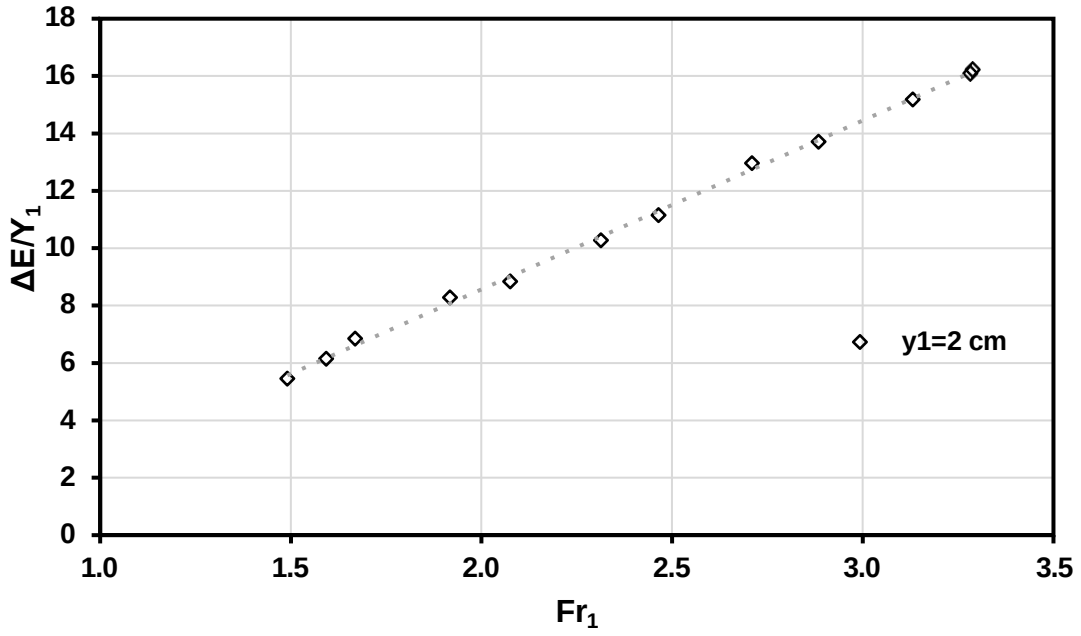
Şekil 4.81.'de, Durum 2 için enerji kayıplarının farklı Froude sayılarıyla değişimi verilmiştir. Verilen grafik incelendiğinde, tüm kapak açıklıklarında debinin artması ile enerji kayıplarının da arttığı söylenebilir. Aynı Froude sayılarında kayar kapak açıklığının artması ile enerji kaybının azaldığı görülmektedir. Önceki kapak yüksekliğine kıyasla enerji kayıplarında doğrusallık daha fazladır. Ayrıca, Y_1=1.9 cm ile Y_1=2 cm durumunda elde edilen enerji kayıp miktarlarının hemen hemen aynıdır.



Şekil 4. 81. Rölatif enerji kayıplarının Fr_1 ile değişimi (Durum 2)

4.3.3. Durum 3 için enerji kayıpları

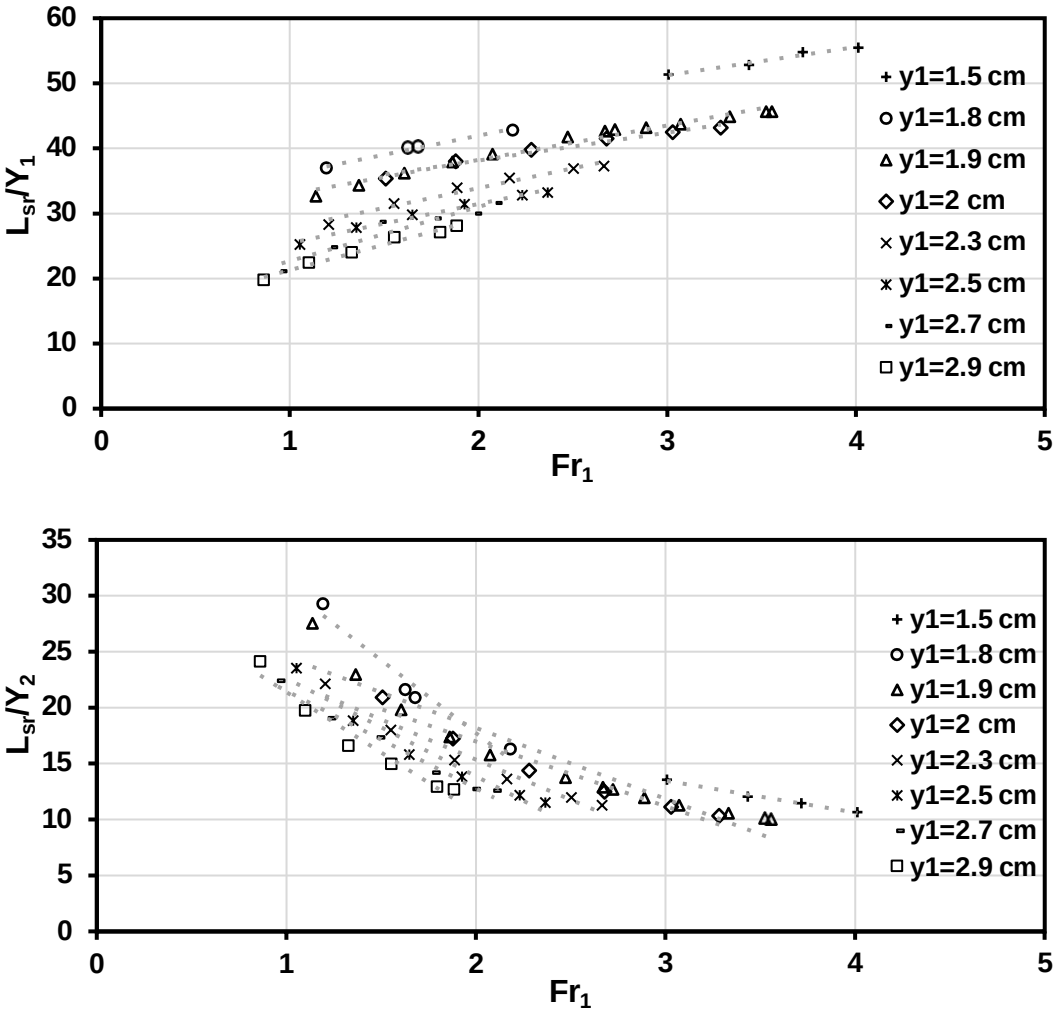
Durum 3için enerji kayıbı oranının Froude sayısıyla değişimi Şekil 4.82.'de verilmiştir. Debinin artmasıyla enerji kayıplarının da arttığı açıkça görülmektedir. Artan debiye bağlı olarak oluşan batık hidrolik sıçramanın daha etkin olduğu ve daha büyük bölgede oluştuğu ve yayıldığı söylenebilir. Durum 3'te ele alınan tüm akım durumlarında ortalama $\Delta E/Y_1$ %11 iken enerji kaynı %22 olarak elde edilmiştir.



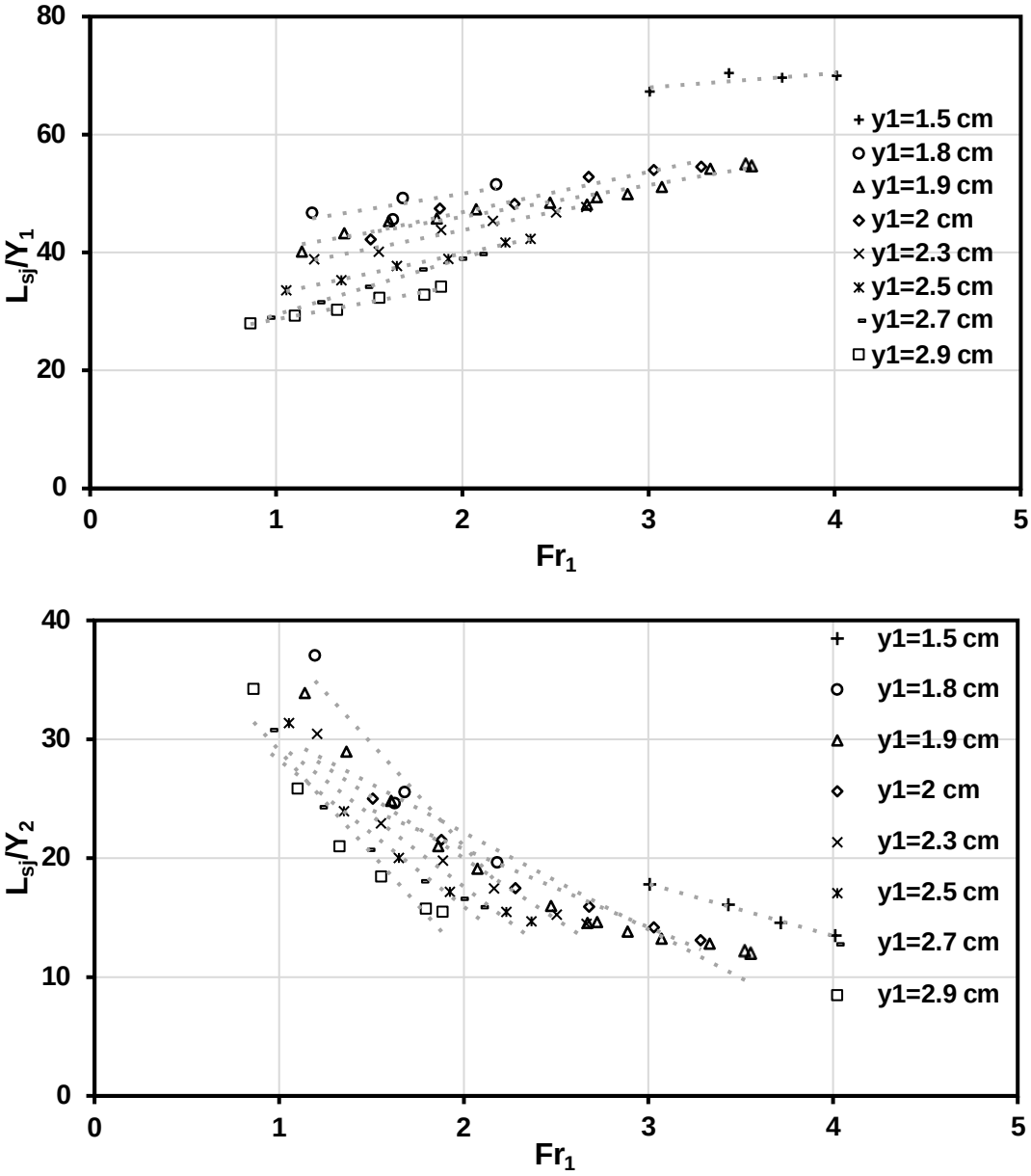
Şekil 4. 82. Rölatif enerji kayıplarının Fr_1 ile değişimi (Durum 3)

4.4. Batık Hidrolik Sıçrama Karakteristik Özellikleri

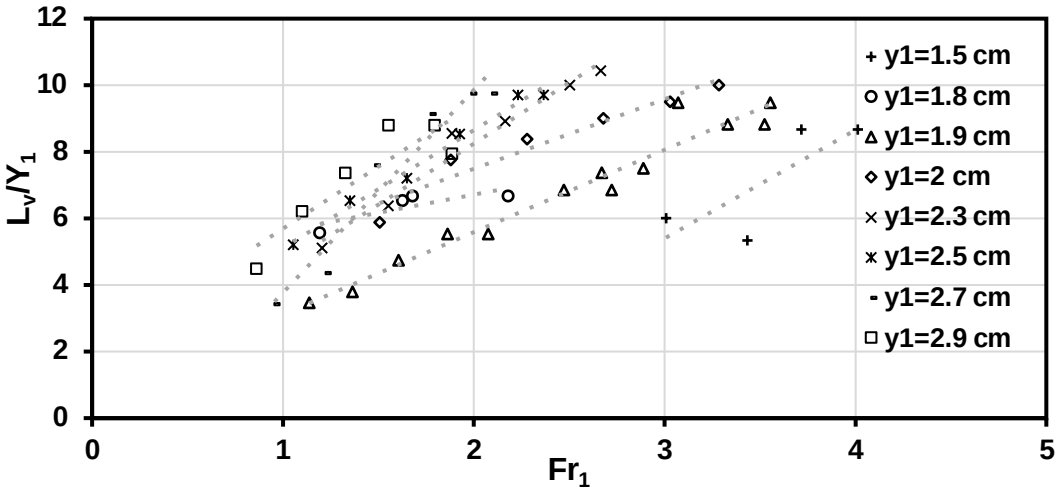
Durum 1 için rölatif batık hidrolik sıçrama geri dönüş bölgesi ve hidrolik sıçrama uzunluğunun Fr_1 ile değişimi sırasıyla Şekil 4.83. ve Şekil 4.84.'te verilmiştir. L_{sr}/Y_1'in Fr_1 ile değişimi incelendiğinde, aynı kapak açıklığında Fr_1'in artmasıyla L_{sr}/Y_1 değeri artmaktadır. y_1'in artmasıyla L_{sr}/Y_1'in azaldığı görülmektedir. Elde edilen grafiklerden en büyük L_{sr}/y_1 değerinin Y_1=1.5 cm durumunda, en küçük L_{sr}/Y_1 değerinin ise Y_1=2.9 cm olduğu durumda elde edilmiştir. L_{sr}/Y_2'nin Fr_1 ile değişimine göre aynı kayar kapak açıklığında Fr_1'in artmasıyla L_{sr}/Y_2'nin azalmaktadır. L_{sj}/Y_1 değeride L_{sr}/Y_1 'de olduğu gibi Froude sayısının artmasıyla artmaktadır. Y_1=1.5 cm durumunda L_{sr}/Y_1 değerinin ortalamasının 70 olduğu söylenebilir. Şekil 4.85.'te Durum 1 için farklı akım durumlarında elde edilen vena kontrakta noktasının rölatif kayar kapaktan uzaklığının Fr_1 ile değişimi verilmiştir. Aynı kapak açıklığında, debinin artmasıyla diğer bir ifadeyle Fr_1'in artmasıyla L_V/Y_1 değerinin arttığı görülmektedir. Durum 1 için farklı akım koşullarında L_V/Y_1 değeri 3 ile 11 arasında değişmektedir.



Şekil 4. 83. Rölatif geri dönüş bölgesi uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 1)



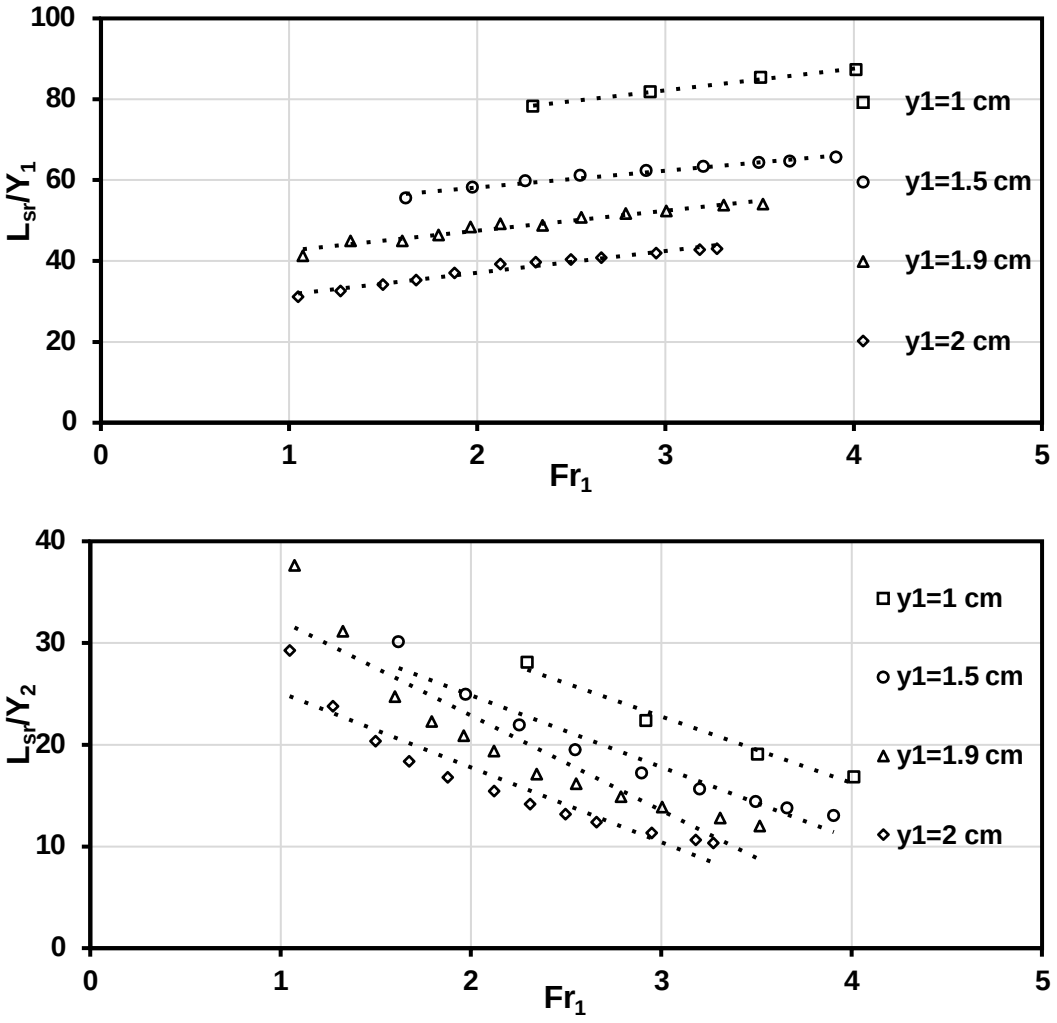
Şekil 4. 84. Rölatif hidrolik sıçrama uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 1)



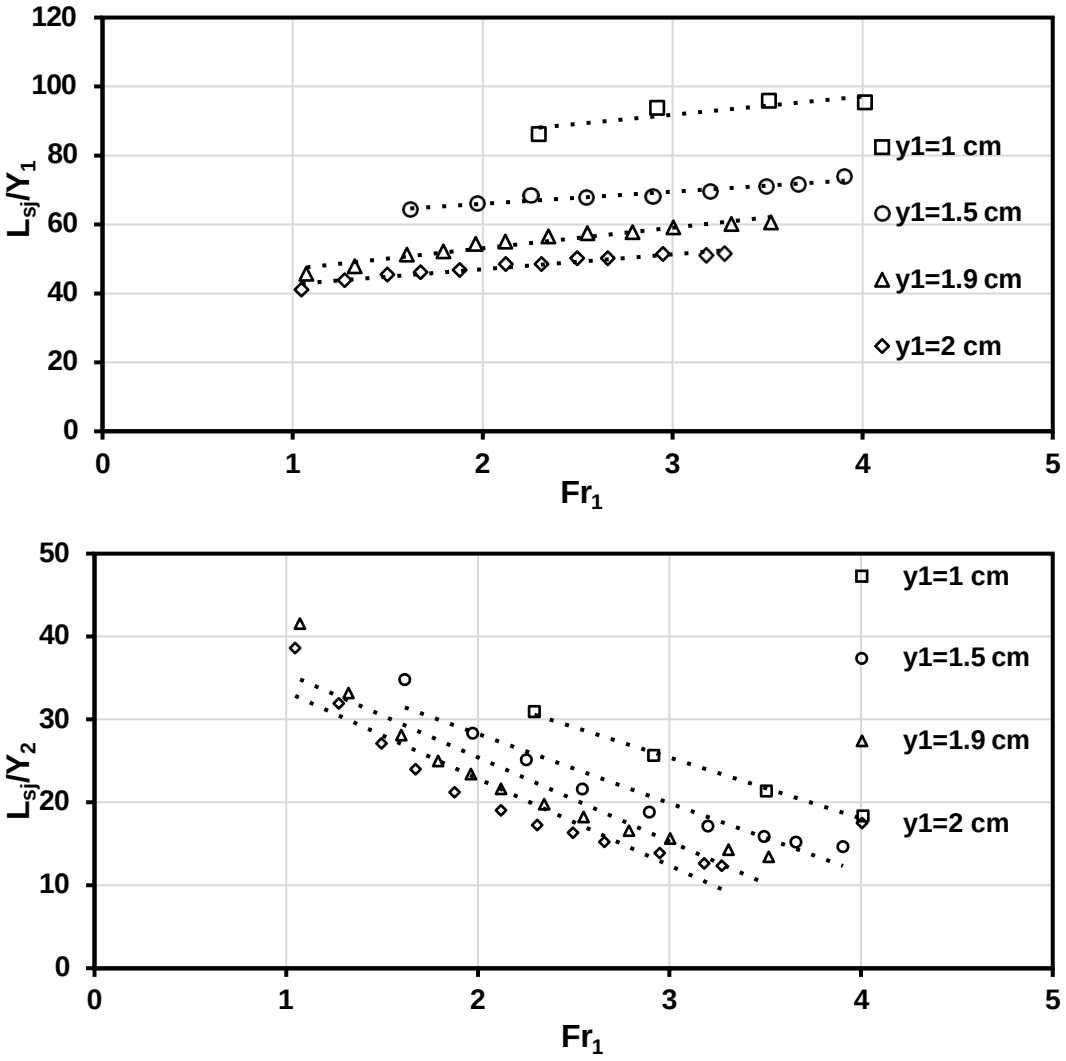
Şekil 4. 85. Rölatif vena kontrakta noktası uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 1)

Şekil 4.86.'da L_{sr}/Y_1 ve Lsr/Y_2'nin Fr_1 ile değişimi verilmiştir. L_{sr}/Y_1 değeri aynı kapak açıklığında Froude sayısının artmasıyla artmaktadır. Ayrıca, L_{sr}/Y_1 değerinin Y_1=1 cm olduğu durumda daha büyük olduğu, kapak açıklığının artmasıyla L_{sr}/Y_1 değerinin azaldığı görülmektedir. L_{sr}/Y_2 değerin aynı kapak açıklığında Fr_1'in artmasıyla azalmaktadır. Aynı Froude sayısında kapak açıklığının azalmasıyla L_{sr}/Y_2 değeri artmaktadır. Şekil 4.87.'de L_{sj}/Y_1 ve L_{sj}/Y_2 değerlerinin Fr_1 ile değişimi görülmektedir. Rölatif hidrolik sıçrama uzunluğunda Froude ve kayar kapak açıklığında bağlı meydana gelen değişim rölatif geri döniş bölgesi uzunluğunda meydana gelen değişim ile aynıdır. Froude saysı arttıkça L_{sj}/Y_1 değeri arttarken, L_{sj}/Y_2 değeri azalmaktadır. Şekil 4.88.'de L_v/Y_1 değerinin Froude sayısına bağlı değişimi görülmektedir. L_v/Y_1 değerinin aynı kapak açıklığında durumunda Froude sayısının artmasına bağlı olarak arttığı açıkça görülmektedir.

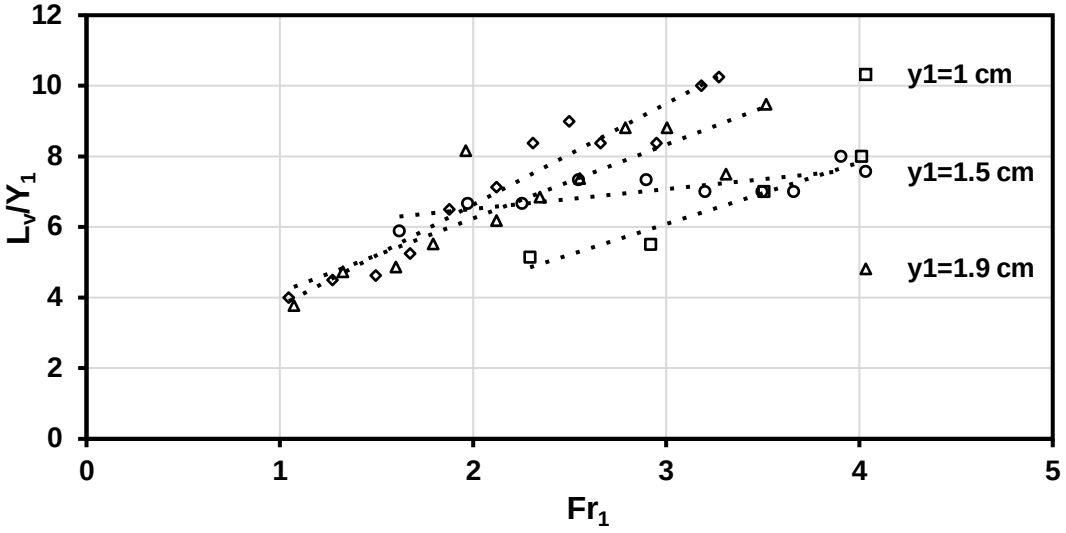
Durum 3'e ait L_{sr}/Y_1 ve L_{sr}/Y_2 değerlerinin Froude sayısına bağlı değişimi Şekil 4.89.'da, L_{sj}/Y_1 ve L_{sj}/Y_2 değerlerinin Froude sayısına bağlı değişimi Şekil 4.90.'da, L_v/Y_1 değerinin Froude sayısına bağlı değişimi ise Şekil 4.91.'de verilmiştir. Durum 3 için elde edilen boyutsuz batık hidrolik sıçrama karakteristiklerinin Durum 1 ve Durum 2 ile benzer olduğu söylenebilir.



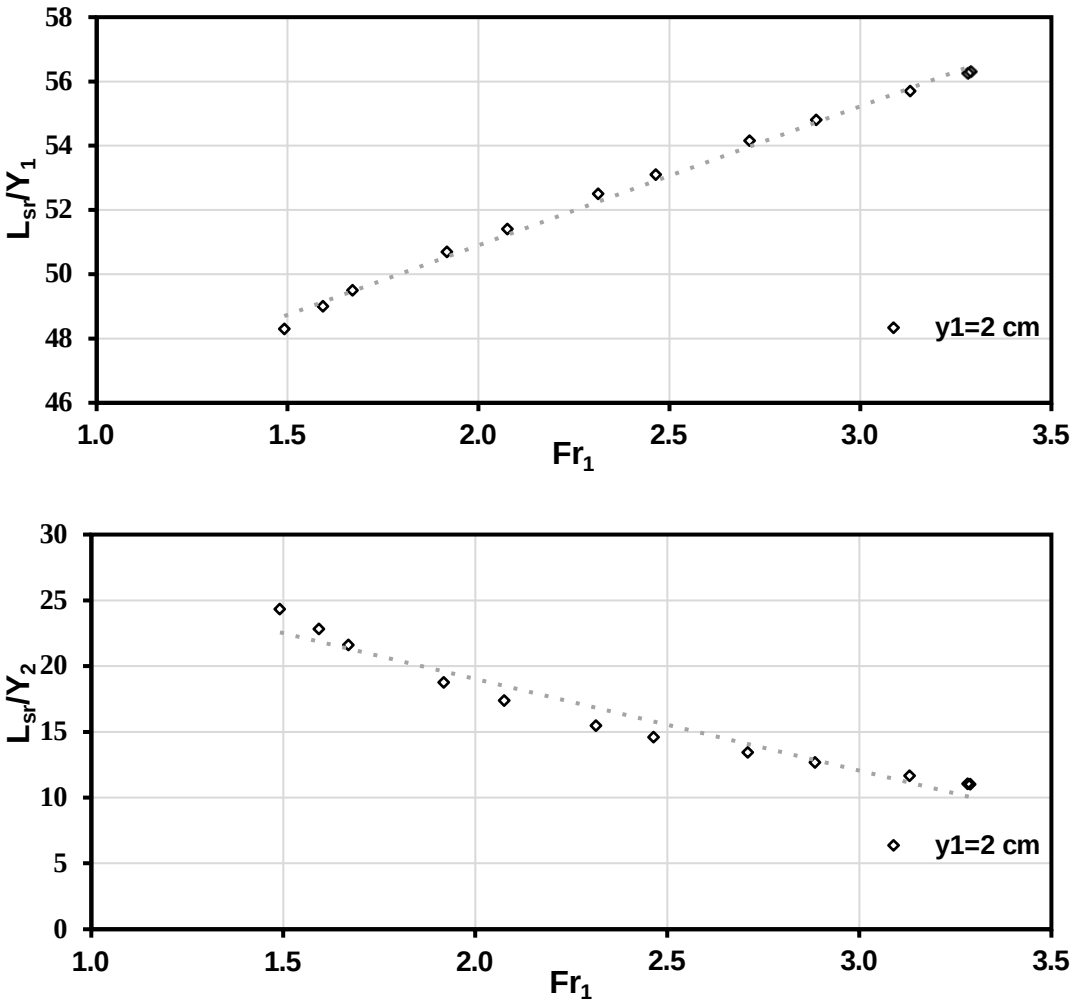
Şekil 4. 86. Rölatif geri dönüş bölgesi uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 2)



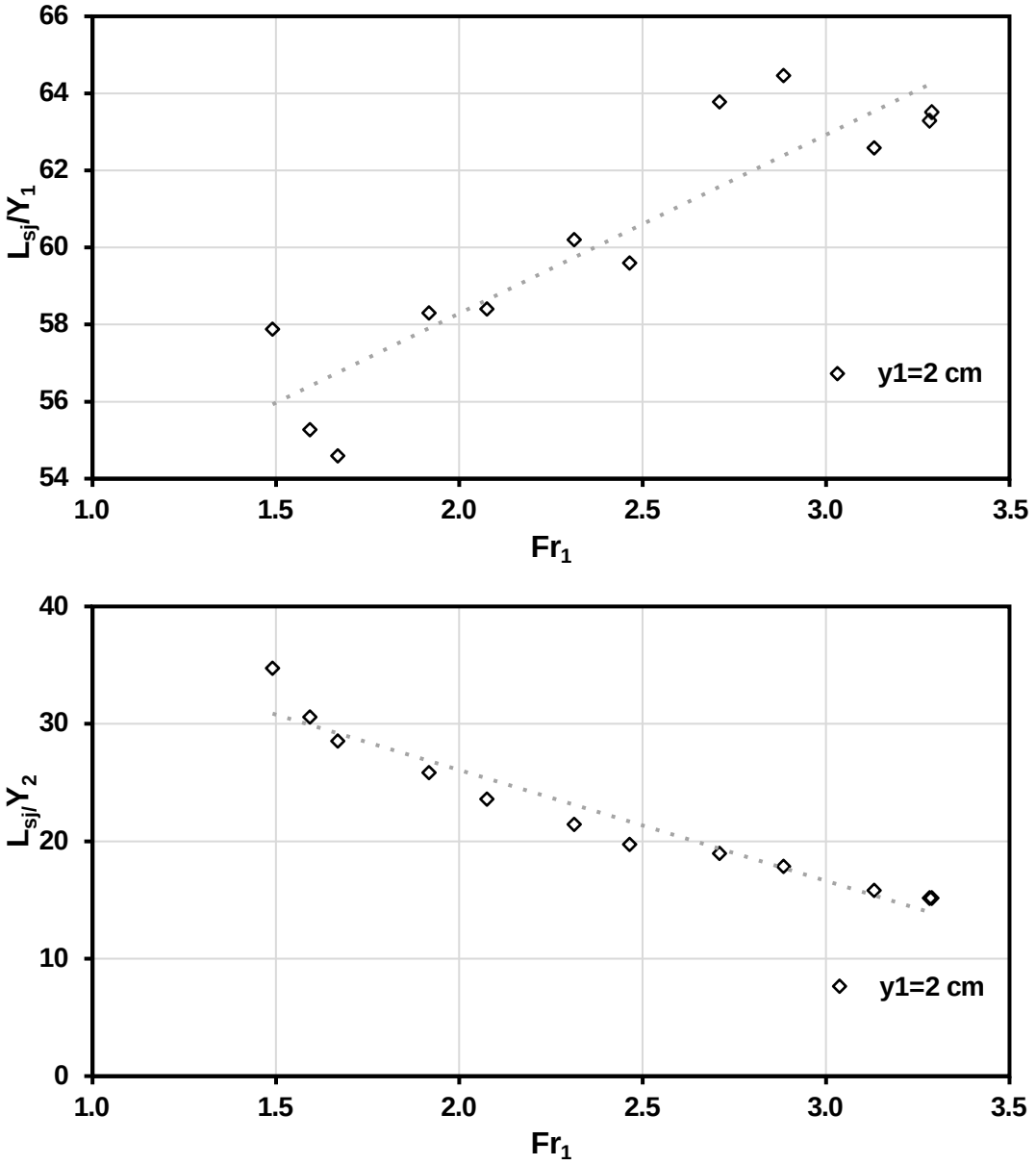
Şekil 4. 87. Rölatif hidrolik sıçrama uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 2)



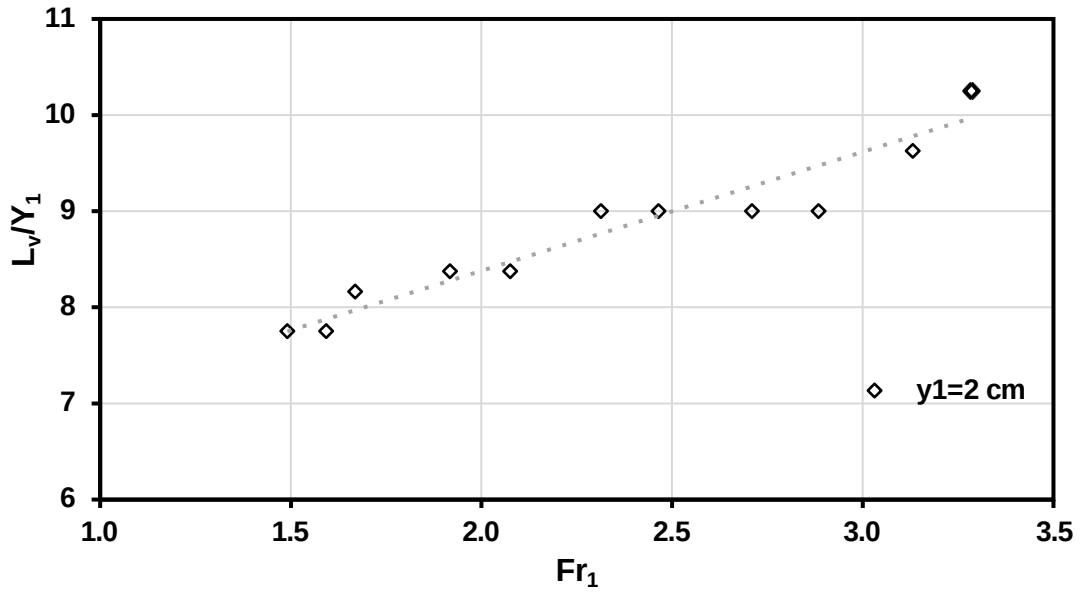
Şekil 4. 88. Rölatif vena kontrakta noktası uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 2)



Şekil 4. 89. Rölatif geri dönüş bölgesi uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 3)



Şekil 4. 90. Rölatif hidrolik sıçrama uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 3)



Şekil 4. 91. Rölatif vena kontrakta noktası uzunluğunun Fr_1 ile değişimi (Durum 3)

4.5. Sayısal Model Sonuçlarının Ampirik Förmüllerle Karşılaştırılması

Kayar kapak mansabında meydana gelen batık hidrolik sıçrama bir çok çalışma konu olmuştur. Bu çalışmalarda genellikle deneysel çalışmalara bağlı olarak hidrolik sıçramanın karakteristik özellikleri belirlenmiştir.

Literatürde bulunan förmüllller ile sayısal model sonuçlarının karşılaştırılmasında niceliksel başarı ölçütü olarak belirlilik katsayısı (R^2), Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH) ve Nash–Sutcliffe model verimlilik katsayısı (NSE) parametreleri kullanılmıştır. R^2, KOKH, OMYH ve NSE parametrelerinin denklemleri sırasıyla Denklem 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'te verilmiştir (Özlük, 2022).

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(M - \overline{M}_i\right)\left(F - \overline{F}_i\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(M_i - \overline{M}_i\right)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(F_i - \overline{F}_i\right)^2}} \right)^2 \tag{4.2}$$

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(M_i - F_i\right)^2} \tag{4.3}$$

$$OMYH = \frac{100}{n}\sum_{i}^{n}\frac{|M_i - F_i|}{|M_i|} \tag{4.4}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(M_i - F_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(M_i - \overline{M}_i)^2} \tag{4.5}$$

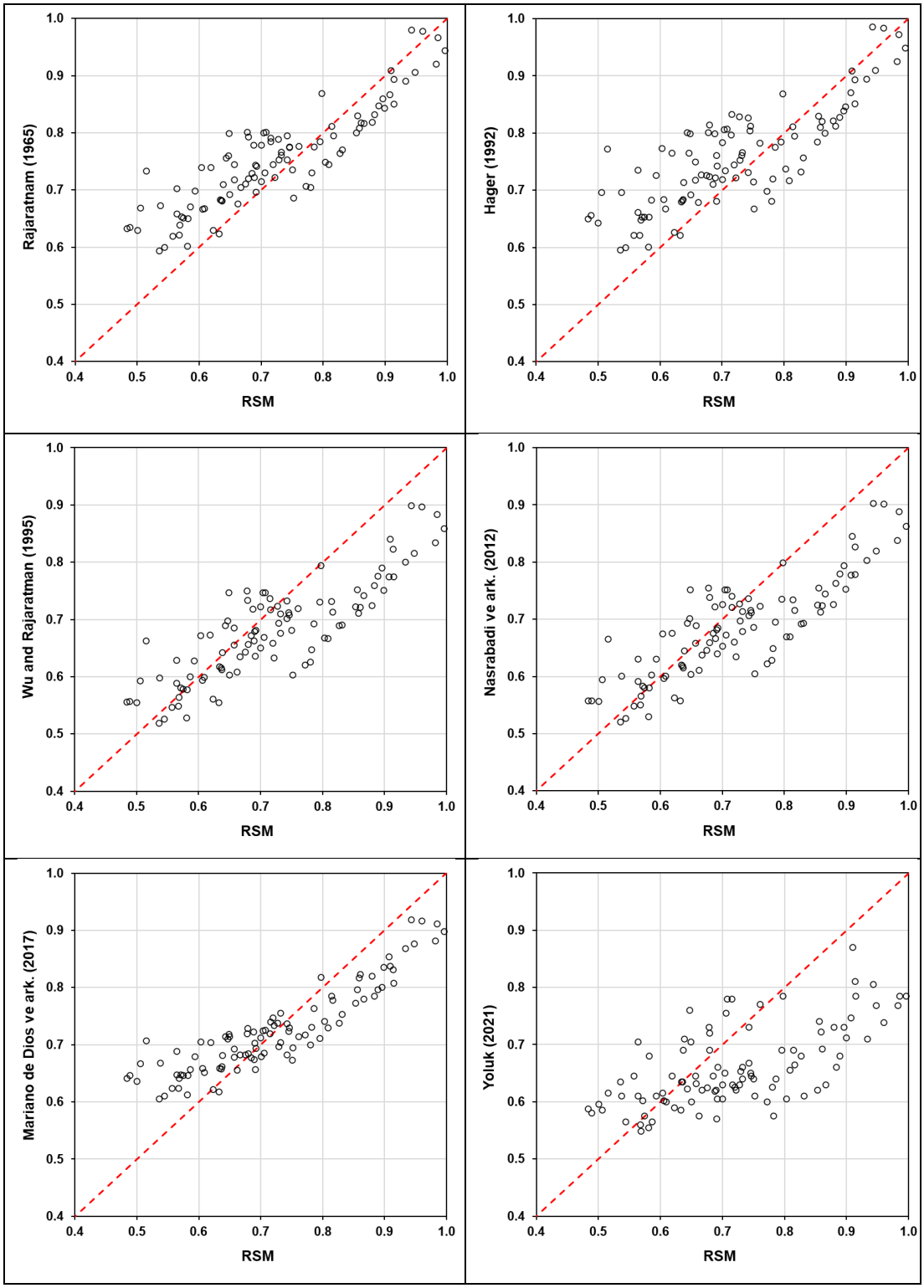
Burada, M; RSM modeli kullanılarak elde edilen geri dönüş bölgesi uzunluğunu, F; ise farklı araştırmacılar tarafından önerilen förmüller kullanılarak elde edilen değerini temsil etmektedir. Ayrıca, n ise bu çalışmada toplam veri sayısı yani 100 eşittir. R^2 ve NSE değerinin en büyük değeri olan bire yakınsaması sonuçların arasındaki uyumun fazla olduğunu gösterir iken, KOKH ve OMYH değerlerinin en küçük değeri olan sıfıra yakın olması ise iki değer arasındaki uyumun oldukça iyi olduğunu ifade etmektedir.

Bu çalışmalarda, atık hidrolik sıçramanın karakteristiklerinin deneysel olarak ele alındığı ve hidrolik sıçramanın geri dönüş bölgesinin hesap edilebilmesi için farklı parametrelere bağlı ampirik formülller önerilmiştir. Bu tez çalışmasında RSM türbülans modeli kullanılarak elde edilen batık sıçramada geri dönüş bölgesinin uzunluğu farklı araştırmacılar tarafından önerilen förmüllerle hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.92.). Ayrıca, karşılaştırma kriterlerine ait sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Mariano de Dios ve ark. (2017) tarafından önerilen ampirik förmül kullanılarak elde edilen batık hidrolik sıçramanın uzunluklarıyla RSM modeli ile elde edilen geri dönüş bölgesi uzunluklarının arasındaki uyum R^2 ve OMYH değerlerine göre diğer araştırmacılara kıyasla daha büyük olmuş ve aralarındaki belirlilik katsayısı 0.82 OMYH değeri ise %8.2 olmuştur. Bunun yanında diğer karşılaştırma kriterleri olan KOKH ve NSE değerlerine göre ise Wu ve Rajaratnam (1995) tarafından önerilen denklem kullanılarak elde edilen sonuçlar sayısal model sonuçlarıyla diğer önerilen förmülllere göre daha iyi bir uyum sergilemiştir. Mariano de Dios ve ark. (2017) tarafından bu uzunluğun belirlenmesinde serbest hidrolik sıçrama sonrası derinlik (Y_2) ve rölatif batıklık oranı (S) parametreleri kullanılmaktadır. Ayrıca, bu tez çalışmasında

Yoluk (2021), tarafından deneysel olarak elde edilen geri dönüş bölgesi ile sayısal model sonucunda elde edilen geri dönüş bölegsi uzunlukları arasında uyum oldukça düşük olmuştur. Hidrolik sıçrama olayının karmaşıklıklığı, özellike geri dönüş bölgesinin dinamik bir yapıda olması ve boya deneyi ile belirlenen deneysel uzunluklarda yapılabilecek hataların bu uyumsuzluğa neden olabileceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 4. 1. Geri dönüş bölgesine ait karşılaştırma kriterleri

	R^2	KOKH	OMYH	NSE
Yoluk (2021)	0.422	0.115	12.443	0.189
Rajaratnam (1967)	0.784	0.072	9.141	0.679
Hager (1992)	0.664	0.112	10.529	0.223
Wu ve Rajaratnam (1995)	0.727	**0.057**	8.657	**0.798**
Nasrabadi ve ark. (2012)	0.723	0.059	8.515	0.788
Mariano de Dios ve ark. (2017)	**0.821**	0.084	**8.243**	0.567



Şekil 4. 92. Batık hidrolik sıçrama uzunluklarının karşılaştırılması

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Yoluk (2021), tarafından deneysel olarak analiz edilen farklı batıklık oranlarına sahip batık hidrolik sıçramanın farklı akım durumları için sayısal modellemesi yapılmıştır. Sayısal modellemede akımı idare eden temel denklemler, ANSYS Fluent paket programı yardımıyla Reynolds Gerilme modeli kullanılarak çözülmüştür. Su-hava arakesitinin belirlenmesinde Akışkan Hacmi Yöntemi kullanılmıştır. 100 farklı akım durumu için RSM türbülans modeliyle yapılan sayısal modellemeler sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

- Aynı kayar kapak ve mansap kontrol kapağı açıklıklarında, akım debisinin artmasıyla, batık hidrolik sıçrama geri dönüş bölgesinin uzunluğunun büyüdüğü belirlenmiştir.
- Aynı durumda, akım debisinin büyümesiyle kayar kapak altında ve mansabında oluşan jet akımının etkili olduğu bölge artmıştır. Ayrıca, bu bölgede debi artışına paralel olarak akım hızında meydana gelen değişime bağlı olarak aynı bölgede TKE ve dinamik basınç değeri artmıştır.
- Aynı mansap kontrol kapağı açıklığında, kayar kapak açıklığının aynı olduğu farklı akım durumlarında Froude sayısının azalmasıyla batık hidrolik sıçramada meydana gelen enerji kaybı azalmaktadır.
- Ele alınan tüm durumlar içerisinde en büyük enerji kaybı mansap kontrol kapağı açıklığının 11.2 cm, kayar kapak açıklığının 1 cm olduğu ve Froude sayısının 4 olduğu durumda %34 olarak elde edilmiştir.
- Aynı mansap kapağı açıklığında ve aynı Froude sayısında kayar kapak açıklığının artmasıyla batık hidrolik sıçramda meydana gelen enerji kaybı oranı azalmaktadır.
- U_{mak}/U_1 değerinin X/Y_1'e göre değişimlerinden, akım çizgilerinin en dar olduğu diğer bir ifadeyle akım kesit ortalama hızının en büyük olduğu noktadan itibaren kayar kapak mansap bölgesine gittikçe (vena contracta), U_{mak}/U_1 oranın azaldığı belirlenmiştir.

- Hidrolik sıçramanın geri dönüş bölgesinin uzunluğunun hesaplanması için literatürde bulunan ampirik förmüller kullanılarak elde edilen uzunlukların RSM modeli kullanılarak elde edilen sayısal sonuçlarla genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir. Özellikle geri dönüş bölgesinin uzunluğun belirlenmesinde serbest hidrolik sıçrama sonrası derinlik (Y_2) ve rölatif batıklık oranı (S) parametrelerinin kullanıldığı ampirik förmüllerle daha uyumlu olduğu söylenebilir.
- Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemlerine dayalı geliştirilen paket yazılımların batık hidrolik sıçramanın karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilecği belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda, elde edilen bulgulardan sayısal modellemelerin oldukça karmaşık bir akım problemi olan batık hidrolik sıçramanın analizinde kullanılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, deneysel olarak ölçülmesinde özel ekipmana ihtiyaç duyan akımla ilgili bir çok karakteristiğin ek bir yazılım ve masraf olmadan elde edilmesinden dolayı sayısal modelleme tekniklerinin deneysel ölçümlere göre avantajlı olduğu söylenebilir.

Bundan sonraki çalışmalarda, serbest hidrolik sıçmada meydana gelen su yüzü profillerindeki değişimin belirlenmesinde ve özellikle baraj dolusavak şüt kanalı sonrasında bulunan düşüm havuzu uzunluklarının belirlenmesinde sayısal model sonuçlarının kullanılabilirliğinin araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

AFZAL, N. and BUSHRA, A., 2002. Structure of the turbulent hydraulic jump in a trapezoidal channel. Journal of Hydraulic Research, 40(2): 205-214.

AKOZ, M. S., ŞİMŞEK, O. and SOYDAN, N. G., 2019. Numerical Modeling of Interaction of Vortical Flow with a Buried Circular Cylinder on a Plane Surface. Teknik Dergi, 30(6): 9621 - 9645.

ALI, H. M., EL GENDY, M. M., MIRDAN, A. M. H., ALI, A. A. M. and ABDELHALEEM, F. S. F., 2014. Minimizing downstream scour due to submerged hydraulic jump using corrugated aprons. Ain Shams Engineering Journal, 5(4): 1059-1069.

ALI, H. M. and ELHAMAIMI, A. A., 2020. An experimental and numerical investigation for characteristics of submerged hydraulic jump over corrugated beds. Port-Said Engineering Research Journal, 24(1): 1-11.

DE DIOS, M., BOMBARDELLI, F. A., GARCÍA, C. M., LISCIA, S. O., LOPARDO, R. A. and PARRAVICINI, J. A., 2017. Experimental characterization of three-dimensional flow vortical structures in submerged hydraulic jumps. Journal of Hydro-environment research, 15: 1-12.

EAD, S. and RAJARATNAM, N., 2002. Hydraulic jumps on corrugated beds. Journal of Hydraulic Engineering, 128(7): 656-663.

GOPALA, V. R. and VAN WACHEM, B. G. M., 2008. Volume of fluid methods for immiscible-fluid and free-surface flows. Chemical Engineering Journal, 141(1-3): 204-221.

GUMUS, V., SIMSEK, O., SOYDAN, N. G., AKOZ, M. S. and KIRKGOZ, M. S., 2016. Numerical Modeling of Submerged Hydraulic Jump from a Sluice Gate. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(1).

GUPTA, S. K. and MEHTA, R. C., Modeling of Hydraulic Jump Characteristics in Horizontal Prismatic Channels. Golden Jubilee National Conference on Modeling and Simulation in Heat Transfer and Fluid Flow (MSHTFF),

HAGER, W. H., 1992. Energy dissipators and hydraulic jump, Springer Science & Business Media, s.

HAGER, W. H., BREMEN, R. and KAWAGOSHI, N., 1990. Classical hydraulic jump: length of roller. Journal of Hydraulic Research, 28(5): 591-608.

HAGHIGHI, S., KAVIANPOUR, M. R. and NASIRI, K., Experimental study of sand sediments effects on submerged hydraulic jump properties. Applied Mechanics and Materials, 366-371.

HIRT, C. W. and NICHOLS, B. D., 1981. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. Journal of Computational Physics, 39(1): 201-225.

JAVAN, M. and EGHBALZADEH, A., 2013. 2D numerical simulation of submerged hydraulic jumps. Applied Mathematical Modelling, 37(10-11): 6661-6669.

JESUDHAS, V., ROUSSINOVA, V., BALACHANDAR, R. and BARRON, R., 2017a. Submerged hydraulic jump study using DES. Journal of Hydraulic Engineering, 143(3): 04016091.

JESUDHAS, V., ROUSSINOVA, V., BALACHANDAR, R., BARRON, R. and WILLIAMS, P., 2017b. CFD Study of the Air-Entrainment Characteristics of a Submerged Hydraulıc Jump. Leadership in Sustainable Infrastructure: 1-9.

LAUNDER, B. E., REECE, G. J. and RODI, W., 2006. Progress in the development of a Reynolds-stress turbulence closure. Journal of Fluid Mechanics, 68(3): 537-566.

LONG, D., STEFFLER, P. and RAJARATNAM, N., 1990. LDA study of flow structure in submerged hydraulic jump. Journal of Hydraulic Research, 28(4): 437-460.

LONG, D., STEFFLER, P. M. and RAJARATNAM, N., 1991. A numerical study of submerged hydraulic jumps. Journal of Hydraulic Research, 29(3): 293-308.

MA, F., HOU, Y. and PRINOS, P., 2001. Numerical calculation of submerged hydraulic jumps. Journal of Hydraulic Research, 39(5): 493-503.

NASRABADI, M., OMID, M. H. and FARHOUDI, J., 2012. Submerged hydraulic jump with sediment-laden flow. International journal of sediment research, 27(1): 100-111.

ÖZLÜK, A., 2022. Trapez geniş başlıklı savaklara ait debi katsayısının yapay zeka yöntemleri ile belirlenmesi Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 69s.

PAGLIARA, S., LOTTI, I. and PALERMO, M., 2008. Hydraulic jump on rough bed of stream rehabilitation structures. Journal of Hydro-environment research, 2(1): 29-38.

RAIFORD, J. P. and KHAN, A. A., Numerical modeling of internal flow structure in submerged hydraulic jumps. World Environmental and Water Resource Congress 2006: Examining the Confluence of Environmental and Water Concerns, 1-10.

RAIFORD, J. P. and KHAN, A. A., 2013. Turbulence schemes for modelling a submerged hydraulic jump. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering and Computational Mechanics, 166(1): 40-51.

RAJARATNAM, N., 1967. Hydraulic jumps. In *Advances in hydroscience*. Elsevier; 197-280s.

SADEGHFAM, S., AKHTARI, A. A., DANESHFARAZ, R. and TAYFUR, G., 2015. Experimental investigation of screens as energy dissipaters in submerged hydraulic jump. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 38(2): 126-138.

SHEKARI, Y., JAVAN, M. and EGHBALZADEH, A., 2014. Three-dimensional numerical study of submerged hydraulic jumps. Arabian Journal for Science and Engineering, 39(10): 6969-6981.

SHIH, T.-H., LIOU, W. W., SHABBIR, A., YANG, Z. and ZHU, J., 1995. A new k-ϵ eddy viscosity model for high reynolds number turbulent flows. Computers & Fluids, 24(3): 227-238.

ŞIMŞEK, Ç., 2006. Forced hydraulic jump on artificially roughened beds. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, Ankara, 105s.

ŞIMŞEK, O., KÖSEN, M. ve GÜMÜŞ, V., 2021. Farklı Batıklık Oranlarına Sahip Batık Hidrolik Sıçramanın Sayısal Modellemesi. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(15): 427-441.

SOYDAN OKSAL, N. G., AKOZ, M. S. and SIMSEK, O., 2020. Numerical modelling of trapezoidal weir flow with RANS, LES and DES models. Sādhanā, 45(1): 1-18.

VAROL, F., ÇEVIK, E. and YUKSEL, Y., The effect of water jet on the hydraulic jump. Thirteenth International Water Technology Conference, IWTC, 895-910.

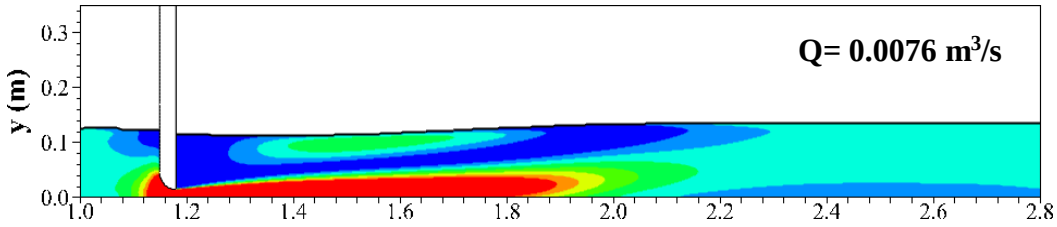
WEYMOUTH, G. D. and YUE, D. K. P., 2010. Conservative Volume-of-Fluid method for free-surface simulations on Cartesian-grids. Journal of Computational Physics, 229(8): 2853-2865.

WU, S. and RAJARATNAM, N., 1995. Free jumps, submerged jumps and wall jets. Journal of Hydraulic Research, 33(2): 197-212.

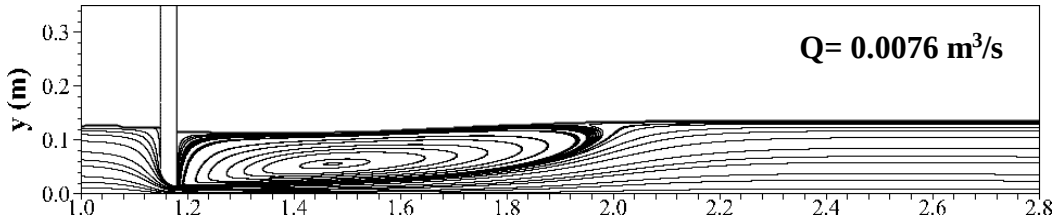
YOLUK, İ. M., 2021. Batmış Hidrolik Sıçramada Geri Dönüş Bölgesi Uzunluğunun Yapay Zekâ Yöntemleriyle Tahmini. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, Şanlıurfa, 75s.

YOUSEFI, K., HEYDARI, M., BANEJAD, H. and KARIMI, M., 2019. Pressure Fluctuations on the Bed of Submerged Hydraulic Jump. Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian), 30(4): 51-66.

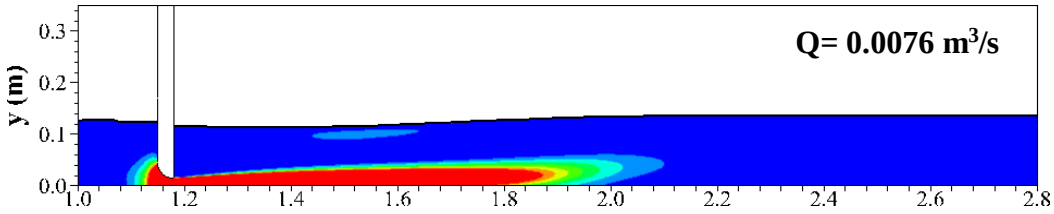
EK 1: Durum 1.a İçin Sayısal Model Sonuçları



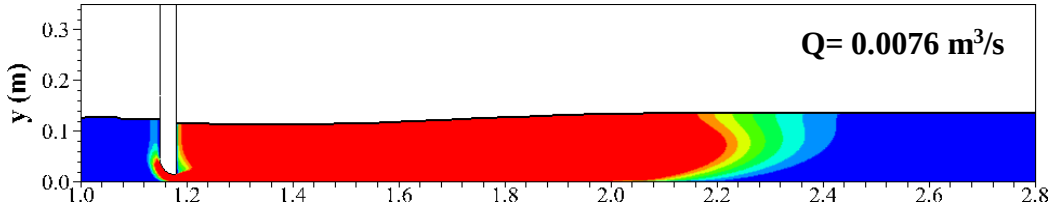
Bileşke hız deseni



Akım çizgisi desenleri

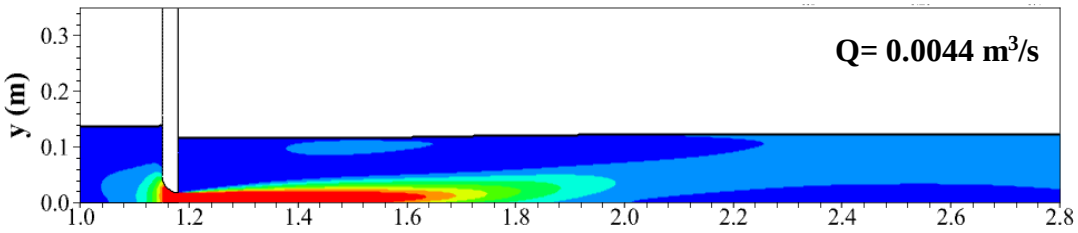


Dinamik basınç desenleri

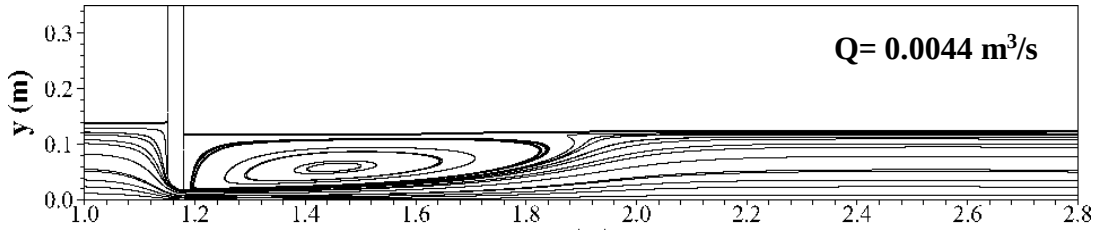


Türbülans kinetik enerji desenleri

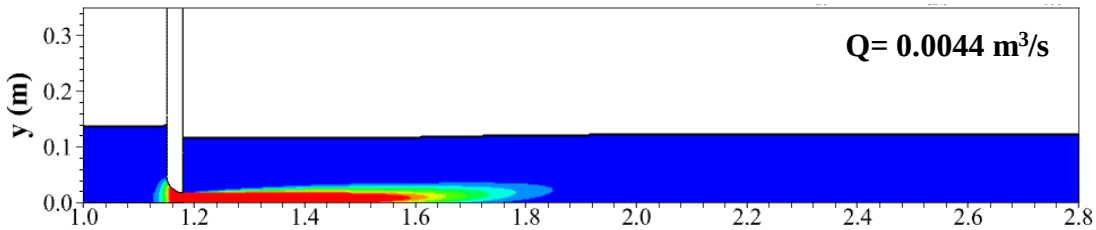
EK 2: Durum 1.b İçin Sayısal Model Sonuçları



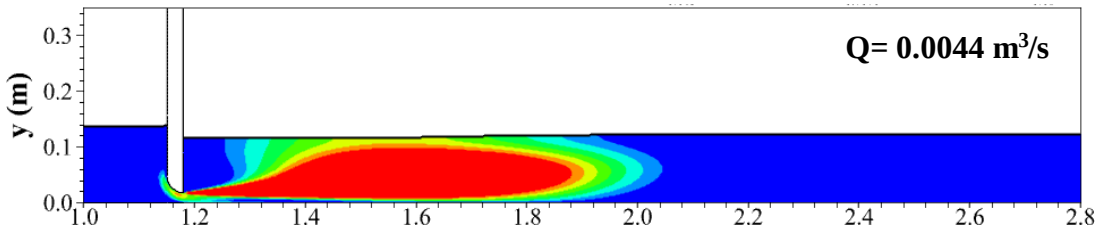
Bileşke hız desenleri



Akım çizgisi desenleri

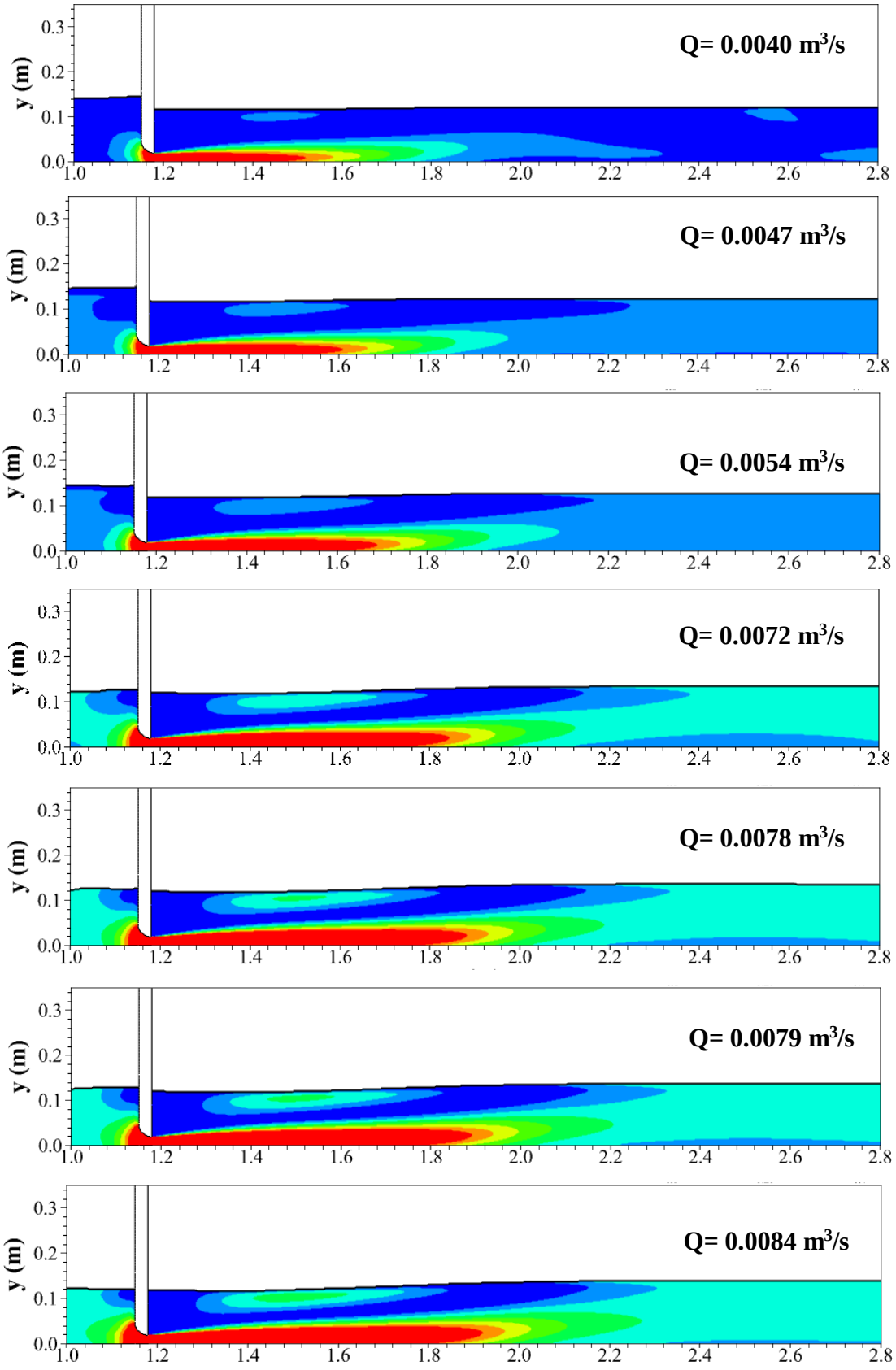


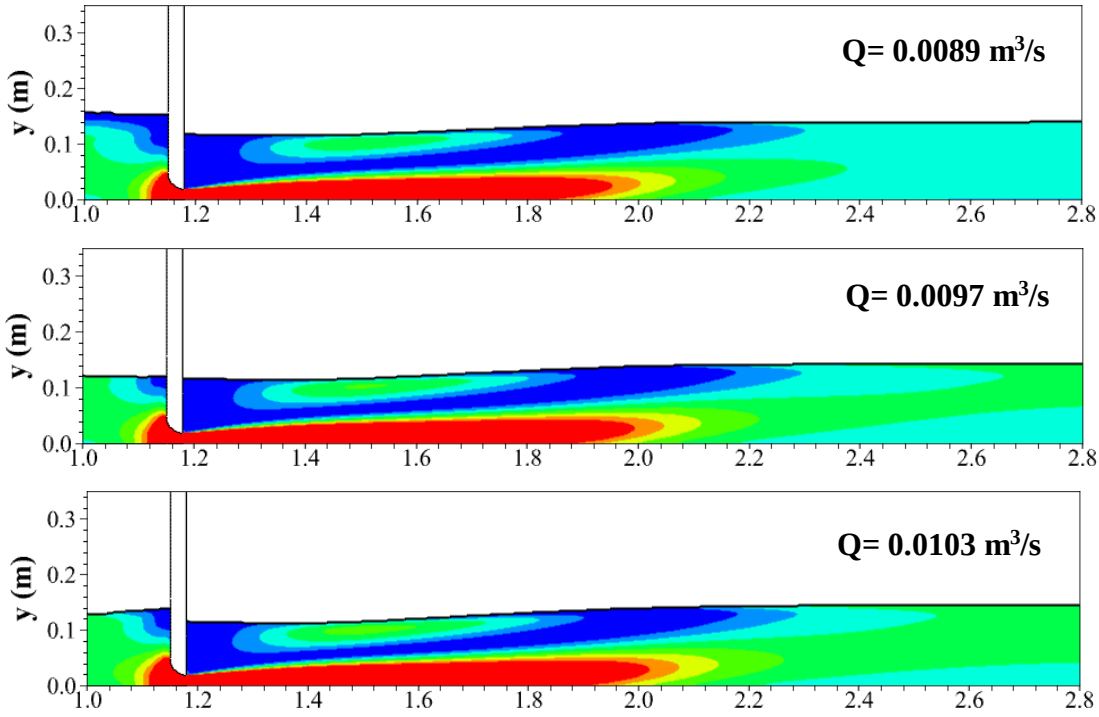
Dinamik basınç desenleri



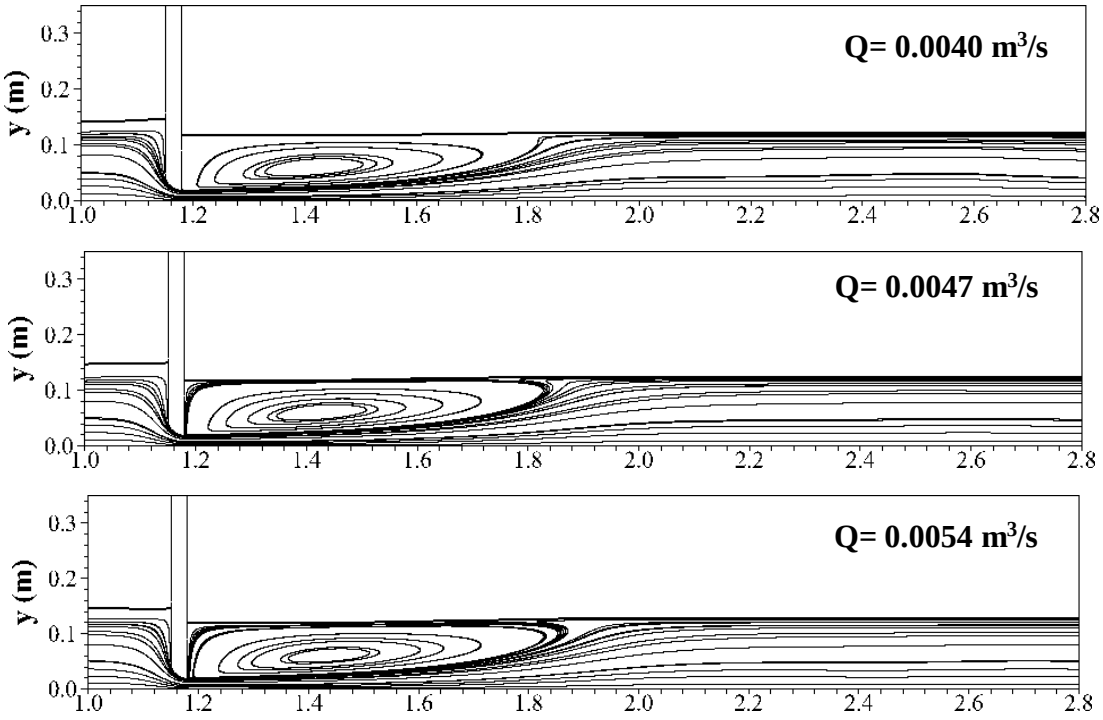
Türbülans kinetik enerji desenleri

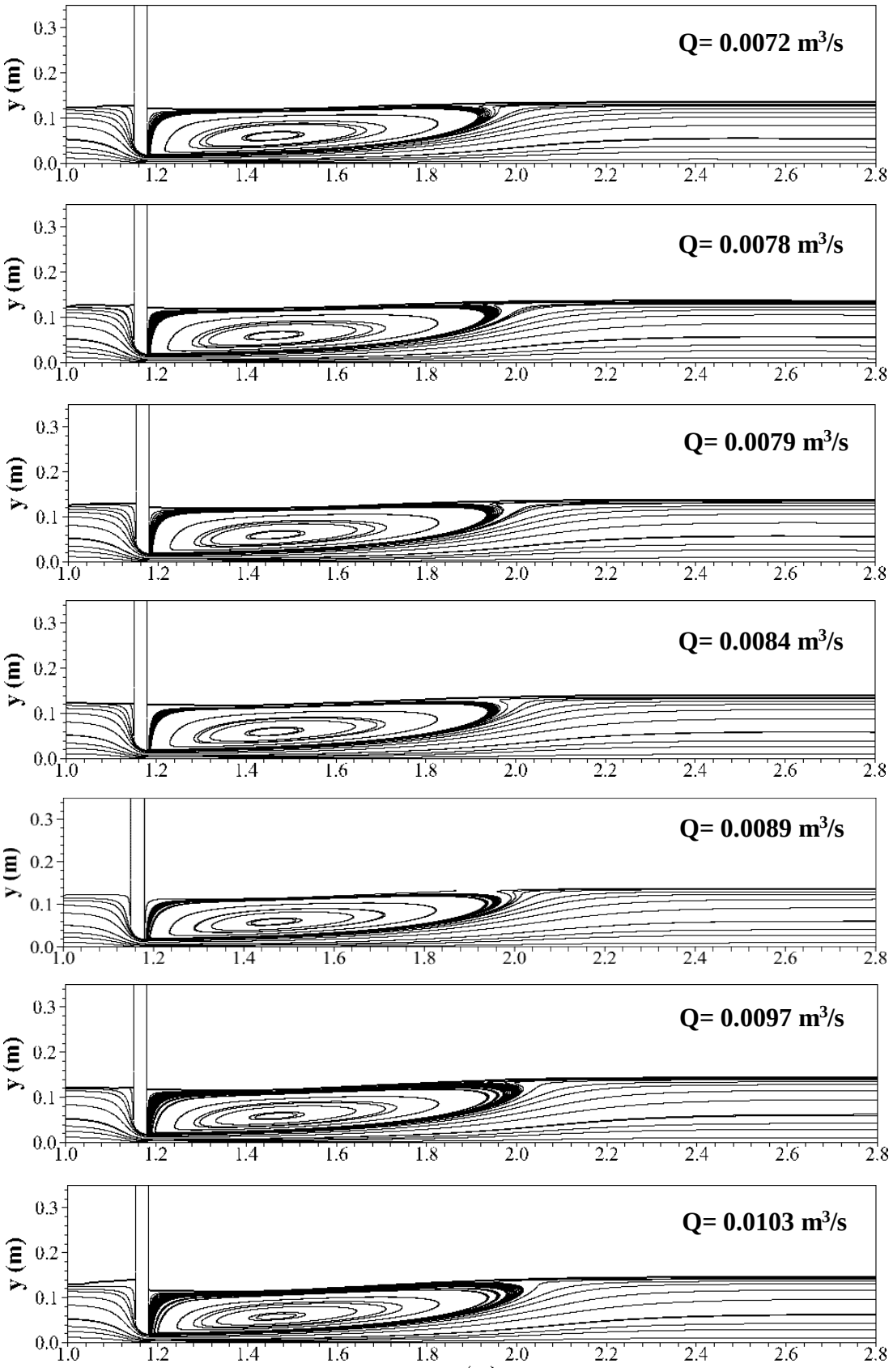
EK 3: Durum 1.c İçin Sayısal Model Sonuçları



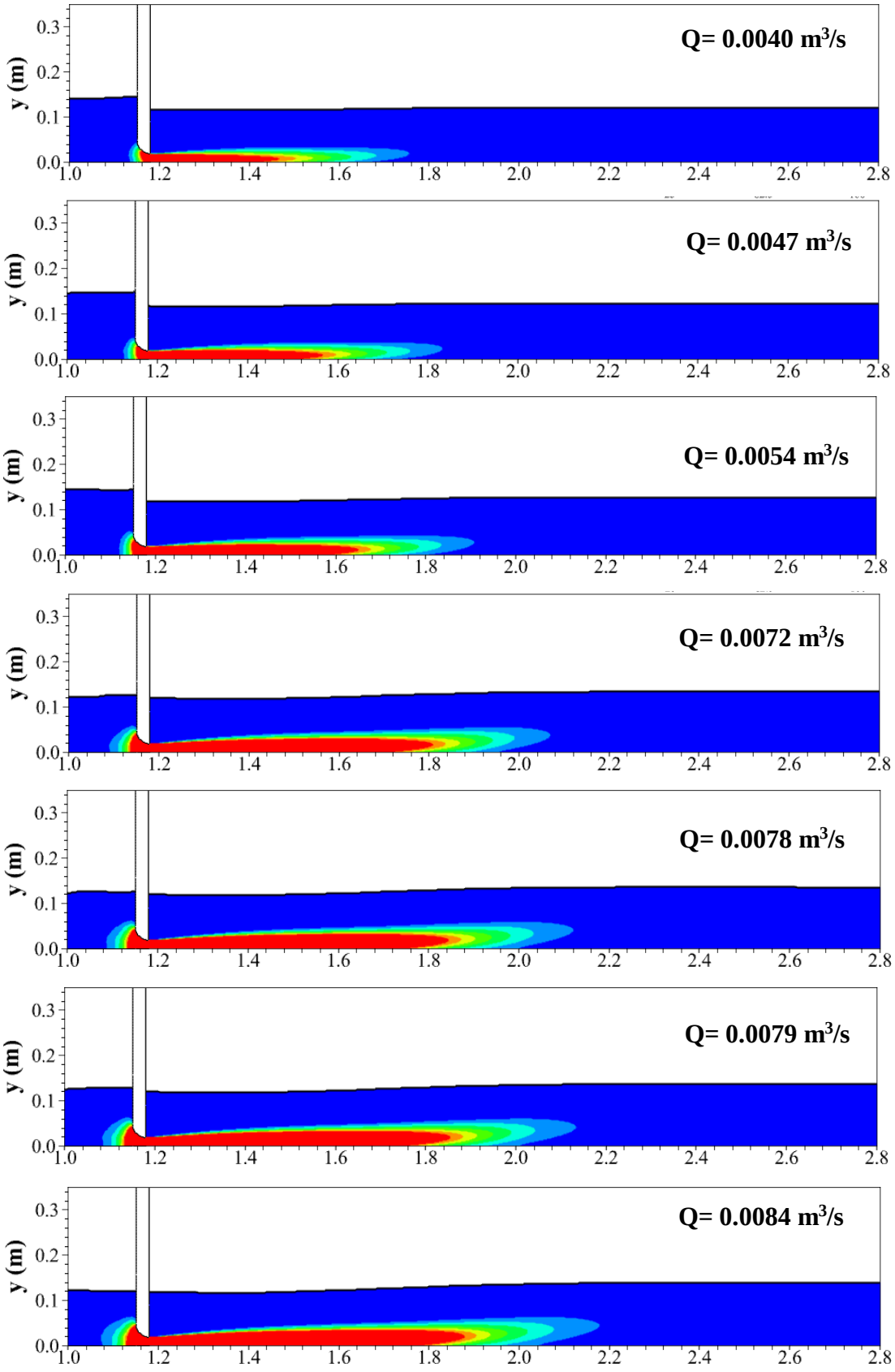


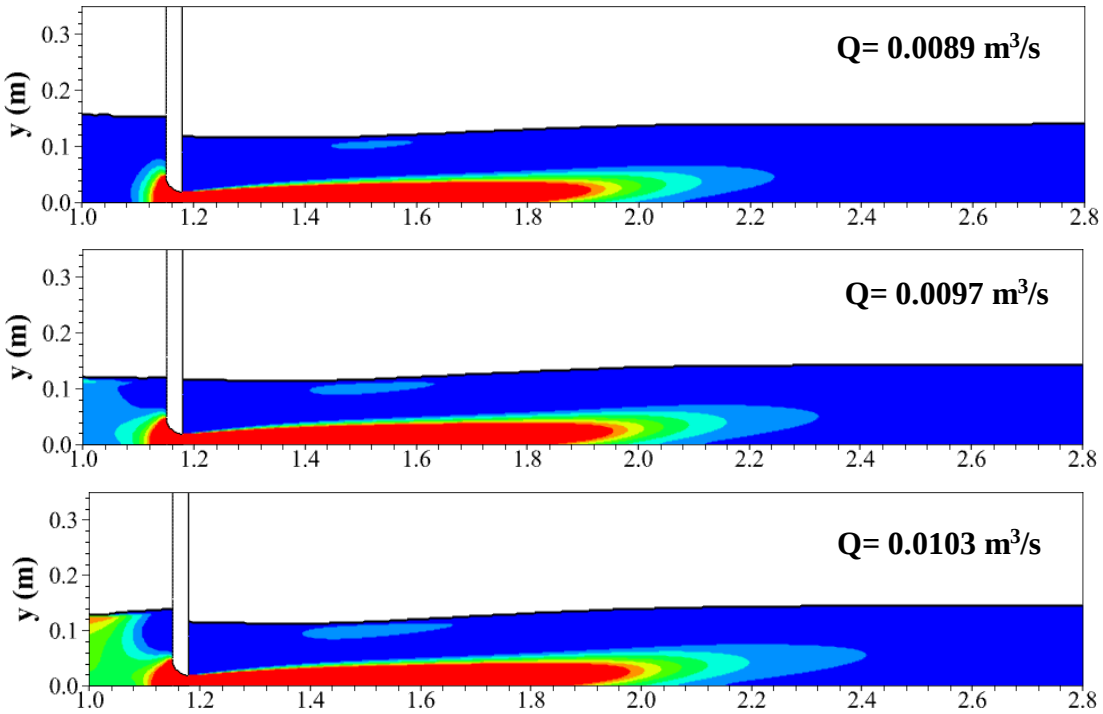
Sayısal bileşke hız desenleri



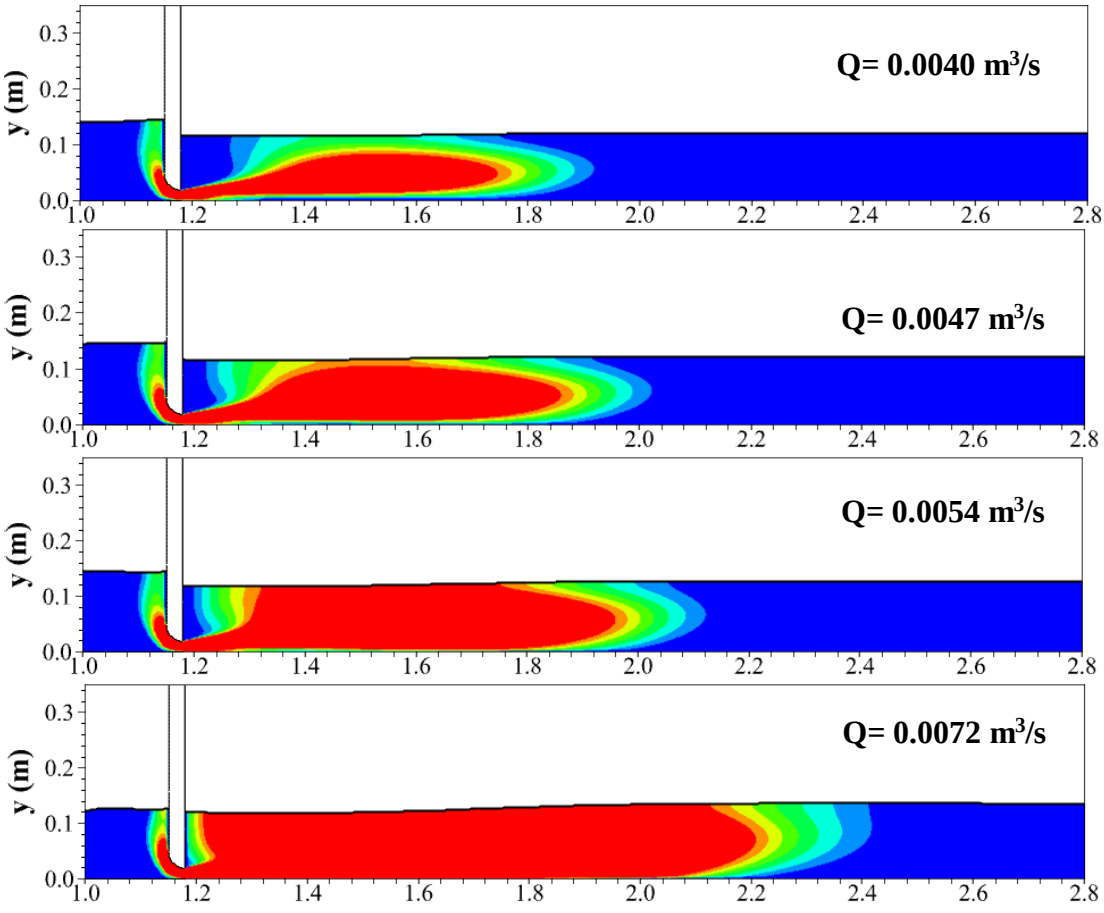


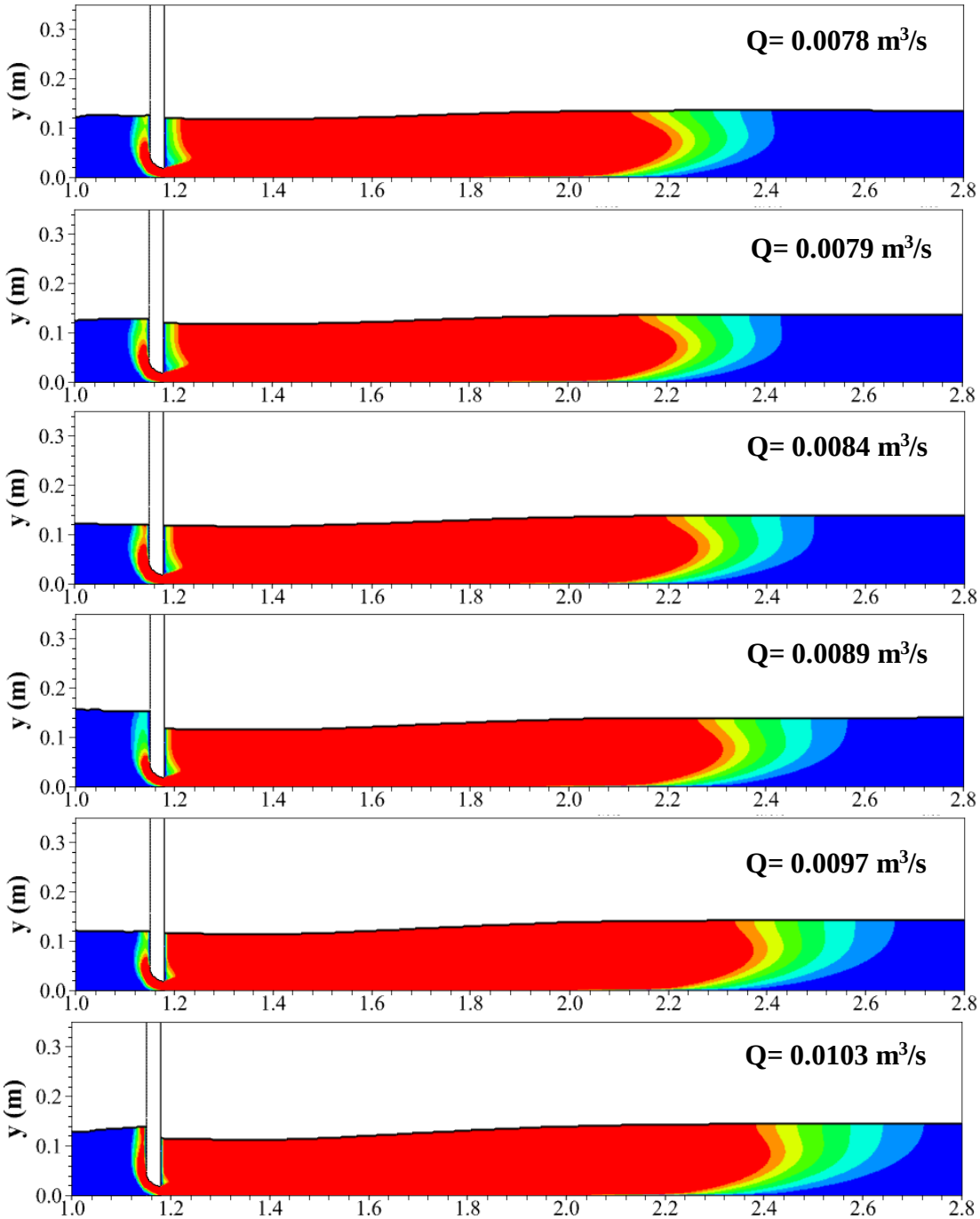
Sayısal akım çizgisi desenleri


Q= 0.0040 m³/s
Q= 0.0047 m³/s
Q= 0.0054 m³/s
Q= 0.0072 m³/s
Q= 0.0078 m³/s
Q= 0.0079 m³/s
Q= 0.0084 m³/s
y (m)
0.0
0.1
0.2
0.3
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
2.0
2.2
2.4
2.6
2.8



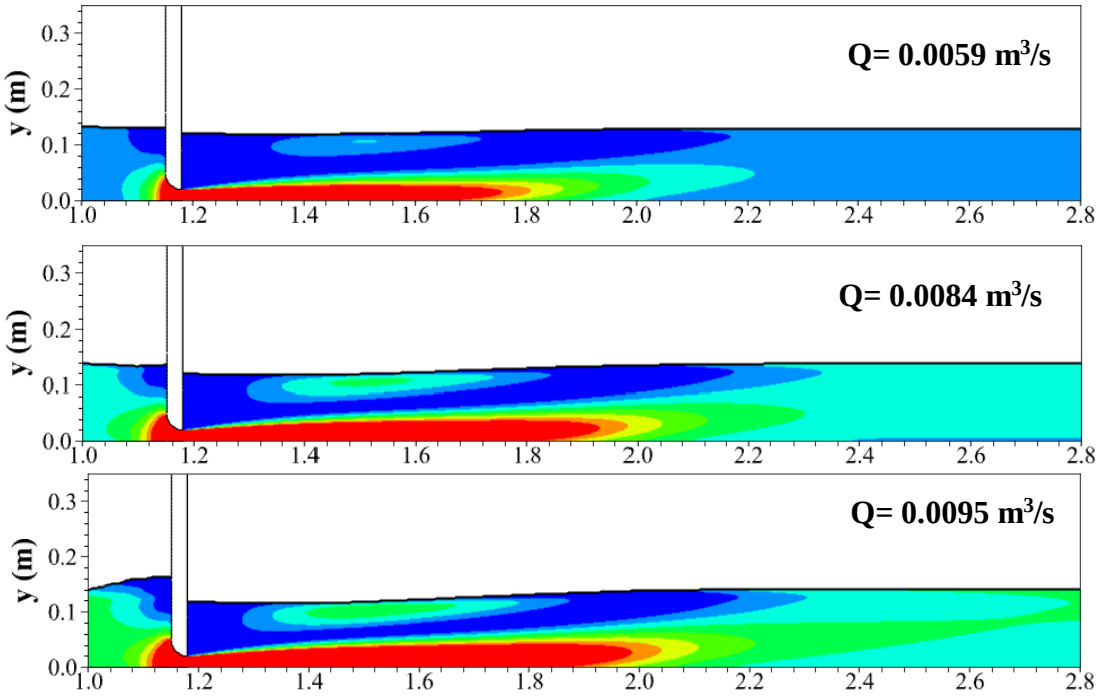
Dinamik basınç desenleri (Durum 1.c)



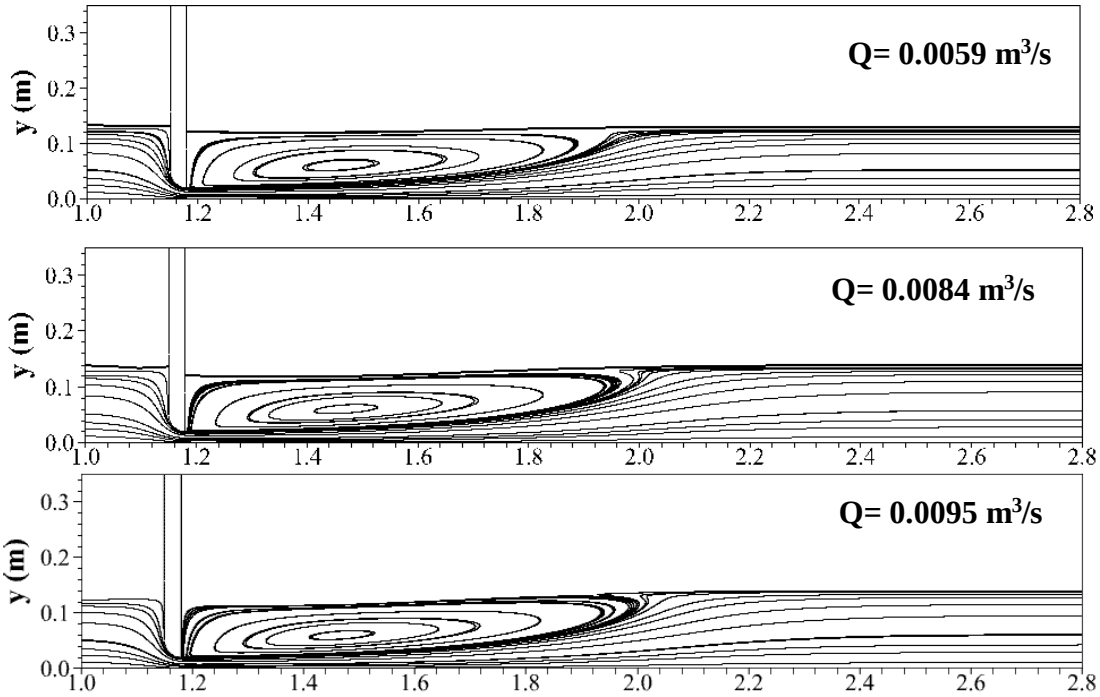


Türbülans kinetik enerji desenleri

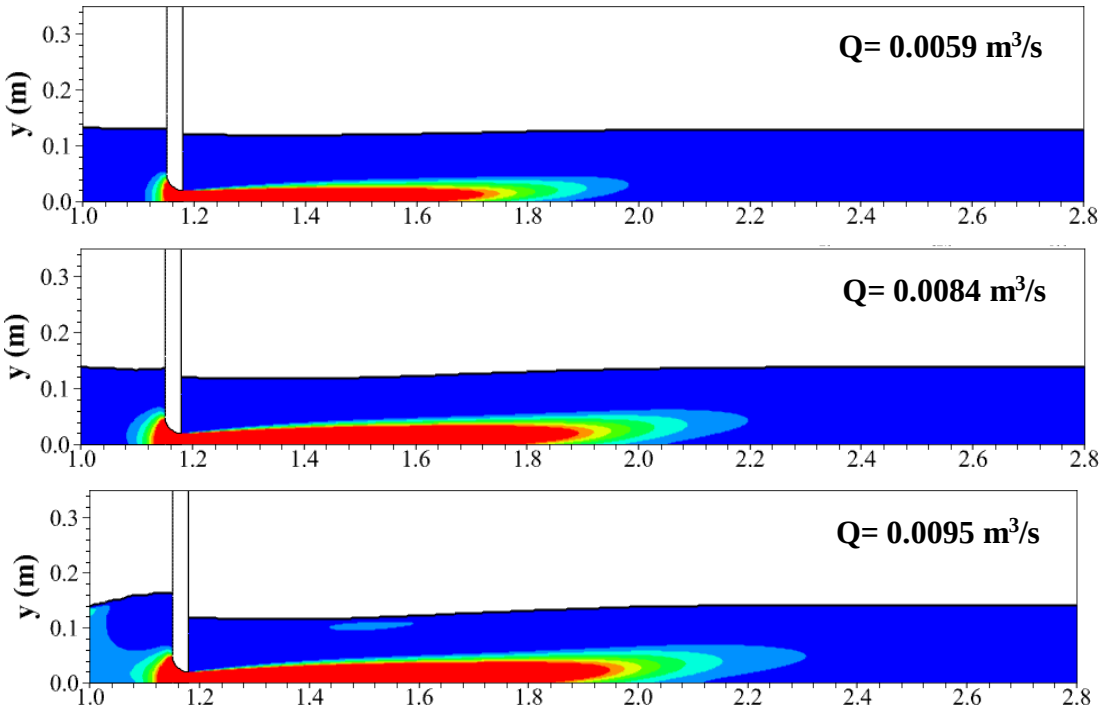
EK 4: Durum 1.d İçin Sayısal Model Sonuçları



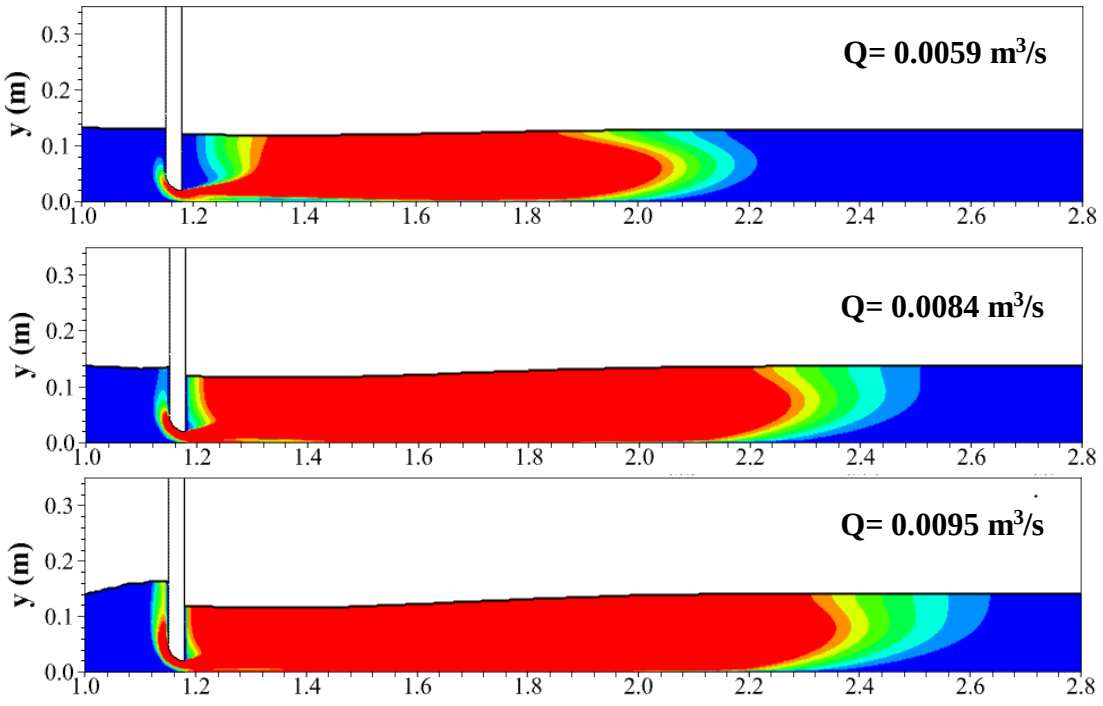
Bileşke hız desenleri



Akım çizgisi desenleri

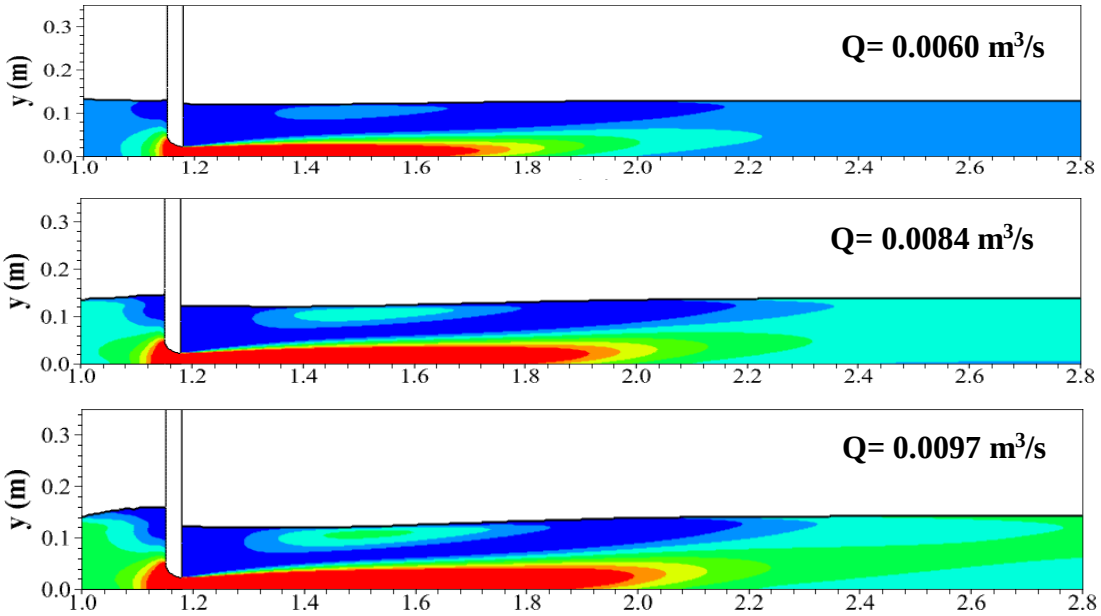


Dinamik basınç desenleri

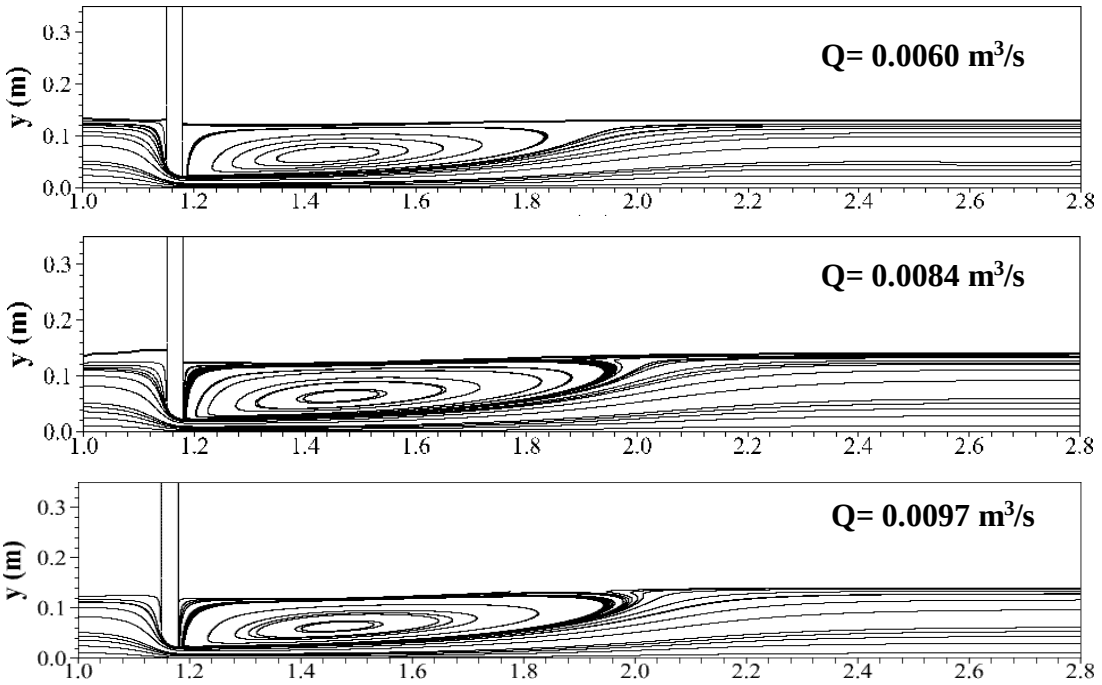


Türbülans kinetik enerji desenleri

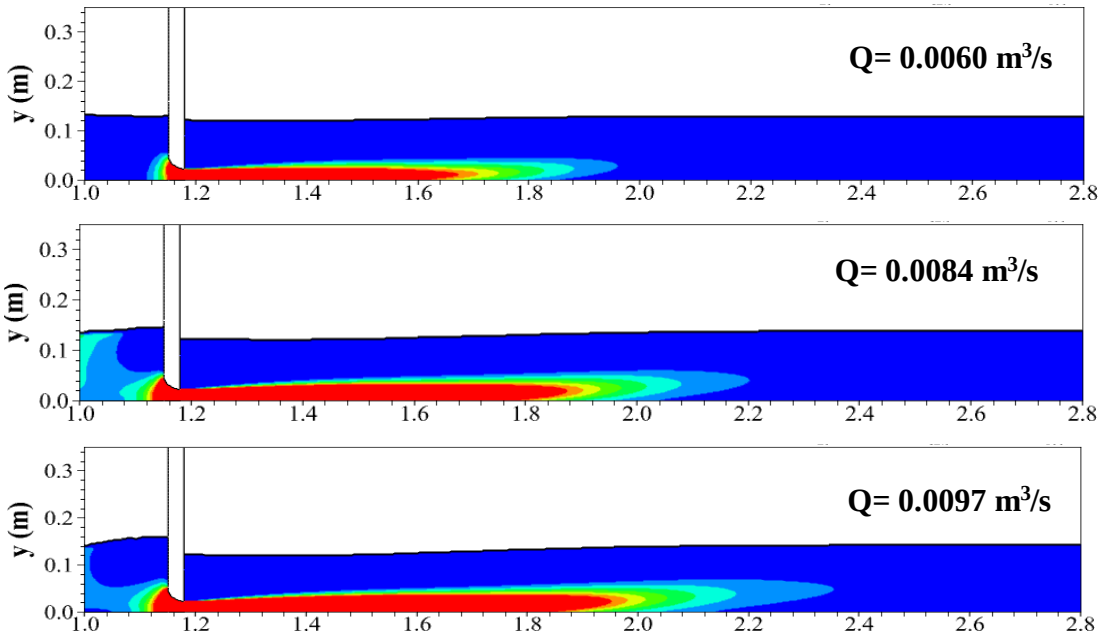
EK 5: Durum 1.e İçin Sayısal Model Sonuçları



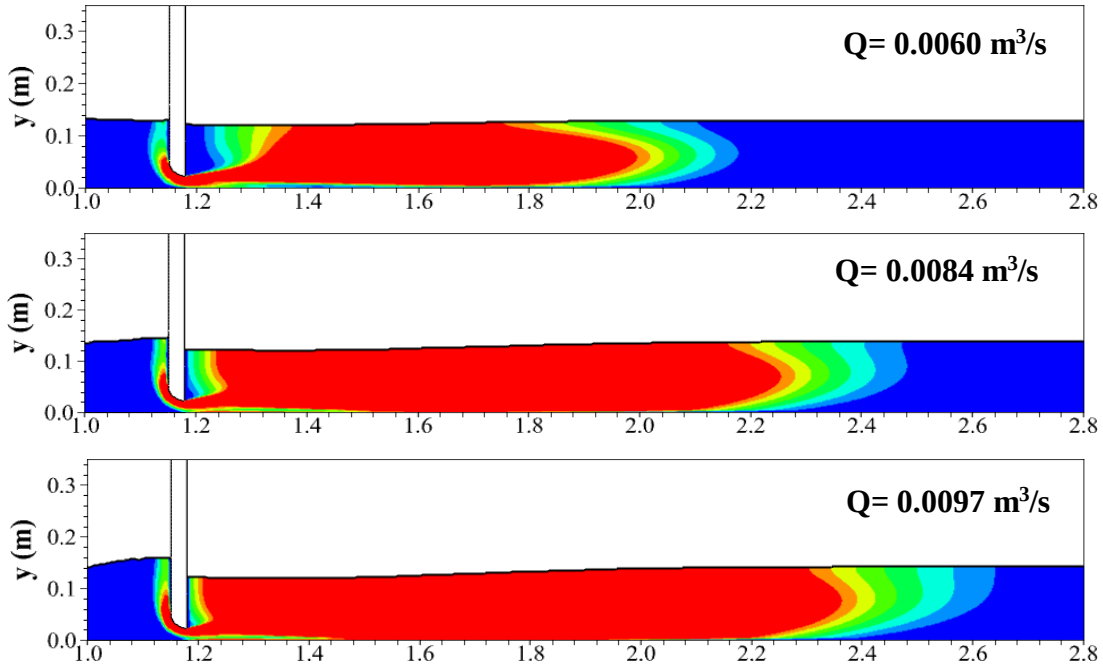
Bileşke hız desenleri



Akım çizgisi desenleri

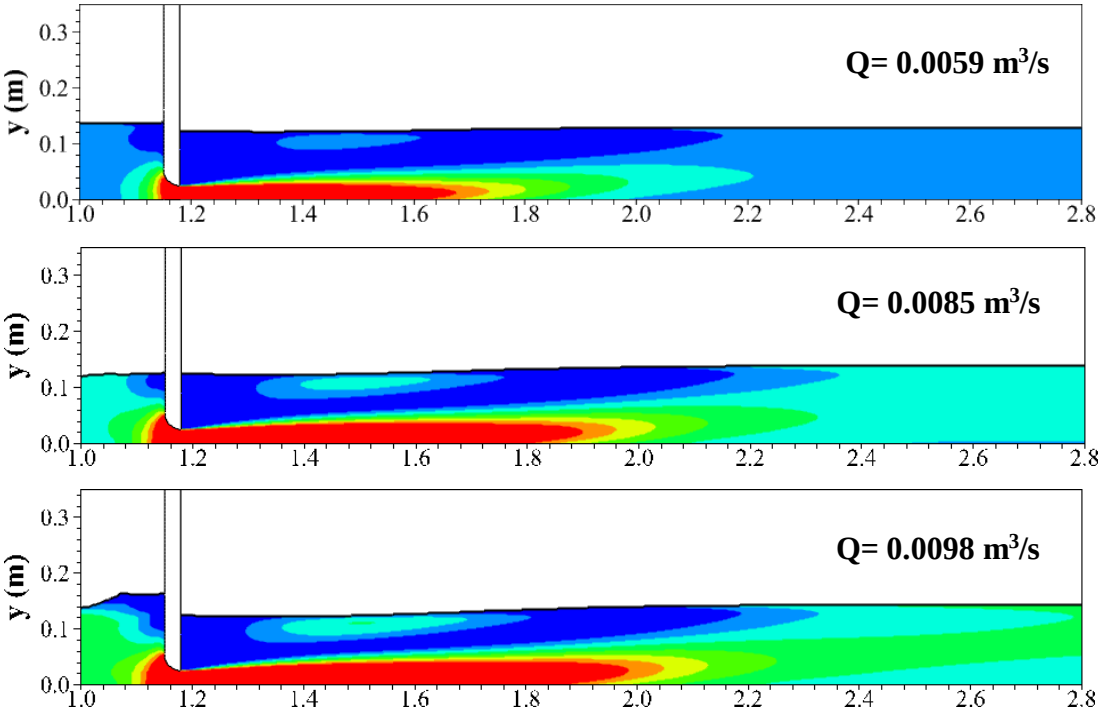


Dinamik basınç desenleri

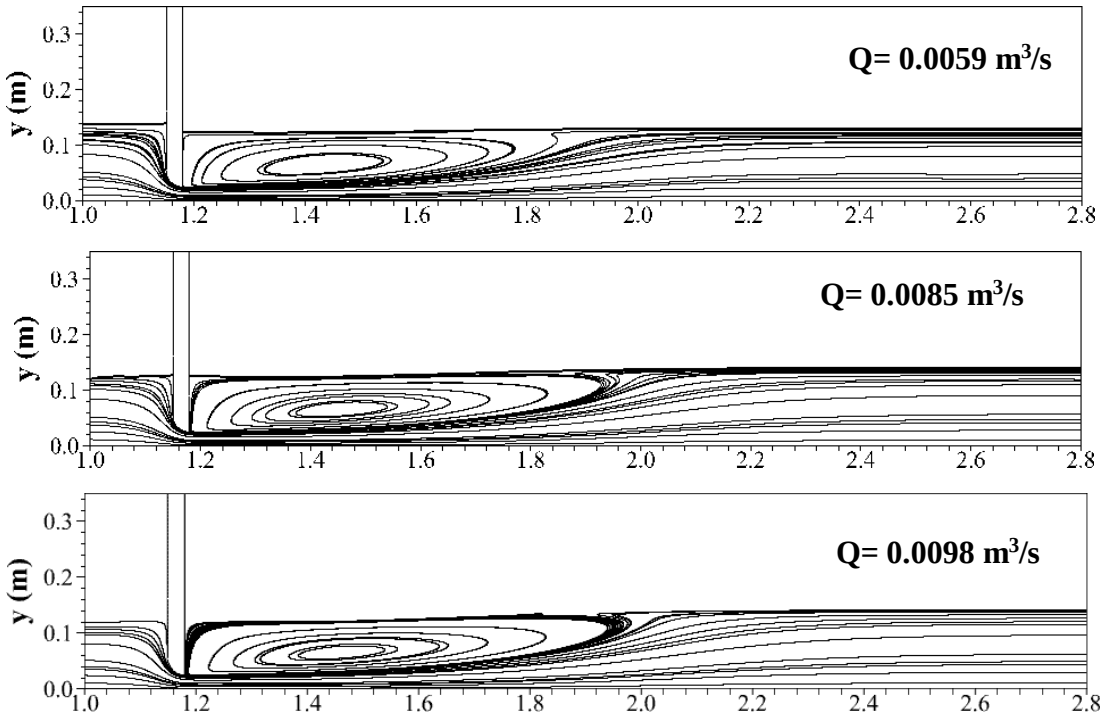


Türbülans kinetik enerji desenleri

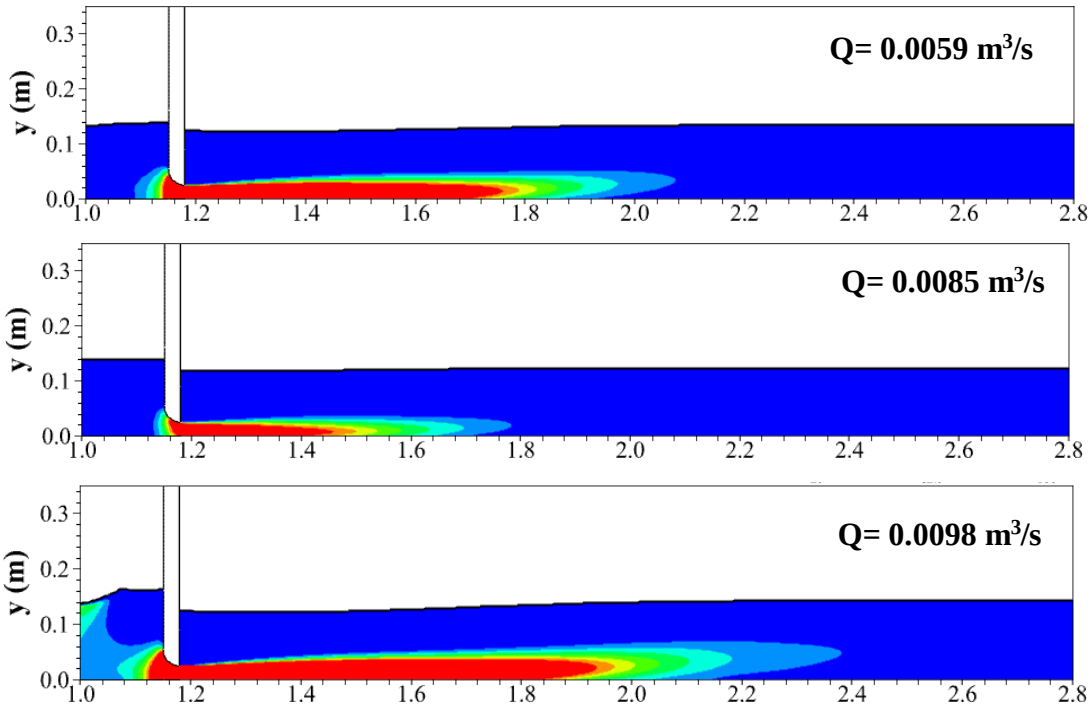
EK 6: Durum 1.f İçin Sayısal Model Sonuçları



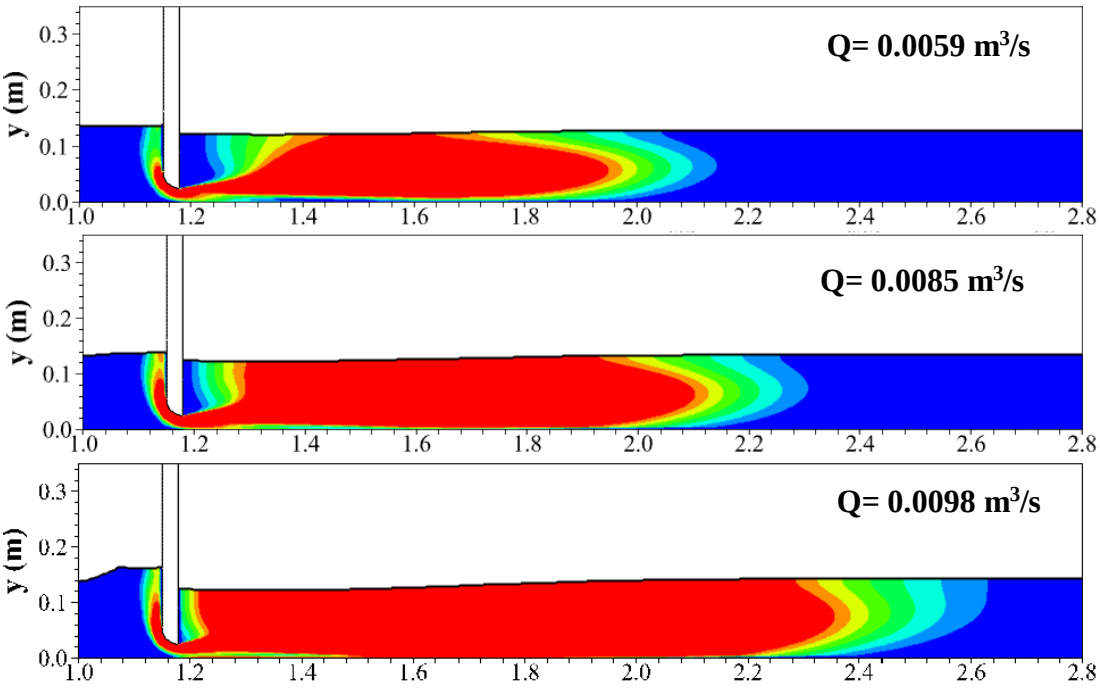
Bileşke hız desenleri



Akım çizgisi desenleri (Durum 1.f)

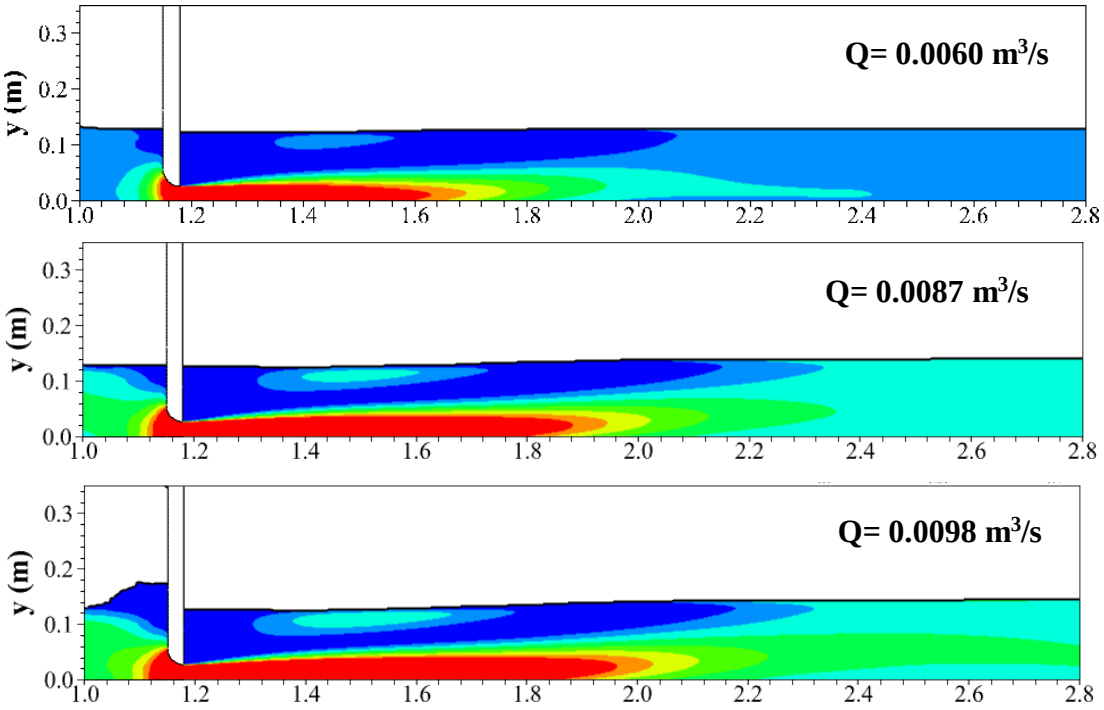


Dinamik basınç desenleri

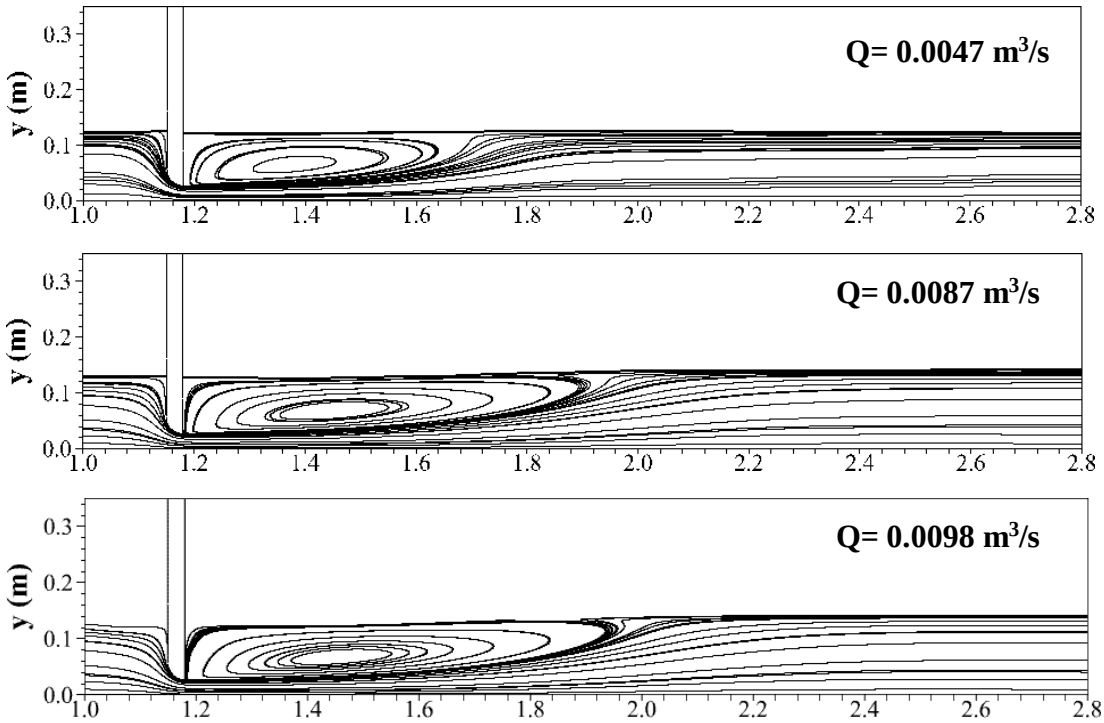


Türbülans kinetik enerji desenleri

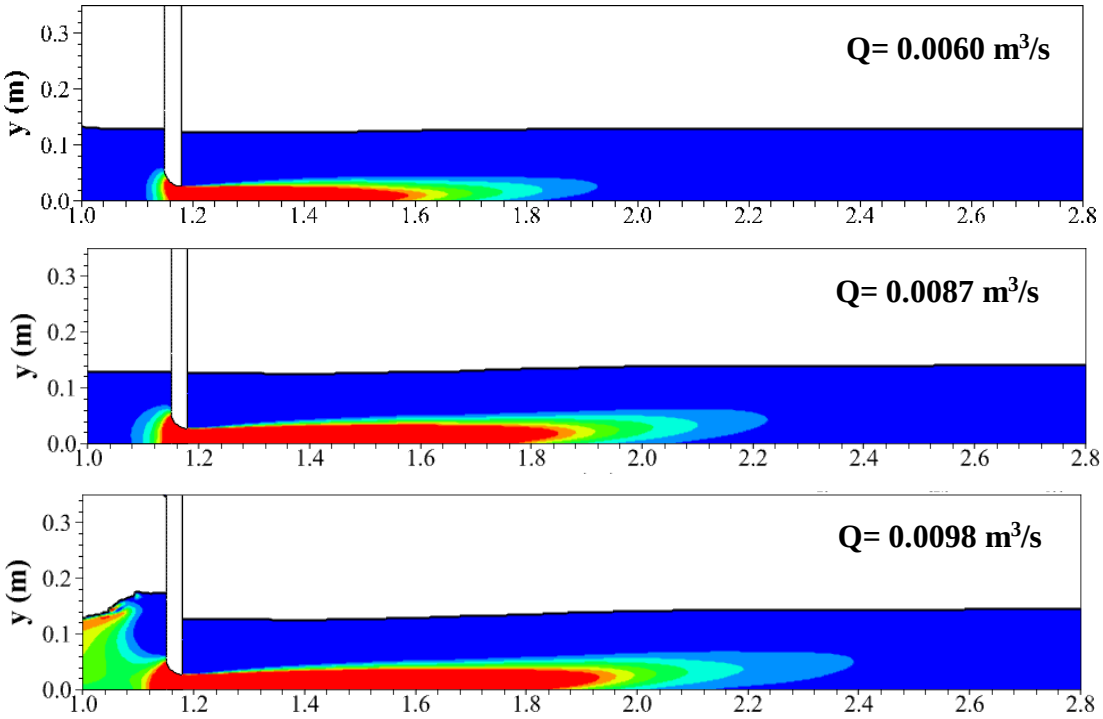
EK 7: Durum 1.g İçin Sayısal Model Sonuçları



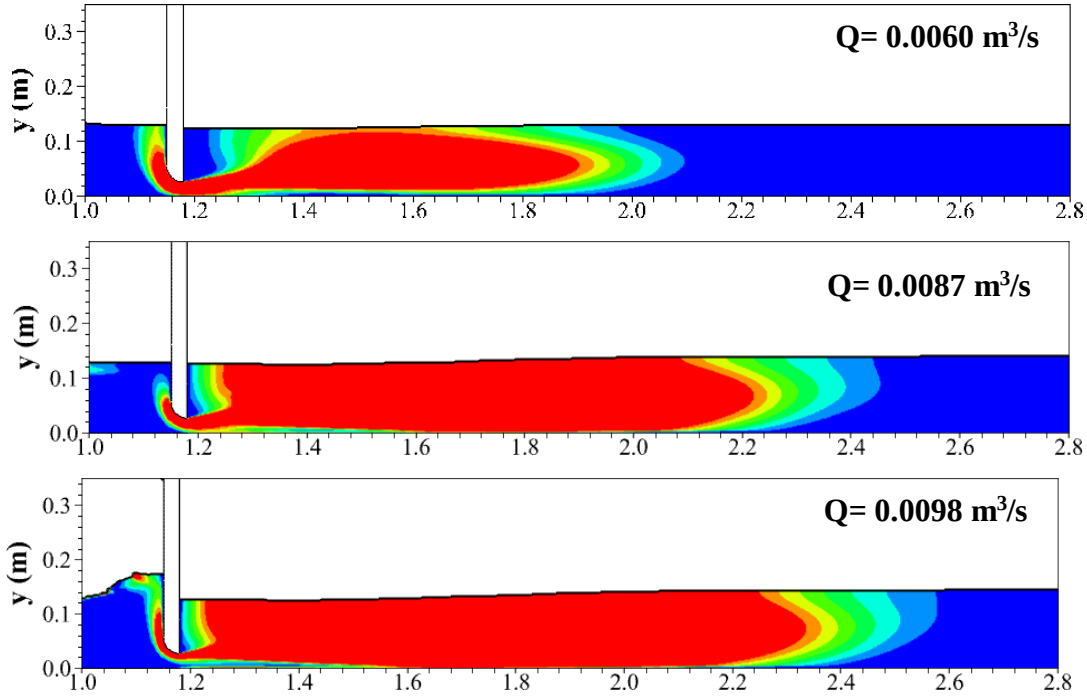
Bileşke hız desenleri



Akım çizgisi desenleri (Durum 1.g)

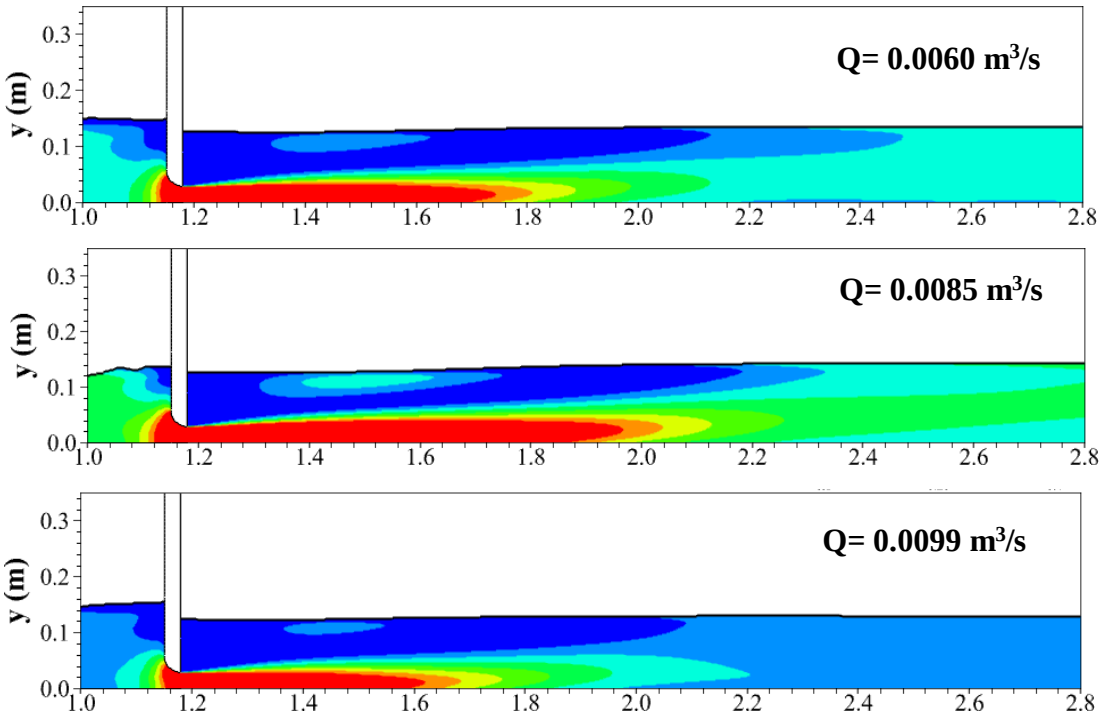


Dinamik basınç desenleri

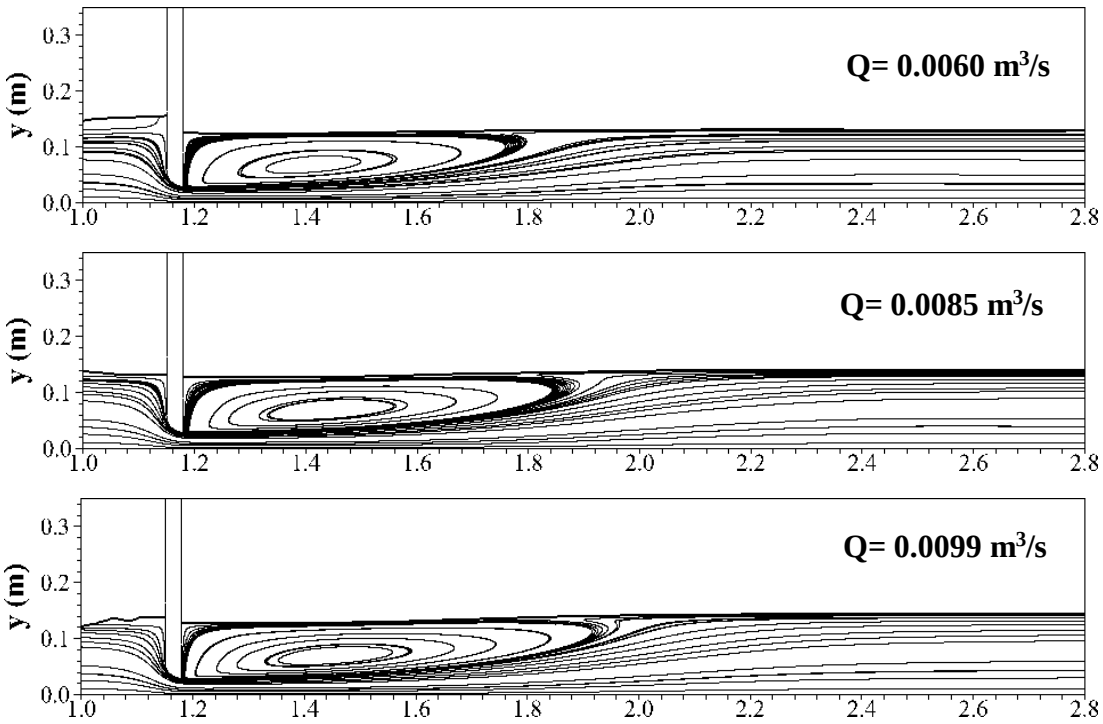


Türbülans kinetik enerji desenleri (Durum 1.g)

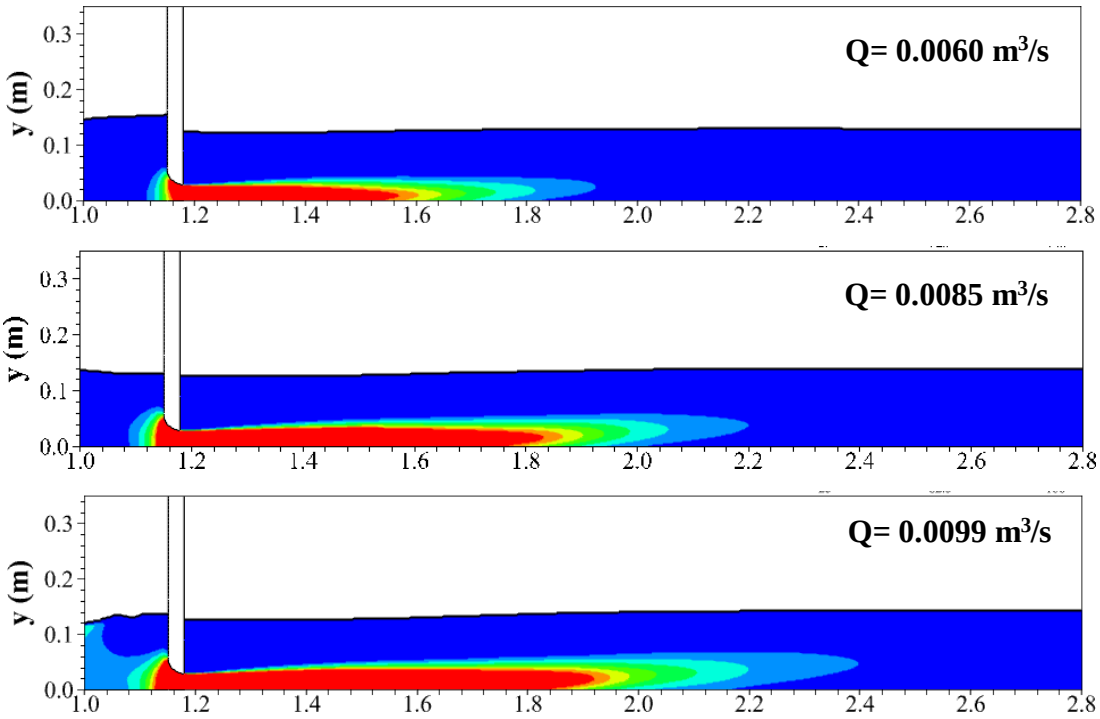
EK 8: Durum 1.h İçin Sayısal Model Sonuçları



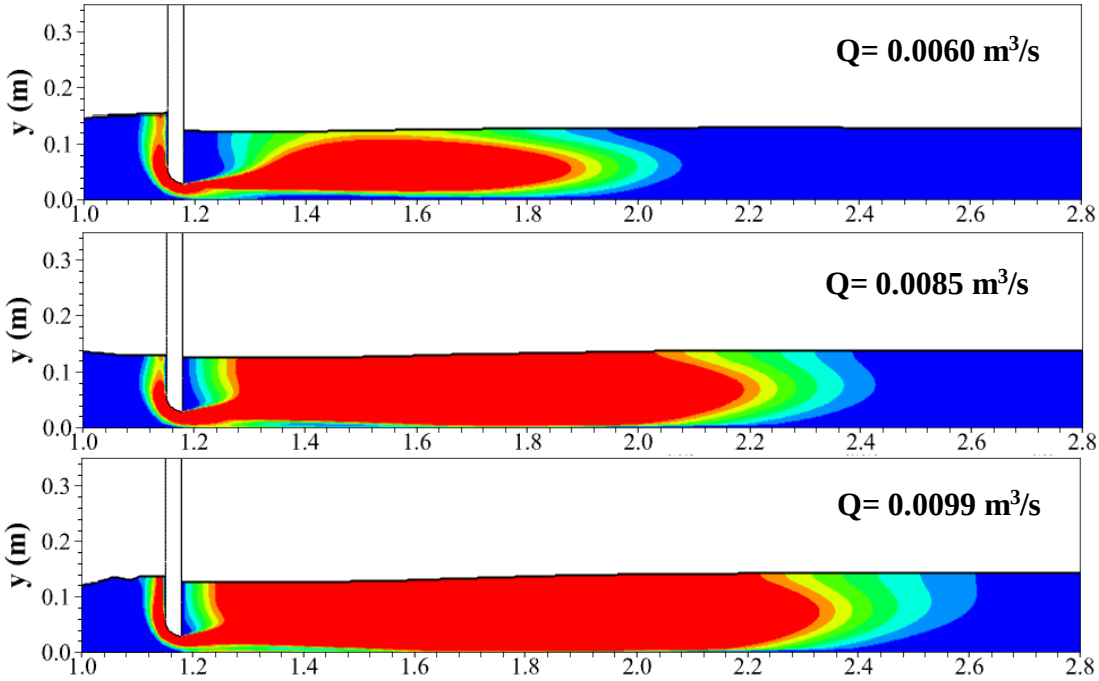
Bileşke hız desenleri



Akım çizgisi desenleri

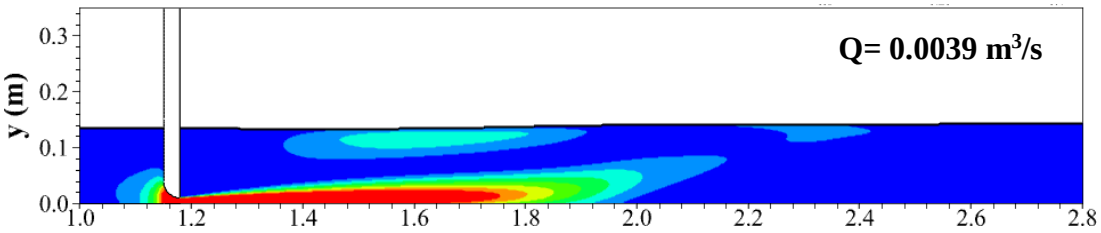


Dinamik basınç desenleri

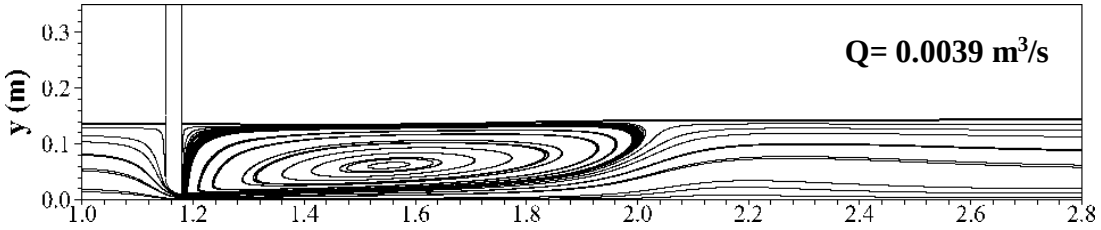


Türbülans kinetik enerji desenleri

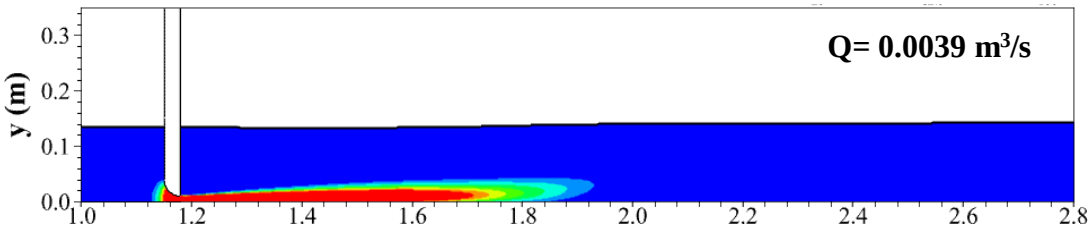
EK 9: Durum 2.a İçin Sayısal Model Sonuçları



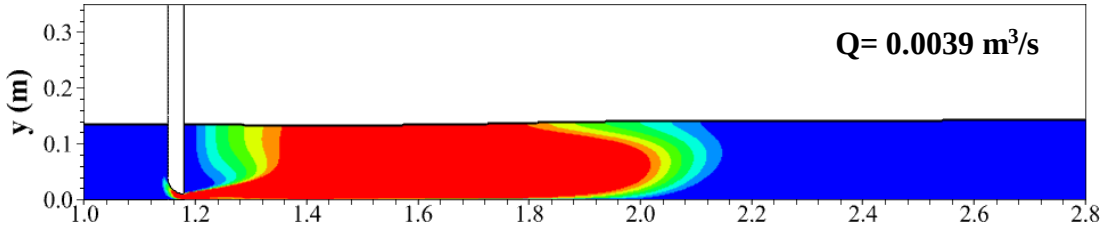
Bileşke hız desenleri



Akım çizgisi desenleri

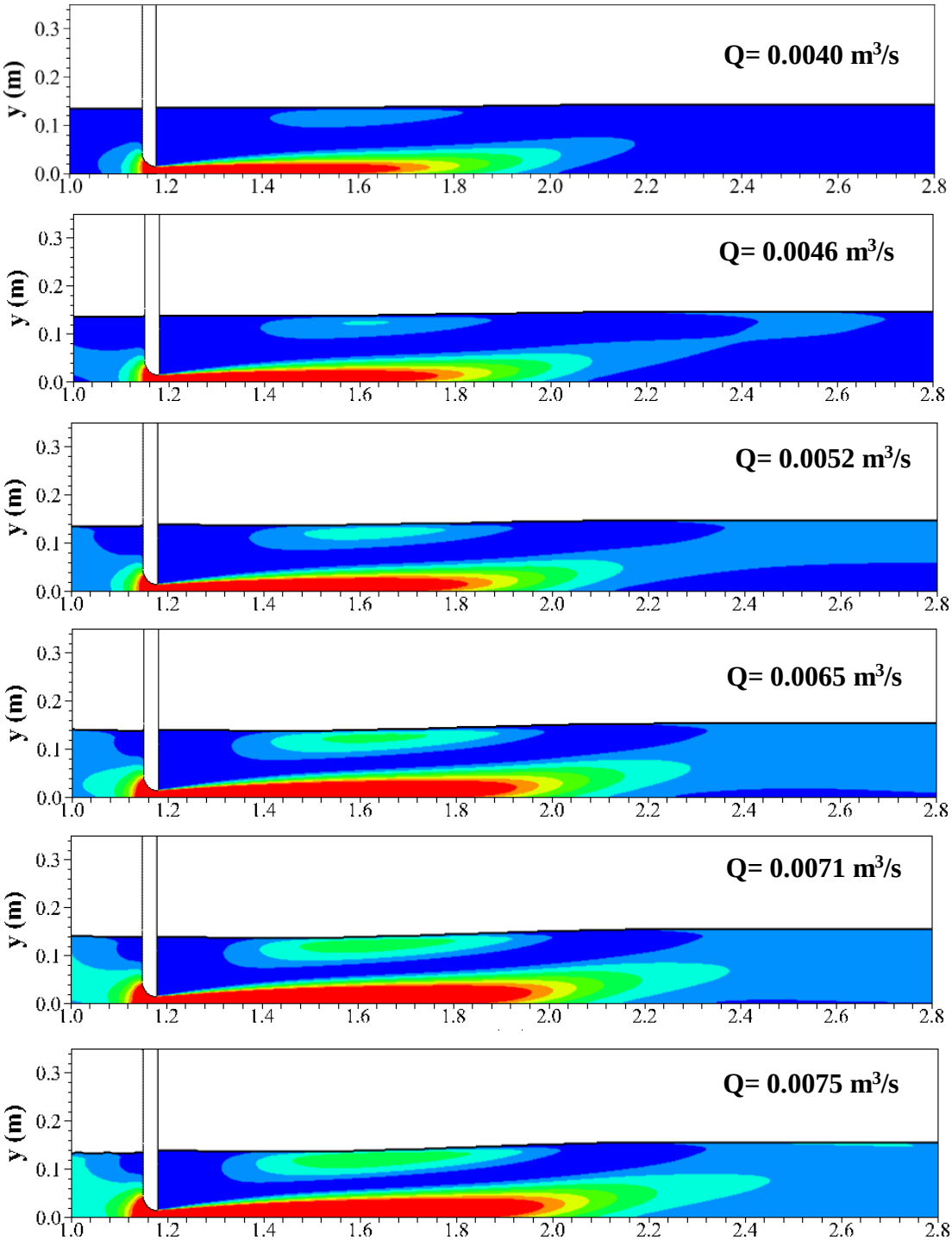


Dinamik basınç desenleri

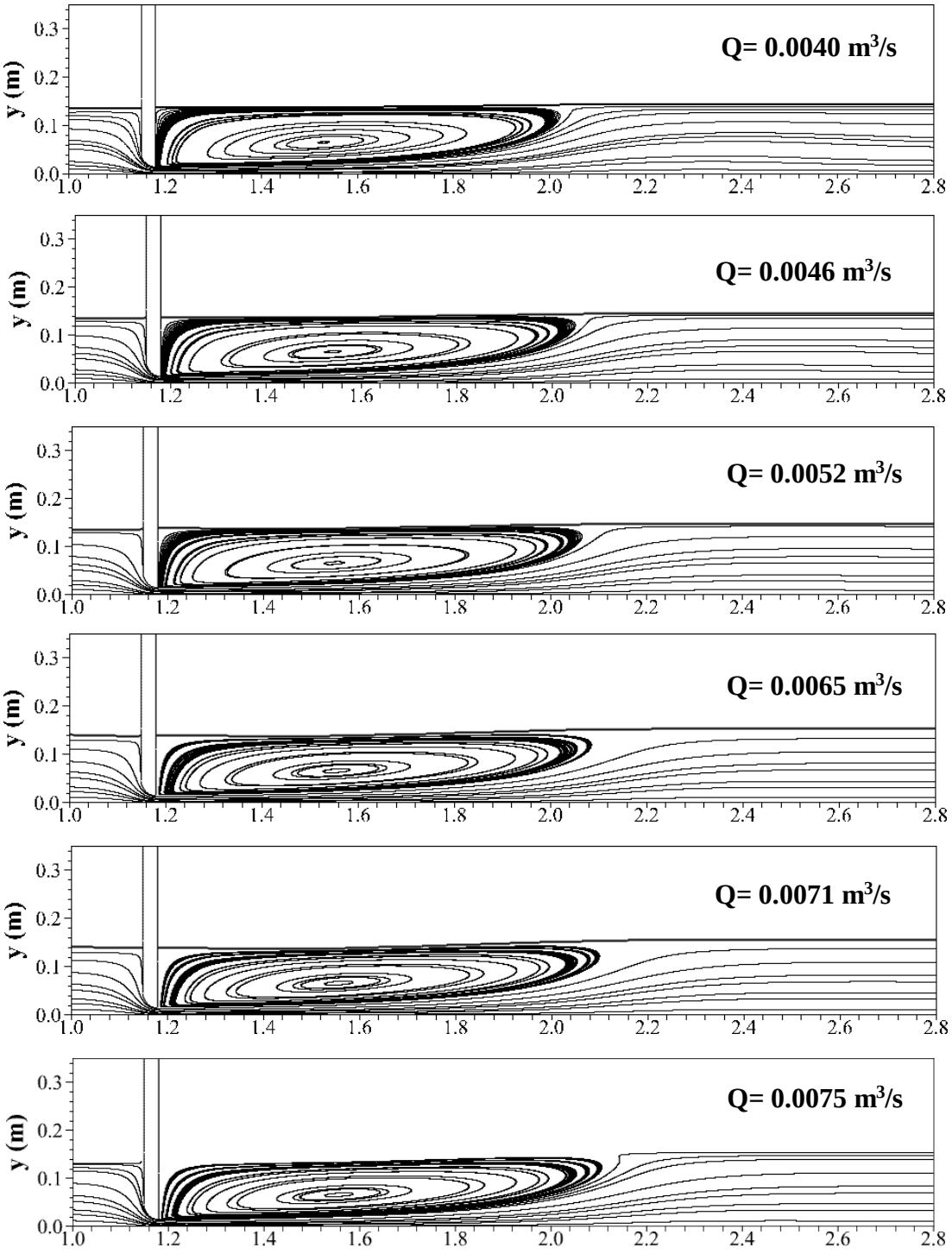


Türbülans kinetik enerji desenleri

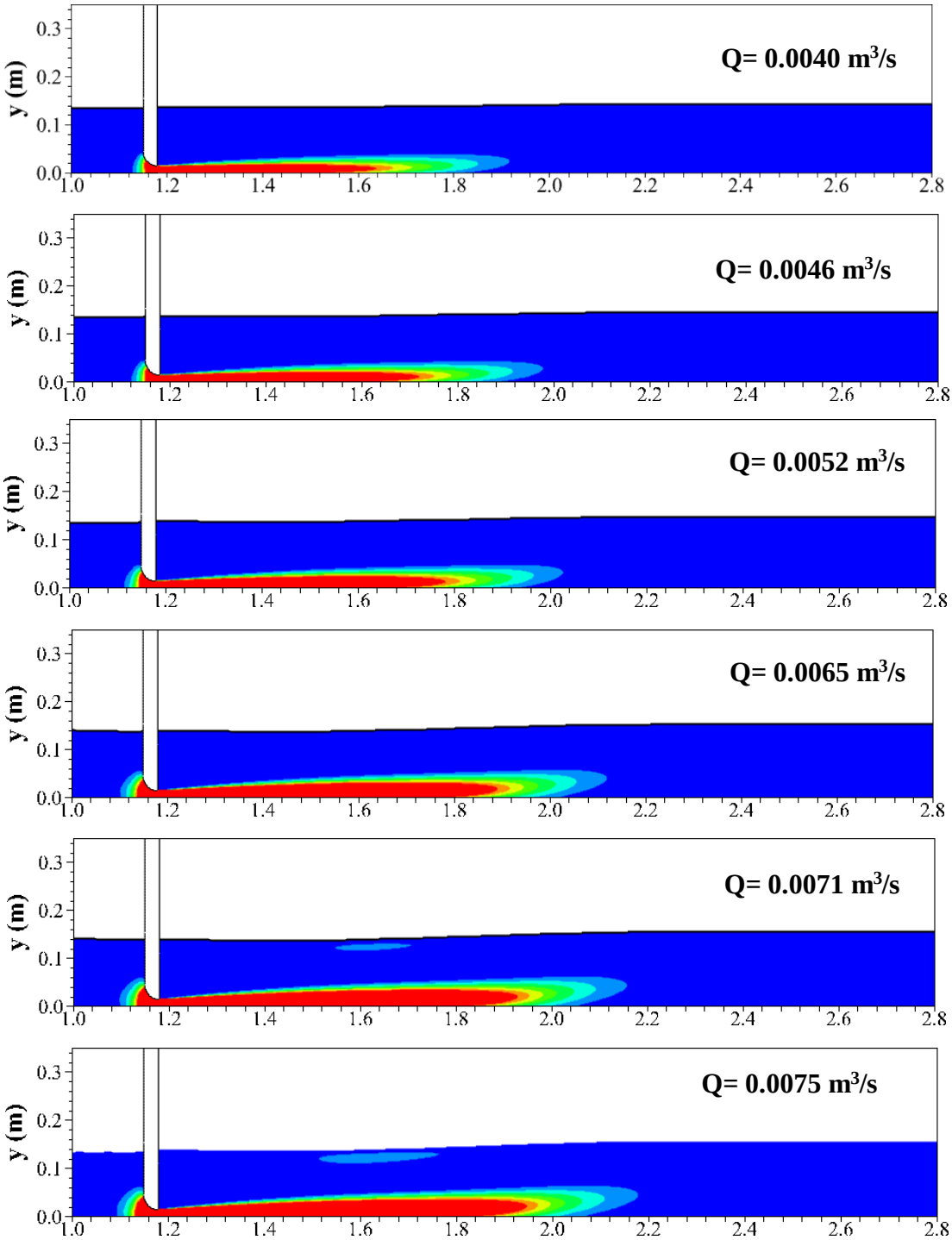
EK 10: Durum 2.b İçin Sayısal Model Sonuçları



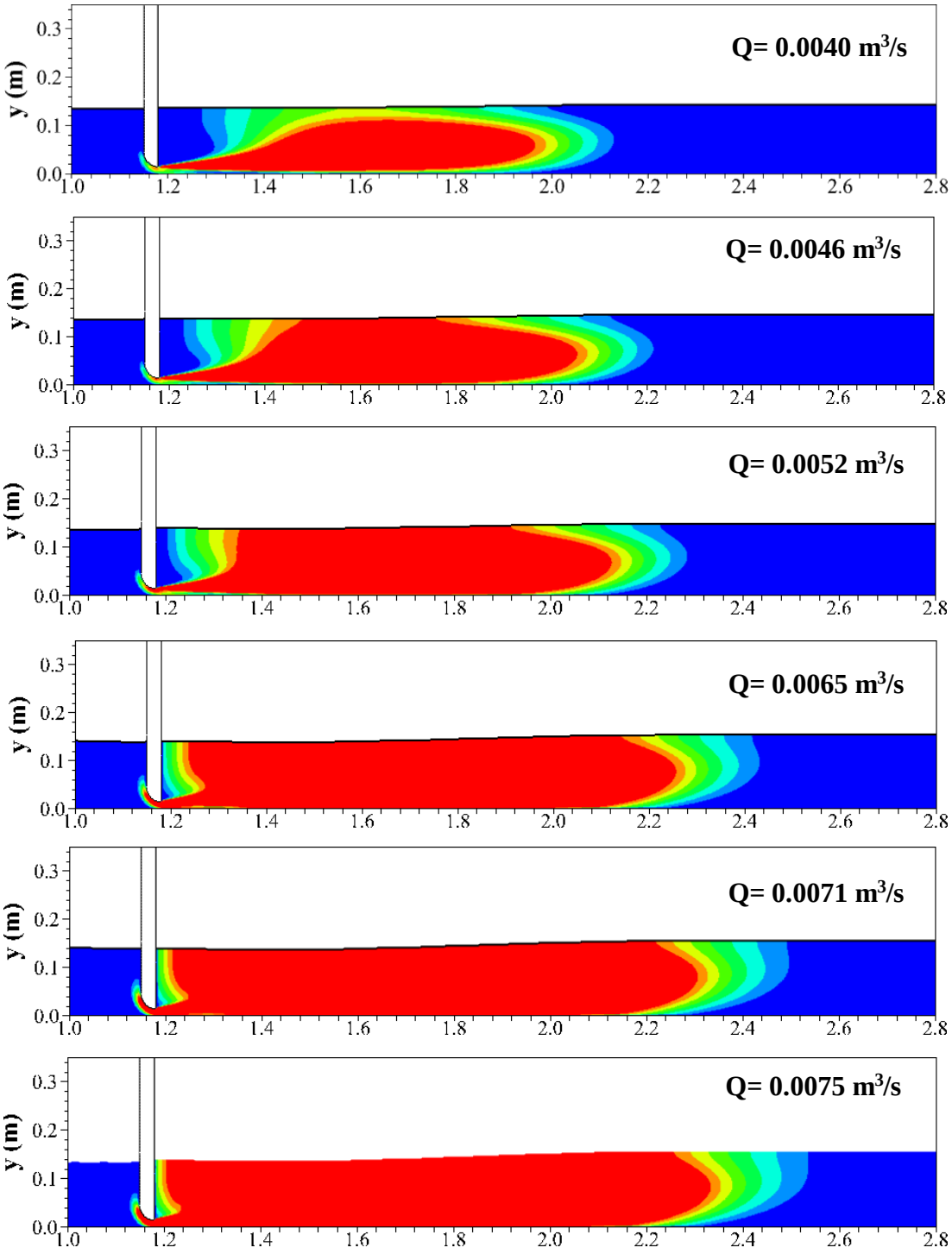
Bileşke hız desenleri



Akım çizgisi desenleri

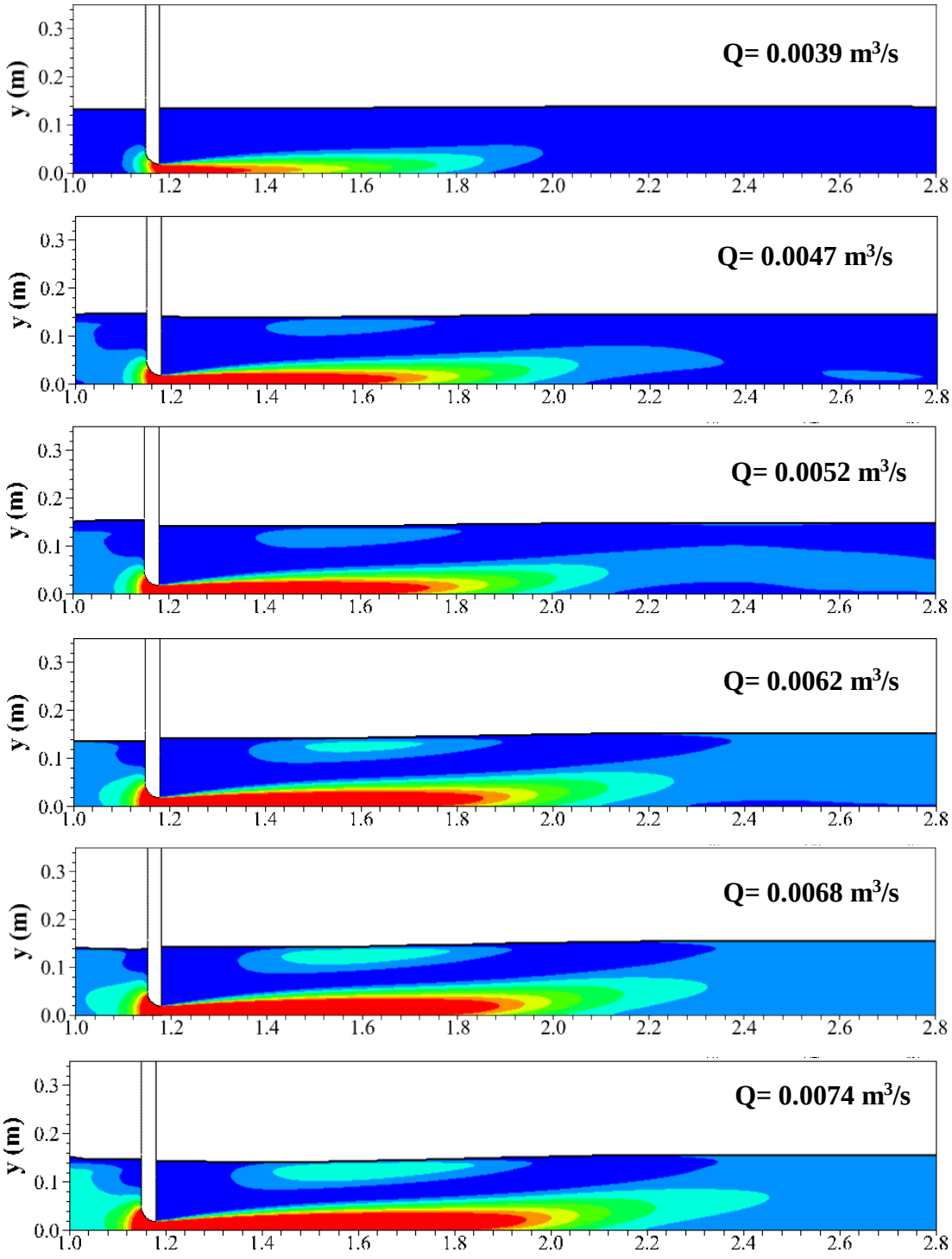


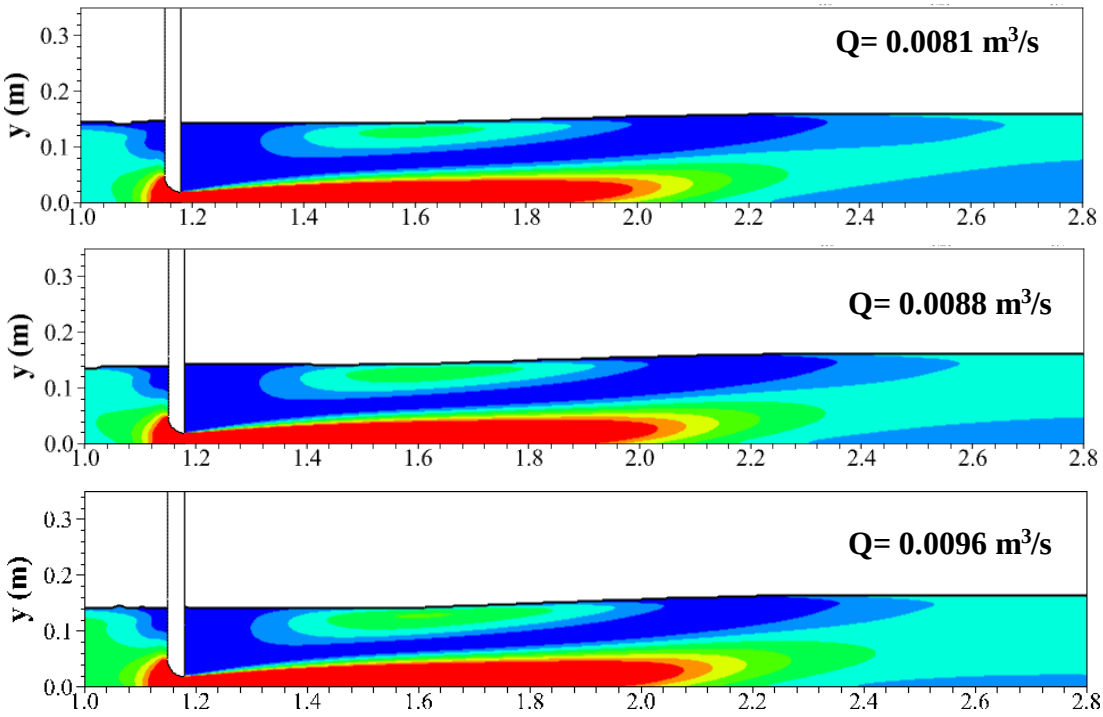
Dinamik basınç desenleri



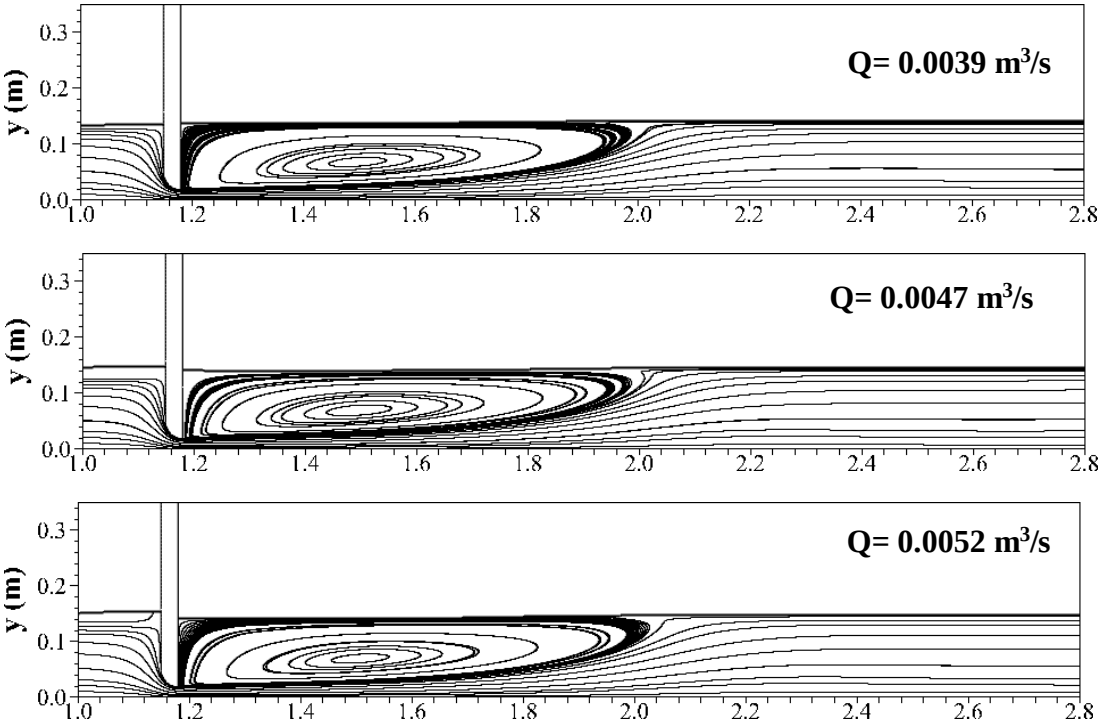
Türbülans kinetik enerji desenleri

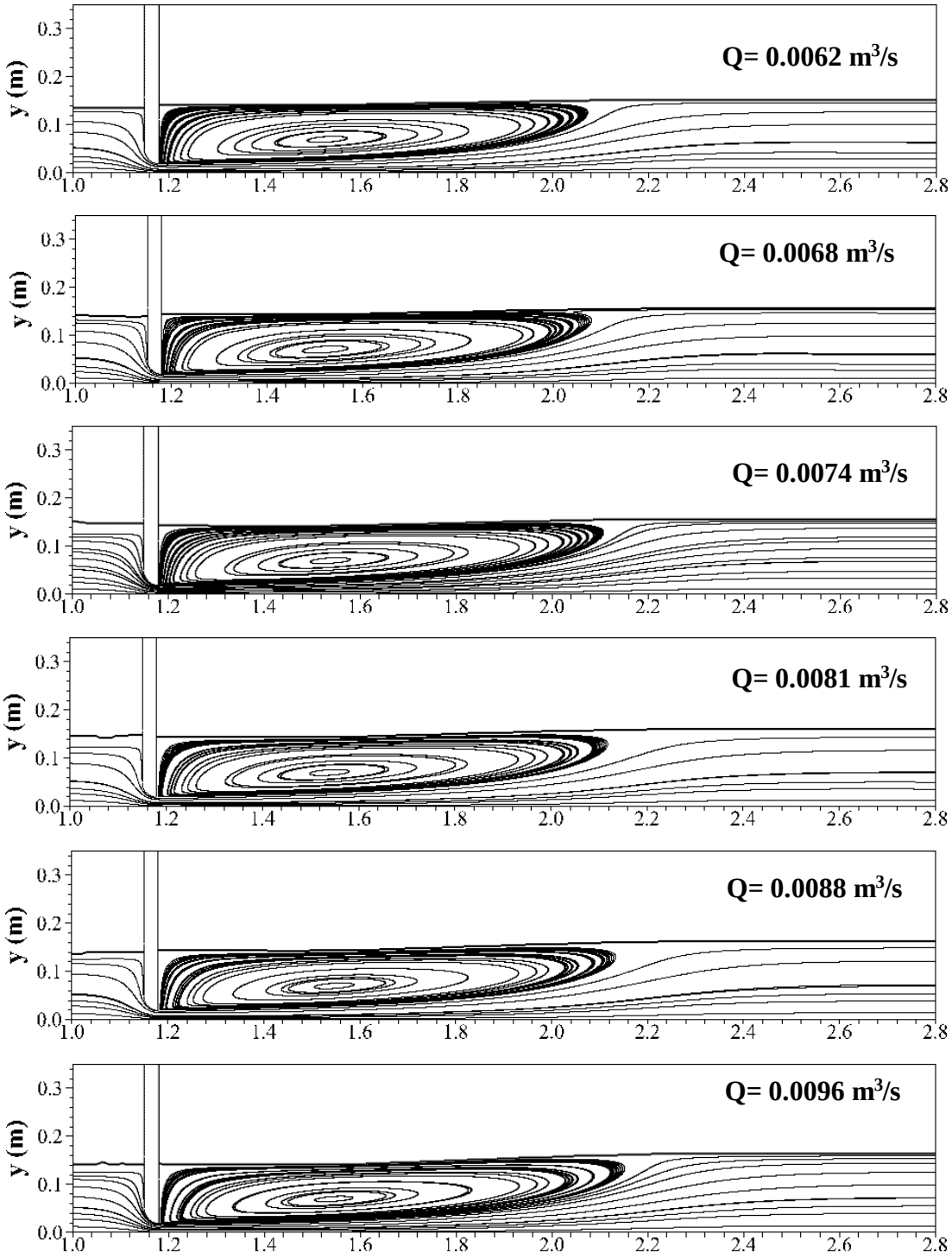
EK 11: Durum 2.c İçin Sayısal Model Sonuçları



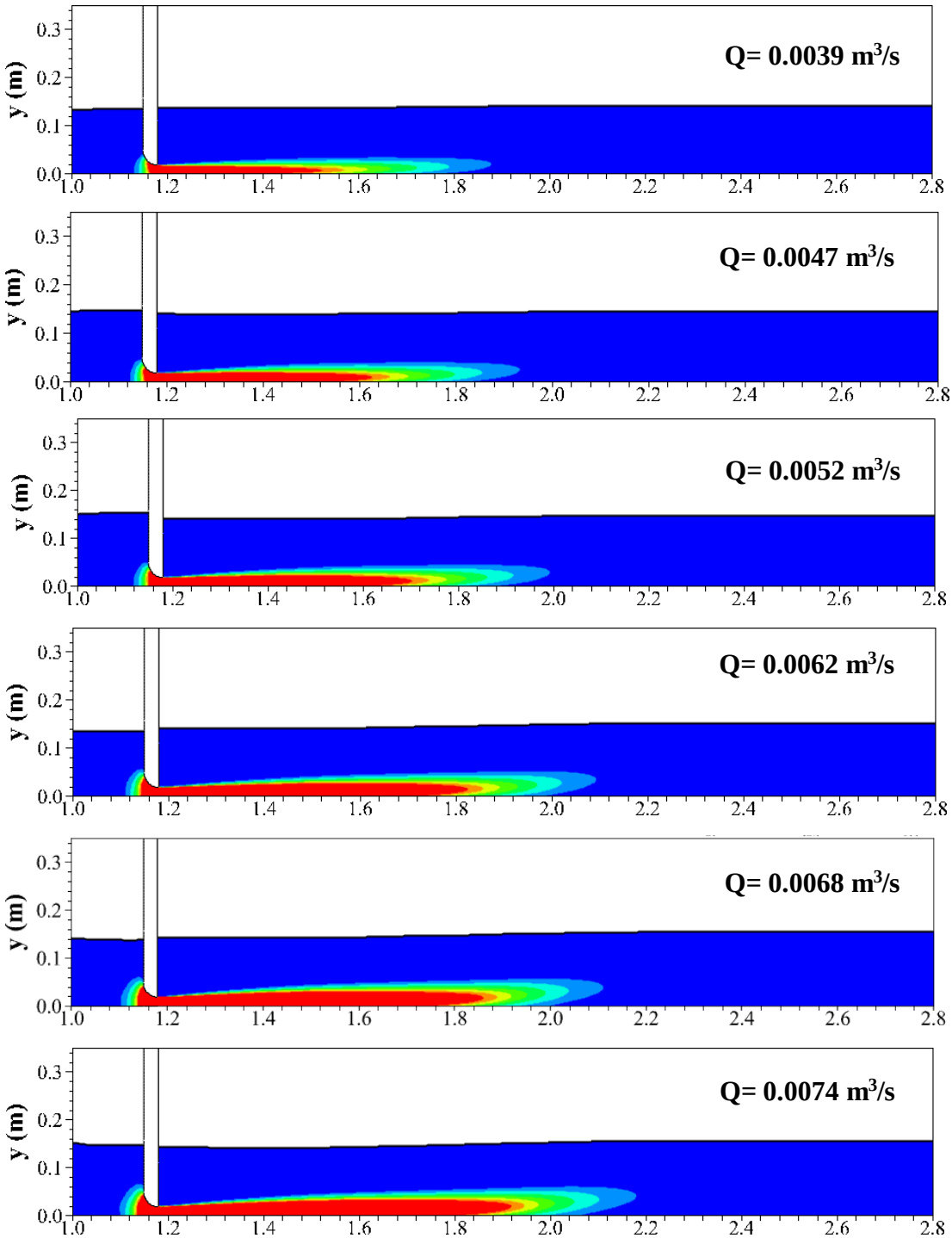


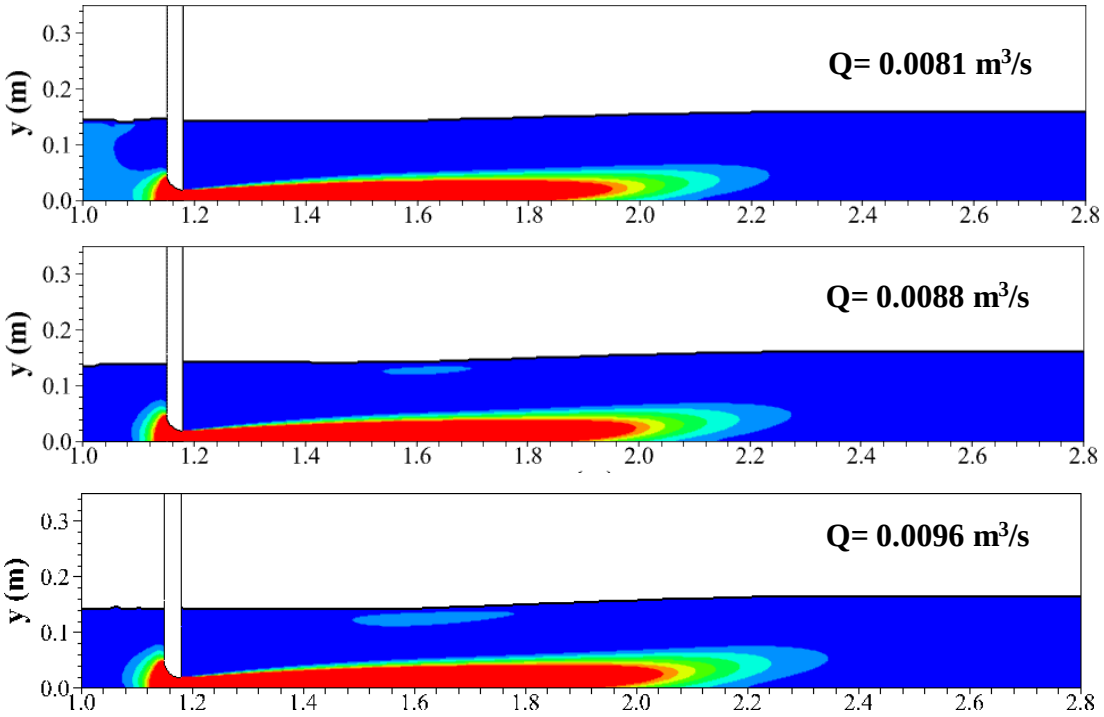
Sayısal bileşke hız desenleri



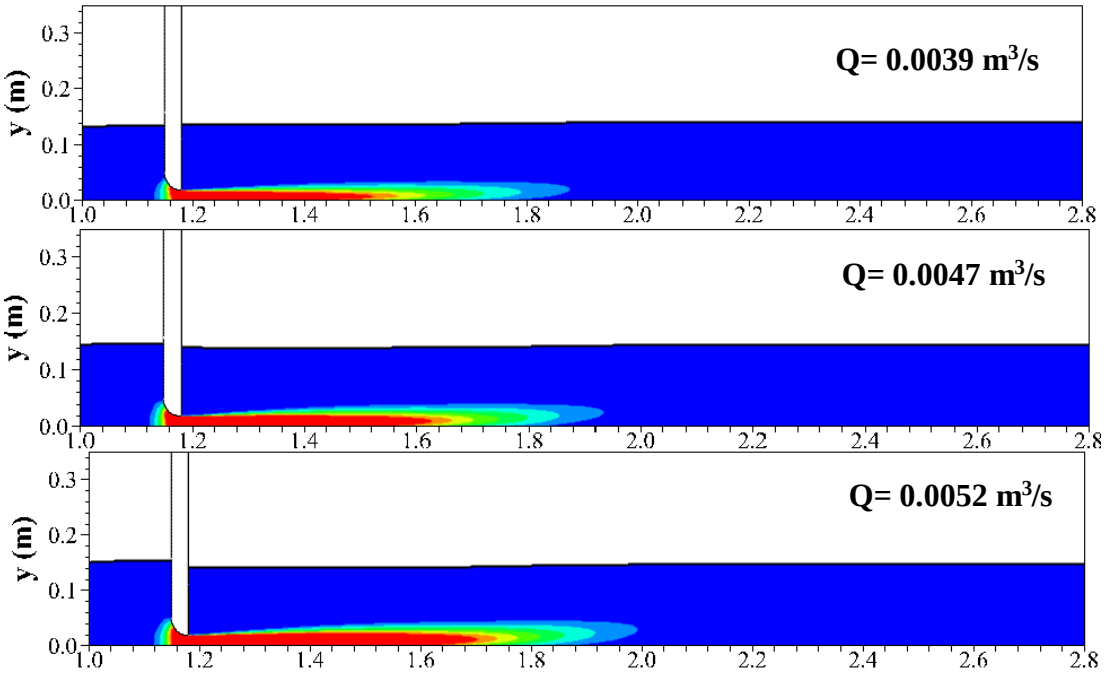


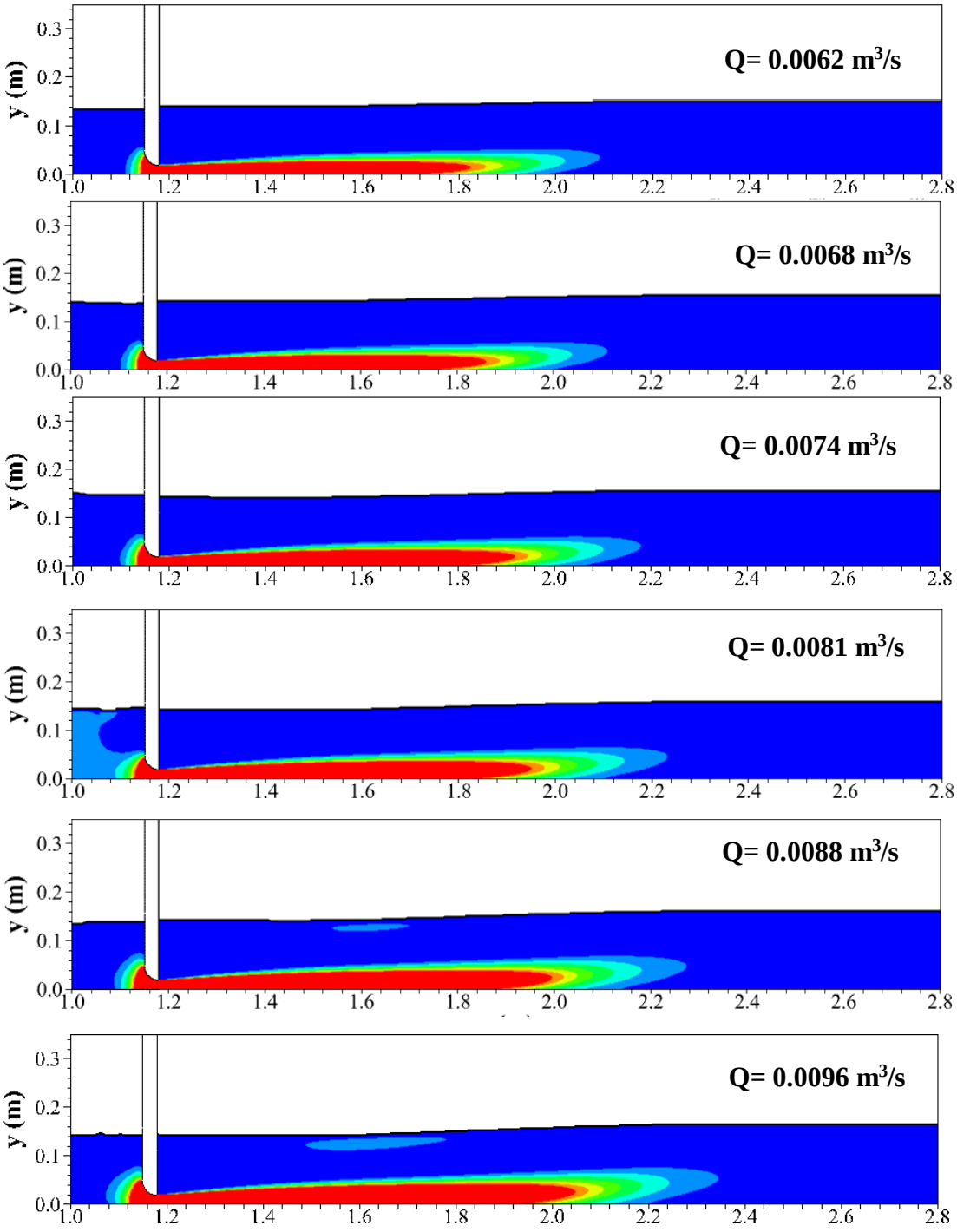
Akım çizgisi desenleri


Q= 0.0039 m³/s
Q= 0.0047 m³/s
Q= 0.0052 m³/s
Q= 0.0062 m³/s
Q= 0.0068 m³/s
Q= 0.0074 m³/s
y (m)
0.0
0.1
0.2
0.3
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
2.0
2.2
2.4
2.6
2.8

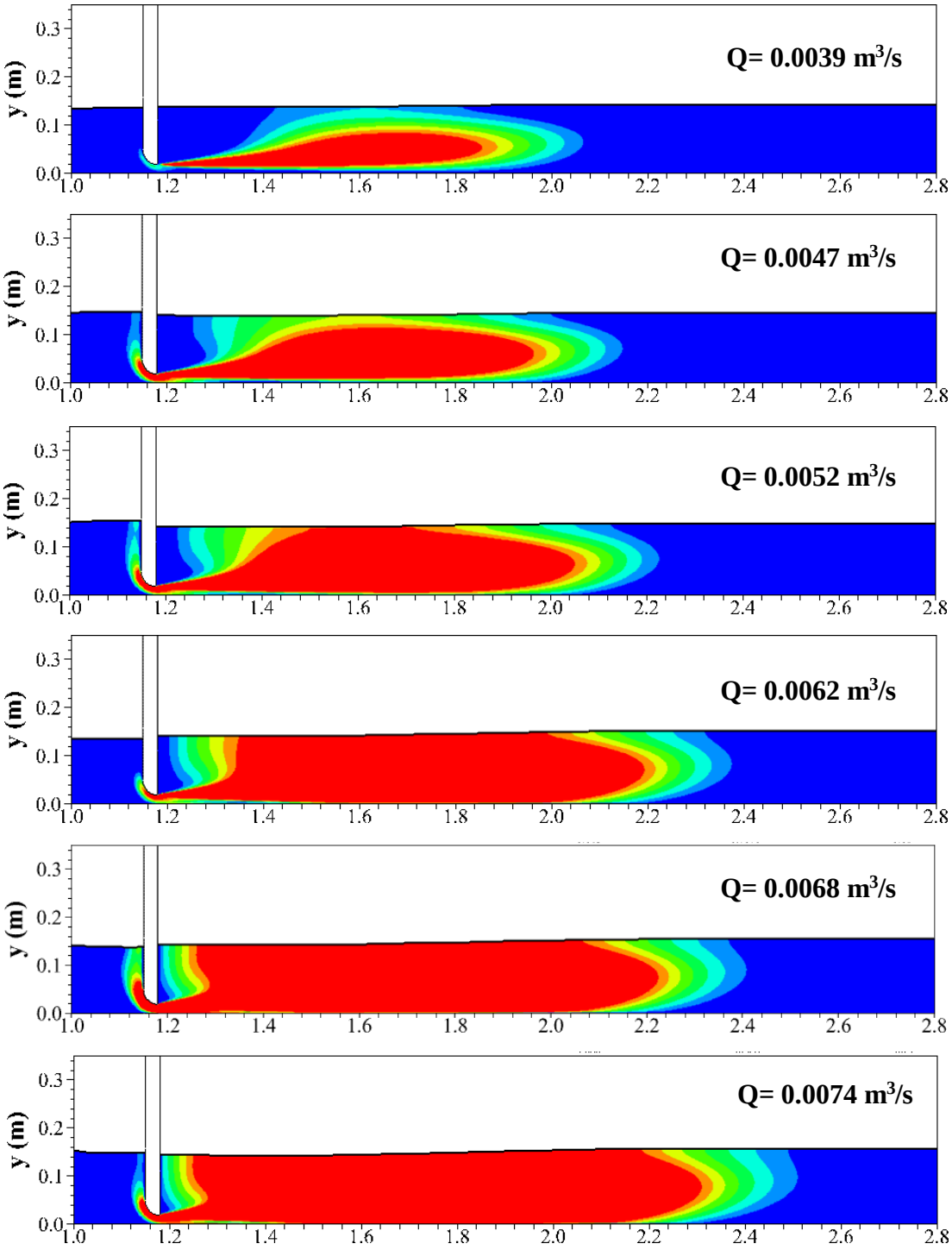


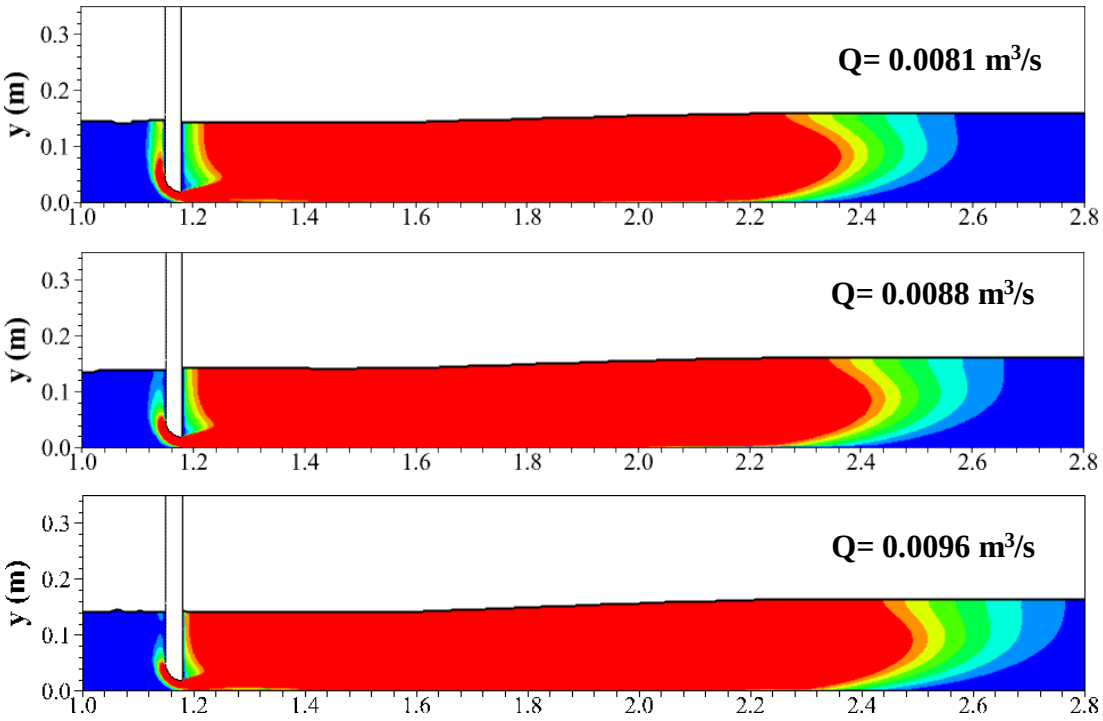
Dinamik basınç desenleri





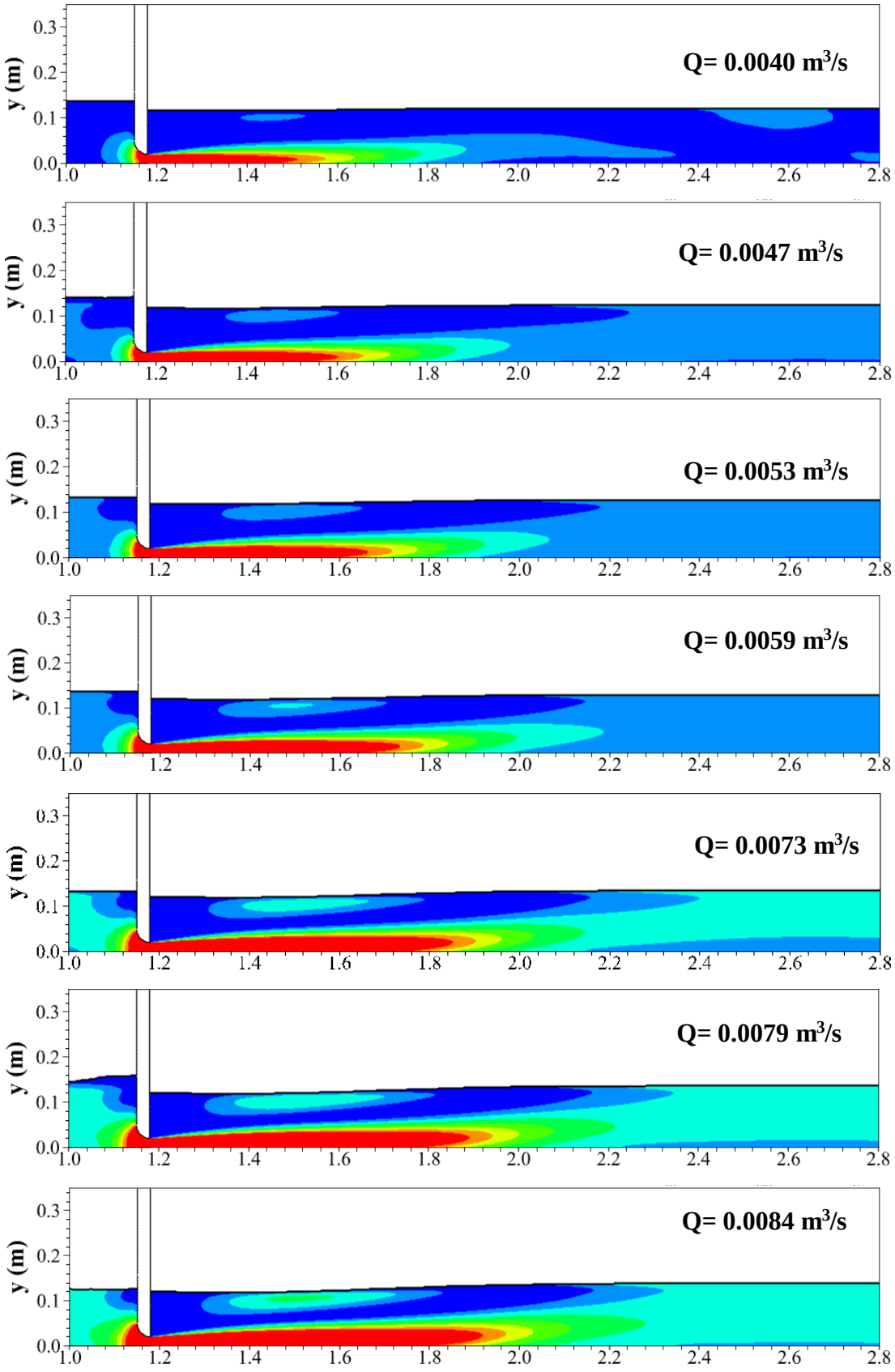
Dinamik basınç desenleri

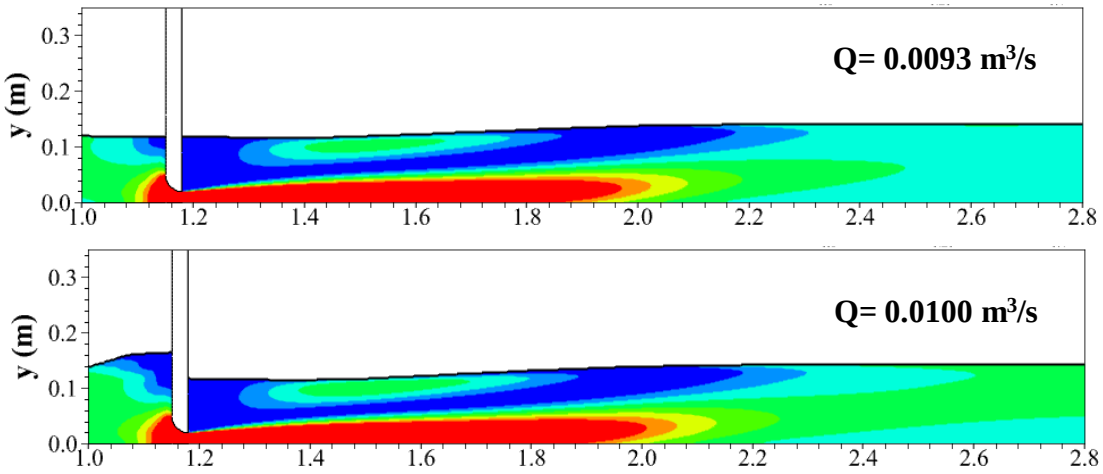

Q= 0.0039 m³/s
Q= 0.0047 m³/s
Q= 0.0052 m³/s
Q= 0.0062 m³/s
Q= 0.0068 m³/s
Q= 0.0074 m³/s
y (m)
0.0
0.1
0.2
0.3
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
2.0
2.2
2.4
2.6
2.8



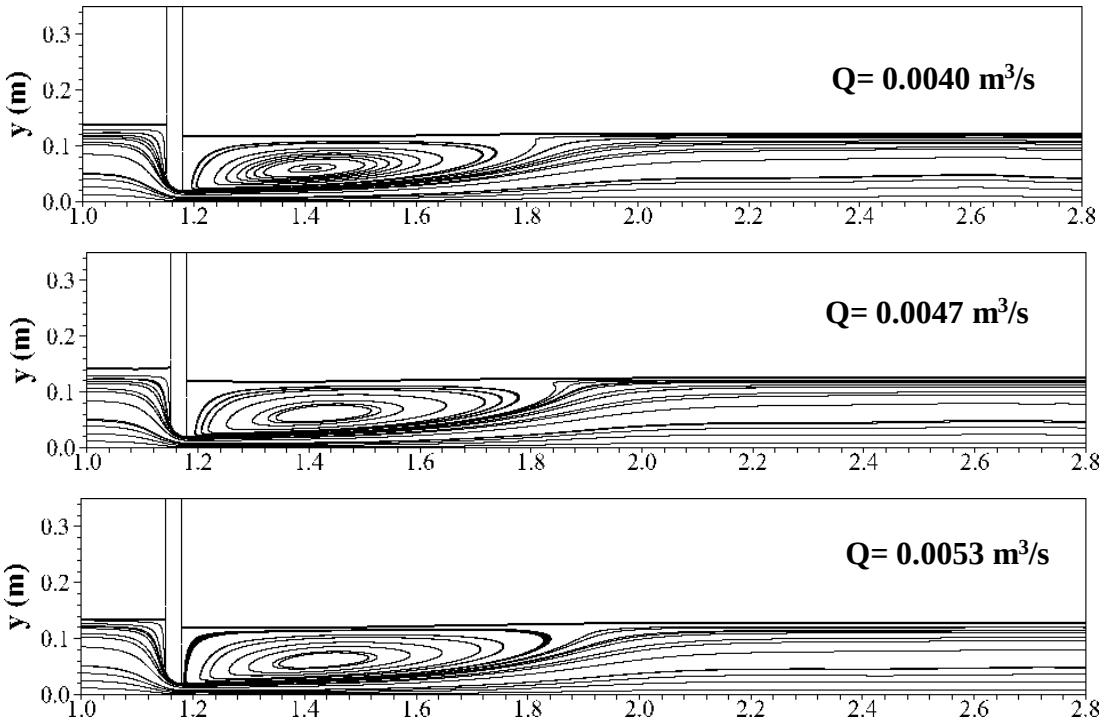
Türbülans kinetik enerji desenleri

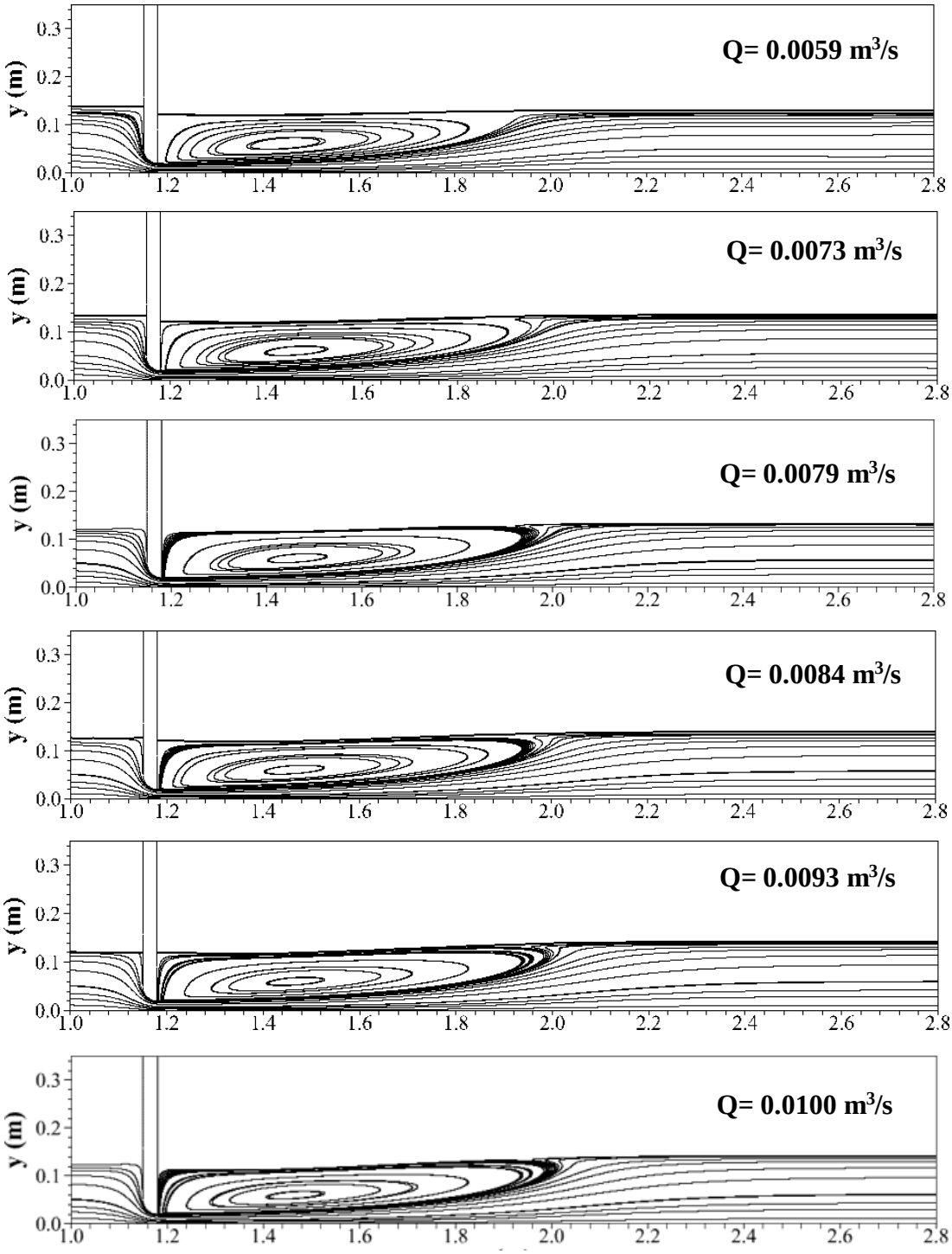
EK 12: Durum 2.d İçin Sayısal Model Sonuçları



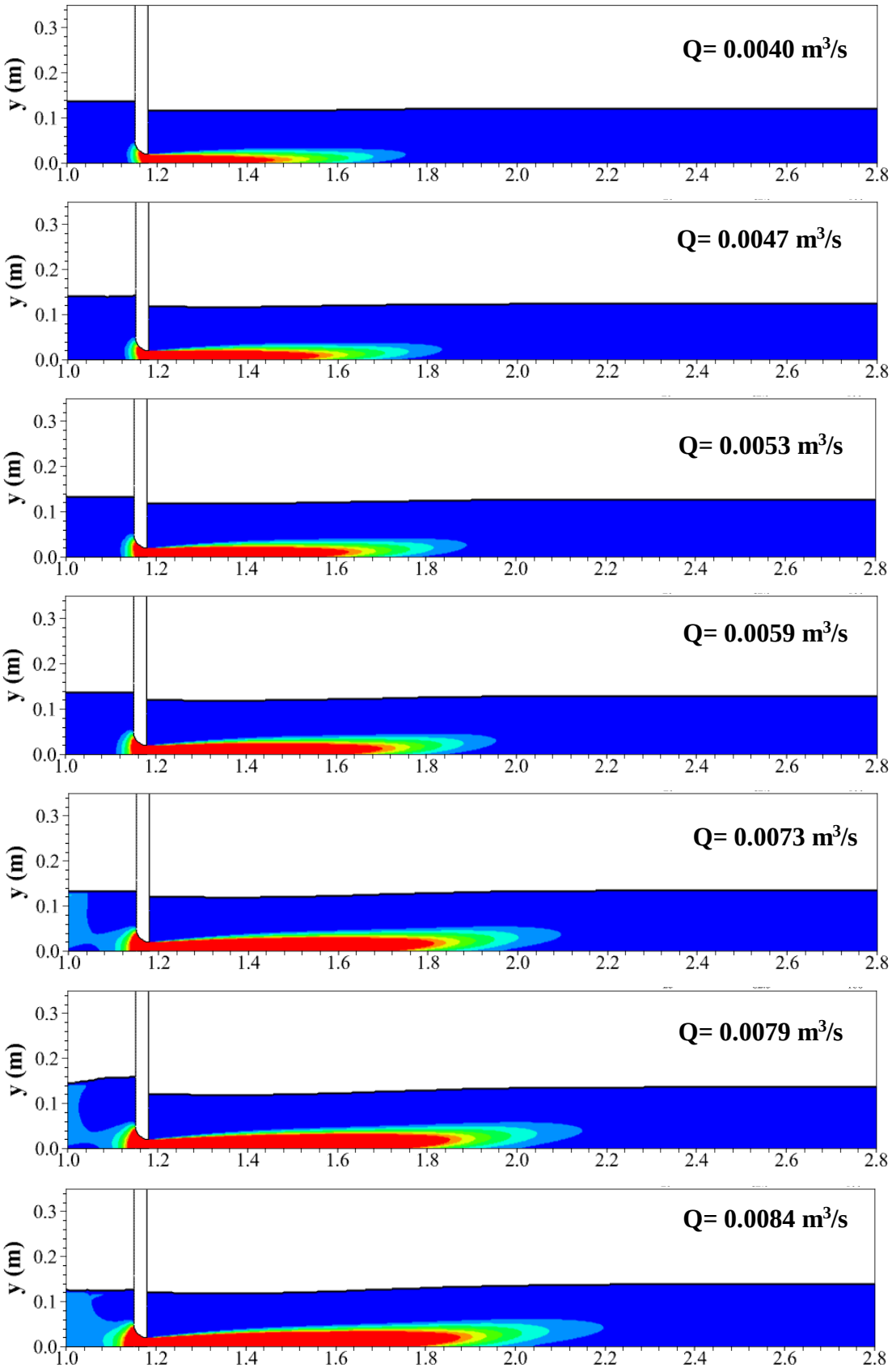


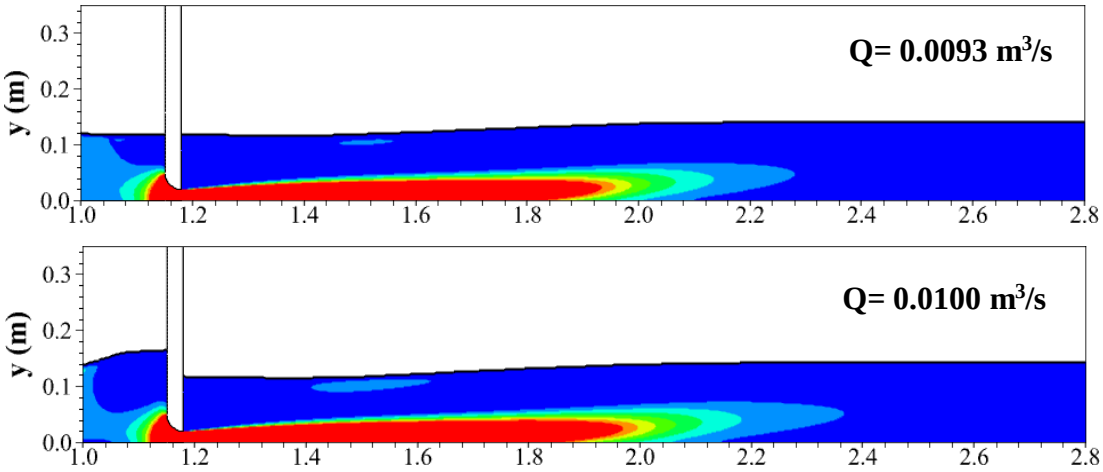
Bileşke hız desenleri



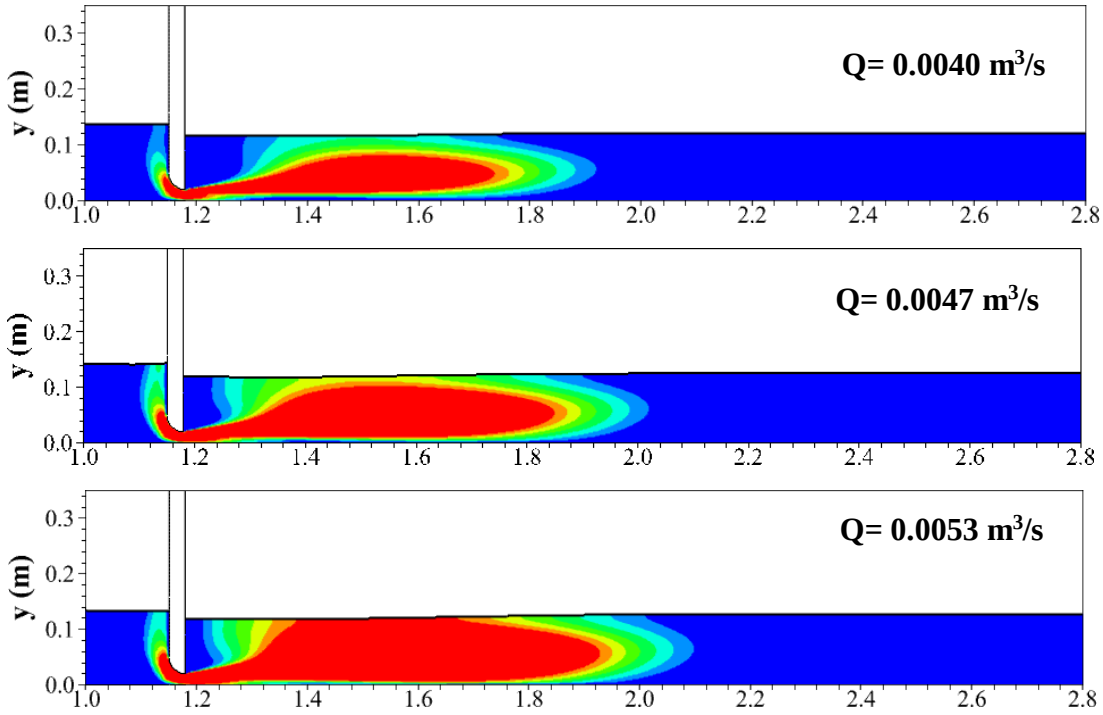


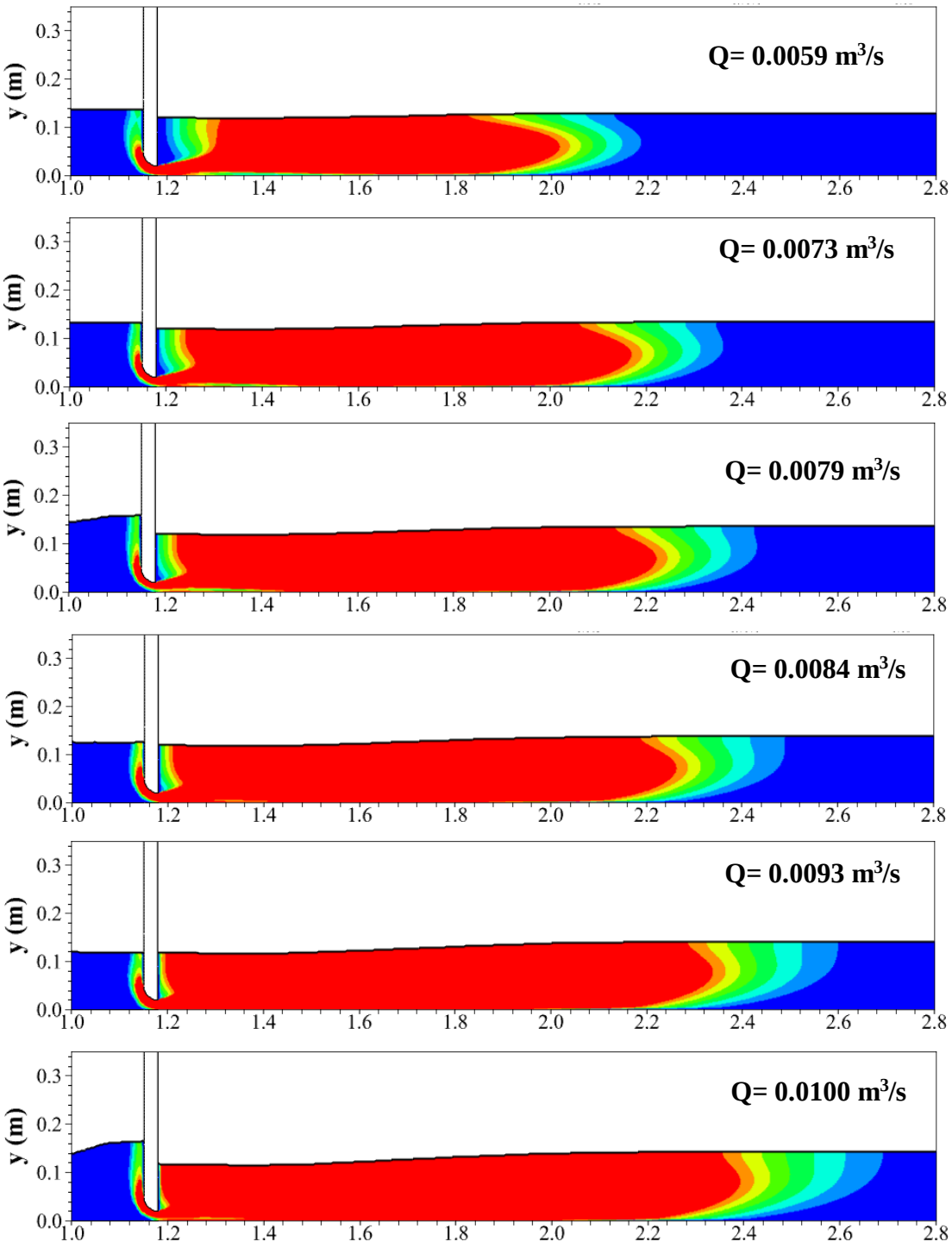
Akım çizgisi desenleri


Q= 0.0040 m³/s
Q= 0.0047 m³/s
Q= 0.0053 m³/s
Q= 0.0059 m³/s
Q= 0.0073 m³/s
Q= 0.0079 m³/s
Q= 0.0084 m³/s
y (m)
0.0
0.1
0.2
0.3
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
2.0
2.2
2.4
2.6
2.8



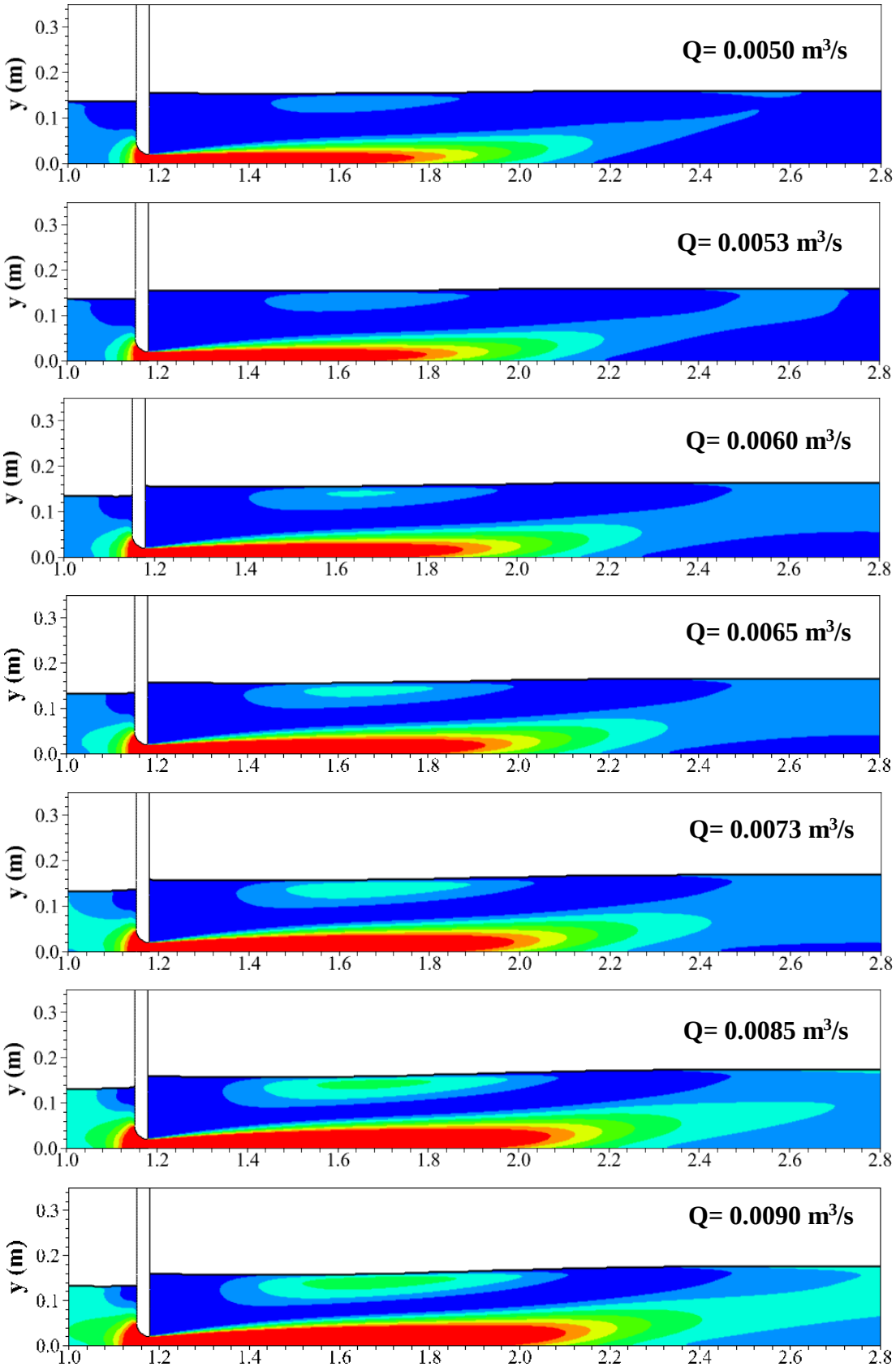
Dinamik basınç desenleri

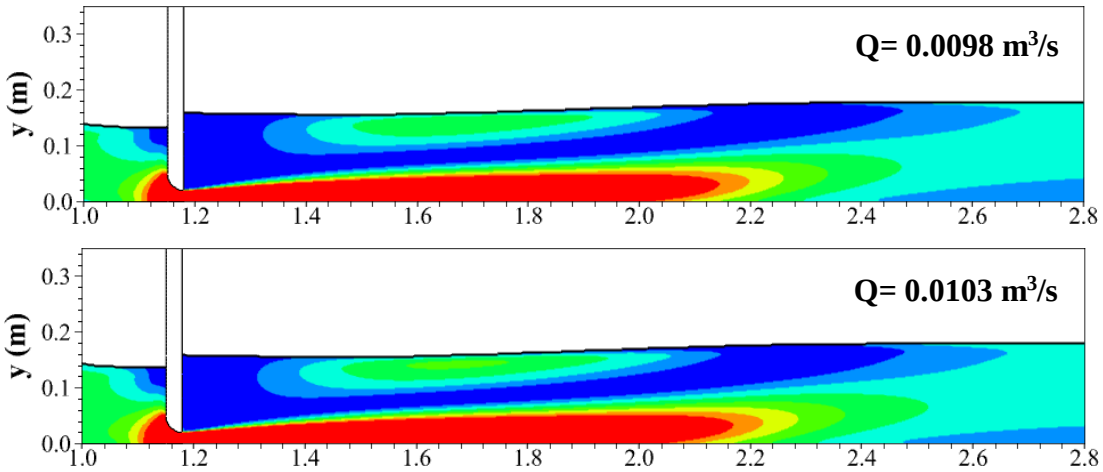




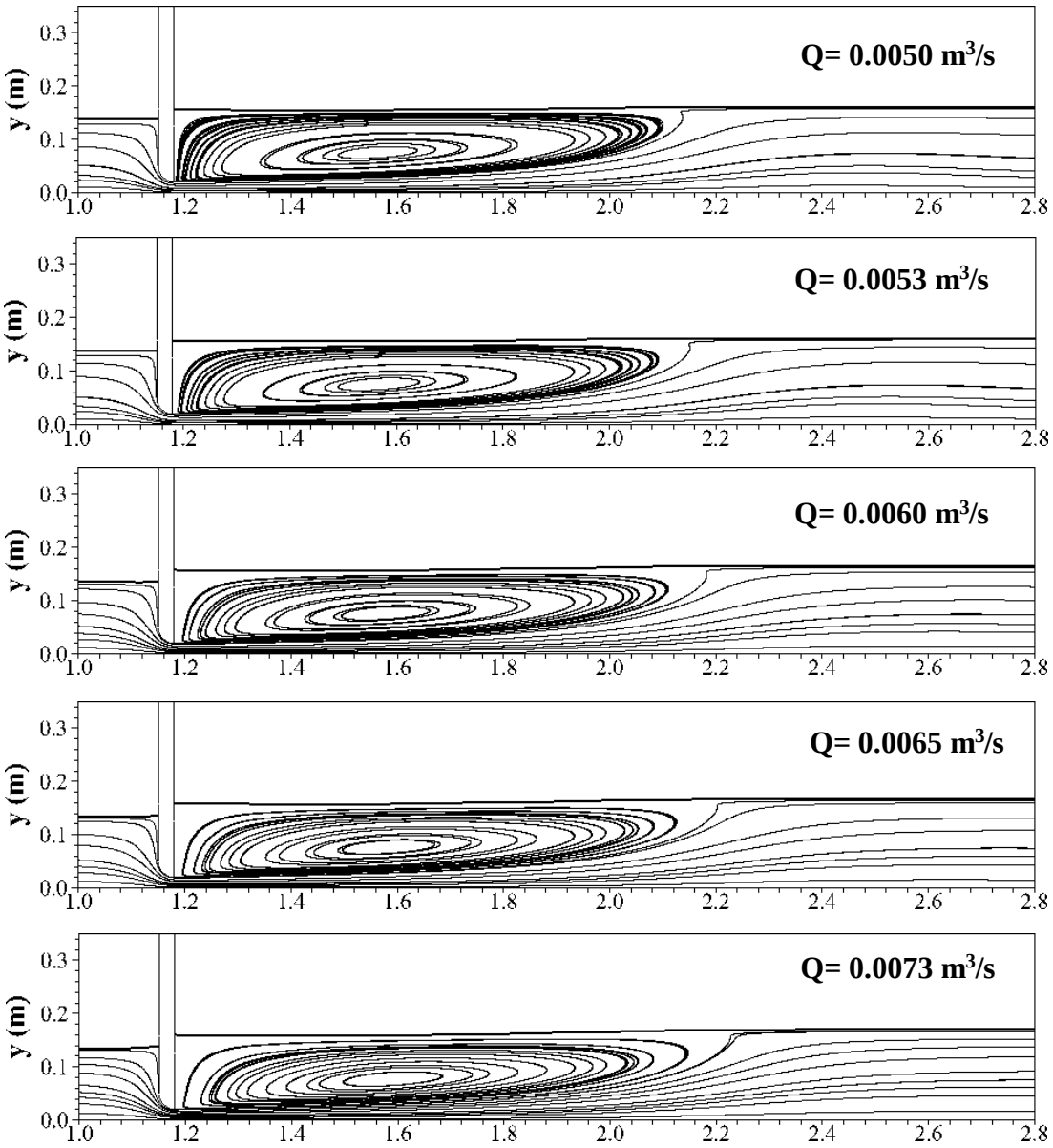
Türbülans kinetik enerji desenleri

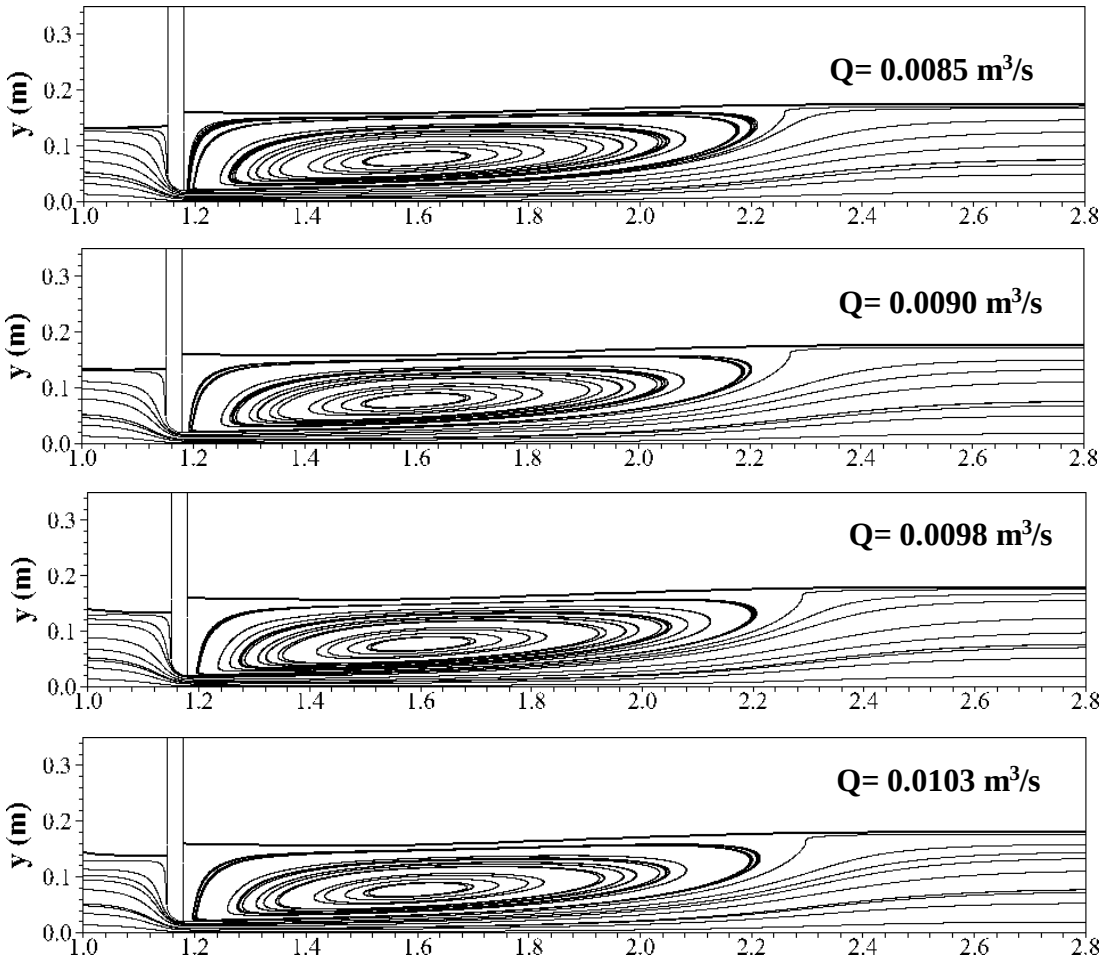
EK 13: Durum 3.a İçin Sayısal Model Sonuçları



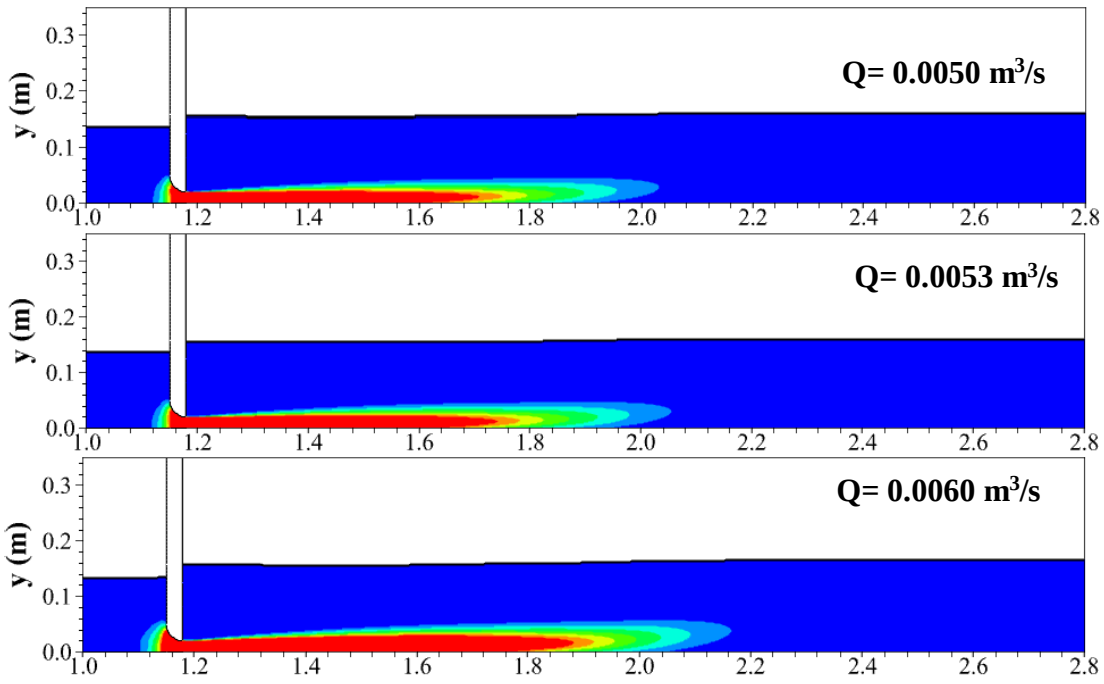


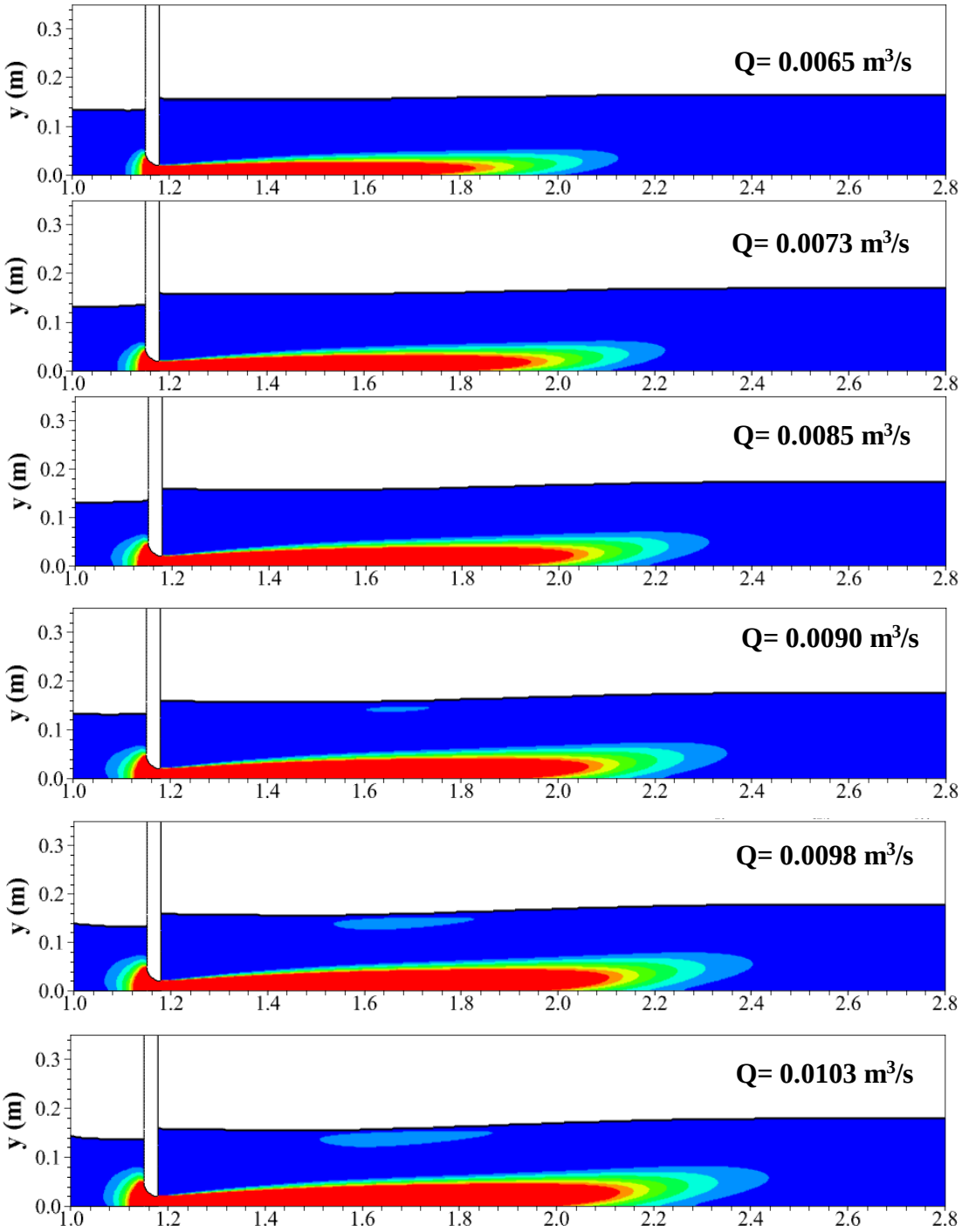
Bileşke hız desenleri



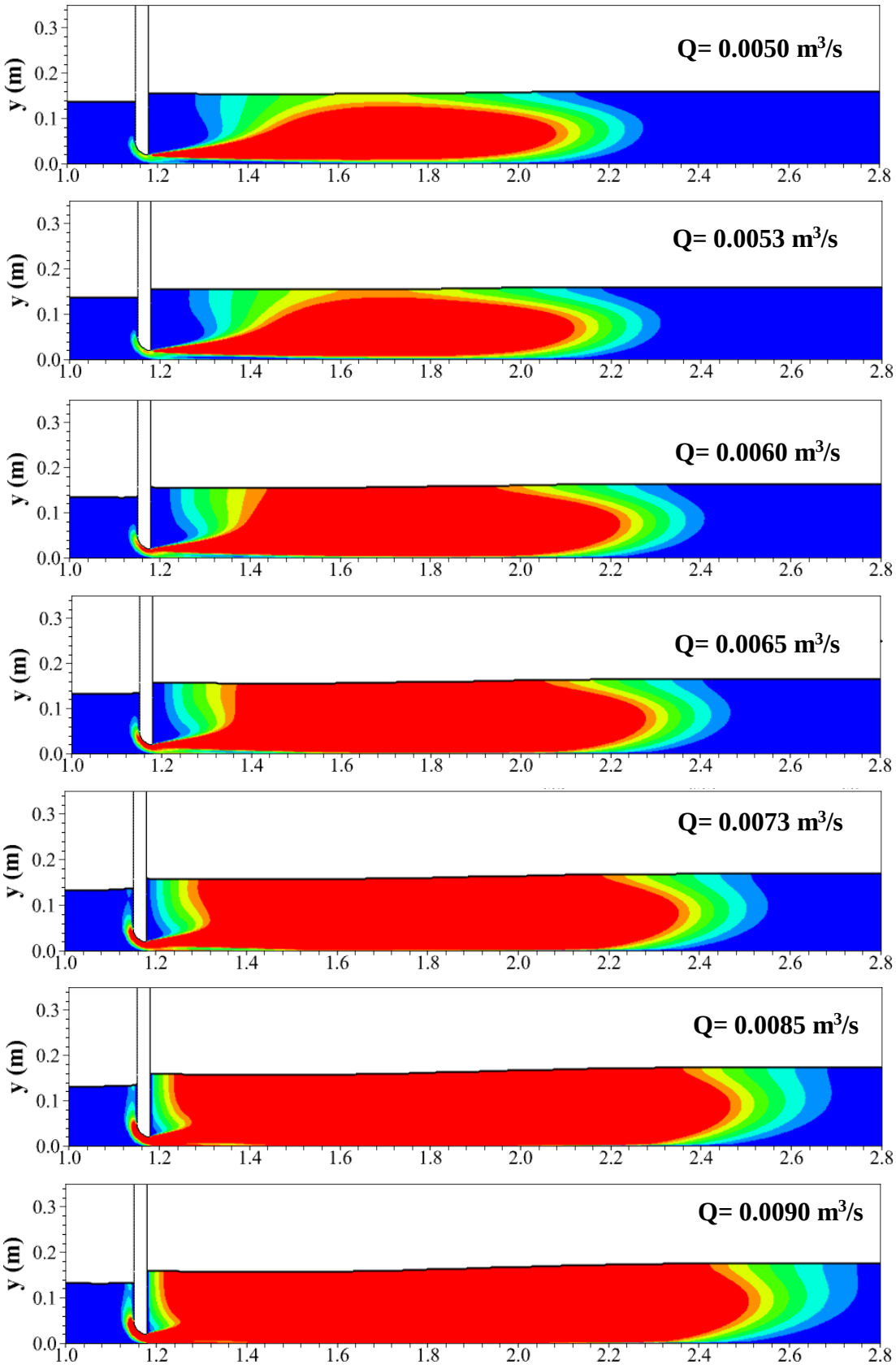


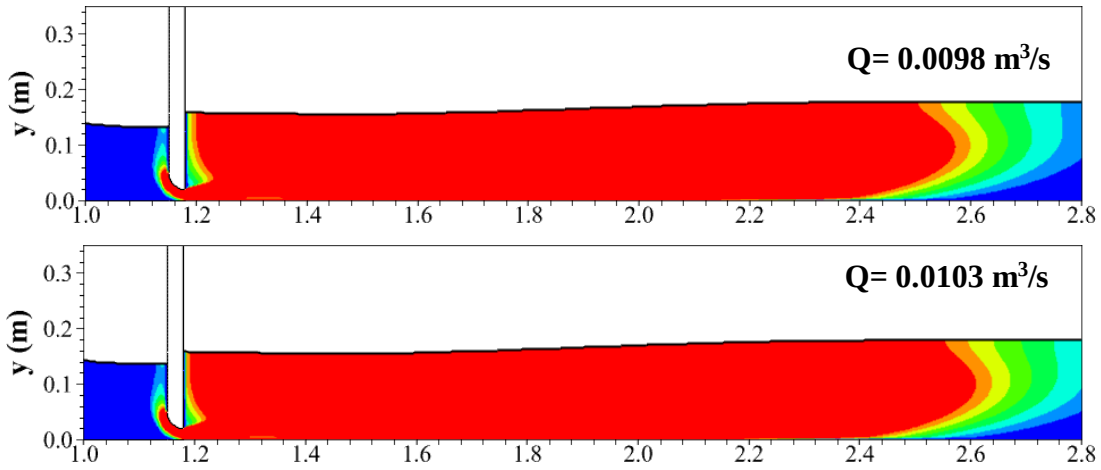
Akım çizgisi desenleri





Dinamik basınç desenleri


Q= 0.0050 m³/s
Q= 0.0053 m³/s
Q= 0.0060 m³/s
Q= 0.0065 m³/s
Q= 0.0073 m³/s
Q= 0.0085 m³/s
Q= 0.0090 m³/s
y (m)
0.0
0.1
0.2
0.3
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
2.0
2.2
2.4
2.6
2.8



Türbülans kinetik enerji desenleri