

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**HEC-RAS ile 1 VE 2 BOYUTLU TAŞKIN ANALİZİ: GÜMÜŞHANE BAHÇECİK
DERESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS

Şafak MUSLU

AĞUSTOS-2025
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**HEC-RAS ile 1 VE 2 BOYUTLU TAŞKIN ANALİZİ: GÜMÜŞHANE BAHÇECİK
DERESİ ÖRNEĞİ**

**1 AND 2 DIMENSIONAL FLOOD ANALYSIS WITH HEC-RAS: GÜMÜŞHANE
BAHÇECİK STREAM EXAMPLE**

YÜKSEK LİSANS

Şafak MUSLU

**AĞUSTOS-2025
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**HEC-RAS ile 1 VE 2 BOYUTLU TAŞKIN ANALİZİ: GÜMÜŞHANE BAHÇECİK
DERESİ ÖRNEĞİ**

**1 AND 2 DIMENSIONAL FLOOD ANALYSIS WITH HEC-RAS: GÜMÜŞHANE
BAHÇECİK STREAM EXAMPLE**

YÜKSEK LİSANS

Şafak MUSLU

Danışman: Prof. Dr. Salim Serkan NAS

**AĞUSTOS-2025
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**HEC-RAS ile 1 ve 2 Boyutlu Taşkın Analizi: Gümüşhane Bahçecik Deresi Örneği**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

15/08/2025

.....
Şafak MUSLU

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarım boyunca tez danışmanlığımı üstlenerek, yoğun çalışma programına rağmen çalışmanın her aşamasında engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Salim Serkan NAS'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitemde bulunarak değerli görüş, eleştiri ve önerileriyle yol gösteren Doç. Dr. Rahim ŞİBİL ile Dr. Öğr. Üyesi Murat ŞAN hocalarıma teşekkür ederim. Onların bilgi birikimleri ve yardımları, bu tezin gelişimine önemli katkıda bulunmuştur. Tez süreci boyunca kıymetli bilgileri ve yardımlarıyla sınırsız destek sunan Doç. Dr. Tuğçe ANILAN ve Öğr. Gör. Çağrı AKGÜN hocalarıma ve tez savunma jüri üyem Atakan AKSOY' a teşekkür ederim.

Topoğrafik ve hidrometrik verilerin temini için yardımlarını esirgemeyen Devlet Su İşleri 22. Bölge Müdürlüğü, sayısal yükseklik haritasını aldığımız Harita Genel Müdürlüğü'ne, sayısal yükseklik haritasında düzenleme yapan ve ArcGis programında bana yardımcı olan Harita Mühendisi Doç. Dr. Mehmet Akif Günen'e ve kullanılan program hakkında bilgisine başvurduğum kıymetli hocam Prof. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU'na ve hayatımın her alanında desteğini aldığım aileme, eşime ve oğullarıma teşekkür ederim.

Şafak MUSLU
GÜMÜŞHANE 2025

ÖZET

Hızla artan nüfus, plansız yapılaşma, yanlış arazi kullanımı ve taşkın yataklarının imara açılması gibi faktörler taşkınların sayısını ve yol açtığı zararları son yıllarda ciddi şekilde artırmıştır. Bu durum, özellikle yerleşim alanlarında taşkın risklerinin belirlenmesini ve gerekli önlemlerin alınmasını kaçınılmaz bir gereklilik haline getirmiştir.

Çalışma alanı olan Gümüşhane ili Kelkit ilçesi, ilk yerleşim yerlerinin dere yataklarından uzak inşa edilmesi sayesinde taşkınlar açısından başlangıçta güvenli bir bölge konumundaydı. Ancak, son 100 yıllık süreçte artan nüfus ve çarpık kentleşme nedeniyle alçak taraçalar ile dere yataklarının işgal edilmesi ve yapılaşmanın hız kazanması, taşkın sıklığının artmasına neden olmuştur. Bu nedenle Kelkit, taşkın risklerinin belirlenmesi ve gerekli önlemlerin planlanması gereken bir yerleşim alanına dönüşmüştür.

Bu tez çalışmasında, Gümüşhane ili Kelkit ilçesine bağlı Yeniyol Köyü yerleşim yerinde muhtemel taşkın riski taşıyan alanların tespit edilmesi amacıyla, köyden geçen Bahçecik Deresi'nin taşkın haritaları HEC-RAS programı kullanılarak hazırlanmıştır. Yerleşim alanları ve tarım arazilerinin içinden geçen Bahçecik Deresi, özellikle Nisan ve Mayıs aylarında taşkınlara yol açmaktadır.

Çalışma kapsamında, bölgeye ait sayısal yükseklik haritası USGS sitesinden 30m çözünürlükte alınmış ArcGIS yazılımının bir modülü ile 5m çözünürlükte TIN haritası üzerinde sayısallaştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. DSİ 22. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen hidrometrik veriler ışığında HEC-RAS yazılımında, Q_{25} , Q_{100} ve Q_{500} taşkın tekerrür (yineleme) debilerine göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda su yüzü kotları ve taşkın sınırları belirlenmiştir.

Bu çalışma ile CBS tabanlı taşkın analizinde gerçeğe en yakın sonuçların elde edilmesi ve yerleşim alanları ile tarım arazilerinde taşkınların neden olacağı zararların öngörülerek giderilmesine yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: ArcGIS, HEC-RAS, Bahçecik deresi, Taşkın, haritalar

SUMMARY

Factors such as rapidly increasing population, unplanned construction, improper land use and development of floodplains have caused the soil surface to become impermeable, which has seriously increased the number of floods and the damages they cause in recent years. This situation has made it an inevitable necessity to determine flood risks and take necessary precautions, especially in residential areas.

The study area, Kelkit district of Gümüşhane province, was initially a safe area in terms of floods, thanks to the fact that the first settlements were built away from stream beds. However, due to the increasing population and unplanned urbanization in the last 100 years, the occupation of low terraces and stream beds and the acceleration of construction have led to an increase in the frequency of floods. For this reason, Kelkit has turned into a residential area where flood risks must be determined and necessary precautions must be planned.

In this thesis study, flood risk maps of Bahçecik Stream passing through the village were prepared using geographical information systems (GIS) in order to identify areas with possible flood risk in Yeniyol Village settlement in Kelkit district of Gümüşhane province. Bahçecik Stream, passing through residential areas and agricultural lands, causes floods, especially in April and May.

Within the scope of the study, the digital elevation map of the region was taken from the USGS website at 30m resolution and digitization operations were performed on the TIN map at 5m resolution with a module of ArcGIS software. In the light of the hydrometric data obtained from the DSI 22nd Regional Directorate, calculations were made according to the Q25, Q100 and Q500 flood recurrence flow rates in the HEC-RAS software. As a result of these calculations, water surface elevations and flood boundaries were determined.

In this study, suggestions were presented for obtaining the most realistic results in GIS-based flood analysis and for predicting and eliminating the damages that floods will cause in residential areas and agricultural lands.

Keywords: ArcGIS, HEC-RAS, The Bahcecik stream, Flood risk maps

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET	IV
SUMMARY	VI
İÇİNDEKİLER	VII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
EKLER DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVI
1.GİRİŞ	1
2.TAŞKIN	6
2.1.Taşkınların Nedenleri.....	7
2.1.1.Taşkın Oluşumunu Etkileyen Doğal Nedenler	8
2.2.Taşkın Oluşumunu Etkileyen İnsani Nedenler	10
2.3.Taşkından Korunma Yöntemleri.....	17
2.3.1.Taşkın Önleme Yapıları	17
2.3.2.Tersip Bentleri.....	17
2.3.3.Sekiler	19
2.3.4.Biritler	19
2.3.5.Sel Kapanları.....	20
2.3.6.Taşkın Koruma Kanalları	21
2.3.7.Barajlar	23
3.KURAMSAL TEMELLER	26
4.HEC-RAS PAKET PROGRAMI.....	38
4.1.Teorik Arka Plan	39
4.1.1.Varsayımlar	40
4.2.1B Kararsız Akış	40
4.2.1.1B Süreklilik Denklemi.....	40
4.2.2.1B Momentum Denklemi.....	40
4.3.2B Kararsız Akış	41
4.3.1.2B Süreklilik Denklemi.....	41

4.3.2.1B Momentum Denklemi.....	41
4.4.Modelleme Basitleştirmeleri	42
4.5.HEC-RAS ile Su Yüzü Profillerini 1B Modelleme	42
4.6.HEC-RAS 1B Daralma ve Genişleme Kaybının Belirlenmesi	44
4.7.HEC-RAS 1B Hesap Adımları.....	44
4.8.HEC-RAS 1B için Kritik Derinlik Hesaplanması.....	45
4.9.HEC-RAS 1B Momentum Denkleminin Kullanımı	47
4.10.HEC-RAS 1B Menfezlerin Modellenmesi.....	51
4.10.1.HEC-RAS 1B Menfez Çeşitleri	52
4.10.2.HEC-RAS 1B Kesit Yeri	53
4.10.3.HEC-RAS 1B Doğrudan Adım Yöntemi ile Su Yüzü Profil Hesaplamaları.....	58
4.11.HEC-RAS ile 2B Modelleme.....	60
4.12.HEC-RAS ile 2B Akım Modellemesinin Avantajları ve Özellikleri	60
4.13.2B Hesap Ağının Geliştirilmesi	65
4.14.2B Hesaplama Ağının Oluşturulması.....	66
4.15.Hesaplama Ağının Düzenlenmesi/Değiştirilmesi	69
4.16.2B Akım Alanı Dış Sınır Şartları	70
4.17.Uygun Ağ Ölçülerinin ve Hesaplama Zaman Aralığının Seçimi	70
4.18.Pratik Olarak Zaman Adımının Seçimi.....	72
4.19.Hesaplamaların Gerçekleştirilmesi	73
4.20.Sonuçların RAS Mapper Kullanılarak Görüntülenmesi	75
5.MATERYAL YÖNTEM	76
5.1.Çalışma Alanı.....	76
5.1.1.Havza Özellikleri	76
5.1.2.Bölgenin İklim Özellikleri	77
5.1.3.Bölgenin Toprak ve Arazi Kullanım Özellikleri.....	78
5.2.Taşkın Debileri.....	79
5.3.Bahçecik Deresinin 1B Modellenmesi.....	80
5.3.1.Menfezlerin Tanımlanması	83
5.3.2.Debi ve Kararlı Akış Analizi.....	87
5.3.3.Düzenli Akım Analiz Sonuçları	90
5.4.Bahçecik Deresinin 2B Modellemesi.....	98
5.4.1.2B Alanın Tanımlanması	98
5.4.2.Değişken Akım Veri Girişi	100
5.4.3.2B Alan Değişken Akım Analizi	102

5.4.4.Q ₂₅ Değişken Akım Sonuçlarının İncelenmesi	103
5.4.5.Q ₁₀₀ Değişken Akım Sonuçlarının İncelenmesi.....	105
5.4.6.Q ₅₀₀ Değişken Akım Sonuçlarının İncelenmesi.....	107
5.5.Bahçecik Deresi 2B Taşkın Risk Analizi.....	108
6. SONUÇLAR	114
EKLER	125
ÖZGEÇMİŞ	151



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Türkiye’de son yıllarda oluşan taşkınlar ve zararları (DSİ, 2017).....	14
Tablo 2. Kritik altı akım daralma ve genişleme katsayıları.....	44
Tablo 3. Bahçecik deresi yinelemeli taşkın debileri.....	79
Tablo 4. Derinlik ve hıza bağlı taşkın risk sınıfları	108
Tablo 5. Bahçecik deresi Q_{25} taşkın alan ve risk durumları	110
Tablo 6. Bahçecik deresi Q_{100} taşkın alan ve risk durumları.....	112
Tablo 7. Bahçecik deresi Q_{500} taşkın alan ve risk durumları.....	113



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Akarsu yatağının taşkın durumunda temsili görünümü	6
Şekil 2. Taşkın durumunda sular altında kalan yerleşim yerleri örnekleri	12
Şekil 3. Sıcaklıkların geçen yıllara göre mukayesesi (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024)	13
Şekil 4. Karadeniz Bölgesi su yılı alansal yağışların normalleri ve geçen yıl ile karşılaştırılması (MGM, 2024).....	14
Şekil 5. Türkiye’de 2010-2021 yılları arasındaki şiddetli yağış/sel afetlerinin illere göre dağılımı	15
Şekil 6. Doğal arazi yapısının yapılaşma sonucu bozulması (Ethic Water, 2023)	16
Şekil 7. Tersip Bentleri Örnekleri (DSİ)	18
Şekil 8. Sekiler Örnekleri (DSİ).....	19
Şekil 9. Biritler Örnekleri (DSİ).....	20
Şekil 10.Sel Kapanları Örnekleri (DSİ)	21
Şekil 11. Taşkın Koruma Kanalları Örnekleri (DSİ)	22
Şekil 12. Barajlar Örnekleri (DSİ)	24
Şekil 13. Enerji denklemindeki büyüklüklerin grafiksel gösterimi	43
Şekil 14. Enerji - su yüzü kotu yükseklik eğrisi	47
Şekil 15. Momentum yöntemindeki büyüklükler	48
Şekil 16. Menfez yol geçişi örneği.....	52
Şekil 17. Yaygın olarak kullanılan menfez kesitleri	53
Şekil 18. Menfezin boy kesiti.....	54
Şekil 19. Menfez modelinde 2 nolu kesitin görünümü	55
Şekil 20. Tam dolu menfezde enerji ve piyezometre çizgileri.....	57
Şekil 21. HEC-RAS 2B modeli hesaplama ağı elemanları	66
Şekil 22. 2B akım alanı ağ oluşturma penceresi	67
Şekil 23. Hücre nokta mesafelerinin belirlendiği pencere	68
Şekil 24. Değişken akım analiz penceresi ve taşkın plan özellikleri	74
Şekil 25. 1B/2B taşkın yayılmasını gösteren RAS Mapper penceresi	75
Şekil 26. Yenyol Köyü Bahçecik Deresi Mevcut Bir Görünümü.....	76
Şekil 27. Bahçecik deresi taşkın riskine açık bir görünüm	77
Şekil 28. Bahçecik deresi bahar ayında yağışlı bir görünüm	77
Şekil 29. Bahçecik deresi nisan ayındaki yağıştan ve kar erimesinden bir görünüm	79

Şekil 30. Bahçecik Deresi Yağış Halindeki Görünümü.....	80
Şekil 31. Bahçecik deresi sayısal yükseklik haritası (DEM)ve dere ana çizgisi.....	81
Şekil 32. Bahçecik deresi ana yatak ve taşkın yatak sınırları	81
Şekil 33. Bahçecik deresi oluşturula enkesitler.....	82
Şekil 34. Bahçecik deresi örnek enkesit profil görünümü	82
Şekil 35. Bahçecik deresi boy kesit görünümü ve eğimi	83
Şekil 36. Bahçecik deresi üzerinde tanımlanan 1 nolu menfez görünümü	84
Şekil 37. 1 Nolu menfeze ait veri giriş ve görünüm penceresi	85
Şekil 38. 1 Nolu menfez özelliklerinin tanımlanması.....	86
Şekil 39. Bahçecik Deresi 1 Nolu menfez plan ve kesit görüntüleri	86
Şekil 40. Bahçecik Deresi 2 Nolu menfez plan ve kesit görüntüleri	87
Şekil 41. Bahçecik Deresi 3 Nolu menfez plan ve kesit görüntüleri	87
Şekil 42. Bahçecik deresi düzenli akım veri giriş penceresi.....	88
Şekil 43. Membra ve Mansap sınır şartlarının tanımlanması.....	89
Şekil 44. Düzenli akım analiz penceresi.	89
Şekil 45. Bahçecik deresi Q_{25} boy kesit akım profili	91
Şekil 46. Bahçecik deresi Q_{100} boy kesit akım profili.....	91
Şekil 47. Bahçecik deresi Q_{500} boy kesit akım profili.....	92
Şekil 48. Q_{25} debisinde menfezlerde oluşan akım	93
Şekil 49. Q_{100} debisinde menfezlerde oluşan akım	93
Şekil 50. Q_{500} debisinde menfezlerde oluşan akım	94
Şekil 51. Q_{25} debisinde kesitlerde hesaplanan akım özellikleri	94
Şekil 52. Q_{100} debisinde kesitlerde hesaplanan akım özellikleri.....	95
Şekil 53. Q_{500} debisinde kesitlerde hesaplanan akım özellikleri.....	96
Şekil 54.(a)	97
Şekil 55. (b).....	97
Şekil 56. Çalışma alanının SYH ve uydu görüntüsü.....	98
Şekil 57. 2B akım alanı düzenleme penceresi.....	100
Şekil 58. Q_{25} , 2B değişken akım veri giriş penceresi.....	100
Şekil 59. Q_{25} değişken akım hidrografı.....	101
Şekil 60. Değişken akım analiz penceresi.....	102
Şekil 61. Bahçecik deresi, Q_{25} , 2B taşkın derinlik dağılımı.....	104
Şekil 62. Bahçecik deresi, Q_{25} , deresi 2B taşkın hız dağılımı.....	104
Şekil 63. Bahçecik deresi, Q_{25} , deresi 2B taşkın su yüzü yükseklik dağılımları	105
Şekil 64. Bahçecik deresi, Q_{100} , 2B taşkın derinlik dağılımı	105

Şekil 65. Bahçecik deresi, Q_{100} , 2B taşkın hız dağılımı.....	106
Şekil 66. Bahçecik deresi, deresi, Q_{100} , 2B taşkın su yüzü yükseklik dağılımları	106
Şekil Şekil 67. Bahçecik deresi, Q_{500} , 2B taşkın derinlik dağılımı	107
Şekil 68. Bahçecik deresi, Q_{500} , 2B taşkın hız dağılımı.....	107
Şekil 69. Bahçecik deresi, Q_{500} , 2B taşkın su yüzü yükseklik dağılımları	108
Şekil 70. Bahçecik deresi 2B taşkın alanı, Q_{25} için DxV dağılımı	109
Şekil 71. Q_{25} taşkın risk dağılımı	109
Şekil 72. Bahçecik deresi 2B taşkın alanı, Q_{100} için DxV dağılımı	110
Şekil 73. Q_{100} taşkın risk dağılımı.....	111
Şekil 74. Bahçecik deresi 2B taşkın alanı, Q_{500} için DxV dağılımı	112
Şekil 75. Q_{500} taşkın risk dağılımı.....	113
Şekil 76. Bahçecik deresi 760 (3. Menfez) nolu kesit görünümü	133
Şekil 77. Bahçecik deresi 760 (3. Menfez) nolu kesit görünümü	133
Şekil 78. Bahçecik deresi 760 (3. Menfez) nolu kesit menba görünümü	134
Şekil. 79. Bahçecik deresi 760 (3. Menfez) nolu kesit mansab görünümü.....	134
Şekil 80. Bahçecik deresi 906 (2. Menfez) nolu kesit görünümü	135
Şekil 81. Bahçecik deresi 1054 nolu kesit menba görünümü	135
Şekil 82. Bahçecik deresi 1054 nolu kesit mansab görünümü.....	136
Şekil 83. Bahçecik deresi 997 nolu kesit görünümü	136
Şekil 84. Bahçecik deresi 1116 nolu kesit görünümü	137
Şekil 85. Bahçecik deresi 660 nolu kesit görünümü	137
Şekil 86. Bahçecik deresi 695 nolu kesit görünümü	138
Şekil 87. Bahçecik deresi 515 nolu kesit görünümü	138
Şekil 88. Bahçecik deresi 124 nolu kesit görünümü	139
Şekil 89. Bahçecik deresi 7 nolu kesit görünümü	139
Şekil 90. Bahçecik deresi 40 nolu kesit görünümü	140
Şekil 91. Bahçecik deresi 11 nolu kesit görünümü	140
Şekil 92. Bahçecik deresi 906 (2. Menfez) nolu kesit menba görünümü	141
Şekil 93. Bahçecik deresi 426 nolu kesit görünümü	141
Şekil 94. Bahçecik deresi 379 nolu kesit görünümü	142
Şekil 95. Bahçecik deresi 695 nolu kesit görünümü	142
Şekil 96. Bahçecik deresi 660 nolu kesit görünümü	143
Şekil 97. Bahçecik deresi 808 nolu kesit görünümü	143
Şekil 98. Bahçecik deresi 695 nolu kesit görünümü	144
Şekil 99. Bahçecik deresi 957 (1. Menfez) nolu kesit görünümü	144

Şekil 100. Bahçecik deresi 861 nolu kesit görünümü	145
Şekil 101. Bahçecik deresi 957 (1. Menfez) nolu kesit menba görünümü	145
Şekil 102. Bahçecik deresi 957 (1. Menfez) nolu kesit mansab görünümü	146
Şekil 103. Bahçecik deresi 1054 nolu kesit görünümü	146
Şekil 104. Bahçecik deresi 1054 nolu kesit görünümü	147
Şekil 105. Bahçecik deresi 957 (1. Menfez) nolu kesit önden görünümü	147
Şekil 106. Bahçecik deresi 906 (2. Menfez) nolu kesit görünümü	148
Şekil 107. Bahçecik deresi 906 (2. Menfez) nolu kesit mansab görünümü	149
Şekil 108. Bahçecik deresi 906 (2. Menfez) nolu kesit menba görünümü	149
Şekil 109. Bahçecik deresi 906 (2. Menfez) nolu kesit görünümü	150



EKLER DİZİNİ

Ek 1. Menfez memba ve mansap kesitlerinde oluşan akım profilleri	125
Ek 2. Fotoğraflar	133



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Havza alanı
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AHY	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
A_i	: 1 ve 2 kesitlerindeki kesit ıslak alanı
a_1, a_2	: hız katsayısı
BM	: Birleşmiş Milletler
C	: Akış Katsayısı
C	: genişleme veya daralma kayıp katsayısı
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CN	: Eğri değeri
C_t	: Eğim katsayısı
ÇÖKA	: Çok Ölçütlü Karar Analizi
D	: Taşkını oluşturan yağış süresi
Err I-2	: iki adım önceki hata
DKH	: Doğu Karadeniz Havzası
DSİ	: Devlet Su İşleri
EPA SWMM	: Çevre Koruma Kuruluşu Yağmur Suyu Yönetim Modeli
FEMA	
F_f	: Federal Acil Durum Yönetim Ajansı
FHWA	: 1 ve 2 kesitleri arasındaki sürtünme katsayısı : Federal Karayolu İdaresi
G	: Yer çekimi ivmesi
GEV	: Genelleştirilmiş Ekstrem Değer
GIS	: Geographical Information Systems
GLO	: Genelleştirilmiş Lojistik
H	: toplam enerji yüksekliği
h_a	: 1 mm yağışta oluşacak debi
Ha	: Hektar
HEC-RAS	: Hydrologic Engineering Centers Rive Analysis System
HGK	: Harita Genel Komutanlığı

H_k	: Havza özelliklerine göre değişen katsayı
HW	: su yükü
$\dot{I}$	: Toprağın su emme değeri
K	: Havza katsayısı
Km	: Kilometre
L	: Havza uzunluğu
L_c	: Havza ağırlık merkezinin memba veya mansaba en uzak mesafesi
L_d	: Havzadaki akarsuların toplam uzunluğu
L_{lob}, L_{ch}, L_{ro}	: akım yolu uzunluğu sırasıyla , sol taşkın kanalı, ana kanal ve sağ taşkın kanalı
m	: Yatağın mendereslenme düzeyini dikkate alan düzeltme faktörü
MCDA	: Çok Kriterli Karar Verme Analizi
n	: Manning pürüzlülük katsayısı
n_b	: Doğal jeolojik malzeme içinde oluşmuş doğrusal, üniform ve yumuşak uzanımlı yatak baz n değeri
n_1	: Yatak yüzeyi düzensizliğini dikkate alan düzeltme faktörü
n_2	: Yatak kesitindeki biçim ve büyüklük değişimini dikkate alan düzeltme faktörünü
n_3	: Yatak içindeki akış engellerini dikkate alan düzeltme faktörü
n_4	: Yatak içindeki bitkileri ve akım koşullarını dikkate alan düzeltme faktörü
P	
R	: 1 ve 2 kesitlerindeki hidrostatik basınç kuvveti
	: hidrolik yarıçap
q_b	: Birim debi
Q_{lob}, Q_{ch}, Q_r	: kesitler arasındaki ortalama debi sırasıyla , sol taşkın kanalı, ana kanal ve sağ taşkın kanalı
Q_p	: Taşkın debisi
S	: Harmonik eğim
S_h	: Akarsu ana kollarının harmonik eğimi
S_0	: ana kanal taban eğimi
SYM	: Sayısal yükseklik modeli
t_c	: Toplanma süresi
t_h	: Havzanın gecikme süresi
TIN	: Triangulated Irragular Network (Düzensiz Üçgen Ağı)

TL	: Türk Lirası
TOKİ	: Toplu Konut İdaresi Başkanlığı
t_p	: Hidrografın pik noktası ile havza ağırlık merkezi arasındaki zaman farkı
t_r	: Taşkın sönümlenme süresi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UA	: Uzaktan Algılama
UKVA	: Ulusal Konumsal Veri Altyapısı
V	: akım dalga hızı
V_1, V_2	: yeni kabul edilen su yüzü
V_z	: kesit 2 deki akım hızı
Y_c	: 1 ve 2 kesitlerindeki su yüzü ile kesit merkezi arasındaki derinlik
Y_i	: menfez mansap çıkış ağzındaki su yüksekliği
YSA	: Yapay Sinir Ağı
Y_z	: kesit 2 deki su yüksekliği
Y_1, Y_2	: kesit akım derinliği
Z_c	: menfez mansap yüksekliği
Z_z	: menfezin memba iç kısmındaki akım hızı
z_1, z_2	: ana kanal taban yüksekliği
V_1, V_2	: ortalama hız (debi/akım alanı)
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü
WMS	: Havza Modolleme Sistemi
WSI	: yeni kabul edilen su yüzü
WSI-1	: bir önceki adımda kabul edilen su yüzü
WSI-2	: iki adım önceki kabul edilen su yüzü
W_s	: su yüzü yüksekliği
W_x	: ağırlık kuvvetinin x bileşeni
p	: suyun özgül kütlesi
ΔV_x	: x doğrultusunda 1 ve 2 noktaları arasındaki hızdaki değişim
WSU	: memba su yüksekliği
ΔT	: hesaplama zaman aralığı
Π	: kayma gerilmesi
ΔX	: ortalama hücre boyutu
ΔD	: Birim sağanak süresi

1. GİRİŞ

Taşkınlar, akarsu yataklarındaki debinin; yoğun yağış, kar erimesi, heyelan, baraj ve göletlerden kontrolsüz su salımı ya da nehir morfolojisindeki değişiklikler sonucunda artarak, akarsu rejiminin dışına taşmasıyla çevresindeki yerleşim alanlarına, tarım arazilerine ve altyapı sistemlerine zarar vermesi şeklinde tanımlanan hidrometeorolojik kaynaklı doğal afetlerdir. Taşkın olayları; barajlar, menfezler, köprüler, yol altyapısı gibi mühendislik yapıları üzerinde ciddi yapısal ve işlevsel tehditler oluşturmakta; bununla birlikte can ve mal kayıplarına neden olmaktadır.

Su, gerek bireysel yaşam gerekse altyapı sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından temel bir kaynak olduğundan, tarihsel süreçte insan yerleşimleri büyük oranda su kaynaklarına yakın alanlarda konumlanmıştır. Ancak bu tercih, özellikle düşük kotlu alanlarda, taşkın riski ile birlikte değerlendirildiğinde mühendislik açısından önemli planlama, tasarım ve risk analizlerini zorunlu kılmaktadır.

Günümüzde, iklim değişikliği ile birlikte taşkın olaylarının hem frekansında hem de şiddetinde artış gözlemlenmektedir. Bu durum, taşkın risk yönetimi kapsamında erken uyarı sistemlerinin kurulması, taşkın modellemelerinin yapılması, drenaj ve taşkın kontrol yapılarının tasarımı gibi mühendislik uygulamalarının önemini artırmaktadır. İnşaat mühendisliği disiplini içinde, bu afetlerin öngörülmesi, etkilerinin azaltılması ve dirençli yapılaşmanın sağlanması amacıyla hem yapısal (baraj, bent, taşkın setleri vb.) hem de yapısal olmayan (mevzuat düzenlemeleri, arazi kullanım planlaması, eğitim) önlemlerin entegre bir biçimde ele alınması gerekmektedir. Dünya genelinde ve ülkemizde, taşkınlar tüm afetler içinde can ve mal kaybı açısından ikinci sırada, meteorolojik afetler arasında ise ilk sırada yer almaktadır. Artan şehirleşme ile birlikte taşkınlar, her geçen gün daha ciddi bir sorun haline gelmektedir. Bu durum, mevcut taşkın kontrol yapılarının yetersiz kaldığı yönündeki algıyı da güçlendirmektedir. Günümüzde sel dünyada çok sık meydana gelen doğal bir afettir, tüm doğal afetler arasında en büyük hasar meydana getirme riskine sahiptir. Her yıl dünya genelinde yaklaşık 180 milyon insanı etkileyebilmektedir. Türkiye'de yapılan araştırmalar, taşkınların her yıl yaklaşık 300 milyon ₺ ekonomik kayba neden olduğunu göstermektedir. 1975-2015 yılları arasında Türkiye'de toplam 1.209 taşkın olayı yaşanmıştır. Bu süreçte, 720 kişi hayatını kaybetmiştir, 893.993 hektarlık alan su altında kalmıştır, En fazla taşkının yaşandığı yıl 2015 (122 taşkın) olmuştur. En fazla can kaybının yaşandığı yıl ise 1995 olup, 164 kişi hayatını kaybetmiştir. 1975-2002 yılları

arasında toplam 487 taşkın meydana gelirken, 493 kişi hayatını kaybetmiştir. 2003-2015 yılları arasında ise taşkın sayısı 722'ye yükselmiş, ancak can kaybı 227 olarak kaydedilmiştir. Bu veriler, taşkınların sıklığının arttığını ancak alınan önlemler sayesinde can kayıplarında azalma olduğunu göstermektedir (Mogollón ve ark, 2016, DSI, 2017, Bozkurt, 2020, Spor, 2023).

Taşkın felaketleri, doğal olaylar, jeomorfolojik faktörler ve insan faaliyetlerinin bir araya gelmesiyle oluşan karmaşık süreçlerdir. Yoğun yağışlar veya kar erimeleri sonucu taşkınlar tehlikeli boyutlara ulaşarak can ve mal kaybına, ekonomik zararlara yol açabilen ciddi bir doğal afettir. Bu nedenle taşkınlarla mücadele, çeşitli önlemleri içeren karmaşık ve çok aşamalı çözümler gerektirir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaşayan düşük gelirli insanlar için taşkınlar, mevcut zorluklara ek bir yük getirmektedir. Her ne kadar taşkınlar doğal afetler olsa da meydana geldikleri havzalar, insanların sosyal, ekonomik ve politik çevreleri tarafından doğrudan etkilenmektedir. Çevresel bozulma ve sosyal eşitsizlik gibi sorunlarla birlikte düşünüldüğünde, taşkınlar yoğun nüfuslu bölgelerde ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Taşkınların etkisi, yerleşim alanlarındaki teknik altyapıya, ekonomik gelişmişlik seviyesine ve nüfus yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kentleşme, yüzey özelliklerini ve doğal drenaj sistemlerini değiştirerek bölgenin hidrolojik rejimini bozmakta; bu durum taşkınların frekansını ve şiddetini artırmaktadır. Bu nedenle, taşkın riski yüksek bölgelerde etkin bir taşkın yönetimi ve planlama stratejisi büyük önem taşımaktadır (Yüksek, Ö., Anılan, T., 2016, Ünal, 2022, Elbaşı, 2023).

Doğu Karadeniz Havzası (DKH), meteorolojik yapısı ve engebeli topoğrafyası nedeniyle sık sık taşkınlarla karşı karşıya kalmaktadır. Bölgedeki yerleşim yerlerinin çoğu taşkın riski taşıyan alanlarda bulunmaktadır. Geçmişten günümüze yaşanan taşkınlar, birçok insanın hayatını kaybetmesine, yaralanmasına ve sağlık sorunları yaşamasına neden olmuştur. Ayrıca, her yıl taşkınlardan kaynaklanan zararların azaltılması ve felaketin etkilerinin giderilmesi için milyarlarca TL harcanmaktadır. (Yüksek, Ö., Serencam, U., Üçüncü, O., Anılan, T., 2013). Meteorolojik kökenli doğal afetler arasında yer alan taşkınların oluşum sıklığı, yoğunluğu ve meydana getirdiği zararlar, küresel ısınma ve iklim değişikliğine bağlı olarak artış göstermektedir (Akgül, 2018).

Havzalarda meydana gelebilecek taşkınları önceden tahmin etmek zor olsa da, meteorolojik ve hidrolojik gözlem istasyonlarından elde edilen veriler (yağış miktarı, sıcaklık, akım miktarı, maksimum ve minimum su seviyeleri vb.) kullanılarak çeşitli yöntemlerle taşkın alanları ve taşkın debileri belirlenebilmektedir. Bu tahminler

doğrultusunda mevcut durum analiz edilerek gerekli önlemler alınabilmektedir. Böylece taşkınların yol açabileceği can ve mal kayıpları en aza indirilebilmektedir (Ülke ve ark., 2013). Taşkın afetlerini yalnızca meteorolojik olaylarla açıklamak yeterli değildir. Özellikle Türkiye gibi ekonomik gelişimin hızla devam ettiği ülkelerde, sanayileşme ve sektör çeşitliliğinin getirdiği kentleşme faaliyetleri, havzanın hidrolojik dengesini bozarak taşkın riskini artırmaktadır. Bu dengenin bozulması, büyük çaplı can ve mal kayıplarına yol açan taşkın felaketlerine neden olmaktadır. Bu nedenle, taşkın yönetimi sadece doğal faktörlerle değil, insan kaynaklı etkilerle birlikte ele alınmalı ve sürdürülebilir çözümler geliştirilmelidir (Beden ve ark., 2014; Yılmaz, 2016).

Her nehirde istatistiksel analizler için yeterli gözlem verisi bulunmayabilir. Bu gibi durumlarda, havza yönetimi ve taşkın modellemesi, olası kayıpları önlemek açısından büyük önem taşımaktadır. Taşkın modellemesi kapsamında, taşkın alanları belirlenir, haritalandırılır ve elde edilen veriler doğrultusunda havza planlaması yapılmaktadır. Bu süreçte en önemli veri kaynağı, taşkın tekerrür debileridir. Debilerin olması gerekenden düşük hesaplanması, taşkın modellerinin gerçeği yansıtmamasına ve can ile mal kaybı riskinin artmasına neden olabilmektedir. Öte yandan, debilerin fazla tahmin edilmesi, gereğinden büyük önlemler alınmasına ve maliyetlerin artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, doğru ve dengeli bir taşkın modeli oluşturmak hayati önem taşımaktadır (Kumanlıoğlu & Ersoy, 2018). Taşkın olayları, birçok durumda heyelan gibi diğer jeoteknik afetlerle eş zamanlı olarak meydana gelmekte ve bu durum afetin şiddetini ve yıkıcılığını önemli ölçüde artırmaktadır. Bazı durumlarda heyelanlar taşkına doğrudan neden olurken, bazı vakalarda taşkınlar heyelanları tetiklemekte; her iki senaryoda da olayların birbirini besleyerek çoklu afet riskine yol açtığı görülmektedir. Taşkınların oluşumunda etkili olan faktörler genel olarak doğal ve yapay (antropojenik) unsurlar olmak üzere iki ana başlıkta değerlendirilmektedir. Doğal nedenler arasında; bölgenin yağış rejimi, topoğrafik özellikleri ve jeolojik yapısı özellikle zemin yapısı ve eğim koşulları ön plana çıkmaktadır. Bu faktörler hem yüzey akışının karakterini belirlemekte hem de heyelan oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Yapay nedenler ise insan faaliyetlerinden kaynaklanan müdahalelerdir. Özellikle dere yataklarının daraltılması, doğal akış yollarının değiştirilmesi, orman arazilerinin tarım alanına dönüştürülmesi ve uygunsuz yerleşim uygulamaları hem taşkın hem de heyelan riskini artırmakta ve mühendislik yapılarının güvenliğini tehdit etmektedir. Bu kapsamda, doğru arazi kullanım planlaması, hidrolojik ve jeoteknik risk analizleri ile desteklenen bilinçli mühendislik uygulamaları, taşkın ve heyelan gibi afetlerin önlenmesi veya etkilerinin azaltılması açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle inşaat mühendisliği projelerinde,

bu tür çoklu afet senaryoları dikkate alınarak afet risk yönetimi, yer seçimi, altyapı tasarımı ve dayanıklı yapılaşma stratejileri bütüncül bir şekilde ele alınmalıdır. (Yüksek Ö., Anılan, T., Akçalı, E., 2021).

Taşkınlar doğal bir olay olarak bilinse de, insanoğlunun doğaya yaptığı sürekli müdahaleler nedeniyle etkileri giderek artmaktadır. İnsan kaynaklı taşkınlar, taşkın yataklarına yapılan müdahaleler, baraj ve sedde inşasındaki hatalı projeler ile yetersiz planlamalar sonucu meydana gelirken, doğal taşkınlar ise yağış, heyelan ve iklim değişikliği gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Akarsu yataklarında yer alan köprü, regülatör gibi hidrolik yapılar ile kesitte meydana gelen geometrik değişimlerin su yüzeyi profiline etkisinin belirlenmesi, söz konusu yapıların hidrolik tasarımı ve işletme güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, taşkın sırasında meydana gelebilecek hasarların tahmini ve önlenmesi için doğru analizlerin yapılması gerekmektedir. Akarsular üzerinde herhangi bir su yapısı bulunmadığında, su yüzü profili adım yöntemi, standart adım yöntemi veya grafik iterasyon yöntemi gibi tekniklerle hesaplanabilmektedir. Ancak, akarsu üzerinde bir su yapısı bulunduğunda su yüzü profilinin belirlenmesi daha karmaşık hale gelmektedir. Bu durumda, su yapısının çevresindeki akımı inceleyerek su yüzü profilini tespit etmeye yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Coğrafi bilgi sistemi (GIS), coğrafi referanslı verileri işlemek için girdi, veri yönetimi (veri depolama ve erişim), işleme ve analiz ve çıktı için yetenekler sağlayan bilgisayar tabanlı bir sistemdir. Günümüzde mühendislik uygulamalarında, bu yöntemleri içeren ve hesaplama ile analiz süreçlerini kolaylaştıran çeşitli paket programlar kullanılmaktadır. Bu programlardan biri de, Amerika Birleşik Devletleri Ordu Mühendisler Birliği (USACE) tarafından geliştirilen HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) adlı hidrolik modelleme paket programıdır. Hem akademik literatürde hem de uygulamalarda en yaygın şekilde bilinen ve kullanılan programlardan biridir. HEC-RAS, akarsu hidrodinamiği ve su yüzü profillerinin belirlenmesi için kapsamlı analiz imkânı sağlayan, mühendislik çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir araçtır (Aronoff, 1989, HEC User Guide. 2010, HEC-RAS, 2016, Costabile ve ark., 2020).

Mevcut tez çalışması, altı ayrı bölümden teşekkül etmektedir. Birinci kısımda, su kaynaklarının ve hidrometeorolojik aşırı olaylar olarak taşkınların, hem antroposen faaliyetler hem de ekolojik sistemler üzerindeki kritik önemi vurgulanmış, müteakiben taşkınların yol açtığı çevresel ve sosyoekonomik etkiler incelenmiştir. İkinci kısımda ise, tezin metodolojik çerçevesini oluşturan HEC-RAS yazılım paketi ile

gerçekleştirilen taşkın modellemesi uygulamalarına dair literatürdeki seçkin örnek çalışmalar sunulmuştur.

Üçüncü bölümde, tezle ilgili temel kavramlar açıklanmış ve açık kanal akımlarıyla ilgili temel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, HEC-RAS paket programına dair genel bilgiler paylaşılmış ve taşkın modellemesinde kullanılan arayüzler detaylı bir şekilde tanıtılmıştır.

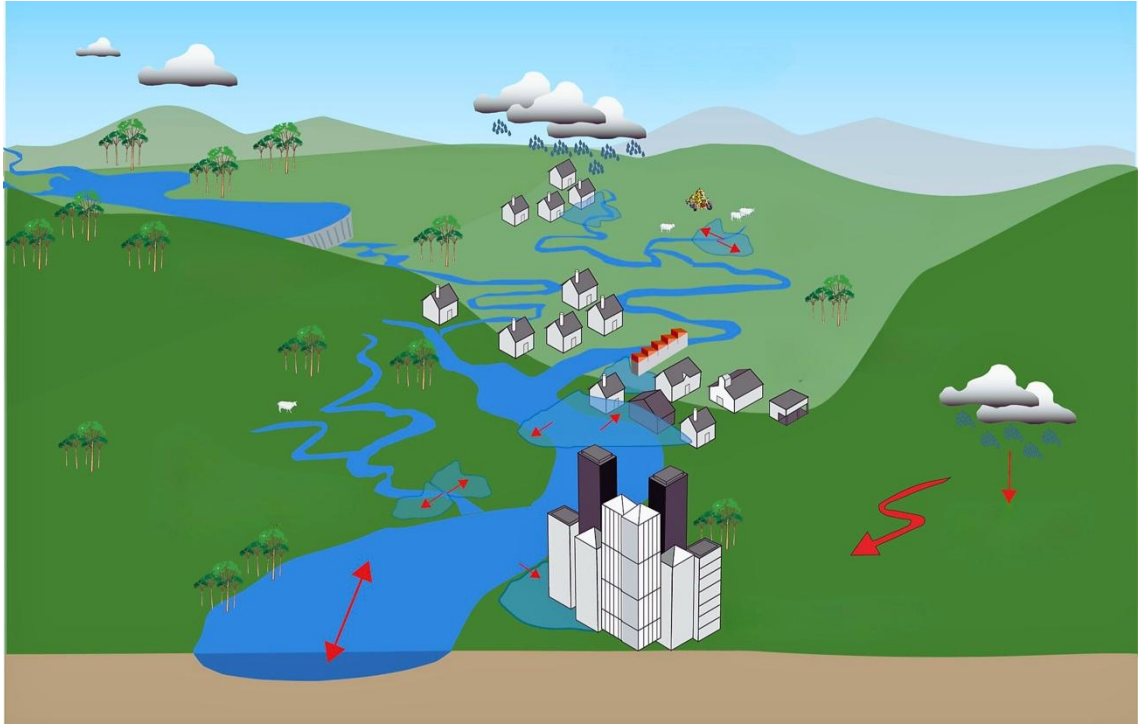
Beşinci bölümde, taşkın alanlarının modellenmesine yönelik örnek bir çalışma sunulmuş, bu süreçte kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Son olarak, altıncı bölümde, tez çalışmasının genel bir değerlendirmesi yapılmış, sonuçlar tartışılmış ve çalışma alanı ile ilgili önerilere yer verilmiştir.



2. TAŞKIN

Taşkın, doğal ya da antropojenik (insan kaynaklı) etkenler sonucu akarsu yataklarında meydana gelen debi artışı ile birlikte suyun taşarak, çevresindeki canlı yaşamına, yerleşim alanlarına, altyapı sistemlerine ve tarımsal alanlara zarar vermesiyle oluşan hidrometeorolojik kökenli bir afettir. Bu tür olaylar, yalnızca iç sularla sınırlı kalmayıp; denizel ortamda dalga hareketleriyle meydana gelen kıyı taşkınları, göl ve benzeri kapalı havzalarda ani seviye yükselmeleri, buzul kütlelerinin hızlı erimesiyle oluşan akışlar gibi çeşitli su kütlelerinde de gözlemlenebilmektedir.

Bu bağlamda taşkın, yalnızca akarsu sistemlerine özgü bir olgu değil; iklimsel değişkenlik, deniz seviyesi dalgalanmaları, jeolojik ve topoğrafik koşullar ile insan müdahalelerinin etkileşimi sonucu oluşan çok yönlü bir afet türü olarak ele alınmalıdır. İnşaat mühendisliği açısından, bu tür olayların önceden modellenmesi, risk zonlarının belirlenmesi, taşkın kontrol yapılarının tasarımı ve kıyı koruma mühendisliği uygulamalarıyla entegre biçimde yönetilmesi büyük önem arz etmektedir. (Akkaya, 2016; Zaifoğlu, 2018). Taşkın senaryosu altında akarsu yatağının kesit düzlemindeki temsili geometrisi Şekil 1'de görsel olarak aktarılmıştır (İnsapedia. 2019).



Şekil 1. Akarsu yatağının taşkın durumunda temsili görünümü

Günümüze kadar dünya genelinde yaklaşık 3250-3500 taşkın olayının meydana geldiği, bu olaylar sonucunda 235.000-240.000 kişinin hayatını kaybettiği ve taşkınlardan doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenen insan sayısının 3,5 milyarı aştığı tahmin edilmektedir. Ayrıca, bu taşkınlar sonucunda oluşan maddi zararların 500 milyar dolardan fazla olduğu değerlendirilmektedir (Taş, vd., 2016).

Taşkınlar, tıpkı dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de, depremden sonra en fazla can ve mal kaybına yol açan meteorolojik kaynaklı doğal afetler arasında yer almaktadır. Türkiye’de 1975–2017 yılları arasında kayıt altına alınan 1209 taşkın vakası, toplam 720 kişinin yaşamını yitirmesine neden olmuştur. Aynı dönemde taşkınların yol açtığı yıllık ortalama ekonomik kayıp yaklaşık 300 milyon Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Bu veriler, taşkın afetlerinin yalnızca fiziksel çevreye değil, aynı zamanda ülke ekonomisine ve toplumsal yapıya da ciddi düzeyde etki ettiğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, taşkın kaynaklı risklerin azaltılması ve etkilerinin yönetilmesi amacıyla hem yapısal (baraj, set, menfez, taşkın kontrol kanalları vb.) hem de yapısal olmayan (erken uyarı sistemleri, arazi kullanım planlaması, kamuoyu eğitimi ve mevzuat düzenlemeleri) önlemlerin bütüncül bir stratejiyle uygulanması gerekmektedir. İnşaat mühendisliği perspektifinden bakıldığında, taşkınlara karşı dirençli altyapı sistemlerinin geliştirilmesi, risk altındaki bölgelerde hidrolik modelleme ve taşkın analizlerinin yapılması, akarsu taşkın kontrol yapılarının tasarımı ve uygulanması, bu sürecin temel bileşenlerini oluşturmaktadır.(Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017). Devlet Su İşleri (DSİ) verilerine göre, 1975-2017 yılları arasında ülkemizde toplam 1478 taşkın olayı yaşanmış, bu olaylar sonucunda 737 kişi hayatını kaybetmiştir. Söz konusu taşkınların ülke ekonomisine verdiği maddi zarar ise 300 ila 350 milyon TL arasında olduğu belirtilmektedir (Keçik, 2019).

2.1. Taşkınların Nedenleri

Taşkınlar, oluşum nedenleri açısından iki ana kategoride değerlendirilmektedir: doğal nedenler ve insan kaynaklı nedenler. Doğal nedenler arasında aşırı yağış, kar erimesi ve topografya gibi etmenler yer alırken; insani nedenler, yanlış arazi kullanımı, plansız şehirleşme ve altyapı eksiklikleri gibi faktörleri kapsamaktadır. Her iki neden de taşkın riskini artırabilir ve uygun önlemler alınmadığı takdirde can ve mal kayıplarına yol açabilmektedir.

2.1.1. Taşkın Oluşumunu Etkileyen Doğal Nedenler

Taşkınların oluşumunu etkileyen doğal faktörler arasında topoğrafik yapı (yükselti, eğim) ve meteorolojik koşullar (iklim özellikleri, bakı yönü, emilim kapasitesi, drenaj sistemi vb.) öne çıkmaktadır. Bu faktörler, suyun yüzeydeki hareketini, akış hızını ve emilimini belirleyerek taşkın riskini doğrudan etkiler. Aşağıda bu parametreler daha detaylı açıklanmıştır.

1) **İklimsel Nedenler:** Taşkınların oluşumunda en önemli etkenlerden biri iklimsel koşullardır. Başlıca iklimsel faktörler arasında aşırı yağışlar ve sıcaklık değişiklikleri yer alırken, bu süreçlerde buharlaşma, nem ve basınç gibi unsurlar da etkili olmaktadır. Bu faktörler, suyun birikimi ve akışını doğrudan etkileyerek taşkın riskini artırmaktadır (Öztürk, 2019).

Şiddetli yağışlar, akarsu yatağından taşarak taşkın oluşumuna yol açan başlıca iklimsel etkenlerdendir. Yağışın birim zamanda düşen miktarı "yağış şiddeti" olarak tanımlansa da, taşkın riskini artıran esas faktör yağış süresinin uzunluğudur. Uzun süreli yağışlar, akarsu yatağındaki su seviyesini sürekli olarak yükseltir ve suyun taşıma kapasitesini aşmasına neden olur. Bu durum, debinin artmasına ve akarsu yatağının dışına taşarak taşkınların meydana gelmesine yol açmaktadır (Karakuyu, 2002; Ertekin, 2018).

Kar yağışı, taşkın oluşumunu etkileyen önemli bir doğal faktördür. Özellikle ilkbahar aylarında, Türkiye'nin yüksek rakımlı bölgelerinde, özellikle Doğu Anadolu'da, kışın yağın yoğun kar tabakası havaların ısınmasıyla birlikte eriyerek akarsulara karışır ve su seviyesinin yükselmesine yol açmaktadır. Bu erime süreci, akarsu yataklarının kapasitesini aşarak taşkınlara neden olmaktadır. Eğimli bölgelerde, eriyen karın hızlı akışı aniden debi artışlarına sebep olur, bu da taşkınların şiddetini artırarak ciddi maddi ve can kayıplarına yol açmaktadır (Uçar, 2010; Yaylak, 2016).

Sıcaklık, taşkın oluşumunu etkileyen temel meteorolojik parametreler arasında yer almaktadır. Düşük sıcaklık koşullarında yağış genellikle kar veya dolu formunda meydana gelirken, sıcaklıkların yükselmesiyle birlikte yağışın formu yağmura dönüşmektedir. Türkiye'nin yüksek rakımlı bölgelerinden biri olan Doğu Anadolu Bölgesi, yıl boyunca düşük sıcaklık değerleri göstermesi nedeniyle, diğer bölgelere kıyasla daha yoğun ve uzun süreli kar yağışları almaktadır.

Özellikle ilkbahar aylarında (Nisan-Mayıs) hava sıcaklıklarındaki artışla birlikte, bölgede birikmiş olan kar örtüsü hızlı bir şekilde erimekte ve bu durum, taşkın riskini önemli ölçüde artırmaktadır. Eriyen karın bir bölümü buharlaşma yoluyla

atmosfere karışarak konvektif yağışların oluşmasına katkı sağlarken, kalan kısmı ise yüzey akışı yoluyla akarsu sistemlerine dâhil olmakta ve debi artışına neden olmaktadır. Ani kar erimeleri ile birlikte görülen şiddetli ilkbahar yağışları, akarsu rejiminde kısa sürede ani ve yüksek debili akışlara yol açmaktadır. Bu iki faktörün eş zamanlı etkisi, taşkın oluşumunu tetiklemekte ve özellikle su tutma kapasitesi sınırlı olan dere yataklarında taşkın debisinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum, hem yerleşim alanlarında hem de altyapı tesislerinde ciddi düzeyde can ve mal kayıpları ile sonuçlanabilecek afet senaryolarını beraberinde getirmektedir. İnşaat mühendisliği açısından, bu tür olayların öngörülebilirliği açısından kar erime modellemeleri, hidrolojik tahmin sistemleri ve taşkın erken uyarı mekanizmalarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda akarsu havzalarında yapılacak taşkın kontrol yapılarının tasarımı ve uygulanması, bu risklerin minimize edilmesine katkı sağlamaktadır. (Ertekin, 2018; Karakuyu, 2002).

Yoğun yağışlar, toprak kayması ve madde taşınımını artırarak taşkın riskini büyötmektedir. Toprak kayması ve taşınan malzemeler, akarsu yatağında birikerek kesit alanını daraltır ve taşkın esnasında, bu daralmış kesitte suyun hızı süreklilik denklemi gereği artar. Bu hızlanma, taşkının yıkıcı etkilerini önemli ölçüde artırmaktadır. Özellikle yerleşim bölgelerinde, taşınan malzemeler akarsu yataklarında, köprüler ve menfezlerde suyun akışını engelleyerek birikmelere neden olmaktadır. Bu birikmeler, akarsu seviyesinin hızla yükselmesine ve debinin kontrol edilememesine yol açar, böylece taşkının boyutunu ve etkisini büyötmektedir. Ayrıca, nem ve basınç gibi meteorolojik faktörler taşkın olaylarını dolaylı olarak etkilerken, rüzgarlar karın erimesi ve akışa geçişinde önemli bir rol oynamaktadır (Yaylak, 2016; Nas ve Nas, 2013).

2) **Eğim:** Eğim, taşkın oluşumunu etkileyen temel topoğrafik faktörlerden biridir. Düşük eğimli alanlarda yüzey akışı daha yavaş gerçekleştiğinden, drenaj süresi uzamakta ve akış hızı düşmektedir. Buna karşılık, eğimin yüksek olduğu bölgelerde yüzey akışı hızlanmakta; bu da birim zamanda akarsu yatağına ulaşan su miktarının ve dolayısıyla debinin artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, tez çalışma alanında da görüldüğü üzere eğimi fazla olan bölgelerin düşük kotlarında taşkın riski daha belirgin hale gelmektedir. (Gürer, 2012).

3) **Bakı Faktörünün Hidrolojik Etkileri:** Bir bölgenin bakı değeri (yüzeyin güneşe göre yönelimi), kar erimesi ve evapotranspirasyon süreçlerini doğrudan etkileyen kritik bir parametredir. Yüksek bakı değerine sahip yamaçlarda, güneşlenme süresinin ve radyasyon yoğunluğunun artışına bağlı olarak kar erimesi hızında belirgin bir artış gözlenmektedir. Bu durum, eriyen kar sularının akarsu drenaj sistemine intikal

süresini diğer yönelimli yamaçlara kıyasla kısaltmaktadır. Dolayısıyla, mevcut tez çalışmasının uygulama alanı özelinde olduğu gibi, bakı faktörünün taşkın modellemesi ve proje geliştirme süreçlerinde dikkate alınması, hidrolojik tepkinin doğru tahmin edilmesi açısından elzemdir (Özalp, 2009).

4) **Emme Kapasitesi:** Kar ve yağmur suları akışa geçtiğinde, toprak bu suları emmeye başlar. Ancak belirli bir süre sonra toprak doygunluğa ulaşır ve daha fazla suyu ememez hale gelir. Doygun hale gelen toprak, geçirimsiz bir yüzey haline gelmektedir ve bu durumda suyun tamamı akışa geçmektedir. İlkbahar ve kış aylarında sıcaklık diğer mevsimlere göre daha düşük olduğu ve yağış miktarı fazla olduğu için toprak doygunluğa hızla ulaşmaktadır; dolayısıyla suyun akışa geçiş süreci de hızlanmaktadır. Ayrıca, bölgedeki bitki örtüsünün yetersiz olması halinde su ihtiyacı azalacağından emme kapasitesi düşmektedir ve bu durum taşkınların şiddetini artırmaktadır (Uçar, 2010).

5) **Drenaj:** Bir havzanın doğal drenaj sistemi, başlıca nehirler, çaylar, dereler ve ırmaklardan oluşmakta olup, bu sistemin geometrik özellikleri yani drenaj ağının uzunluğu, eğimi, şekli ve yayılımı havza genelindeki taşkın debisinin büyüklüğü ile taşkın oluşum süresini doğrudan etkilemektedir. Mansap noktasındaki (havzanın çıkış kesiti) taşkın hidrografi analiz edildiğinde, aynı büyüklükte drenaj alanlarına sahip havzalar arasında önemli farklar gözlemlenmektedir. Kısa ve dairesel (yuvarlak) geometrik yapıya sahip havzalarda, yüzey akışları daha kısa mesafede birleşerek mansaba hızlı bir şekilde ulaşmakta, bu da taşkın pik debisinin kısa sürede ve daha yüksek bir düzeyde oluşmasına neden olmaktadır. Buna karşılık, uzun ve dar (eliptik) morfolojiye sahip havzalarda, yüzey akışının birleşerek mansaba ulaşması daha uzun zaman almakta, dolayısıyla pik debi oluşumu daha gecikmeli ve daha uzun süreli olmaktadır. Bu durumda, taşkın hidrografının eğimi daha düşük, pik debisi ise daha az şiddetli bir karakter göstermektedir. Bu bilgiler ışığında, havza morfolojisinin taşkın dinamiği üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi, hidrolojik modelleme, taşkın tahmin sistemleri ve taşkın risk haritalarının hazırlanması açısından son derece kritik öneme sahiptir. İnşaat mühendisliğinde, bu tür analizler özellikle taşkın kontrol yapılarının yer seçimi ve boyutlandırılması aşamalarında belirleyici rol oynamaktadır. (Usul, 2008).

2.2. Taşkın Oluşumunu Etkileyen İnsani Nedenler

Dünya genelinde, 1950-1960 yılları arasında taşkın afetlerinin neden olduğu maddi zarar yaklaşık 50 milyar dolar civarındayken, 1990-2000 döneminde bu rakam

yaklaşık 220 milyar dolara kadar yükselmiştir. (Jha vd., 2012). Bu durum, kent nüfusunun artmasıyla birlikte taşkınların sıklığı ve neden olduğu zararların da arttığını göstermektedir. Bu bölümde, taşkın oluşumunu etkileyen insani faktörler ele alınmaktadır.

1) Arazi kullanımındaki uygunsuz uygulamalar, doğal dengeyi bozarak taşkın riskinin artmasına neden olmaktadır. Özellikle, şev stabilitesinin zayıflamasına yol açan faaliyetler sonucunda gelişen erozyon olayları, yüzeysel akışın hızlanmasına ve toprak geçirgenliğinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, bitki örtüsüne yapılan müdahaleler (ormanların tahribi, tarım arazisine dönüştürme, yoğun yapılaşma gibi), zeminin su emme (infiltrasyon) kapasitesini düşürerek, yağış sularının toprak tarafından yeterince tutulmamasına yol açmaktadır. Bu durum, yüzey akış miktarını artırmakta ve yağış sonrası akışa geçen suyun daha kısa sürede ve daha yoğun biçimde akarsu sistemlerine ulaşmasına sebep olmaktadır. Sonuç olarak, doğal arazi örtüsünün tahribi ve kontrolsüz arazi kullanımı hem taşkın oluşumunun sıklığını hem de etkisini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu nedenle, inşaat mühendisliği perspektifinden sürdürülebilir arazi kullanımı planlamaları, yeşil altyapı uygulamaları ve erozyon kontrolü mühendisliği çözümleri, taşkınla mücadelede temel stratejiler arasında yer almalıdır.

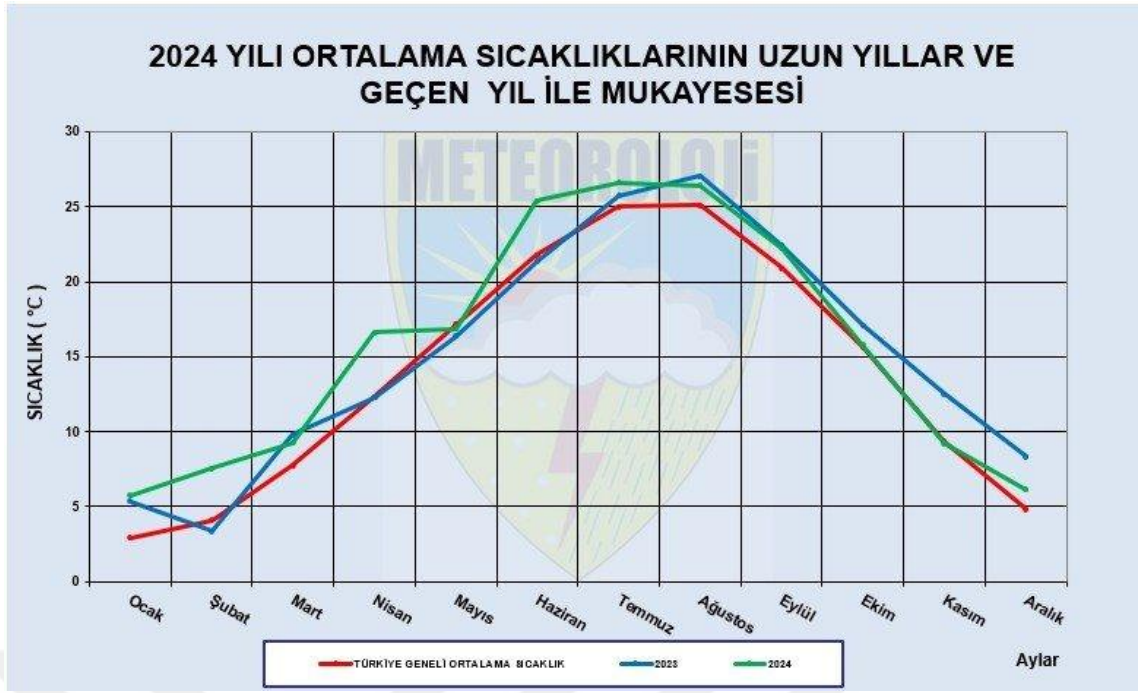
2) Yapılaşma: Akarsuların doğal yatakları, belirli hidrolik ve morfolojik özelliklere sahip olup, büyük taşkın debilerini taşıyabilecek kapasitede evrimleşmiş sistemlerdir. Ancak bu doğal sistemler, insan kaynaklı müdahaleler sonucu giderek işlevselliğini yitirmektedir. Özellikle, plansız kentleşme, taşkın yataklarının imara açılması, akarsu güzergâhına yapılan yapısal müdahaleler (yatak daraltma, ıslah projelerinde yanlış kesit uygulamaları vb.) ve yetersiz hidrolik kesite sahip sanat yapılarının (köprü, menfez, geçit vb.) inşa edilmesi, akarsu yataklarının doğal akış rejimini bozarak taşkın riskini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu tür müdahaleler, suyun doğal yayılım alanlarını sınırlandırmakta ve taşkın anında debinin kontrolsüz biçimde çevreye yayılmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, akarsu çevresinde yer alan yerleşim alanları ve altyapı sistemleri, taşkın tehdidine daha açık hale gelmektedir. İnşaat mühendisliği açısından, bu risklerin önüne geçebilmek için doğal akarsu morfolojisinin korunması, taşkın alanlarının imara kapatılması, yeterli hidrolik kapasiteye sahip sanat yapılarının projelendirilmesi ve havza bazında entegre taşkın yönetim planlarının oluşturulması hayati öneme sahiptir.



Şekil 2. Taşkın durumunda sular altında kalan yerleşim yerleri örnekleri

Türkiye’de son 50 yıl boyunca incelenen yağış verileri, yapılaşma gibi düzensiz bir dağılım sergilemektedir. Ayrıca, taşkın sayılarında ve buna bağlı olarak can ve mal kayıplarında da bir artış gözlemlenmektedir. Bu artışın temel nedenleri arasında nüfus artışı, çarpık kentleşme ve plansız yapılaşma gibi faktörler yer almaktadır (DSİ, 2017).

Daha önce belirtildiği gibi, özellikle Doğu Anadolu Bölgesi’nde Mart ve Nisan aylarında meydana gelen ani sıcaklık artışları hızlı kar erimesine yol açmakta ve bu durum taşkın riskini artırmaktadır. Bu sıcaklık artışlarının, yerleşim yerlerinin yoğun olduğu şehir merkezlerinde daha belirgin olduğu, doğal alanlar (tarım arazileri ve ormanlık bölgeler) ise bu etkiden daha az etkilendiği saptanmıştır. (Karakuyu, 2002).

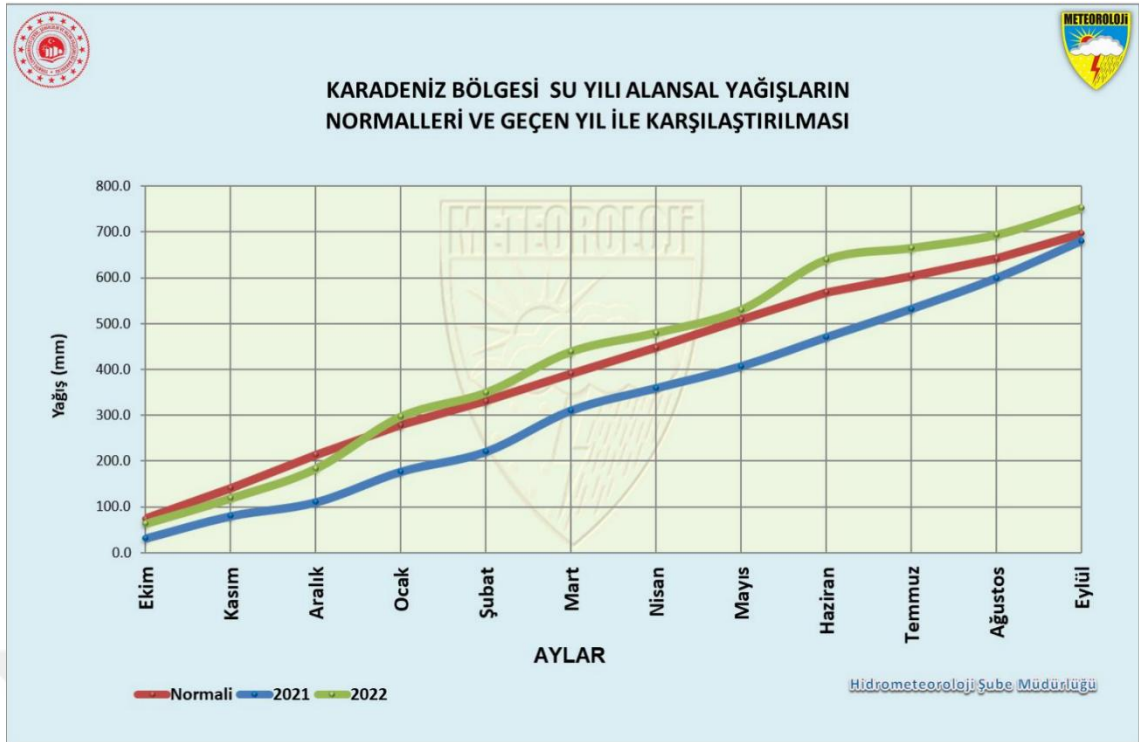


Şekil 3. Sıcaklıkların geçen yıllara göre mukayeseşi (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024)

Dünyada kentsel bölgelerin nüfusunun, kırsal bölgelerin nüfusunu aşması ilk kez 2007 yılında gerçekleşmiştir. 2015 itibarıyla dünya nüfusunun %57'si kentsel alanlarda yaşamaktadır. Uzmanlar, 2050 yılı itibarıyla bu oranın %66'ya yükselebileceğini öngörmektedir. (Brakel, 2015).

Yapılaşmanın artışı, demografik büyümenin yanı sıra sosyo-ekonomik problemlerin de şiddetlenmesine neden olmaktadır. Kentsel alanlardaki nüfus artışı, tarım arazilerinin kaybına ve dolayısıyla arazi kullanım deseninde (land-use pattern) değişikliklere yol açmaktadır. Akarsu havzalarındaki akış rejimi (flow regime), havzanın arazi kullanım planlaması (land-use planning) ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, taşkınların neden olduğu hasarlar, yalnızca akarsu yatağından geçen debi (discharge) miktarına değil, aynı zamanda havzanın bu debi miktarına karşı direnç kapasitesine (resilience capacity) de bağlıdır. (Serencam, 2013).

Kentsel alanlarda, yani yapılaşmanın yoğun olduğu bölgelerde (beton, asfalt gibi yüzeylerde), yağışın toprağa temasının engellenmesi ve suyun sızma miktarının azalması durumu toprak mühürlenmesi olarak adlandırılır. Bu durum, taşkınların oluşumunu tetikleyen önemli faktörlerden biridir. Kentsel alanlarda yapılaşma arttıkça, yağışlar geçirimsiz yüzeyler nedeniyle sızma olanağı bulamadığı için daha hızlı ve daha fazla yüzeysel akışa dönüşmektedir (Uçar, 2010).



Şekil 4. Karadeniz Bölgesi su yılı alansal yağışların normalleri ve geçen yıl ile karşılaştırılması (MGM, 2024)

Tablo 1. Türkiye’de son yıllarda oluşan taşkınlar ve zararları (DSİ, 2017).

Yıl	Taşkın Sayısı	Can Kaybı	Su Altında Kalan Alan (ha)
1975	62	8	36.714
1976	29	5	22.536
1977	27	11	3.317
1978	21	0	13.850
1979	21	61	40.966
1980	44	6	83.016
1981	16	2	58.413
1982	10	0	784
1983	14	33	2.113
1984	12	0	29.140
1985	7	0	2.318
1986	8	4	679
1987	7	0	564
1988	24	17	3.910
1989	10	1	9.500
1990	26	57	7.450
1991	23	23	15.770
1992	14	1	690
1993	2	0	60
1994	9	4	1.680
1995	20	164	201.100

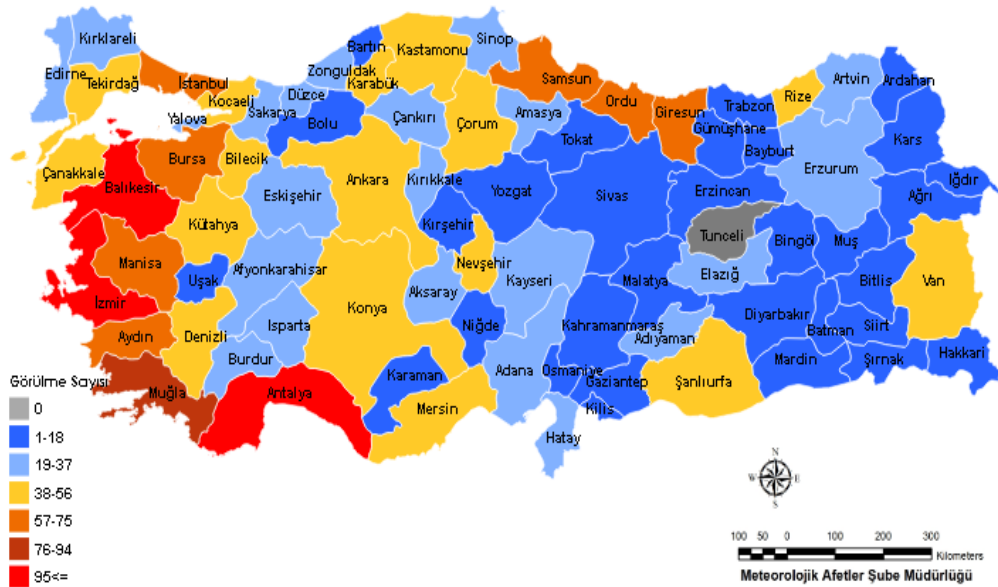
Tablo 1. (Devamı)

Yıl	Taşkın Sayısı	Can Kaybı	Su Altında Kalan Alan (ha)
1996	4	1	11.000
1997	1	0	1.390
1998	2	57	7.000
1999	1	3	-
2000	4	0	8.066
2001	42	8	43.297
2002	27	27	510
2003	21	7	64 200
2004	23	3	25.750
2005	25	14	13.855
2006	24	45	85.810
2007	22	11	1.050
2008	10	2	10
2009	84	59	3.250
2010	110	25	44.279
2011	56	13	202
2012	69	23	19.685
2013	38	7	17.569
2014	118	9	4.455
2015	122	9	7.985
TOPLAM	1209	720	893.933



Meteorolojik Afetler Dağılımı (2010-2021)

Şiddetli yağış/Sel



Şekil 5. Türkiye’de 2010-2021 yılları arasındaki şiddetli yağış/sel afetlerinin illere göre dağılımı (URL-2)

Ülkemizde 1990 ile 2014 yılları arasında yaklaşık 15 bin kilometre duble yol yapılmış, 2013 ile 2018 yılları arasında ise 3,6 milyondan fazla konut satışı gerçekleşmiştir. Bu hızlı yapılaşma ve yol yapımı ile birlikte toprağın mühürlenmesi artmış; 1990-2014 döneminde 775 taşkın meydana gelmiş, 563 kişi hayatını kaybetmiş ve 1138 hektar alan su altında kalarak zarar görmüştür.(URL-1)

Artan popülasyon yoğunluğu ile korele olarak kentsel gelişimde bir ivme gözlenmekte ve bu durum, kentsel ısı adası (KİA) etkisinin şiddetlenmesiyle makro-klimatik sıcaklık anomalilerine yol açmaktadır. Bu yapısal dönüşüm, aynı zamanda geçirimsiz yüzeylerin (impervious surfaces) artışına neden olmakta; bu da yağış sularının infiltrasyon kapasitesini düşürerek yüzeysel akış oranlarını yükseltmektedir. Sonuç olarak, hidrolojik sistemlerdeki bu değişiklikler, taşkın olaylarının frekans ve magnitudunda artışa sebebiyet vermektedir.

Taşkın riskini ve buna bağlı sosyo-ekonomik zararları minimize etmek amacıyla, ekosistem bütünlüğünün korunması esastır. Bu bağlamda, doğal peyzaj alanlarının tahribatının önlenmesi, beton ve asfalt gibi geçirimsiz materyallerin kullanımının mümkün mertebe azaltılması, planlama disiplininin yoksun yapılaşmanın engellenmesi ve tanımlanmış taşkın kontrol bölgelerinin imar faaliyetlerine kapatılması kritik öneme sahiptir.



Şekil 6. Doğal arazi yapısının yapılaşma sonucu bozulması (Ethic Water, 2023) (URL-3)

3) **Barajların Yıkılması:** Barajlar, inşa edildikleri havza içerisinde uygun mühendislik prensipleriyle projelendirildiklerinde, taşkın kontrolünde kritik rol oynayan önemli hidrolik yapılar olarak öne çıkmaktadır. Mansap yönüne doğru gelen akış hızını düşürerek ve sediment taşınımını minimize ederek hem taşkınların önüne geçilmesinde hem de havza morfolojisinin korunmasında etkili bir düzenleyici işlev üstlenirler. Baraj yıkılmaları, istatistiksel olarak nadir görülen olaylar olmakla birlikte, meydana gelmeleri durumunda katastrofik sonuçlara yol açabilen ciddi felaketlere neden olabilmektedir. Bu nedenle, taşkın risk analizlerinde baraj yıkılma olasılığının entegre bir parametre olarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Baraj yıkılmalarına neden olabilecek faktörler arasında yetersiz dolu savak kapasitesi, kayma dayanımı eksikliği, yapısal çatlak oluşumları, borulanma (piping), sızma (seepage) ve deprem yükleri gibi unsurlar sayılabilmektedir. (Akgün, 2018).

2.3. Taşkından Korunma Yöntemleri

2.3.1. Taşkın Önleme Yapıları

Taşkın önleme yapıları akarsuyun debisi, güzergahı ve etrafındaki arazi ve yerleşim özellikleri göz önünde bulundurularak tasarlanabilmektedir.

2.3.2. Tersip Bentleri

Yüksek miktarda sürüntü materyali taşıyan akarsularda, sediman taşınımını kontrol altına almak, kanal tabanında oluşabilecek oyulmaları (erozyon) önlemek ve boyuna eğimi hidrolik açıdan optimize etmek amacıyla tasarlanan yapılar 'tersip bentleri' olarak tanımlanmaktadır. Bu yapılar, kullanılan yapı malzemesinin türüne göre beş ana gruba ayrılmaktadır: (1) betonarme tersip bentleri, (2) harçlı kâgir (masonry) tersip bentleri, (3) kuru kâgir (dry masonry) tersip bentleri, (4) gabion (tel ve taş kafes) tipi tersip bentleri ve (5) toprak dolgu tipi tersip bentleri. Her bir tip, yapının yer aldığı topoğrafya, jeoteknik koşullar, hidrolik parametreler ve sediman yükü özellikleri dikkate alınarak seçilmektedir.



Şekil 7. Tersip Bentleri Örnekleri (DSİ)

Tersip bentlerinin maksimum düzeyde rûsubat biriktirerek işlevsel ve ekonomik açıdan verimli olabilmesi için, topoğrafik olarak uygun lokasyonlara inşa edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, rezervuar alanının 1/2000 ölçekli plankotesinin hazırlanması, yapının tasarım ve yer seçimi sürecinde kritik öneme sahiptir. Özellikle kentsel alanlara yakın akarsu kesimlerinde, tersip bendinin gerisinde biriken malzeme potansiyel bir agrega kaynağı niteliği taşıyabileceğinden, bu durumlarda uygun erişim sağlayacak bir servis yolunun planlanması gerekmektedir. Ayrıca, yapı güvenliğinin sağlanabilmesi ve hizmet ömrünün artırılabilmesi amacıyla, pınarlaşma (infiltrasyon) ve yapısal stabilite sorunlarına karşı ayrıntılı jeoteknik ve hidrojeolojik etütlerin gerçekleştirilmesi zorunludur. Tersip bentleri, akarsu tarafından taşınan sürüntü materyalini belirli bir noktada durdurmak amacıyla projelendirilmekte olup, böylece akarsuyun taşıma kapasitesini düşürerek, belirli bir yatak uzunluğu boyunca taban oyulmalarını (erozyonu) kontrol altına almaktadır. Bu yapılar, koruyucu tedbirler olarak

düşünülür ve fazla miktarda rüsubat tutmaları hedeflenir. Bu nedenle, tersip bentleri genellikle az eğimli yerlerde inşa edilir. Tersip bentleri rüsubatla dolduğunda işlevleri sona erer ve membalarında yeni tersip bentlerinin yapılması gerekir.

2.3.3. Sekiler

Geniş tabanlı doğal akarsu yataklarında, geçmiş yıllarda birikmiş sedimentin mansaba taşınımını engellemek ve yerinde tutulmasını sağlamak amacıyla sedimentasyon kontrol yapıları inşa edilir. Bu yapıların projelendirilmesinde, akışın sürüklenme kuvveti kritik bir parametre olarak değerlendirilir. Yüksekliği nispeten sınırlı olan bu yapılar, tersip bentleri ile benzer bir tasarım yaklaşımı sergiler. İnşa edilecekleri arazinin malzeme özelliklerine bağlı olarak kargir veya beton gibi farklı yapı malzemeleri tercih edilebilir. Temel işlevleri, dere tabanındaki erozyonu durdurmak ve mevcut rüsubatın yerinde kalmasını sağlamaktır. Toprağın yerinde tutulması ve aşınma ile taşınımın önlenmesi, sürüklenme kuvvetinin azaltılmasıyla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, bahsi geçen yapılar, arkalarında stabilite eğiminin sağlanması prensibine göre tasarlanmalıdır. Bu tür yapılar, özellikle dik eğimli memba (upstream) kısımlarında tercih edilmektedir.



Şekil 8. Sekiler Örnekleri (DSİ)

2.3.4. Biritler

İnce kum ve silt gibi geçirgen, kolayca erozyona uğramaya meyilli ve kayma mukavemeti düşük zeminlere sahip dere yataklarında, taban erozyonunu önlemek için en uygun çözüm biritlerdir. Yüksek eğimli, hızlı akan sel sularına maruz kalan derelerde erozyon kontrolü için biritler oldukça önemlidir. Erozyonu engellemek ve suyun hızını

düşürmek için, biritlerin seri halde inşa edilmesi ve nehir eğiminin azaltılması gerekmektedir.



Şekil 9. Biritler Örnekleri (DSİ)

2.3.5. Sel Kapanları

Sel kapanı, feyezan piklerinin atenuasyonunu sağlamak amacıyla tasarlanmış, akış aşağı yönde belirlenen deşarj miktarını koruyarak taşkın akımının zamanla yayılmasını mümkün kılan bir düşük seviyeli rezervuar yapısıdır. Bu hidrolik yapılar, genellikle 10 ila 20 metre arasında değişen crest yüksekliklerine sahiptir. Sel kapanlarında tipik olarak, kapaksız konfigürasyonda tasarlanmış bir veya birden fazla dip savak (bottom outlet) daimî olarak açık konumda bulunur.

Akarsu yatağındaki deşarjın belirli bir eşik değerini aşması durumunda, fazla akım rezervuar haznesinde depolanmaya başlar ve dip savaklar orifis akışı rejimiyle işlev görür. Dip savaktan geçen deşarj miktarı, rezervuardaki su seviyesi ile doğrudan korelasyon içindedir. Rezervuar hacmi ve dip savak kapasiteleri, projeksiyon taşkın debisi ve akış aşağı yöndeki yatağın hidrolik kapasitesi doğrultusunda optimize edilmektedir. Sel kapanlarından mansaba deşarj edilen akımın, aşağı kotlardaki dere yatağının taşıma kapasitesini aşmaması, taşkın riskinin önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, sel kapanı tasarımında, proje taşkın debisinin üzerinde gerçekleşebilecek ekstrem taşkın durumlarında yapının zarar görmesini engellemek amacıyla, yapının tahliye kapasitesinin bir savak (tahliye savağı) ile desteklenmesi önerilmektedir. Sel kapanlarının planlama sürecinde, yalnızca ana havzadan gelecek akım hacmi değil, aynı zamanda mansap kesimlerinde yer alan yan derelerin üreteceği taşkın debilerinin, kapandan gelen akımla eşzamanlı olarak gerçekleşme olasılığı da

dikkate alınmalıdır. Bu eş zamanlılık ihtimali küçük ölçekli havzalarda görece düşük olsa da, geniş havzalarda çok sayıda yan kolun yer aldığı durumlarda, şiddetli konvektif yağışların bölgesel etkisi sonucu bu senaryonun gerçekleşme olasılığı önemli ölçüde artmaktadır. Dolayısıyla, bu tür durumlar, hem hidrograf süperpozisyonu hem de toplam mansap debisi açısından detaylı olarak analiz edilmelidir.



Şekil 10.Sel Kapanları Örnekleri (DSİ)

2.3.6. Taşkın Koruma Kanalları

Yerleşim alanlarından geçen akarsularda veya arazi kaybının minimize edilmek istendiği durumlarda, taşkın riskini azaltmak veya tamamen bertaraf etmek amacıyla sedde yerine duvar tipi yapılar tercih edilebilmektedir. Özellikle kentsel bölgelerdeki akarsu ıslah projelerinde, taşkın önleme yapısı olarak kanallar yaygın bir çözüm sunmaktadır. Fildöfer sandıklar (gabionlar), sağlam, fırınlanmış ve çift galvanizli çelik

tellerden imal edilen çeşitli formlardaki kafeslerdir. Proje sahasında açılan bu fildöfer sandıklar, akarsu yatağında doğal olarak bulunan ve belirli boyut aralıklarında seçilmiş taşlarla tamamen doldurulur. Doldurma işlemi sonrasında kapak kapatılır ve tüm köşelerden sıkıca bağlanarak yapısal bütünlük sağlanır. Doldurulmuş fildöfer kafesler, üst üste yerleştirilerek ve birleşim noktalarından birbirine bağlanarak istikrarlı bir yapı oluşturur. Taşkın duvarları, aynı zamanda akarsu boyunca inşa edilen ulaşım yolları için istinat duvarı görevi de görebilir. Kanal duvarları ise projeye ve zemin koşullarına bağlı olarak betonarme, beton ağırlık, harçlı taş kargir veya fildöfer (gabion) gibi farklı yapı malzemeleriyle inşa edilebilir.



Şekil 11. Taşkın Koruma Kanalları Örnekleri (DSİ)

2.3.7. Barajlar

Her türlü yapay veya doğal lakustrin sistem, taşkın riskinin mitigasyonunda potansiyel bir etki mekanizması sunmaktadır. Bu mitigasyon kapasitesinin büyüklüğü, ilgili rezervuarın yüzey alanı ile mansaba deşarj kapasitesini belirleyen dolusavak yapısının hidrolik karakteristiklerine bağlı olarak varyasyon göstermektedir. Taşkın kontrol amaçlı barajların boyutlandırılması, hidrolik ve hidrolojik parametrelerin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir mühendislik sürecidir. Bu kapsamda; proje taşkını karakteristikleri, barajın topoğrafik konumu, taşkın hidrografının zamansal dağılımı, rezervuarın efektif depolama hacmi, dolusavak (spillway) kapasitesi ve dip savak veya tahliye yapısı gibi çıkış unsurlarının debi kapasiteleri dikkatle analiz edilmelidir. Barajın etkin bir şekilde tasarlanabilmesi ve güvenli işletilebilmesi için taşkın öteleme (flood routing) hesaplarının gerçekleştirilmesi zorunludur. Bu hesaplar kapsamında, baraja ulaşan taşkın akımının zamana bağlı debi değişimi, rezervuar hacmi üzerindeki etkisi, çıkış debisinin maksimum değeri ve bu değerlerin hangi zaman aralığında gerçekleştiği gibi bilgiler belirleyici öneme sahiptir. Ayrıca, taşkın dalgasının öteleme süresi boyunca uğradığı zamansal gecikme (lag time), rezervuar su seviyesindeki (su kotundaki) zamana bağlı değişimler, maksimum su seviyesinin tespiti ve taşkın etkilerinin rezervuar sisteminden ne kadar sürede sönmüneceği gibi veriler, hem baraj güvenliği hem de mansapta yer alan yerleşimlerin korunması açısından kritik rol oynamaktadır. Bu bilgilerin doğru analizi, barajın taşkın kontrol performansını optimize etmek ve mansap bölgelerdeki riskleri en aza indirmek için hayati önem taşır.



Şekil 12. Barajlar Örnekleri (DSİ)

Son yıllarda bilgisayar ve yazılım teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, baraj yıkılmalarına yönelik analizlerin daha hassas ve detaylı bir şekilde yapılmasına olanak tanımıştır. Özellikle 1970’li yıllardan itibaren kullanılmaya başlanan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), geniş arazi alanlarının dijital ortama aktarılmasını kolaylaştırarak daha gerçekçi ve güvenilir analizlerin önünü açmıştır. Baraj yıkılması analizlerinde CBS’nin kullanılması, geçmişteki çalışmaların en önemli eksikliklerinden biri olan topoğrafik özelliklerin yetersiz temsili sorununu büyük ölçüde ortadan kaldırmış ve bu sayede analizlerin doğruluğu ile hassasiyeti artmıştır. Arazi verilerinin bilgisayar ortamına entegre edilebilmesiyle birlikte, CBS ile uyumlu çalışan hidrolik modelleme yazılımları da geliştirilmiştir. Bu çerçevede geliştirilen yazılımlar aracılığıyla bir, iki ve üç boyutlu hidrolik modeller yapılabilmekte ve daha kapsamlı taşkın senaryoları oluşturulabilmektedir. Öne çıkan yazılımlar arasında, ABD tarafından geliştirilen HEC-RAS, ABD Ulusal Hava Servisi'nin geliştirdiği FLDWAV ve Danimarka Hidroloji

Enstitüsü tarafından sunulan MIKE FLOOD yer almaktadır. Ayrıca özel sektör firmaları tarafından geliştirilen FLOW-3D, ANSYS Fluent gibi yazılımlar da baraj güvenliği alanındaki çalışmalara önemli katkılar sağlamaktadır (Palamut, 2014; Elçi vd. 2017).



3. KURAMSAL TEMELLER

Yapılan çalışma kapsamında irdelenen Literatür taramalarına yönelik aşağıda değerlendirmeler yer almaktadır.

Gökoğlu vd. (2000), yaptığı çalışmada, açık kanallarda taşkın ötelemesini St. Venant denklemlerini esas alan dinamik bir modelle incelemektir. Çalışmada, lineer olmayan terimleri çözmek için sonlu fark yöntemleriyle Preissmann kapalı şeması kullanılarak sayısal çözüm yapılmıştır. Model, farklı kesit tiplerine (dikdörtgen, trapez) ve çok kollu kanal sistemlerine uygulanarak test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, belirtilen koşullar altında modelin güvenilir bir şekilde taşkın ötelemesi analizinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Özger vd. (2001), yaptığı çalışmada, taşkın riskini etkileyen faktörleri belirleyerek, yıllık beklenen zararların hesaplanması ve belirsizlik çözümlerinde bulanık mantık uygulamaları aracılığıyla taşkın zararlarının tahmin edilmesine odaklanmaktadır. Türkiye'deki taşkın olayları, meteorolojik etkenler (örneğin El Nino) ve küresel ısınma gibi unsurlarla ilişkilendirilerek analiz edilmiş, sonuçların taşkın havzası yönetiminde faydalı olacağı gösterilmiştir. Geleneksel yöntemlere ek olarak bulanık mantık yaklaşımları kullanılarak, taşkın risk yönetimi ve karar destek sistemleri için yenilikçi çözümler önerilmektedir.

Seçkin vd. (2002), yaptığı çalışmada, Seyhan ve Ceyhan Havzalarında taşkın frekans analizini bölgesel ölçekte gerçekleştirerek, su yapılarının planlaması için güvenilir tahminler elde etmeyi amaçlamaktadır. Farklı dağılım fonksiyonları (Log Lojistik, Log Pearson 3 vb.) ile homojen alt bölgeler üzerinde yapılan analizler, bölgesel yöntemlerin daha hassas sonuçlar verdiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, uygun dağılım fonksiyonlarının belirlenmesinde ve bölgesel analiz yaklaşımının benimsenmesinde rehberlik sunmaktadır.

Ülke vd. (2003), yaptığı çalışmada, Türkiye'de akarsu taşkınlarının nedenlerini ve etkilerini inceleyerek, özellikle erozyona uğramış ve bitki örtüsü zayıflamış havzalarda taşkınların daha sık yaşandığını vurgulamaktadır. 1995 yılında Aksu Akarsuyu'nun bir kolunda gerçekleşen taşkın olayı Muskingum modeli ile modellenmiş ve sonuçlar DSİ ölçümleriyle uyumlu bulunmaktadır. Bu durum, doğru modelleme yöntemlerinin taşkın yönetimi ve zarar azaltma çalışmalarında etkin bir araç olduğunu göstermektedir.

Pistil vd. (2005), yaptığı çalışmada, Türkiye'nin yoğun yağış alan bölgelerinde taşkınlardan korunma yöntemlerini ve özellikle Mersin Silifke'de 2004 yılında Gezende

Barajı'nda meydana gelen taşkınların nedenlerini ve sonuçlarını ele almaktadır. Yüksek yağış miktarı ve yetersiz önlemler nedeniyle yaşanan can ve mal kayıplarının önlenmesi için, taşkın öncesi planlama ve taşkın sırası/sonrası müdahale tedbirlerinin önemine vurgu yapılmaktadır. Elde edilen bulgular, benzer afetlerin tekrarlanmasını önlemek adına alınması gereken önlemleri ve taşkın sırasında etkili olan parametreleri ortaya koymaktadır.

Onuşluel vd. (2005), yaptığı çalışmada, HEC-RAS ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak taşkın alanlarını tespit etmeyi ve bu alanları görsel olarak haritalandırmayı amaçlamaktadır. İzmir Bostanlı Havzası'nda HEC-HMS hidrolojik modelinden elde edilen pik debiler ve hidrograflar HEC-RAS modeline girdi olarak kullanılarak kararlı ve kararsız akım simülasyonları gerçekleştirilmektedir. Elde edilen su derinliği sonuçlarının ArcView ortamına aktarılmasıyla, taşkın altında kalabilecek bölgeler daha doğru ve hızlı bir şekilde belirlenip haritalandırılabilir.

Özdemir vd. (2007), yaptığı çalışmada, Balıkesir ili sınırları içindeki Havran Çayı havzasında taşkın ve heyelan risklerini Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) yöntemleriyle analiz ederek risk yönetimi için bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır. Farklı senaryolar çerçevesinde doğal ve beşerî faktörlerin katkısı değerlendirilmiş, arazi çalışmaları ve çeşitli verilerle riskli bölgeler belirlenmektedir. Elde edilen sonuçlar, havza ölçeğinde daha etkili risk yönetimi uygulamaları için rehberlik sağlamaktadır.

Özcan vd. (2008), yaptığı çalışmada, Sakarya Nehri alt havzasındaki taşkın riskini Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemleriyle analiz ederek, hidrolojik/hidrolik modelleme ve ÇKKVA metodunu (MCDA) bir arada kullanmaktadır. 1999 ve 2006 uydu görüntüleriyle arazi kullanımı değişimleri belirlenmiş, Sayısal Yükseklik Modeli verileriyle 5, 10, 20 ve 100 yıllık taşkın senaryolarına ait debiler ve risk haritaları üretilmektedir. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) sonuçlarıyla karşılaştırılan bu analizler, havzanın taşkın riski altındaki alanlarını belirlemede önemli veriler sağlamaktadır.

Hakan vd. (2008), yaptığı çalışmada, Kızılırmak Nehri üzerindeki Yamula, Gülşehir ve Söğütluhan akım gözlem istasyonlarına ait verileri istatistiksel olarak analiz ederek, taşkın büyüklüğü ve sıklığının güvenilir şekilde tahmin edilmesinin önemini vurgulamaktadır. Parametrik ve nonparametrik yöntemler karşılaştırılmış, L-Momentler Yöntemi diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar vermektedir. Verilere uygunluk ve bağımsızlık testlerinin ardından, farklı dönüş aralıklarına ait taşkın debileri hesaplanmaktadır.

Öztürk vd. (2009), yaptığı çalışmada, Ulusal Konumsal Veri Altyapısı (UKVA) kapsamında sel ve taşkın duyarlılığını değerlendirmek için Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) tabanlı bir model ve CBS destekli bir arayüz geliştirmektedir. Yağış, yükseklik, eğim, bakı, alt havza büyüklüğü ve drenaj yoğunluğu gibi altı ölçütün normalleştirilerek ağırlıklandırılması sonucunda, Güney Marmara Havzası'nda taşkın duyarlılık seviyeleri (çok yüksekten çok düşüğe) belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar taşkın envanteriyle büyük oranda uyum göstermektedir. Böylece modelin, klasik yöntemlere alternatif olarak sel ve taşkın analizlerinde güvenilir bir çözüm sunduğu ortaya konmaktadır.

Uçar vd. (2010), yaptığı çalışmada, Trabzon Değirmendere Havzası'nda artan taşkın riskini inceleyerek, plansız yapılaşma ve yetersiz önlemlerin taşkın zararlarını artırdığını vurgulamaktadır. ArcGIS 9.3 ve HEC-RAS 4.0 ile oluşturulan modeller sayesinde özellikle dere yatağına yakın yapıların ve dar köprü geçişlerinin taşkın riski altında olduğu belirlenmektedir. Elde edilen sonuçlar, risk haritaları üzerinde gösterilerek yapısal ve yapısal olmayan önlemlerin önemine dikkat çekilmektedir.

Eren vd. (2011), yaptığı çalışmada, Türkiye'de sıkça yaşanan taşkınların nedenlerini ve yönetim stratejilerini, Boğluca (Kayalı) Deresi örneği üzerinden ele almaktadır. Arazi özellikleri ve düzensiz yağışlar gibi faktörlerin etkisini inceleyen çalışma, riskli bölgeleri belirleyerek taşkın kontrol yöntemlerini ve alınması gereken önlemleri önermektedir. Bu sayede, gelecekteki taşkın risklerini azaltmak ve etkili yönetim stratejileri geliştirmek hedeflenmektedir.

Batur vd. (2012), yaptığı çalışmada, Uzaktan algılama teknolojileri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığıyla 16 Şubat 2010 tarihinde Meriç Nehri'nde meydana gelen taşkını Landsat 5 TM uydu görüntüleri üzerinden incelemektedir. Taşkın öncesi, sırası ve sonrasına ait görüntülerle etkilenen alanlar ve arazi örtüsü haritaları oluşturulmuş, özellikle tarım alanlarındaki hasar tespit edilmektedir. Elde edilen sonuçlar, DSI'nin yersel çalışmalarıyla %91 oranında uyum göstererek optik uydu görüntülerinin afet yönetiminde etkin bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır.

Dernek vd. (2012), yaptığı çalışmada, Taşkınların nedenleri ve etkilerini irdeleyerek barajlar, sel kapanları, taşkın kanalları gibi yapısal önlemlerin önemini vurgulamaktadır. Taşkın debisi hesaplamaları için yağış verileri ve su miktarı gibi hidrolojik veriler toplanmış, Tekirdağ Kayı Deresi'ndeki örnek uygulamada bu veriler kullanılarak tasarım yapılmaktadır. Ayrıca, Aquadyn© programı ile 2 boyutlu akım modellemesi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Böylece taşkın önleme

yapılarının tasarımı ve riskin azaltılması için atılması gereken adımlar konusunda kapsamlı bilgiler sunulmaktadır.

Kaya vd. (2012), yaptığı çalışmada, insan faaliyetlerinin taşkınların etkisini artırdığına dikkat çekerek “bütünleşik taşkın yönetimi” yaklaşımının önemini vurgulamaktadır. Giresun Pazarsuyu Deresi’nde JFLOW modeline dayalı bir yöntemle taşkın risk haritaları oluşturulmuş ve uydu görüntüleri üzerinden taşkın riski altındaki yapı ve araziler belirlenmektedir. Sonuçlar, taşkın risk haritalarının hazırlanmasının etkin bir taşkın yönetim stratejisi geliştirmede kritik rol oynadığını göstermektedir.

Bağdatlı vd. (2013), yaptığı çalışmada, Tekirdağ merkez ilçesi sınırları içerisindeki dere yataklarını ve havzalarını inceleyerek, CBS teknikleri yardımıyla taşkın risklerini belirlemeyi ve alınabilecek önlemleri sunmayı amaçlamaktadır. 1/25.000 ölçekli topoğrafik ve toprak haritalarından yararlanarak oluşturulan CBS veri tabanı, planlama aşamalarında merkezi yönetim birimlerine destek sağlamayı hedeflemektedir. Elde edilen sonuçlar, Trakya Bölgesi için bir model oluşturup ileride tüm bölgeyi kapsayacak daha kapsamlı bir değerlendirme yapılmasına rehberlik etmektedir.

Sarıcan vd. (2013), yaptığı çalışmada, taşkın tahmini ve erken uyarı sistemlerinin önemini vurgulayarak, düşük maliyetli ve yüksek hassasiyetli bir otomatik yağış ölçüm cihazı geliştirmeyi amaçlamaktadır. İki farklı düzenek üzerinde yapılan testler sonucunda taşma kontrollü kap sistemi daha verimli bulunmuş ve 2,5 mikron hassasiyet gibi oldukça yüksek bir duyarlılık elde edilmektedir. Bu sayede, ekonomik ve güvenilir bir erken uyarı altyapısı oluşturulmasına katkı sağlanmaktadır.

Serencam vd. (2013), yaptığı çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi’nde yer alan Değirmendere Havzası’nın Sanayi Mahallesi’nde, 100 ve 500 yıllık tekrar periyoduna sahip taşkınların yerleşim alanlarında yol açabileceği fiziksel yapı hasarlarını tahmin etmeyi ve bu bağlamda taşkın riskine yönelik kapsamlı analizler gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. HEC-RAS yazılımı, uydu verileri ve sayısal yükseklik modelleri kullanılarak taşkın debileri, su yüzü profilleri ve etkilenecek alanlar belirlenmiş, böylece risk haritaları oluşturulmaktadır. Bu kapsamda, taşkınların çevresel ve jeolojik etkileri ile Trabzon Limanı’na olan olası zararlar da değerlendirilmektedir. Elde edilen sonuçlar, bölgede taşkın riskini azaltmaya yönelik önlemler planlamak için önemli bir rehber niteliği taşımaktadır.

Tiryaki vd. (2014), yaptığı çalışmada, Çanakkale’deki Sarıçay Nehri’nin hem tarihsel taşkın geçmişini hem de güncel taşkın riskini analiz etmektedir. Jeolojik, jeomorfolojik, sedimantolojik ve hidrolojik veriler ile sondaj ve araştırma çukurlarından

alınan örnekler OSL yöntemiyle yaşlandırılarak, nehir yatağının 30-40 bin yıl önce KB-GD yönünde olduğu ve zamanla D-B yönüne doğru kaydığı belirlenmektedir. CBS ve ArcGIS 10 yazılımı kullanılarak eğim, yükseklik, jeoloji, arazi kullanımı ve akarsuya yakınlık gibi kriterler değerlendirilmiş, ağırlıklı çakıştırma yöntemiyle taşkın riski 1'den (çok az riskli) 5'e (çok riskli) kadar sınıflandırılmaktadır. Bu sayede Sarıçay'ın jeolojik gelişimi ve günümüzdeki taşkın potansiyeli net bir biçimde ortaya konmaktadır.

Bahçeci vd. (2014), yaptığı çalışmada, İstanbul'daki Ayamama Deresi taşkınının nedenlerini ve etkilerini inceleyerek, gelecekte benzer felaketleri önlemek için alınabilecek tedbirleri araştırmaktadır. Havzanın hidrolojik ve hidrodinamik modelleri EPA SWMM ve WMS yazılımlarıyla oluşturulmuş, farklı senaryolar değerlendirilerek taşkın riski belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, taşkınların etkisini azaltmak için hangi önleyici tedbirlerin uygulanabileceğine dair önemli bilgiler sunmaktadır.

Demir vd. (2014)'in yaptığı çalışmada, Aşağı Sakarya Havzası'nın hidrolojik özelliklerini inceleyerek farklı tekerrür sürelerine ait taşkın debileri ve yayılım haritalarını ortaya koymayı amaçlamaktadır. ArcGIS ile sayısallaştırılan veriler MIKE 11 programında işlenmiş, kalibrasyon aşamasında kesit ve pürüzlülük değerleri yenilenerek model doğruluğu artırılmaktadır. Elde edilen taşkın yayılım haritaları, bölgedeki yapılaşma ve risk değerlendirme çalışmalarına önemli bir veri kaynağı sağlamaktadır.

Efe ve arkadaşları (2015), yaptıkları çalışmada Batman Çayı'nın Yeni Malabadi Köprüsü ile Diyarbakır-Batman Karayolu Köprüsü arasındaki kesiminde taşkın riskini belirlemeyi amaçlamıştır. AutoCAD içerisinde inşaat mühendisliği için hazırlanmış bir modül olan Civil 3D kullanılarak elde edilen 165 enkesit, HEC-RAS programına aktarılmış ve farklı taşkın debileri için su yüzeyi kotları hesaplanmaktadır. Bu veriler, bölgedeki yerleşim planlaması ve risk yönetimi çalışmalarına rehberlik edecek taşkın risk analizi sonuçlarını ortaya koymaktadır.

Üyüklüoğlu vd. (2015), yaptığı çalışmada, Ilıca Deresi'nde HEC-RAS programı kullanılarak su yüzey kotlarına dayalı taşkın yayılım alanlarını belirlemeyi ve dere yatağını ıslah etmeyi amaçlamaktadır. Yeni bir dere güzergâhı seçilerek yapılan ıslah çalışmaları sonucunda, taşkınların kontrol altına alınabildiği görülmektedir. Böylece yerleşim alanlarındaki can ve mal kayıplarının azaltılması hedeflenmektedir.

Pakniyat vd. (2015), yaptığı çalışmada, Tahtalı Barajı'nın olası bir yıkımı senaryosunda ortaya çıkabilecek taşkın dalgasını FLOW-3D yazılımı ile modelleyerek, olası zararların nasıl azaltılabileceğini araştırmaktadır. FLOW-3D, serbest yüzey akımları ve hidrolik problemlerin çözümünde sonlu hacimler yöntemini kullanan bir

akışkanlar mekaniği programı olup, kısmi ve tedrici yıkılma senaryolarını gerçekçi bir şekilde simüle edebilmektedir. Elde edilen sonuçlar, baraj yıkılmasının etkilerini değerlendirmeye ve alınacak önlemlerle zararları en aza indirmeye yönelik önemli veriler sağlamaktadır.

Anılan vd. (2016), yaptığı çalışmada, Doğu Karadeniz Havzası'ndaki 33 akım gözlem istasyonunda taşkın frekans analizini L-momentler yöntemiyle yaparak bölgenin homojenliğini ve farklı dağılımların (örneğin ekstrem değer tip I, GEV, log normal) uygunluğunu incelemektedir. 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık tekerrür periyotları için taşkın debileri hesaplanmış, ardından drenaj alanı, eğim, kot ve yağış gibi parametreleri içeren regresyon modeliyle yapay arı kolonisi (ABC), öğrenme-öğretme tabanlı algoritma (TLBO) ve yapay sinir ağı (YSA) yaklaşımları karşılaştırılmaktadır. Sonuçlar, TLBO'nun ABC ve regresyon modelinden, YSA'nın ise çoklu lineer olmayan regresyondan daha başarılı tahminler ürettiğini göstermektedir.

Akkaya vd. (2016), yaptığı çalışmada, Edirne ili sınırları içindeki Meriç ve Tunca Nehirlerinin taşkın riskleri, iklim değişikliği ve insan kaynaklı faaliyetler sebebiyle giderek artmaktadır. 1955-1975 yıllarında inşa edilen seddelerin zamanla yıpranması, göllenmelere ve su sızıntılarına yol açarak taşkın kontrolünü güçleştirmiştir. Uluslararası anlaşmalara rağmen Bulgaristan ve Yunanistan'daki barajlardan bırakılan suların kontrolünde sorunlar yaşanmakta, bu da taşkın riskini artırmaktadır. Edirne şehir merkezi ve tarım alanlarını korumak için tasarlanan tahliye kanalları 2 boyutlu modellemelerle test edilerek olası çözümler sunulmaktadır.

Doğu vd. (2016), yaptığı çalışmada, Kırıkkale'deki Çoruhözü Deresi havzasında 2010 yılına kadar kaydedilen yağış verileriyle taşkın pik debilerini DSİ Sentetik ve Mockus yöntemleriyle hesaplamış, HEC-RAS programıyla 1999'da tasarlanan kesitlerin 500 ve 1000 yıllık taşkın piklerine karşı yeterliliğini test etmiştir. Sonuçlar, mevcut kesitlerin yetersiz olduğunu ve DSİ'nin 1996 verileriyle bu çalışmada kullanılan 2010 verileri arasındaki farkın pik debi tahminlerindeki farklılıkların temel nedeni olduğunu göstermektedir.

Ersoy vd. (2017), yaptığı çalışmada, Manisa'nın Yunusemre ilçesindeki Kızıldere Deresi için 100, 500 ve 1000 yıllık taşkın senaryolarında oluşabilecek taşkın alanlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Akım gözlem istasyonu bulunmadığından, taşkın debileri Mockus yöntemiyle hesaplanmaktadır. Muradiye ve Üçpınar meteoroloji istasyonlarından elde edilen yağış verileri analiz edilerek, hLog-Pearson Tip-3 dağılımı en uygun istatistiksel model olarak seçilmiş ve çeşitli tekerrürlü maksimum yağış yükseklikleri hesaplanmaktadır. Sonuç olarak, bu veriler HEC-RAS modeli ile

işlenerek, Kızıldere Deresi'nde meydana gelebilecek taşkın alanları haritalandırılmaktadır.

Keçik vd. (2017), yaptığı çalışmada, Türkiye'de taşkın riskini artıran iklim değişiklikleri, çarpık kentleşme ve hatalı imar uygulamaları gibi faktörleri göz önüne alarak, Kahramanmaraş'ın Türkoğlu ilçesindeki İmalı Deresi'nden elde edilen harita verilerini AutoCAD Civil 3D ile sayısallaştırmış ve dere güzergahını tanımlamaktadır. HEC-RAS 5.0.6 programı kullanılarak, 100 ve 500 yıllık taşkın tekerrür debilerine dayalı hidrolik modelleme yapılmış, su yüzü profilleri ve taşkın yayılım haritaları oluşturulmaktadır. Bu analizler, taşkınların etkisini azaltmaya yönelik önlemlerin belirlenmesinde önemli veriler sunmaktadır.

Yılmaz vd. (2017), yaptığı çalışmada, Çorum ilindeki taşkın tehlikesini Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanarak inceledi ve oluşturulan tehlike haritasını geçmiş taşkın envanteriyle karşılaştırmaktadır. Elde edilen sonuçlar, haritanın geçmiş olaylarla uyumlu olduğunu ve mevcut yapısal önlemlerin çoğunun yüksek risk alanlarına odaklandığını ortaya koyarken, risk altındaki bölgeler için daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Çalışma, Türkiye'de taşkın tehlike analizlerinin önce genel ÇÖKA yöntemiyle, ardından ise detaylı hidrolik-hidrolojik modellemelerle yapılmasının zaman ve maliyet açısından avantajlı olacağını önermektedir.

Shirzad vd. (2017), yaptığı çalışmada, CBS, HEC-GeoRAS ve HEC-RAS kullanılarak taşkın risk haritaları oluşturmayı hedeflemektedir. 1/5000 ölçekli topoğrafik haritalardan elde edilen 5 metre eşyüksekti eğrileri ile TIN modelleri oluşturulmuş, uzaktan algılama ve CBS verileriyle havzanın 25, 50 ve 100 yıllık taşkın debileri hesaplanmaktadır. Kanal geometrik modeli çıkarılarak dere ıslah öncesi ve sonrası risk altındaki alanlar değerlendirilmiş; böylece yapılaşma ve imar planlamaları için can ve mal kayıplarını önlemeye yönelik önemli veriler sunulmaktadır.

Kaya vd. (2017), yaptığı çalışmada, Taşkın olaylarının zamanla değişen birçok durum ve sürücü değişkeni nedeniyle kesin tahminlerin yapılamayacağını vurgulamaktadır. Olasılıkçı yaklaşımların yanı sıra, hidrolojik olayların fiziksel yönlerini inceleyen deterministik matematik modellerin de kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Bu doktora tezi kapsamında, hidrometrik veri eksikliği bulunan Güneysu Deresi havzası için bir taşkın modellemesi gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler ışığında zamansal taşkın risk profili analiz edilmiştir. Çalışma ayrıca, arazi kullanım desenlerinin taşkın risk haritalarının üretimindeki kritik rolünü vurgulamakta ve

sürdürülebilir taşkın yönetimi stratejilerine yönelik bölgeye özgü, spesifik öneriler sunmaktadır.

Üçüncü vd. (2018), yaptığı çalışmada, Kırıkkale il sınırları içindeki Karadere ve Hodar Deresi havzalarında, DSİ Sentetik ve Mockus yöntemleri kullanılarak çeşitli tekerrür sürelerine ait taşkın pik debileri hesaplanmıştır. 2010 yılına kadar Kırıkkale Meteoroloji İstasyonu verilerine dayalı yağış ölçümleri kullanılmış, farklı taşkın debileri HEC-RAS programı ile analiz edilmektedir. Yapılan değerlendirmelerde, mevcut dere kesitlerinin taşkın riskini karşılamada yetersiz olduğu belirlenmektedir.

Dolo vd. (2018), yaptığı çalışmada, Arhavi ilçesinde meydana gelen sel ve taşkın olaylarını drone, uzaktan algılama ve CBS teknikleriyle detaylı olarak incelemektedir. 47 yıllık yağış verileri analiz edilip farklı tekrarlama periyotlarına göre SCS Sentetik Hidrograf yöntemiyle akış hidrografı oluşturulmuş, HEC-RAS ile yapılan simülasyonlarda 2 yıllık periyotta 3 saat 10 dakikada sel olduğu, 100 yıllık periyotta ise 0,221 km²'lik bir alanın etkileneceği belirlenmektedir. Özellikle Yukarı Hacılar ve Aşağı Hacılar deresi arasındaki bölge ile Özay Hotel'in arkasındaki yerleşim alanı en çok risk altında kalmış; su kütlesinin Karadeniz'e tahliye süresi ise 65 saat olarak hesaplanmaktadır.

Alpan ve diğerleri (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Türkiye'nin Çoruh, Doğu Karadeniz ve Fırat-Dicle havzalarında bulunan 38 akım gözlem istasyonundan elde edilen yıllık maksimum akış verileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışma, taşkın frekans analizi, taşkın debilerinin belirlenmesi ve ekstrem değer dağılımı konularına odaklanmıştır. Araştırmacılar, Genelleştirilmiş Ekstrem Değer (GEV) modelini kullanarak güvenilir sonuçlar elde etmişlerdir. Modelin performansı, kuantil-kuantil (Q-Q) grafikleri, eklenik dağılım grafikleri ve olasılık dağılım grafikleri ile desteklenmiştir. Ayrıca, modelin geçerliliği, Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (NSE) ve belirleme katsayısı (R^2) gibi istatistiksel kriterlerle değerlendirilmiş olup, bu değerler büyük oranda 0,95'in üzerinde bulunmuştur. Çalışma kapsamında, 100, 200 ve 500 yıllık dönüş aralıklarına göre taşkın tahminleri yapılmış ve bölgesel analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu veriler, özellikle hidroelektrik santraller (HES) gibi enerji projelerinin planlama ve işletme aşamalarında önemli bir mühendislik girdisi sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma su kaynakları yönetimi ve ilgili altyapı projeleri için güvenilir taşkın tahminleri sunarak literatüre önemli katkılarda bulunmaktadır.

Çavdar vd. (2018), yaptığı çalışmada, akarsularda taşkın öteleme hesaplamaları için kullanılan dalga modellerini incelemektedir. Akarsuyun düzensiz enkesitleri, basit

prizmatik şekillerle matematiksel olarak modellenmiş; Saint-Venant denklemleri temel alınarak kinematik, difüzyon ve dinamik dalga modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin sayısal çözümünde sonlu fark yöntemleri kullanılarak üç farklı prizmatik kanal için karşılaştırmalar yapılmış, dalga modellerindeki ihmal ve basitleştirmelerin taşkın hidrografi üzerindeki etkileri analiz edilmektedir. Ayrıca, kanal parametrelerinin taşkın hidrografının yapısına etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmektedir.

Oğraş vd. (2019), yaptığı çalışmada, Türkiye’de nüfus artışı ve plansız imarın yol açtığı artan taşkın riskine dikkat çekmekte ve ıslah çalışmalarının önemini vurgulamaktadır. Dicle Nehri’nin ilgili bölgesi, HEC-RAS kullanılarak analiz edilmiş; su yüzü profilleri ile önemli yapı ve alanların taşkın etkileri belirlenmektedir.

Dağ vd. (2019), yaptığı çalışmada, Altınçay Deresi’nde taşkın debileri hesaplanarak HEC-RAS ile modellenmektedir. 2-10 yıllık debilerde risk bulunmazken, 25, 50 ve 100 yıllık debilerde sırasıyla 16, 51 ve 73 istasyonda taşkın riski tespit edilmektedir.

Akkoç vd. (2019), yaptığı çalışmada, ArcGIS ve HEC-RAS kullanılarak Kars Çayı ve çevresindeki taşkın riskleri incelenmektedir. 2420,5 km²’lik havzada on iki alt havza tespit edilirken, CORINE Land Cover ile arazi ve bitki örtüsü analizleri yapılmaktadır. Kars Çayı’nın ıslahlı bölümünün kanal kapasitesi 200 m³/s (5–10 yıllık tekrarlama) olarak belirlenmiş, Paşacayı doğal taşkın biriktirme alanı olarak değerlendirilmiş; Bayrampaşa Deresi’nde yapısal düzenlemeler önerilirken, Merkez Mahallesi seddeleme ile korunması ve Bülbül Deresi’nde artan su seviyeleri nedeniyle taşkın riskine dikkat çekilmektedir.

Ekici vd. (2019), yaptığı çalışmada, Göksu Nehri için taşkın senaryoları oluşturulmuş ve mevcut ile planlanan barajların taşkın anındaki davranışları HEC-Ressim programı kullanılarak incelenmektedir. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü’nden alınan hidrolojik ve topografik veriler temel alınarak, Mut ve Kayraktepe Barajlarının gereksinimleri belirlenmiş; ayrıca, Silifke’yi korumak için Kayraktepe Barajı’nın tek ya da çift baraj olarak planlanmasına yönelik alternatifler geliştirilmektedir.

Yurdakul vd. (2019), yaptığı çalışmada, Keçi Deresi’nde 100, 50, 10, 5 ve 500 yıllık taşkın debileri hesaplanarak Keçi Deresi’nin taşkın yayılım haritasını oluşturulmuş; risk altındaki yerleşim alanları ve olası zararlar belirlenmektedir. Sonuç olarak, zararların en aza indirilmesi için öneriler geliştirilmiş ve çalışma, taşkın öngörüsü ile etkilerinin azaltılmasına yönelik önemli veriler sunmaktadır.

Kuşoğlu vd. (2019), yaptığı çalışmada, Küresel ve Türkiye’deki taşkın afetlerinin etkilerini örneklerle açıklayarak, bütünleşik afet yönetiminde risk yönetiminin önemini

vurgulamaktadır. Özellikle Kahramanmaraş'ın Göksun ilçesindeki Törbüzek Çayı'nda, AutoCAD Civil 3D ile sayısallaştırılan harita verileri ve HEC-RAS 5.0.7 kullanılarak 100 ve 500 yıllık taşkın pik debileri üzerinden hidrolik modelleme yapılarak taşkın yayılım alanları belirlenmektedir. Bu çalışma, doğal ve beşeri faktörlerin taşkın riskini nasıl artırdığına dikkat çekmekte, CBS teknolojilerinin taşkın risklerinin azaltılmasında etkin rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Kızmaz vd. (2020), yaptığı çalışmada, 30.09.2018'de Kaynarca'da meydana gelen taşkın sonrası Seyren Deresi için taşkın yayılım, tehlike ve risk haritalarını oluşturmayı amaçlamaktadır. Yağış verilerinden hesaplanan 5-500 yıllık tekrarlama debileri ve 2018 verileri kullanılarak model kalibrasyonu yapılmış, derinlik, hız, nüfus, yapı kullanımı ve maddi zarar faktörleri temel alınarak risk haritaları oluşturulmaktadır. Bu analizler, risk altındaki yerleşim alanları ile olası zararları belirleyip zararları azaltmaya yönelik öneriler sunmaktadır.

Yıldırım vd. (2020), yaptığı çalışmada, Geyve Karaçay Deresi'nde HEC-RAS kullanılarak taşkın analizleri yapılmaktadır. Taşkın debileri, Mockus ve Log-Pearson Tip III yöntemleriyle hesaplanarak kararsız akım taşkın analizi yapılmış ve her tekerrür debisi için taşkın yayılım haritaları oluşturulmuştur. Sonuçlar, Geyve ilçe merkezi ile verimli tarım alanlarının su altında kalabileceğini ve olası maksimum su derinliklerinin tespit edildiğini göstermektedir.

Tektaş vd. (2021), yaptığı çalışmada, Diyarbakır'ın Çınar ilçesinde, Çakmak Deresi üzerinde 1 ve 2 boyutlu hidrolik modellemeler kullanılarak taşkın riski analiz edilmektedir. 2020 yılı Sentinel-2 uydu görüntüleriyle yerleşim ve tarım arazileri belirlenmiş, hidrolik model sonuçları ile arazi kullanımı birleştirilerek taşkından etkilenen alanların yüz ölçümleri hesaplanmaktadır. Bu yöntem, artan nüfus ve plansız kentleşmenin oluşturduğu taşkın risklerine karşı yerleşim planlaması için önemli veriler sunmaktadır.

Topuksak vd. (2021), yaptığı çalışmada, 2016'daki Bulak Deresi taşkını sonrasında, günlük maksimum yağış verileri kullanılarak 2-1000 yıllık taşkın debileri DSİ Sentetik ve Mockus yöntemleriyle tahmin edilmektedir. Havza modellemesi, 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalar ve 30x30 m ASTER görüntüleri kullanılarak yapılmış, farklı yöntem ve veri seçimleriyle toplam 20 model oluşturulmaktadır. Ayrıca, 40 yıllık veriye sahip Karabük 17078 istasyonu ile yapılan yağış analizi ve Kolmogorov-Smirnov testi, olasılık dağılım modellerini belirlemiş; sonuç olarak, 2016'daki hasarın ardından yapılan yeni kutu menfezin, 47.236 m³/sn olan 100 yıllık debiyi normal şartlar altında geçebileceği saptanmaktadır.

Şevgin vd. (2022), yaptığı çalışmada, Kalecik havzasında taşkınların hidrolik ve hidrolojik problemleri incelenmiş; aşırı kentleşme ve iklim değişikliği gibi faktörlerin yağış-akış dönüşümünü artırarak taşkın riskini yükselttiği ortaya konulmaktadır. Yağış-akış belirsizliğini değerlendirmek için bulanık mantık kullanılarak, meteorolojik, jeomorfolojik ve arazi kullanım verilerine dayalı akış katsayısı belirlenmiş, Kriging ve Sayısal Yükselti Modeli (SYM) ile haritalar oluşturulmaktadır. Belirlenen akış katsayısı, taşkın debisi hesaplamalarında ve risk haritası oluşturulmasında kullanılmaktadır. Tez, giriş, literatür, metodoloji, geliştirilen modeller ve haritalar, sonuçlar ve öneriler ile referans bölümleri şeklinde altı ana bölümden oluşmaktadır.

Özer vd. (2022), yaptığı çalışmada, Erzurum Uzundere Göleti Projesi için taşkın debileri, 7 akım gözlem istasyonundan alınan yıllık maksimum akım verileri ile 11 farklı olasılık dağılım fonksiyonu kullanılarak hesaplanmaktadır. Model seçimi, Akaike, Kolmogorov-Smirnov, Cramér-von-Mises, Bayesian ve Anderson-Darling testleriyle yapılmış; elde edilen Q2, Q5, Q10, Q25, Q50 ve Q100 değerleri proje planlaması ile karşılaştırılmaktadır.

Menteşe vd. (2022), yaptığı çalışmada, ArcGIS kullanılarak havza alanı, kol boyları ve harmonik eğim belirlendikten sonra DSİ Sentetik, Snyder, Mockus ve Rasyonel yöntemlerle 2–1000 yıllık taşkın debileri hesaplanmaktadır. Ezine ve Maraz Çayları için DSİ Sentetik, Bozkurt içindeki kuru dere için Rasyonel yöntem kullanılmış; 500 yıllık taşkın debisi 1575,06 m³/s olarak bulunmaktadır. HEC-RAS 1D ve 2D analizleri, köprülerin akışı engellediğini ve Bozkurt ilçe merkezindeki kanal kapasitesinin yetersiz olduğunu ortaya koyarak, yeniden tasarım önerileri sunmaktadır.

Zorba vd. (2023), yaptığı çalışmada, 2017'de Gürsu meteoroloji verileri kullanılarak, HEC-HMS 4.10 ile Narlıdere Havzası'ndaki ekstrem yağış olaylarının hidrolojik simülasyonları yapılmaktadır. Otomatik ve manuel kalibrasyonla optimize edilen model, ArcGIS 10.7 verileri ile desteklenmiş ve NSE, PBIAS, RMSE kriterleriyle değerlendirildi; sonuçlar, havza akış değerlerini başarılı bir şekilde tahmin ettiğini göstermektedir. Bu model, hidrolojik süreçlerin anlaşılması ve etkili çözümler geliştirilmesi için sağlam bir temel sunmaktadır.

Oghly vd. (2024), yaptığı çalışmada, CBS ve hidrolik modelleme kullanılarak Serinhisar ilçe merkezindeki taşkın riski değerlendirilmiş ve önlemler belirlenmektedir. 50 cm çözünürlüklü dijital yükseklik modeli oluşturulmuş, yağış verileri Acıpayam Meteoroloji İstasyonu'ndan alınmaktadır. 64 istatistiksel dağılım analizi içinde Gamma*3P uygun bulunmuş, McMath ve Mockus yöntemleriyle taşkın debileri hesaplanmaktadır. Sonuçlar, taşkın suyu yüksekliğinin 0.24-4.5 m arasında değiştiğini

ve yüzlerce konut, işyeri ile tarım alanlarının risk altında olduğunu göstermektedir. Çalışma kapsamında taşkın risk haritaları oluşturulmaktadır.



4. HEC-RAS PAKET PROGRAMI

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System), Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Mühendisler Kolordusu (USACE) tarafından geliştirilmiş, doğal akarsu sistemleri ve yapay açık kanallardaki tek ve çift boyutlu hidrolik modelleme yeteneklerine sahip, grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) tabanlı bir yazılım paketidir. Bu yazılım, kararlı (steady) ve kararsız (unsteady) akım koşulları altında su yüzeyi profili hesaplamaları, sediment taşınımı analizi, su kalitesi simülasyonları ve hidrolik yapı performans değerlendirmesi dahil olmak üzere geniş bir yelpazede hidro-numerik işlemleri icra edebilmektedir. HEC-RAS platformunda, bir proje belirli bir nehir sistemine ait veri setlerini konsolide eden bir yapıda organize edilmiştir. Bu veri setleri; planlama, geometrik konfigürasyon, kararlı akım parametreleri, kararsız akım dinamikleri, yarı kararlı akım özellikleri, sediment transport modülleri, su kalitesi parametreleri ve hidrolik tasarım verilerini ihtiva etmektedir. Kullanıcılar, HEC-RAS ortamında farklı senaryo planlarını modelleme esnekliğine sahiptir; her bir plan, kendine özgü geometrik ve akım veri dosyaları aracılığıyla tanımlanmaktadır. Simülasyon çıktıları, karşılaştırmalı analizler için hem tabüler hem de grafiksel formatlarda görselleştirilebilmektedir (HEC-RAS, 2016).

HEC-RAS yazılımı, bir boyutlu nehir analizi için dört ana bileşenden oluşur.

1) Bu bileşen, düzenli ve yavaş değişen akımlarda su yüzeyi profili hesaplamalarını kapsar. Bu kapsam, tek ve çok kollu nehir sistemleri ile yapay kanal ağlarının hidrolik çözümlemesini; kritik değerin altında, kritik değerin üzerinde ve geçişli (düzensiz) akım rejimlerinde su yüzeyi profili hesaplamalarını; enerji kayıplarını göz önünde bulundurarak bir boyutlu enerji denkleminin (Bernoulli denkleminin genişletilmiş hali) sayısal çözümünü; ayrıca karışık akım rejimlerinin, köprü açıklıklarının ve dere birleşim noktalarının analizinde momentum denkleminin uygulanmasını içermektedir. Bunun yanı sıra, köprü, menfez, kapak ve dolusavak gibi hidrolik yapıların akım üzerindeki etkilerinin hesaplanması; taşkın yönetimi, sigorta risk analizi ve kanal düzenleme projeleri kapsamında gerçekleştirilen su yüzeyi profili analizleri de bu kapsamda değerlendirilmektedir.

2) Bu bileşen, açık kanal sistemlerinde bir boyutlu, zamana bağlı değişken akım (unsteady flow) analizlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan temel bir modüldür. Modül, özellikle kritik altı akım rejimlerinde akım karakteristiklerinin belirlenmesi,

farklı kesit geometrilerine sahip kanal profillerinin modellenmesi, köprü, menfez ve benzeri hidrolik yapıların hidrolik performanslarının hesaplanması ile birlikte depolama alanlarının (rezervuar, doğal göllenme sahaları vb.) ve dere birleşim noktalarının hidrodinamik analizinde etkin şekilde kullanılmaktadır. Bu yönüyle, taşkın yayılımı, su seviyesi tahmini ve akım yönlendirme gibi mühendislik uygulamalarında kritik bir rol oynamaktadır.

3) Bu modül, bir boyutlu sediman taşınımı ve hareketli katı sınır (mobile bed) koşulları altında kanal morfolojisinin zamana bağlı değişimini analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle yıllık ölçekte ya da belirli bir taşkın olayı süresince oyulma (erozyon) ve birikim (çökelme) süreçlerini hesaplayarak, yatak morfolojisindeki değişiklikleri ortaya koyar. Sediman taşınım potansiyeli, akarsu yatağındaki sedimanın tane çapı, yoğunluğu ve şekli gibi fiziksel özelliklerine bağlı olarak çeşitli ampirik veya yarı ampirik formülasyonlar aracılığıyla belirlenmektedir. Dere ağı sistemleri, kanal tarama operasyonları, taşkın koruma seddeleri ve anroşman tasarımlarına yönelik mühendislik uygulamalarında, sediman taşınımı ve yatak değişimi dinamikleri; momentum ve enerji denklemleriyle birlikte çözülerek, sistemin uzun vadeli davranışı detaylı biçimde analiz edilmektedir. Bu modelleme yaklaşımları, akarsu sistemlerindeki uzun dönemli erozyon (scour) ve birikim (deposition) eğilimlerinin prognostik analizini sağlamaktadır. Uygulama alanları, baraj rezervuarlarında meydana gelen sediman birikimlerinin tayini, navigasyon için gerekli kanal derinliğinin saptanmasına yönelik kanal tasarımı, kanal birikimlerinin bertaraf edilmesi amacıyla gerçekleştirilecek tarama hacminin estimasyonu, taşkın olaylarında beklenen maksimum erozyon derinliğinin öngörülmesi ve kaplamalı kanallardaki sediman davranışının tahminini kapsamaktadır.

4) Suyun Kalite Değerleri Analizleri:

Akarsular için su kalitesi değerlendirmelerinde, özellikle termal değişimleri içeren sıcaklık profillerinin detaylı incelenmesi ile birlikte biyolojik ve kimyasal su kalitesi parametreleri örneğin alg yoğunluğu, çözünmüş oksijen konsantrasyonu, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve nitrat düzeyleri gibi analiz edilmekte ve izlenmektedir. (HEC-RAS, 2018, Ardıçlıoğlu, 2019).

4.1. Teorik Arka Plan

Bu bölüm, 1 ve 2 boyutlu (1B ve 2B) dengesiz akışı yöneten temel denklemleri, bu denklemlerin basitleştirilmesini ve bu denklemlerin sayısal çözümüne ilişkin bazı temel bilgileri tanıtacaktır. Dengesiz akışkan akışı hem uzayda hem de zamanda değişir. Akış, Sığ Su Denklemleri (St. Venants denklemleri olarak da bilinir) olarak adlandırılan

bir dizi denklemle tanımlanabilen kütle ve momentumun korunumu tarafından yönetilir. Aşağıdaki bölümler, bu denklemlerin 1B ve 2B formülasyonlarını sunar.

4.1.1. Varsayımlar

1B ve 2B Sığ su denklemleri, uygulamaya bağlı olarak daha fazla veya daha az uygun olabilecek bir dizi varsayıma dayanır ve bu nedenle bunların çıkarımlarını anlamak önemlidir. Bu varsayımlar şunlardır.

- Sıvı sıkıştırılmazdır: Yoğunluğun sabit olduğu varsayıldığından hacim kütleyle orantılıdır.
- Basınç dağılımı hidrostatiktir: dikey ivmeler ihmal edilir
- Akış bir veya iki boyutludur, akış ve hızdaki dikey değişimler ihmal edilir.
- Dalga boyları su derinliğinden çok daha büyüktür.
- Ortalama kanal yatağı eğimi küçüktür.
- Yatak sürtünmesi, sabit akış koşulları için türetilen Manning denklemi kullanılarak hesaplanabilir.
- Akış, hızın ve su yüzeyi yüksekliğinin H sürekli fonksiyonları olarak tanımlanabilir.

4.2. 1B Kararsız Akış

Çok sayıda nehir modellemesi uygulamasında, akım dinamiğinin tek boyutlu (1B) olarak karakterize edildiği varsayılmaktadır. Bu varsayım altında, akış rejimi, aşağıda sunulan St. Venant denklemlerinin 1B formülasyonu kullanılarak hesaplanmaktadır.

4.2.1. 1B Süreklilik Denklemi

Süreklilik denklemi, belirli bir kontrol hacmindeki kütlenin korunmasını açıklar. Net kütle akışının depolamadaki değişime eşit olduğunu belirtir. St.'nin 1B biçimi.

Venant süreklilik denklemi aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$\partial(Q)/\partial x + \partial A/\partial t + q = 0$$

Burada Q akış hızı, A kesit alanı ve q yanal giriştir.

4.2.2. 1B Momentum Denklemi

Momentum denklemi, bir eleman üzerinde etkili olan kuvvetlerin toplamının, momentumun değişim hızına eşit olduğunu belirten Newton'un ikinci hareket yasasına dayanır. Momentum denkleminin formülasyonu, hangi kuvvetlerin dikkate alındığına

bağlı olarak değişir. Basınç, yerçekimi ve sürtünme direncini göz önünde bulundurarak, 1 boyutlu süreklilik denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$\partial V / \partial t + g \cdot \partial / \partial x (V^2 / 2g + h) = g \cdot (S_0 - S_f)$$

Burada V akış hızı, g yerçekimi ivmesi, h su derinliği, S_0 yatak eğimi ve S_f sürtünme eğimidir.

4.3. 2B Kararsız Akış

Karmaşık taşkın yatakları üzerindeki akışı incelerken, akışın 1B olduğu varsayımı artık geçerli olmayabilir. 2B sabit olmayan akış zaman içinde ve iki uzamsal boyut boyunca değişir. 2B sabit olmayan akışın yönetim prensipleri, kütle ve momentumun korunumu olan 1B akışla aynıdır.

4.3.1. 2B Süreklilik Denklemi

Süreklilik denkleminin 2B biçimi, tıpkı 1B biçimi gibi, kontrol hacmine giren net kütle akışının kontrol hacmindeki depolama değişimine eşit olduğunu belirtir. Aradaki fark, kütle akışlarının artık 2 boyutta hesaplanmasıdır. 2 boyutlu süreklilik denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$\partial H / \partial t + \partial \cdot (hu) / \partial x + \partial \cdot (hv) / \partial y + q = 0$$

Burada H su yüzeyi yüksekliği, h su derinliği, u ve v x ve y yönündeki ortalama derinlik hızları ve q yağış gibi dış kaynaklardan gelen akışı temsil eden kaynak terimidir. (Chaudhry, 2008)

4.3.2. 1B Momentum Denklemi

Bir boyutlu (1B) akış durumunda olduğu gibi, momentum dengesi, bir kontrol hacmi üzerindeki net kuvvetlerin, momentumun zamana bağlı değişim oranına eşit olduğu prensibine dayanmaktadır. İki boyutlu (2B) akışlarda ise, yerçekiminden kaynaklanan kuvvetler, girdap viskozitesi nedeniyle ortaya çıkan momentum transferi, yatak sürtünmesi ve Coriolis kuvveti gibi etkiler dikkate alındığında, momentum denklemleri aşağıdaki formda ifade edilmektedir. x yönünde momentum dengesi:

$$\partial u / \partial t + u \cdot \partial u / \partial x + v \cdot \partial u / \partial y = -g \cdot \partial H / \partial x + v_t (\partial^2 U / \partial x^2 + \partial^2 U / \partial y^2) - cf_u + fv$$

Y yönündeki momentum dengesi:

$$\partial v / \partial t + u \cdot \partial v / \partial x + v \cdot \partial v / \partial y = -g \cdot \partial H / \partial y + v_t (\partial^2 V / \partial x^2 + \partial^2 V / \partial y^2) - cf_v + fu$$

Burada H su yüzeyi yüksekliği, v_t girdap viskozite katsayısı, cf sürtünme katsayısı, f Coriolis parametresi ve v ve u sırasıyla x ve y yönlerinde derinlik ortalamalı hızlardır (Brunner, 2016a). Momentum denklemlerindeki ilk terim yerel ivmeyi

konvektif ivmedir, aşağıdaki terimler yer çekiminden, girdap viskozitesinden, yatak sürtünmesinden ve Coriolis kuvvetinden kaynaklanan zorlamayı tanımlar. Manning formülü kullanılarak sürtünme katsayısı c_f aşağıdaki gibi ifade edilebilir (x yönünde):

$$c_f = n^2 \cdot g \cdot |u| / (R^{4/3})$$

Burada n Manning n , g yerçekimi sabiti, u x yönündeki hız ve R hidrolik yarıçaptır.

4.4. Modelleme Basitleştirmeleri

Hesaplama süresini kısaltmak ve sayısal kararsızlığı azaltmak için, tam Shallow Water Denklemleri genellikle momentum denklemindeki farklı terimleri ihmal ederek basitleştirilir. Bu basitleştirmeler çoğunlukla 2B modellerde uygulanır. Bu basitleştirmeler yalnızca belirli akış koşulları için geçerlidir, yani bunların ilgili kullanımlarının ve sınırlamalarının anlaşılması, bunların kullanılması durumunda gereklidir (Babister vd., 2012). Birkaç farklı basitleştirme mevcut olsa da, bu rapor yalnızca HEC-RAS'ta kullanılan ana basitleştirme/yaklaştırmayı, yani Difüz dalga yaklaştırmasını sunacaktır. HEC-RAS'ta, bu yaklaşım 2B tam momentum denklemleri yerine kullanılabilir.

4.5. HEC-RAS ile Su Yüzü Profillerini 1B Modelleme

Programımız doğal akışa sahip ve açık bir kanalda hareketine devam eden herhangi bir nehir için su yüzü profilini bir boyutta hesaplayacak biçimde çalışmaktadır. Yazılım, farklı rejimdeki akımlar için su yüzü profili analizleri yapabilmektedir. Su yüzü profilleri, enerji denkleminin iteratif çözümüne dayanan standart adım yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (\text{Eşitlik 1})$$

z_1, z_2 = ana kanal taban yüksekliği,

Y_1, Y_2 = kesit akım derinliği,

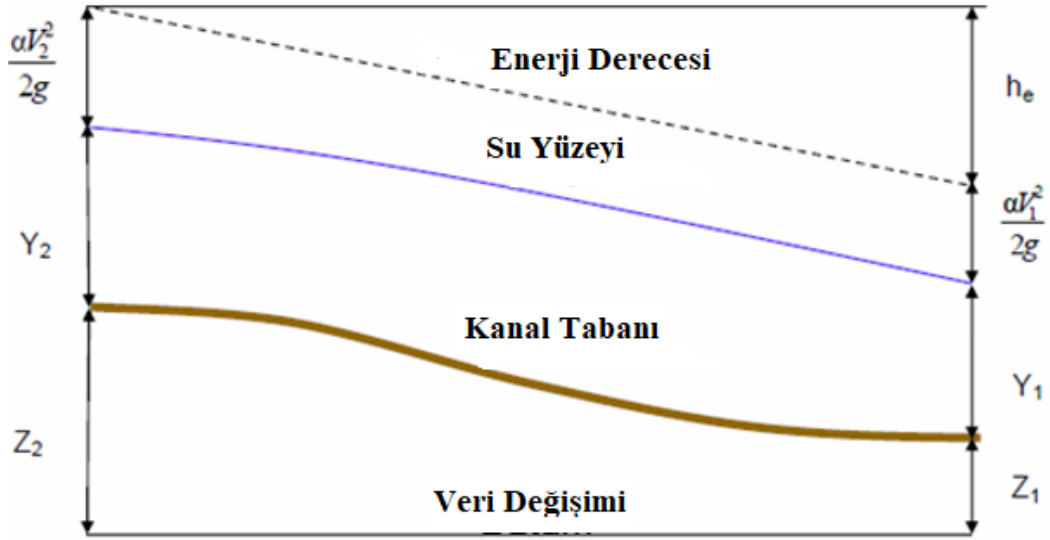
V_1, V_2 = ortalama hız (debi/akım alanı),

α_1, α_2 = hız katsayısı,

g = yerçekimi ivmesi,

h_e = enerji kayıp yüksekliğidir.

Şekil 13' de yer alan denklemdeki notasyonlar grafik olarak açıklanmıştır.



Şekil 13. Enerji denklemindeki büyüklüklerin grafiksel gösterimi

İki kesit arasındaki enerji yük kaybı (h_e); sürtünme kayıpları ile daralma veya genişleme kaynaklı kayıplardan oluşmaktadır. Enerji yük kaybı, aşağıdaki ifade ile tanımlanır;

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (\text{Eşitlik 2})$$

L = kanal boyunun ifadesi,

S_f = Kesitler arasındaki sürtünmeli yüzeylerin eğimi,

C = Olası kanal genişleme veya daralmasındaki kayıp,

Kanal boyu aşağıdaki oranlama ile hesaplanılır.

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} = akım yolu uzunluğu sırasıyla, sol taşkın kanalı, ana kanal ve sağ taşkın kanalı,

Q_{lob} , Q_{ch} , Q_{rob} = Her kesitin ortalama debi değerleri ifade edilirken ortalama debi de gösterilmektedir, (HEC-RAS, 2020, Ardıçlıoğlu, 2020).

4.6. HEC-RAS 1B Daralma ve Genişleme Kaybının Belirlenmesi

HEC-RAS yazılımı, akım analizlerini gerçekleştirirken, kanal geometrisindeki değişimlere bağlı hız yükü farklılıklarını dikkate alır. Buna göre, hız yükü akarsuyun alt tarafında çıkıştaki değeri geçerse taşkın kanalında daralma, geçmez altında kalırsa genişleme olduğunu varsaymaktayız.

Bu hidrolik modellemede genişleme ve daralma durumlarında kullanacağımız C katsayısını bazı durumları için örneği aşağıdaki gibidir:

Tablo 2. Kritik altı akım daralma ve genişleme katsayıları

	Genişleme	Daralma
Geçiş yok veya kayıp yok	0	0
Rahat geçiş	0.3	0.1
Köprü geçişi	0.5	0.3
Sert geçiş	0.8	0.6

4.7. HEC-RAS 1B Hesap Adımları

Kesitteki belirlenemeyen su yüzeyi kotu, (1) ve (2) no'lu denklemlerin iteratif çözümü aracılığıyla belirlenmektedir. Hesaplama algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1. Mansap kesitte bir başlangıç su yüzeyi kotu atanır. (Süperkritik akım rejimi için su yüzeyi profili hesaplanacaksa, memba kesitine ait su yüzeyi kotu referans alınır.)
2. Atanan bu su yüzeyi kotu esas alınarak, toplam konvektif iletkenlik ve hız yükü için hesaplama yapılır.
3. Adım 2'de elde edilen iletkenlik ve yük değerini kullanılarak sürtünme eğimi (S_f) belirlenir ve (2) no'lu denklem çözülür.
4. Adım 2 ve Adım 3'te hesaplanan büyüklükler ile WS2 için (1) no'lu denklemde yerine yazılarak sonraki adım için değeri elde ederiz.
5. Hesaplanan WS2 değerini, ilk adımdaki su yüzeyi kotları ile karşılaştırırız. Eğer mutlak fark 0.003 metreden büyük ise, Adım 1'den Adım 5'e kadar olan döngü tekrarlanır.

İteratif hesaplamalar sırasında, kabul edilebilir su yüzeyi kotu her denemede dinamik olarak değişebilir. İlk iterasyonda, su yüzeyi kotu proje verilerinden alınmakta ve bir önceki kesitin su derinliği, mevcut kesite eklenerek kullanılmaktadır. İkinci iterasyonda ise, yeni su yüzeyi kotu, kabul edilen su yüzeyi kotuna, ilk iterasyonda

oluşan hatanın (hesaplanan WS - kabul edilen WS) %70'i eklenerek belirlenmektedir. Formülasyonu şu şekildedir: $WS_{yeni} = WS_{stahmin} + 0.70 \times (WS_{hesap} - WS_{stahmin})$. Üçüncü ve sonraki iterasyonlar "Sekant" yöntemi ile gerçekleştirilir. Sekant yönteminde kullanılan bağıntı aşağıdaki gibi olmalıdır.

$$WS_I = WS_{I-2} - Err_{I-2} * Err_Assum / Err_Diff \quad (Eşitlik 4)$$

WS_{I-2} = iki adım önceki kabul edilen su yüzü,

WS_I = yeni kabul edilen su yüzü,

WS_{I-1} = bir önceki adımda kabul edilen su yüzü,

Err_{I-2} = iki adım önceki hata (hesaplanan su yüzü eksi 1 ve 2. Adımlarda hesaplanan),

Kabul edilen su yüzünden önceki iki su yüzünün farkı ($Err_assum = WS_{I-2} - WS_{I-1}$),

Hata farkı (Err_Diff), kabul edilen su yüzeyi kotu ile bir önceki iterasyonda ($I-1$) hesaplanan su yüzeyi kotunun farkına, iki iterasyon önce ($I-2$) hesaplanan hatanın (Err_{I-2}) eklenmesiyle elde edilir: $ErrDiff = WS_{I-1} - WSCalc_{I-1} + Err_{I-2}$.

HEC-RAS yazılımında hidrolik hesaplamalar sırasında ardışık iterasyonlar arasındaki değişim, maksimum 0.5 birim ile sınırlandırılmıştır. Bu kısıtlama, hesaplama sürecinin kararlılığını sağlamak ve aşırı dalgalanmaları önlemek amacıyla uygulanmaktadır. Özellikle Sekant metodunun kullanıldığı durumlarda, ardışık iterasyonlar arasındaki hata farkının ($ErrDiff$) aşırı küçük değerlere ulaşması, hesaplama kararsızlıklarına veya hatalı sonuçlara yol açabilmektedir. Bu durumu engellemek adına, eğer hata mutlak değeri 0.01'den daha küçük ise Sekant metodu otomatik olarak devre dışı bırakılır. Böyle bir senaryoda, yazılım (HEC-RAS, 2018), önceki yinelemede elde edilen ve hesaplanan su yüzeyi kotlarının aritmetik ortalaması alınarak, bir sonraki yineleme için kullanılacak yeni bir su seviyesi değeri türetilmektedir. Bu yaklaşım, yakınsama problemlerini aşmak ve güvenilir sonuçlar elde etmek için kritik bir mekanizmadır.

4.8. HEC-RAS 1B için Kritik Derinlik Hesaplanması

Bir akarsu kesiti için kritik derinlik (y_c) aşağıdaki durumların en az birinin gerçekleşmesi halinde hesaplanmaktadır:

1. Kritik üstü akım rejimi söz konusu olduğunda,

2. Kritik derinlik hesabını özel olarak yapılması istenildiğinde,
3. Sınır koşulu olarak girilen değerlerin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla, dış sınır kesitinde kritik derinlik kullanılarak akım rejiminin doğruluğu denetlenmek istendiğinde,
4. Kritik altı bir profil için denge kontrolü yapılırken, akımın kritik rejime ne kadar yakın olduğunu anlamak amacıyla Froude sayısı hesaplandığında,
5. Program, tanımlanan hassasiyet değerine ulaşmadan önce maksimum iterasyon sayısına ulaşırsa, enerji denklemi dengelenemediğinden kritik derinlik değerlendirmesi yapılır.

$$H = WS + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

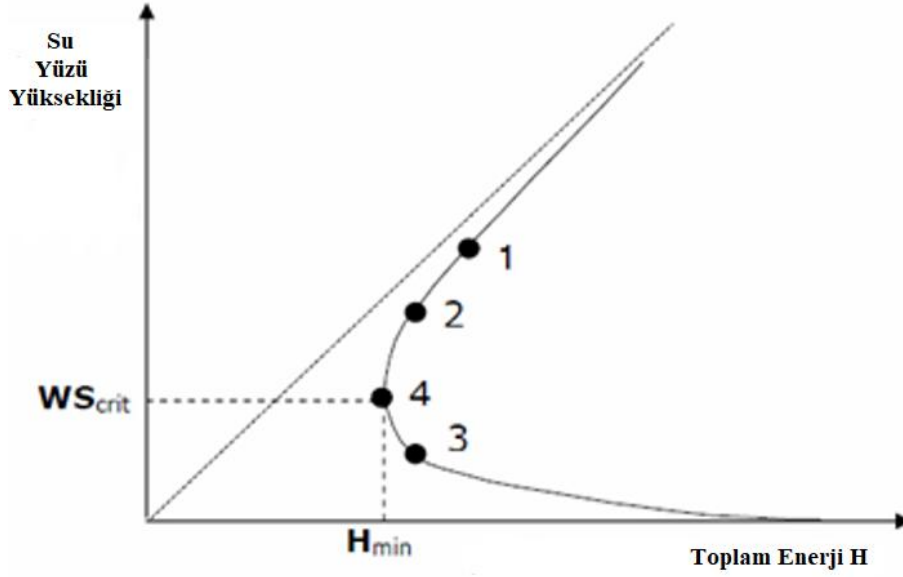
H= toplam enerji yüksekliği,

WS= su yüzü yüksekliği,

$\frac{\alpha V^2}{2g}$ = hız yüküdür.

Kritik su yüzeyi kotu (critical water surface elevation), toplam enerji yüksekliğinin minimum olduğu hidrolojik koşulda tezahür eder; bu durum, belirli bir deşarj için ilgili kesitte minimum özgül enerjinin olduğu noktaya karşılık gelmektedir. Kritik yükseklik, öngörülen su yüzeyi kotu (WS) temel alınarak, toplam enerji yüksekliği (H) minimum değerine ulaşana kadar iteratif bir algoritma ile belirlenmektedir. Su yüzü profillerini hesaplamaya yarayan programımız HEC-RAS, kritik derinlik hesaplamasını yapmak için parabolik ve sekant yöntemini kullanmaktadır. HEC-RAS yazılımında su yüzeyi profili hesaplamalarında kullanılan **parabolik yöntem**, hızlı hesaplama yapma imkanı sunmasına rağmen, minimum enerji için yalnızca tek bir nokta referansı kabul etmektedir. Çoğu kesit, özgül enerji için grafiğe tek bir minimum nokta vereceğinden, parabolik yöntem varsayılan hesaplama metodu olarak belirlenmiştir. Kullanıcı, arayüzü kullanarak bu yöntemi değiştirebilir.

Eğer parabolik yöntemle istenen sonuca ulaşılamazsa, program otomatik olarak daha kararlı olan **Sekant yöntemine** geçiş yapar. Bu geçiş, özellikle karmaşık hidrolik koşulların veya birden fazla minimum enerji noktasının bulunduğu durumların çözümünde hesaplama güvenilirliğini artırmayı amaçlar.



Şekil 14. Enerji - su yüzü kotu yükseklik eğrisi

Belli akım durumunda, toplam enerji grafiğinde birden fazla en düşük nokta oluşabilmektedir. Birçok minimumlar, kesitteki enerji grafiğini kesen bölgelerde meydana gelir ve genellikle kesitte kullanılmayan alanlar ve engeller bulunan geniş, düz alanlarla ilişkilidir. Enerji grafiği üzerinde birden fazla lokal minimumun bulunduğu bir kesitte parabolik interpolasyon yöntemi uygulandığında, algoritma genellikle ilk minimum noktasına yakınsama eğilimi gösterecektir. Bu durum, kritik derinlik için hatalı bir estimasyonla sonuçlanabilir. Şayet bu değerin hatalı olduğu değerlendirilirse, Sekant (Secant) yöntemi tercih edilerek modelin yeniden çalıştırılması önerilmektedir (Chow, 1956; HEC-RAS, 2020)

4.9. HEC-RAS 1B Momentum Denkleminin Kullanımı

Kritik derinlikten geçişler esnasında enerji denkleminin uygulanabilirliği ortadan kalkar. Zira enerji denklemi, yalnızca kademeli olarak değişen akım (gradually varied flow) koşulları için geçerli olup, kritik altı (subcritical) akımdan kritik üstü (supercritical) akıma veya tersi yöndeki geçişler, ani değişen akım (rapidly varied flow) rejimlerini teşkil etmektedir. Hidrolik sistemlerde sıklıkla gözlemlenen bu tür geçişler, kanal eğiminde belirgin morfolojik değişikliklerin bulunduğu kesitlerde, köprü menfezleri, düşü yapıları (drops), savaklar (weirs) ve akım birleşim noktaları gibi lokasyonlarda meydana gelmektedir. Belirli durumlarda, düşü yapıları ve savaklar gibi hidrolik elemanlar için ampirik denklemler kullanılabilirken, bazı senaryolarda kesin bir çözüm elde etmek amacıyla momentum denkleminin (momentum equation)

kullanılması zorunlu hale gelebilmektedir. HEC-RAS yazılım platformunda, spesifik hidrolik problemlerin çözümü için momentum denklemi (momentum equation) entegre edilebilir. Bu özel durumlar arasında hidrolik sıçrama (hydraulic jump) fenomenleri, köprü yapılarındaki düşük akım hidroliği ve akım birleşim (stream junction) noktaları yer almaktadır. Bahsedilen üç problemde momentum denkleminin uygulanış prensiplerini kavramak amacıyla, denklemin türetim süreci detaylı olarak açıklanmıştır. Newton'un ikinci hareket kanunu bize Momentum denklemlerini sağlamaktadır: Kütle ile ivmenin çarpımı kuvvete eşit olur.

$$\sum F_x = ma \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Newton'un ikinci hareket yasası, akımın 1 ve 2 numaralı kesitleri arasındaki bir parçasına uygulandığında, sistemdeki momentum değişimi aşağıdaki biçimde formüle edilebilir:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \quad (\text{Eşitlik 7})$$

$P = 1$ ve 2 kesitlerindeki hidrostatik basınç kuvveti,

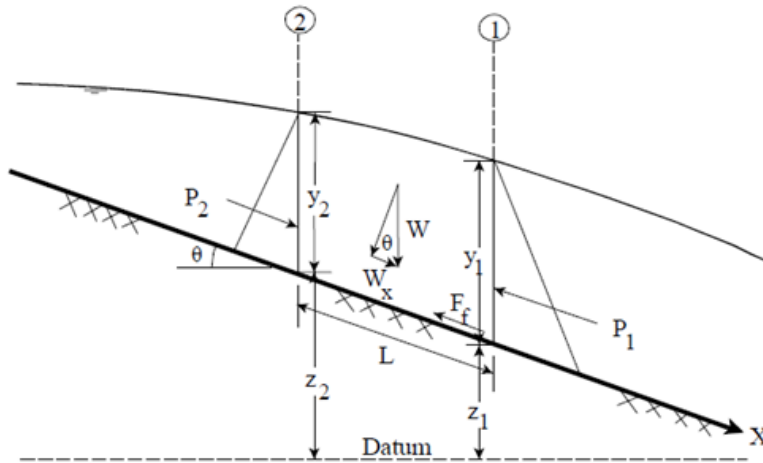
$W_x =$ Ağırlık kuvvetinin x bileşeni,

$F_f = 1$ ve 2 kesitleri arasındaki sürtünme kaybı,

$Q =$ debi,

$\rho =$ suyun özgül kütlesi,

$\Delta V_x = x$ doğrultusunda 1 ve 2 noktaları arasındaki hızdaki değişimdir.



Şekil 15. Momentum yöntemindeki büyüklükler

Hidrostatik basınç kuvveti:

X doğrultusundaki hidrostatik basıncın kuvveti:

$$P = \gamma A \bar{Y} \cos \theta \quad (4.8)$$

Hidrolik modellemelerde yaygın olarak kullanılan hidrostatik basınç dağılımı varsayımı, su akışının dikey yönde sadece yerçekimi ve basınç kuvvetleriyle dengede olduğunu kabul eder. Bu varsayımın temel geçerlilik koşulu, kanal eğiminin 1:10'dan daha küçük olmasıdır. Bu eğim değeri, yaklaşık olarak 6°'lik bir açıya karşılık gelir. Eğim açısı θ olduğunda, düşey bileşenin hesaplamalarda kullanılan $\cos \theta$ değeri, bu eğimde 0.995 gibi bire çok yakın bir değer alır.

Mühendislik uygulamalarında, doğal akarsu yatakları ve çoğu yapay kanal sistemlerinin eğimleri genellikle 1:10'dan çok daha düşüktür. Bu durum, su derinliği (h) hesaplamalarında $\cos \theta$ teriminin ihmal edilebilir bir etkiye sahip olacağını gösterir; yani, $h \times \cos \theta$ ifadesi pratikte h değerine çok yakın olacaktır. Bu yakınsama, mühendislik hesaplamalarında basitleştirilmiş hidrostatik basınç varsayımının güvenle kullanılabilmesine olanak tanır. Böylece, karmaşık akış koşullarının modellenmesinde hesaplama verimliliği artırılırken, sonuçların doğruluğundan önemli bir sapma yaşanmaz.

Ancak, özellikle çok dik eğimli şevlerde veya şelale gibi düşey akış yapılarında hidrostatik basınç varsayımı geçerliliğini yitirir. Bu gibi durumlarda, akışın dikey momentum bileşenleri önemli hale gelir ve daha gelişmiş hidrolik modelleme yaklaşımlarına ihtiyaç duyulur. Bu nedenle, bir mühendis, modelleme yaparken kanal eğimini her zaman dikkate almalı ve varsayımların geçerliliğini sorgulamalıdır. Bu sebeple 1 ve 2 kesitlerindeki hidrostatik basınç kuvvetini aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$P_1 = \gamma A_1 \bar{Y}_1 \quad (\text{Eşitlik 9})$$

$$P_2 = \gamma A_2 \bar{Y}_2 \quad (\text{Eşitlik 10})$$

γ = suyun özgül ağırlığı,

A_i = 1 ve 2 kesitlerindeki kesit ıslak alanı,

Y_i = 1 ve 2 kesitlerindeki su yüzü ile kesit merkezi arasındaki derinlik,

Suyun ağırlığı:

Suyun ağırlığı = (suyun özgül ağırlığı) x (suyun hacmi)

$$W = \gamma \left(\frac{A_1 - A_2}{2} \right) L \quad (\text{Eşitlik 11})$$

$$W_x = W \sin \theta \quad (\text{Eşitlik 12})$$

$$\sin \theta = \frac{z_2 - z_1}{L} = S_0 \quad (\text{Eşitlik 13})$$

$$W_x = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 \quad (\text{Eşitlik 14})$$

L= x eksenini boyunca 1 ve 2 kesitleri arasındaki mesafe,

S_0 = ana kanal taban eğimi,

z_i = 1 ve 2 kesitlerindeki ana kanal yüksekliği,

Sürtünme kuvveti:

$$F_f = \tau \bar{P} L \quad (\text{Eşitlik 15})$$

τ = kayma gerilmesi,

P = 1 ve 2 kesitleri arasındaki ortalama ıslak çevre,

$$\tau = \gamma \bar{R} \bar{S}_f \quad (\text{Eşitlik 16})$$

R= ortalama hidrolik yarıçap ($R=A/P$) ,

S_f = enerji çizgisinin eğimi,

$$F_f = \gamma \frac{\bar{A}}{P} \bar{S}_f \bar{P} L \quad (\text{Eşitlik 17})$$

$$F_f = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \bar{S}_f L \quad (\text{Eşitlik 18})$$

Kütle çarpı ivme:

$$ma = Q \rho \Delta V_x \quad (\text{Eşitlik 19})$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad \text{ve} \quad \Delta V_x = (\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2)$$

$$ma = Q \frac{\gamma}{g} (\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2) \quad (\text{Eşitlik 20})$$

β = momentum düzeltme katsayısı düzensiz kanallarda hız dağılımındaki değişimin bir ölçütü,

Bu ifadeler denklem (7) de yerine yazılır ve Q nun 1 ve 2 kesitleri arasında değişebileceği kabul edilirse:

$$\gamma A_2 \bar{Y}_2 - \gamma A_1 \bar{Y}_1 + \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \bar{S}_f L = Q_1 \frac{\gamma}{g} \beta_1 V_1 - Q_2 \frac{\gamma}{g} \beta_2 V_2 \quad (\text{Eşitlik 21})$$

$$Q_2 \frac{\beta_2 V_2}{g} + A_2 \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \bar{S}_f L = Q_1 \frac{\beta_1 V_1}{g} + A_1 \bar{Y}_1 \quad (\text{Eşitlik 22})$$

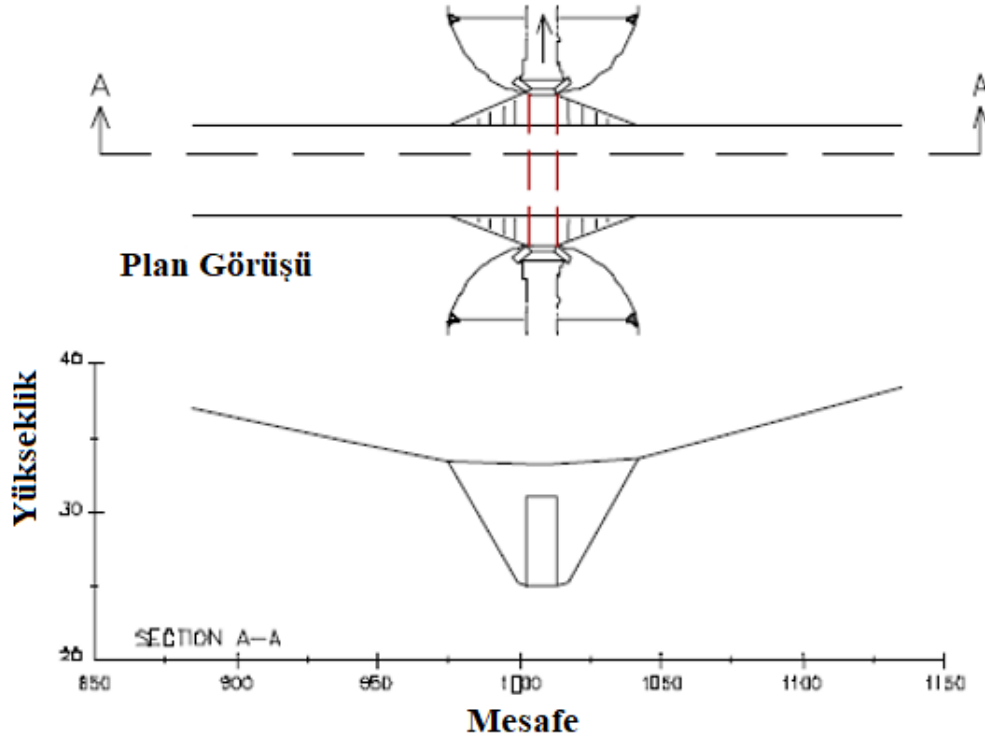
$$\frac{Q_2^2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \bar{S}_f L = \frac{Q_1^2 \beta_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1 \quad (\text{Eşitlik 23})$$

Tüm uygulamalarda, Denklem (23), momentum denkleminin HEC-RAS yazılımında kullanılan formunu temsil etmektedir (French , 1985, HEC-RAS, 2020).

4.10. HEC-RAS 1B Menfezlerin Modellenmesi

HEC-RAS yazılımı, menfez (culvert) yapılarında meydana gelen enerji kayıplarını üç temel kategoride modelleyerek hidrolik analizi gerçekleştirir. Bu kayıplar, menfezin hemen mansabında, akım genişlemesi (flow expansion) bölgesinde oluşan kayıpları; menfez giriş ve çıkış kesitleri arasında gerçekleşen sürtünme ve form (şekil) kayıplarını ve yapının hemen başlangıcında, akımın akarsu boyunca daraldığı bölgede meydana gelen kayıpları içerir. HEC-RAS ile birçok menfez biçimi modellenebilir durumdadır. Bu kapsamlı modelleme kabiliyeti, çeşitli mühendislik senaryolarına uyum sağlar.

Bu kısımda, HEC-RAS ile menfez modelleme konusu detaylıca ele alınmıştır. Modelleme adımlarının yanı sıra, menfeze yönelik hidrolik hesaplamalar, gerekli veri girişleri ve kullanılan katsayıların seçimi de açıklanmıştır. Menfez modelleme adımları, köprü modelleme adımlarına benzer şekilde uygulanır. Yapının giriş kesitindeki kayıplar, Federal Karayolu İdaresi'nin (FHWA, 1985) menfez hidroliği standart denklemleri kullanılarak hesaplanır. Tipik bir yol geçişine ait kutu menfez örneği incelendiğinde, menfezlerin birçok yönden köprülere benzer özellikler taşıdığı görülecektir. Menfezi oluşturan duvarlar ve çatısı, köprülerin ayakları ve alt tablası ile benzer hidrolik fonksiyonları yerine getirmektedir.



Şekil 16. Menfez yol geçişi örneği

Köprü ve menfezler arasındaki benzerlik, menfezlerin de köprüler gibi modellenmesini sağlamaktadır. Kesitin planlamasının yapılması etkisiz alanların tanımlanmasının ardından kayıp katsayılarının belirlenmesi ile devam eder. Köprü analizinde yapılan varsayımlar, menfezlerin hidrolik analizinde de benzer şekilde uygulanmaktadır (BPR, 1965).

4.10.1. HEC-RAS 1B Menfez Çeşitleri

HEC-RAS yazılımı, hidrolik modellemede menfez (culvert) morfolojilerinin geniş bir yelpazesini kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Program, sahada sıklıkla karşılaşılan dokuz temel menfez tipini doğrudan modelleyebilme yeteneğine sahiptir. Bu standart tipler arasında kemer boru (pipe arch), hem yatay hem de dikey oryantasyonlu eliptik menfezler, düşük kemer (low profile arch), klasik kemer (arch), dairesel (circular), kutu (rectangular), yüksek kemer (high profile arch), yarı dairesel (semicircular) ve köşeleri pahlı (pah kırma) kirişli (reinforced concrete box with chamfered corners) menfezler yer almaktadır. Bu çeşitlilik, mühendislerin farklı proje gereksinimlerine uygun menfez tiplerini hızlıca tanımlamasına olanak tanır.

Yazılımın esnekliği, sadece ön tanımlı tiplerle sınırlı kalmayıp, kullanıcılara özelleştirilmiş menfez geometrileri oluşturma imkânı da sunmaktadır. Kullanıcılar, mevcut herhangi bir geometrik kesit şekli üzerinde eğim (slope), pürüzlülük katsayısı

(roughness coefficient), planimetrik konfigürasyon ve ölçek (scale) gibi parametrelerde modifikasyonlar yaparak yeni bir menfez türü tanımlayabilirler. Bu özellik, HEC-RAS'ın toplamda on farklı menfez şeklini modellemesine olanak tanır ve böylece daha spesifik tasarım veya mevcut yapı analizleri için gerekli esnekliği sağlar. Ancak, HEC-RAS'ta tek bir menfez şekli için analiz edilebilecek boru (barrel) adedi yirmi beş (25) ile sınırlandırılmıştır. Bu limit, büyük ölçekli ve çoklu menfez sistemlerinin modellenmesinde dikkat edilmesi gereken bir teknik kısıtlamadır. Bu sayede, karmaşık hidrolik sistemler, farklı menfez tipleri ve boru sayıları göz önünde bulundurularak HEC-RAS'ta efektif bir şekilde analiz edilebilir.



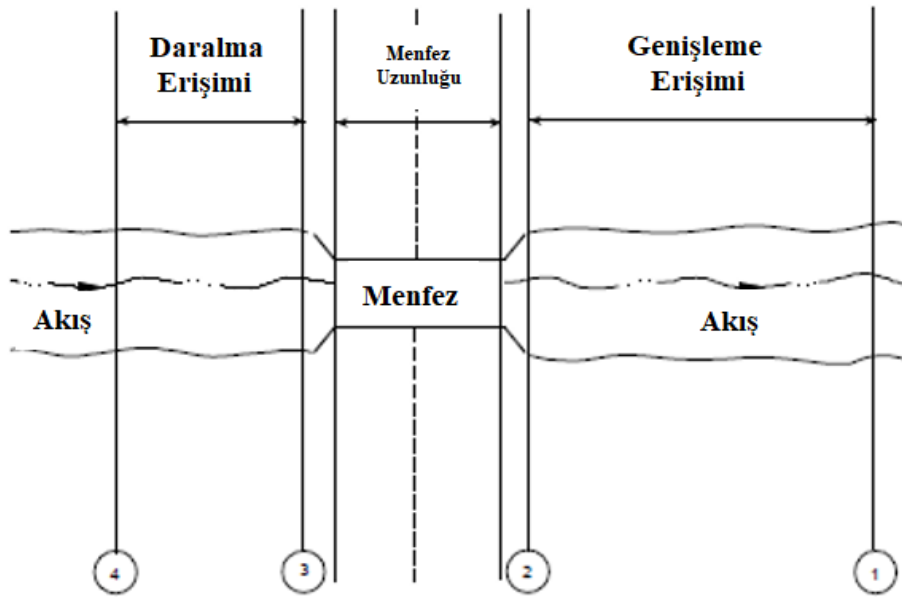
Şekil 17. Yaygın olarak kullanılan menfez kesitleri

4.10.2. HEC-RAS 1B Kesit Yeri

HEC-RAS yazılım platformunda menfez (culvert) hidrolik hesaplamaları yürütülürken, köprü yapılarındaki kesit tanımlamasına benzer bir metodoloji izlenmesi gerekmektedir. Bir menfez analizinin gerçekleştirilmesi için dört adet kritik kesit tanımlaması elzemdir. Bu kesitlerden ilki, menfez yapısının mansap yönünde, akımın menfez etkisinden tamamen bağımsızlaştığı bir lokasyonda konumlandırılırken; ikincisi menfezin hemen mansap bitiş noktasına, üçüncüsü menfezin hemen memba ön yüzüne ve dördüncüsü menfezin memba yönünde, akımın menfez etkileşim alanının dışına çıktığı bölgeye yerleştirilmektedir. Menfezin her iki tarafında konumlandırılan bu

kesitler, kanalın genel hidrolik özelliklerini yansıtan normal kesitleri temsil etmektedir. Menfez içi kesitlerin oluşturulması için farklı menfez veri setleri kullanılabilir. Bir menfez modellemesi için gerekli kesitlerin konumsal dağılımı Şekil 18'de detaylandırılmıştır. Bu bölümde gerçekleştirilen analizde, ilgili kesitler sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 olarak numaralandırılmıştır. Bir menfeze (veya herhangi başka bir hidrolik yapıya) doğru su yüzeyi profilinin hesaplanması esnasında, memba ve mansap bölgelerinde ilave kesitler tanımlanması mümkündür. Bu uygulama, menfez hidrolik hesaplamalarını potansiyel olarak etkileyebilecek sınır koşullarının doğrudan yapıya uygulanmasını engelleyerek modelin stabilitesini artırmaktadır.

Menfez modelindeki 1 numaralı kesit, menfez yapısının akım genişliğinde oluşturduğu daralmanın sona erdiği ve akımın tam olarak genişlediği (fully expanded flow) bölgeye konumlandırılmalıdır. Bu kesitin mansap yönündeki mesafesi, köprü modellemesinde kullanılan kriterler dikkate alınarak belirlenmektedir. 1 numaralı kesitin tüm hidrolik alanı, akımın iletiminde etkin olarak kabul edilebilir



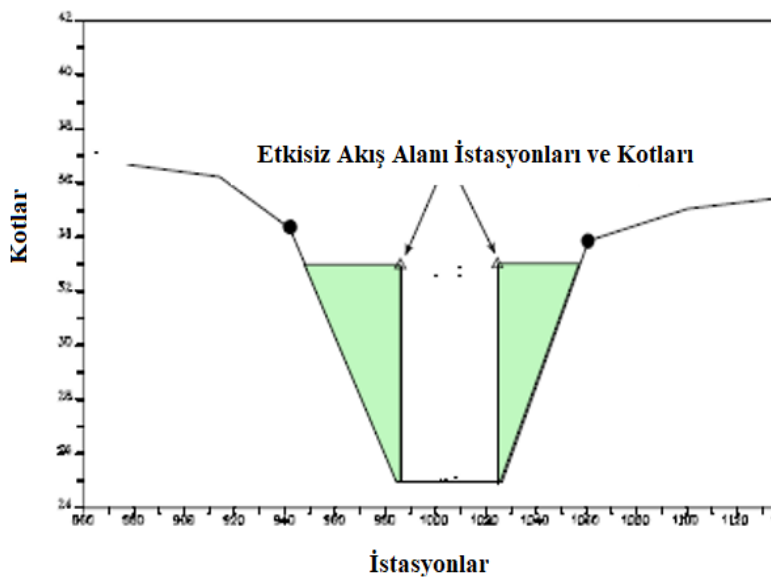
Şekil 18. Menfezin boy kesiti

Bir menfez modelinde **Kesit 2**, menfez çıkışının hemen mansabında, kısa bir mesafede konumlandırılır. Bu kesit, akımın menfezden çıkıp ana kanala karıştığı ani hidrolik geçiş bölgesini temsil eder. Bu nedenle, Kesit 2'nin yerleşimi, menfez sonrası akış rejiminin doğru şekilde modellenmesi için kritik öneme sahiptir.

Kesit 2, doğrudan menfez yapısının veya şevlerinin geometrisini kapsamaz; aksine, menfezin hemen mansabındaki ana kanalın fiziksel özelliklerini yansıtır. Bu,

kanalın genişliği, taban eğimi, pürüzlülüğü gibi parametrelerin bu kesitte tanımlanması gerektiği anlamına gelir. Kesitin morfolojisi ve konumuyla ilgili bilgiler, köprü ve menfez tanımlama arayüzlerinde ayrı ayrı girilir (Federal Highway Administration, 1985). Bu ayırım, modelin hidrolik geçişleri daha hassas bir şekilde işlemesine olanak tanır.

HEC-RAS yazılımında, 2 numaralı kesitteki etkin akımın bulunduğu yüzeyin alanını, menfez kenarları ve çevresindeki akış alanını da sınırlamak amacıyla 'etkisiz alan' (ineffective area) seçeneği kullanılmaktadır. Etkisiz akım alanları, menfezin mansap kesiminde gerçek olan akım alanını tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. Akım, menfez çıkışına doğru ilerledikçe genişlemeye başladığından, mansapta yer alan 2 numaralı kesitteki aktif akım alanı, genellikle menfez açıklığının genişliğini aşmaktadır. Bu aktif akım alanının genişliği, 2 numaralı kesitin menfez çıkış ağzına olan mesafesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu mesafe için yaygın olarak kabul gören genişleme oranı 1.5:1 olup, eğer 2 numaralı kesit menfez çıkış ağzından yaklaşık 1.83 metre (6 feet) uzaklıkta ise, aktif akım alanı menfez açıklığından yaklaşık 2.44 metre (8 feet) geniş olacak şekilde, her iki tarafta yaklaşık 1.22 metre (4 feet) ilave genişlik kazanmaktadır. Şekil 19, kutu menfez için 2 numaralı kesite ait plan görünümünü sunmaktadır. Burada, kesit verilerinin menfezin özgün geometrisi hakkında doğrudan bilgi sağlamadığı görülmektedir. Şekil üzerinde kanal kenar sınır noktaları küçük daire sembolleriyle, etkisiz akım alanlarının koordinatları ise üçgen sembolleriyle gösterilmiştir.



Şekil 19. Menfez modelinde 2 nolu kesitin görünümü

Menfezler, iki açık kanal sistemini birbirine bağlayan, genellikle kapalı kesitli hidrolik yapılardır. Bu yapılar, karayolu altyapılarında sıkça kullanılmakta olup; dairesel kesitli boru menfezler (circular pipe culverts) ve dikdörtgen kesitli kutu menfezler (box culverts) en yaygın türlerini oluşturmaktadır. Bir menfezin hidrolik performansı; giriş geometrisi, gövde boyutları (kesit alanı, uzunluk), yüzey pürüzlülüğü, ve mansap koşulları gibi parametrelerle belirlenmektedir.

Kesit Yerleşimi ve Hidrolik Davranış

Kesit 3, menfez girişinin hemen memba yönünde konumlandırılmış olup, memba kanalının fiziksel özelliklerini yansıtan bir referans kesittir. Bu kesit, ani daralmanın (abrupt contraction) gerçekleştiği noktadan yeterli bir uzaklıkta yer almalı ve akım rejimini bozmadan veri sağlamalıdır. Menfez giriş kayıpları (entrance losses), bu bölgede oluşan daralma ve hız artışlarına bağlı olarak değerlendirilmekte, bu nedenle kesit konumlandırılması özenle yapılmalıdır. Ayrıca, yol tabliyesi ile şev dolgularının geometrik ve hidrolik özellikleri, kesit 2 ve 3 üzerinden tanımlanarak menfez sistemi modellenir.

Kesit 4, akımın henüz daralmaya başlamadığı ve su yüzeyi genişliğinin, memba kanalındaki doğal genişliğe yakın olduğu bir mesafede konumlandırılır. Bu mesafe, 1:1 daralma oranı prensibi ile belirlenmekte olup, akım daralırken her birimlik genişlik daralması için yatayda bir birim mesafeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kesitteki tüm alan, akım iletiminde aktif kabul edilmekte ve menfezin hidrolik davranışı açısından kritik rol oynamaktadır. Kesit 4'ün detaylı tanımlaması, köprü modelleme yaklaşımlarındaki uygulamalara benzer şekilde ele alınmaktadır.

Hidrolik Tanımlar ve Parametreler

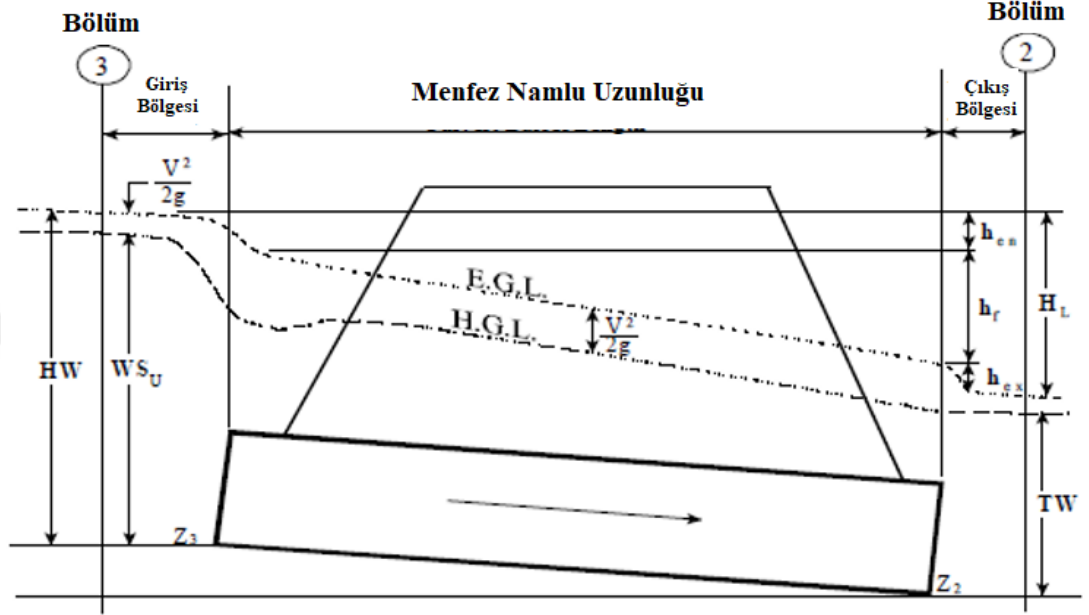
Kuyruk Suyu Derinliği (Tailwater): Menfez çıkışında, mansap tarafındaki su derinliğini ifade eder. Bu değer, menfezden çıkan debi ve mansap kanalının hidrolik koşullarına göre değişkenlik gösterir.

Taban Noktası (Invert): Menfez kesitinin en alt noktasıdır. Bu referans noktası, menfez içindeki su seviyelerinin ve akım eğiminin belirlenmesinde kullanılır.

Su Yükü (Headwater - HW): Kesit 3'te, menfez girişinde ölçülen enerji çizgisinin altındaki su derinliğidir. Bu yükseklik, menfezin iletim kapasitesini doğrudan etkileyen önemli bir parametredir.

Memba Su Yüksekliği (Upstream Water Surface Elevation - WSU): Menfez giriş ağzının hemen üzerindeki serbest su yüzeyi yüksekliğidir. Bu değer, özellikle dolu akım koşullarında menfez hidrolik performansını sınırlayan faktörlerden biridir. HEC-RAS

yazılımı, menfez hesaplamalarına başlarken öncelikli olarak menfezin memba tarafındaki toplam enerji başlığını (total energy head) belirlemektedir. Sonra, verilen debi koşulları altında bu toplam enerji miktarına dayanarak memba su yüzeyi (WSU) hesaplamalarını gerçekleştirir. Bu yaklaşım, menfezin hidrolik performansının doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağlar.



Şekil 20. Tam dolu menfezde enerji ve piyezometre çizgileri

Menfezlerdeki akım analizleri, hidrolik karmaşıklıkları nedeniyle genellikle "giriş kontrolü" (inlet control) ve "çıkış kontrolü" (outlet control) yaklaşımları kullanılarak basitleştirilmektedir.

Giriş Kontrolü: Bu rejim, akımın menfez iletim kapasitesinden daha düşük olduğu durumlarda dikkate alınır. Menfez sistemlerinde kontrol kesiti, genellikle giriş ağzının hemen ardında tanımlanan iç kesittir. Bu kesitte akım, kritik derinlik ya da ona yakın bir hidrolik koşulla geçiş yapar ve akım rejimi, menfez içinde ilerledikçe süperkritik hale dönüşür. Giriş kontrolü söz konusu olduğunda, memba tarafındaki gerekli enerji yüksekliği, menfez girişinin hidrolik davranışının bir savak ya da orifis akışı biçiminde modellenmesiyle hesaplanır. Dolayısıyla, giriş kontrolündeki hidrolik kapasite, esas olarak menfezin giriş geometrisine bağlıdır.

Çıkış Kontrolü: Bu durum, menfez kapasitesinin mansap hidrolik koşulları (örneğin, yüksek kuyruk suyu seviyeleri) tarafından sınırlandırıldığı veya menfez taşıma kapasitesinin aşıldığı durumlarda ortaya çıkar. HEC-RAS yazılımında, memba enerji yüksekliğini hesaplayabilmek için hem memba hem de mansap sınır koşullarının verilen

debi durumunda bilinmesi gerekmektedir. Bu rejimde genellikle yüksek enerji durumu kontrol edilebilir ve belirlenen debi ile kuyruk suyu şartlarına göre menfez içerisindeki akım türü (örneğin, serbest yüzeyli veya basınçlı) tespit edilir.

Çıkış kontrolü durumlarında gerekli memba enerji yüksekliği, mansaptan membaya doğru enerji korunumu prensibi kullanılarak hesaplanmaktadır. HEC-RAS yazılımı, çıkış kontrollü akım rejimlerinde, girişte meydana gelen enerji kayıplarını, menfez içerisindeki sürtünme kaynaklı kayıpları ve çıkış bölgesindeki enerji kayıplarını dikkate alarak hidrolik analizler gerçekleştirmektedir.

Hesaplamalar sırasında, giriş kesitindeki hidrolik sonuçlar çıkış kesitindekilerden daha yüksek bir enerji seviyesi gösterirse, program akımın giriş kesitinden basınçsız (unpressurized) bir şekilde menfeze girdiğini belirlemek amacıyla ek hesaplamalar yapar. Bu senaryoda, akımın giriş ağzına yakın bir noktada kritik derinlikten geçerek süperkritik rejime geçtiği varsayılmaktadır.

Akım, menfez boyunca düşük debili akım rejiminde (low flow regime) ilerlemeye devam ediyorsa, bu durum giriş kontrolünün geçerli olduğu bir akım koşulunu işaret eder. Ancak, menfez içerisinde bir hidrolik sıçrama (hydraulic jump) meydana gelir ve akım kesitin tamamını doldurarak basınçlı boru akımı (pressurized pipe flow) oluşturursa, sistemde orifis tipi bir akım karakteristiği gözlemlenir. Bu tür tam dolu akım koşullarında, akış kontrolü girişte değil, çıkışta olduğundan, giriş kontrollü analiz yaklaşımı yerine çıkış kontrollü (outlet control) analiz yaklaşımı uygulanmaktadır.

4.10.3. HEC-RAS 1B Doğrudan Adım Yöntemi ile Su Yüzü Profil Hesaplamaları

Menfez içerisindeki akımın kısmi doluluk (partially full flow) durumunda olduğu senaryolarda, akıma ait su yüzeyi profili doğrudan adım yöntemi (direct step method) kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu yöntem, yüksek hesaplama verimliliği sunmakta olup, her bir adımda akım derinliğinin belirlenmesi için iteratif bir çözüme ihtiyaç duyulmamaktadır. Su yüzeyi profilleri, akım derinliğindeki küçük artışlara (genellikle 0.001–0.05 feet aralığında) göre hesaplanmaktadır. Eğer akım derinliği, menfezin memba ucundaki su yüzeyine ulaşmadan önce menfezin tam dolu derinliğine (full depth) erişirse, menfezin geri kalan kısmındaki enerji kayıpları, tam dolu akım koşulları (full flow) varsayımıyla hesaplanmaktadır.

Doğrudan adım yöntemi (Direct Step Method), menfez içerisindeki akım rejimini belirlemek amacıyla kullanılan sayısal bir yaklaşımdır. Bu yöntemde ilk adım olarak,

çıkış kaybı (exit loss) hesaplanmakta ve buna bağlı olarak başlangıç su yüzeyi seviyesi (initial water surface elevation) tespit edilmektedir.

Kritik Derinlik Kriteri ile Başlangıç Koşulu

Kuyruk suyu derinliği (Tailwater depth), menfez içindeki kritik derinlikten (critical depth) daha düşük ise, başlangıç akım derinliği doğrudan kritik derinlik olarak alınmaktadır. Bu durum, serbest akım (free outfall) koşullarını yansıtır.

Eğer kuyruk suyu derinliği, kritik derinliğin üzerinde ise, menfezin mansap iç kenarında yer alan bir kesitte enerji dengelemesi (energy balance) yapılarak başlangıç su seviyesi belirlenmektedir. Bu enerji dengesi, Bernoulli prensibine dayalı olarak hesaplanan toplam enerji değişimine göre tanımlanmaktadır.

Bu yaklaşımla, menfez boyunca adım adım enerji değişimleri ve su yüzeyi profili hesaplanır. Doğrudan adım yöntemi özellikle yavaş değişen akım (gradually varied flow) analizlerinde tercih edilir.

$$Z_c + Y_c + \frac{\alpha_c V_c^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + H_{ex} \quad (\text{Eşitlik 23})$$

Burada;

Z_c : Menfez mansap taban yüksekliği,

V_c : Menfezin memba iç kısmındaki akım hızı,

Z_2 : Menfez mansabındaki kesitin taban yüksekliği (Şekil 3.7 de kesit 2),

V_2 : kesit 2 deki akım hızıdır.

Y_c : Menfez mansap çıkış ağzındaki su yüksekliği,

Y_2 : kesit 2 deki su yüksekliği,

İlk aşamada, menfezin mansap sonundaki iç bölgede akım derinliği belirlenmektedir. Ardından, menfeze doğru geriye doğru su yüzeyi profili hesaplaması yapılmaktadır. Bu hesaplama, su yüzeyi ve enerji değerleri menfezin memba tarafındaki iç yüzey derinliğine ulaşana kadar iteratif olarak devam ettirilmektedir.

Son aşamada, hesaplanan enerji değerine girişte meydana gelen enerji kaybı ilave edilerek, menfezin memba dışındaki kesit 3'teki enerji seviyesi belirlenmektedir. Menfezin memba dışındaki su yüzeyi profilleri, belirlenen debi koşullarına göre kesit 3'te tespit edilen su yüzeyi yüksekliği kullanılarak modellenmektedir (Ardıçlıoğlu, 2017).

4.11. HEC-RAS ile 2B Modelleme

HEC-RAS yazılımının 5.X ve sonraki sürümleri, iki boyutlu (2B) değişken akım modellemesi kabiliyetini sunarak hidrolik analiz yeteneklerini önemli ölçüde genişletmiştir. Bu yeni versiyonlar, geleneksel bir boyutlu (1B) değişken akım modellemesinin yanı sıra, Saint-Venant denklemleri veya Difüzyon Dalgası (Diffusion Wave) denklemleri kullanılarak 2B akım çözümlemesine imkân tanır. Ayrıca hem 1B hem de 2B taşkın modelleme çalışmalarının entegre bir şekilde çözümlenebilmesi bu sürümlerin en önemli özelliklerinden biridir. HEC-RAS'ta 2B akım alanının modellenmesi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Bu kapsamda, çeşitli hidrolik modelleme yaklaşımları bulunmaktadır: detaylı iki boyutlu (2B) kanal modellemesi; detaylı 2B kanal ve taşkın alanı entegrasyon modeli; bir boyutlu (1B) kanal akımları ile iki boyutlu taşkın alanlarının birlikte modellenmesi; 1B kanal ve taşkın alanlarına ek olarak sedde arkası 2B akım alanlarının simülasyonu; 1B akımın 2B akım alanlarına giriş ve çıkışlarının modellenmesi; 1B depolama alanlarına hidrolik yapılar vasıtasıyla bağlı 2B akım alanlarının modellenmesi; benzer geometrik özelliklere sahip çoklu 2B akım alanlarının analizi; hidrolik yapılarla bağlantılı çoklu 2B akım alanlarının modellenmesi; basitleştirilmiş ancak detaylı baraj yıkılma analizleri; benzer şekilde sedde yıkılma analizleri; karışık akım rejimlerinin modellenmesi; ve 1B ile 2B nehir ve taşkın akımlarının, nehirden taşkın rejimine ve taşkından nehir rejimine geçiş (hidrolik sıçrama) akımlarının modellenmesi bu yöntemler arasında yer almaktadır.

2B akım modellemesi, modele bir depolama alanı eklenmesine benzer şekilde, 2B akım alanı elemanlarının eklenmesiyle gerçekleştirilir. Bir 2B akım alanı oluşturmak için öncelikle iki boyutlu akım alanı poligonu çizilir. Daha sonra, bu 2B akım alanları, 1B model elemanlarına ve/veya doğrudan sınır koşullarına bağlanır (Brunner, 2014; Ardıçlıoğlu, 2020). Bu bütünleşmiş yaklaşım, karmaşık akış dinamiklerinin ve taşkın yayılımlarının daha gerçekçi bir şekilde analiz edilmesini sağlar.

4.12. HEC-RAS ile 2B Akım Modellemesinin Avantajları ve Özellikleri

HEC-RAS'ın bu yeni sürümü 2B taşkın ötelemenin yanı sıra, 1B/2B birleşik modelleme yapabilme imkânı sağlamaktadır. HEC-RAS 2B modelleme aşağıdaki özelliklere sahiptir:

1) *1B, 2B ve aynı anda 1B ve 2B modelleme yapabilmektedir.* Aynı değişken akım modelinde 1B/2B modelleme çalışmalarının birlikte yapılabilme özelliği, büyük

nehir sistemlerinde, uygun olan yerlerde 1B modelleme (örneğin ana nehir sistemi) ve hassas hidrolik modelleme gereken alanlarda da 2B modelleme imkanı sağlamaktadır.

2) *2B modellemede Saint-Venant veya Difüzyon denklemleri.* Program kullanıcının isteğine bağlı hem 2B Saint Venant denklemleri ile (türbülans için momentum denklemleri ve Coriolis etkisi yaklaşımı) hemde 2B Difüzyon dalga denklemleri ile çözüm yapabilmektedir. Genellikle 2B Difüzyon dalga denklemleri programın hızlı çalışmasına ve daha kolay yakınsamasına imkan sağlar. 2B Saint Venant denklemlerine büyük/geniş modellerde başvurulabilir ve daha doğru sonuçlar üretmektedir. Hangi yöntemin daha doğru sonuçlar verdiğini görebilmek için kullanıcı çözüm yöntemlerini kolayca değiştirebilmektedir.

3) *Kesin Sonlu Hacimler Çözüm Algoritması.* 2B değişken akım denklemlerinin çözümünde Kesin Sonlu Hacimler Çözüm Algoritması kullanılmaktadır. Kesin çözüm algoritmaları açık yöntemlere göre daha uzun hesaplama adımları içermektedir. Sonlu hacimler yöntemi sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemlerine göre daha kolay yakınsama ve hassasiyet sağlamaktadır. Islak ve kuru 2B hücreler daha gerçekçidir. 2B akım alanları tamamen kuru olarak başlamakta ve hızlı bir şekilde su ile kaplanabilmektedir. Ayrıca bu yöntem nehir, sel ve karışık akım rejimlerinde kullanılabilir.

4) *1B ve 2B Birleşik Çözüm Algoritması.* 1B ve 2B çözüm algoritması eşzamanlı akım geçişlerini dikkate almaktadır. Örneğin 1B modelleme için nehir ve 2B model için kenar seddesinin arkasındaki alan dikkate alınabilmektedir. Akımın, seddenin tamamından veya bir kısmının üzerinden aşması durumunda 1B suyun başından, bağlandığı 2B alan kuyruk suyu kısmına kadar hesaplamalar yapılmaktadır. Sedde üzerinden bir kola doğru akım savak denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Her bir zaman aralığında savak denklemi kullanılmaktadır 1B ve 2B sonuçları için savağın batıklığı doğru olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca nehirdeki suyun düşmesi durumunda akım ana nehire doğru gerçekleşebilmektedir (2B alandan 1B kola doğru).

5) *Üzerinde su yapısı bulunmayan veya bulunan hesaplama ağları.* Program, üzerinde su yapısı bulunan veya bulunmayan ağları hesaplayacak şekilde geliştirilmiştir. Üzerinde su yapısı bulunan ağ, su yapısı bulunmayan ağa benzer şekilde davranmaktadır. Tek fark bu durumda hücreler birbirine ortogonal (dik) olarak yerleşir buda gerekli bazı hesaplamaları kolaylaştırmaktadır. Hesaplama hücreleri üçgen, dikdörtgen, kare veya 5 ve 6 kenarlı elemanlardan oluşmaktadır. Hücresel elemanlar en fazla 8 kenarlı olabilmektedir. Hesaplama ağı farklı şekil ve ölçülerde hücrelerden oluşabilmektedir. Hesaplama ağının dış sınırı bir poligon (çokgen) olarak

tanımlanmaktadır. Hesaplama ağı düz çizgi olmayabilmektedir, fakat düz çizgi olması durumunda sayısal hesaplamalar daha kolay gerçekleşmektedir.

6) *2B Hesaplmalı hücrelere ait detaylı hidrolik tabloların özellikleri:* HEC-RAS da hesaplama hücreleri düz bir tabana sahip olmak zorunda değildir ve hücre kenarları düz bir çizgi olmayabilmektedir. 2B akım alanı oluşturmak için ön işlemciye sahip HEC-RAS bu işlemci ile hesap hücreleri ve ara yüzlerine ait detaylı hidrolik tablolar oluşturmaktadır. Örneğin 0.6m ağ hücre çözünürlüğüne sahip, 60x60m boyutlarında hücrelerden oluşan bir arazi modeli dikkate alınmaktadır ise, 2B akım alanı ön işlemcisi her bir hücre için arazi verilerini dikkate alarak yükseklik-hacim ilişkisi hesaplamaktadır. Böylece bir hücre, ele alınan bir su yüksekliği (WSEL) için 0.6m ağ çözünürlüğünü dikkate alarak kısmi olarak ıslanacaktır. Ayrıca hesaplanan her bir hücre ara yüzü için bir kesitteki benzer şekilde detaylı hidrolik tablolar (yükseklik-ıslak çevre, alan pürüzlülük ve benzeri ilişkiler) hazırlanmaktadır. Hücreler arasında akım hareketi bu detaylı veriler dikkate alınarak belirlenmektedir. Bu sayede arazideki akım özellikleri çok fazla kaybedilmeden daha büyük hesaplama hücreleri belirlenebilmektedir. Büyük hücre yapısı daha az hesaplama yani daha hızlı sonuç elde etmek demektir.

7) *Detaylı Taşkın Haritaları ve Taşkın animasyonları:* Taşkın alanlarının haritalanması ve taşkın simülasyonu HEC-RAS'ın içerisinde yer alan RAS Mapper da yapılabilmektedir. Arazi detaylı olarak dikkate alınarak, 2B akım alanlarının haritalanması gerçekleştirilmektedir. Hesaplamalar sonucunda hücreler kısmi olarak ıslak veya kuru olabilir. Sonuçların haritalanmasında bu detayları yansıtılmaktadır.

8) *Çözüm Algoritmasını Dikkate Alan Çoklu İşlemci (Paralel Hesaplama).* 2B akım alanı çözüm hesaplamaları, bilgisayardaki çoklu işlemci özelliği yardımı ile tek işlemcili bilgisayarlardan daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

9) *64-Bit ve 32-Bit Hesaplmalı İşlemciler.* HEC-RAS hem 64 bit hem de 32 bit işlemcileri kullanabilmektedir. Program 64 bit işletim sisteminde kurulmuş ise otomatik olarak 64 bit işlemcileri kullanılmaktadır. 64 bitlik işlemciler 32 bitlik işlemcilere göre çok daha hızlı ve daha büyük veri setleri ile çalışabilmektedir.

10) *1B, 2B ve aynı anda 1B ve 2B modelleme yapabilmektedir.* Aynı değişken akım modelinde 1B/2B modelleme çalışmalarının birlikte yapılabilme özelliği, büyük nehir sistemlerinde, uygun olan yerlerde 1B modelleme (örneğin ana nehir sistemi) ve hassas hidrolik modelleme gereken alanlarda da 2B modelleme imkanı sağlamaktadır.

11) *2B modellemede Saint-Venant veya Difüzyon denklemleri.* Program kullanıcının isteğine bağlı hem 2B Saint Venant denklemleri ile (türbülans için

momentum denklemleri ve Coriolis etkisi yaklaşımı) hemde 2B Difzyon dalga denklemleri ile çözüm yapabilmektedir. Genellikle 2B Difzyon dalga denklemleri programın hızlı çalışmasına ve daha kolay yakınsamasına imkan sağlamaktadır. 2B Saint Venant denklemlerine büyük/geniş modellerde başvurulabilir ve daha doğru sonuçlar üretmektedir. Hangi yöntemin daha doğru sonuçlar verdiğini görebilmek için kullanıcı çözüm yöntemlerini kolayca değiştirebilmektedir.

12) *Kesin Sonlu Hacimler Çözüm Algoritması.* 2B değişken akım denklemlerinin çözümünde Kesin Sonlu Hacimler Çözüm Algoritması kullanılmaktadır. Kesin çözüm algoritmaları açık yöntemlere göre daha uzun hesaplama adımları içermektedir. Sonlu hacimler yöntemi sonlu farklar ve sonlu elamanlar yöntemlerine göre daha kolay yakınsama ve hassasiyet sağlamaktadır. Islak ve kuru 2B hücreler daha gerçekçidir. 2B akım alanları tamamen kuru olarak başlamaktadır ve hızlı bir şekilde su ile kaplanabilmektedir. Ayrıca bu yöntem nehir, sel ve karışık akım rejimlerinde kullanılabilmektedir.

13) *1B ve 2B Birleşik Çözüm Algoritması.* 1B ve 2B çözüm algoritması eşzamanlı akım geçişlerini dikkate almaktadır. Örneğin 1B modelleme için nehir ve 2B model için kenar seddesinin arkasındaki alan dikkate alınabilmektedir. Akımın, seddenin tamamından veya bir kısmının üzerinden aşması durumunda 1B suyun başından, bağlandığı 2B alan kuyruk suyu kısmına kadar hesaplamalar yapılmaktadır. Sedde üzerinden bir kola doğru akım savak denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Her bir zaman aralığında savak denklemi kullanılmaktadır 1B ve 2B sonuçları için savağın batıklığı doğru olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca nehirdeki suyun düşmesi durumunda akım ana nehire doğru gerçekleşebilmektedir (2B alandan 1B kola doğru).

14) *Üzerinde su yapısı bulunmayan veya bulunan hesaplama ağları.* Program, üzerinde su yapısı bulunan veya bulunmayan ağları hesaplayacak şekilde geliştirilmiştir. Üzerinde su yapısı bulunan ağ, su yapısı bulunmayan ağa benzer şekilde davranmaktadır. Tek fark bu durumda hücreler birbirine ortogonal (dik) olarak yerleşir buda gerekli bazı hesaplamaları kolaylaştırmaktadır. Hesaplama hücreleri üçgen, dikdörtgen, kare veya 5 ve 6 kenarlı elamanlardan oluşmaktadır. Hücresel elemanlar en fazla 8 kenarlı olabilmektedir. Hesaplama ağı farklı şekil ve ölçülerde hücrelerden oluşabilmektedir. Hesaplama ağının dış sınırı bir poligon (çokgen) olarak tanımlanmaktadır. Hesaplama ağı düz çizgi olmayabilmektedir, fakat düz çizgi olması durumunda sayısal hesaplamalar daha kolay gerçekleşmektedir.

15) *2B Hesaplmalı hücrelere ait dataylı hidrolik tabloların özellikleri:* HEC-RAS da hesaplama hücreleri düz bir tabana sahip olmak zorunda değildir ve hücre

kenarları düz bir çizgi olmayabilmektedir. 2B akım alanı oluşturmak için ön işlemciye sahip HEC-RAS bu işlemci ile hesap hücreleri ve ara yüzlerine ait detaylı hidrolik tablolar oluşturmaktadır. Örneğin 0.6m ağ hücre çözünürlüğüne sahip, 60x60m boyutlarında hücrelerden oluşan bir arazi modeli dikkate alınmaktadır ise, 2B akım alanı ön işlemcisi her bir hücre için arazi verilerini dikkate alarak yükseklik-hacim ilişkisi hesaplamaktadır. Böylece bir hücre, ele alınan bir su yüksekliği (WSEL) için 0.6m ağ çözünürlüğünü dikkate alarak kısmi olarak ıslanacaktır. Ayrıca hesaplanan her bir hücre ara yüzü için bir kesitteki benzer şekilde detaylı hidrolik tablolar (yükseklik-ıslak çevre, alan pürüzlülük ve benzeri ilişkiler) hazırlanmaktadır. Hücreler arasında akım hareketi bu detaylı veriler dikkate alınarak belirlenmektedir. Bu sayede arazideki akım özellikleri çok fazla kaybedilmeden daha büyük hesaplama hücreleri belirlenebilmektedir. Büyük hücre yapısı daha az hesaplama yani daha hızlı sonuç elde etmek demektir.

16) *Detaylı Taşkın Haritaları ve Taşkın animasyonları:* Taşkın alanlarının haritalanması ve taşkın simülasyonu HEC-RAS'ın içerisinde yer alan RAS Mapper da yapılabilmektedir. Arazi detaylı olarak dikkate alınarak, 2B akım alanlarının haritalanması gerçekleştirilmektedir. Hesaplamalar sonucunda hücreler kısmi olarak ıslak veya kuru olabilir. Sonuçların haritalanmasında bu detayları yansıtılmaktadır.

17) *Çözüm Algoritmasını Dikkate Alan Çoklu İşlemci (Paralel Hesaplama).* 2B akım alanı çözüm hesaplamaları, bilgisayardaki çoklu işlemci özelliği yardımı ile tek işlemcili bilgisayarlardakinden daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

18) *64-Bit ve 32-Bit Hesaplamalı İşlemciler.* HEC-RAS hem 64 bit hemde 32 bit işlemcileri kullanabilmektedir. Program 64 bit işletim sisteminde kurulmuş ise otomatik olarak 64 bit işlemcileri kullanır. 64 bitlik işlemciler 32 bitlik işlemcilere göre çok daha hızlı ve daha büyük veri setleri ile çalışabilmektedir.

HEC-RAS 2B akım modelleme çalışmalarında mevcut yazılımın aşağıda verilen bazı kısıtları vardır. Bu eksiklikler üzerinde çalışmaların devam ettiği, sonraki sürümlerde bu kısıtların ortadan kaldırılacağı belirtilmektedir.

1) Dahili hidrolik yapıların 2B akım alanına eklenmesi daha esnek hale getirilecektir.

2) 2B akım alanında sediment taşınımı ve depolanması hesaplanamamaktadır.

3) 2B akım alanında su kalite analizi yapılamamaktadır.

4) 2B akım alanında pompa istasyonu bağlanamamaktadır.

5) HEC-RAS köprü modelleme çalışması 2B akım alanında yapılamamaktadır.

Menfez, savak ve kollara ayrılma SA/2B Area Conn menüsü ile yapılabilmekte

4.13. 2B Hesap Ağının Geliştirilmesi

HEC-RAS, 2B modelleme çalışmalarında Sonlu Hacimler Yöntemi'ni kullanmaktadır. Bu yöntem, incelenen alan içerisinde su yapılarının bulunup bulunmamasına bakılmaksızın hesaplama yapabilme olanağı sağlamaktadır. Hesaplamalar, ağ hücreleri olarak adlandırılan birimlerin oluşturduğu ağ yapısı üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu hücreler üçgen, dörtgen, beşgen veya en fazla sekiz kenarlı çokgenlerden oluşabilmektedir.

Genellikle modelleme çalışmaları için belirli bir ağ boyutu (örneğin, 50x50 metre) tercih edilerek, HEC-RAS içerisinde bulunan bir araç yardımıyla otomatik hesaplama ağı oluşturulmaktadır. Bu başlangıç ağı oluşturulduktan sonra, kullanıcı tarafından gerektiğinde düzenlemeler yapılabilmektedir. Bu düzenlemeler, düzeltme çizgileri ekleyerek veya ağ veri giriş araçlarını kullanarak gerçekleştirilmektedir.

Aşağıda, HEC-RAS'ta bir hesaplama ağı oluşturma adımları özetlenmiştir:

1. **Ağ Boyutunun Belirlenmesi:** Modelleme alanının detayına uygun bir ağ boyutu (örneğin, 50x50 metre) seçilmektedir.
2. **Otomatik Ağ Oluşturma:** HEC-RAS'ın araçları kullanılarak başlangıç hesaplama ağı otomatik olarak oluşturulmaktadır.
3. **Ağ Düzenlemesi:** Otomatik oluşturulan ağ, ihtiyaçlara göre düzeltme çizgileri ve ağ veri giriş araçları ile kullanıcı tarafından düzenlenebilmektedir.
4. **Kontrol ve Doğrulama:** Son olarak, oluşturulan ağ yapısı incelenerek doğruluğu ve modelleme gereksinimlerine uygunluğu kontrol edilmektedir.

Bu yöntem, su yapılarının yer aldığı veya almadığı farklı durumlar için esnek ve detaylı bir modelleme altyapısı sunmaktadır.

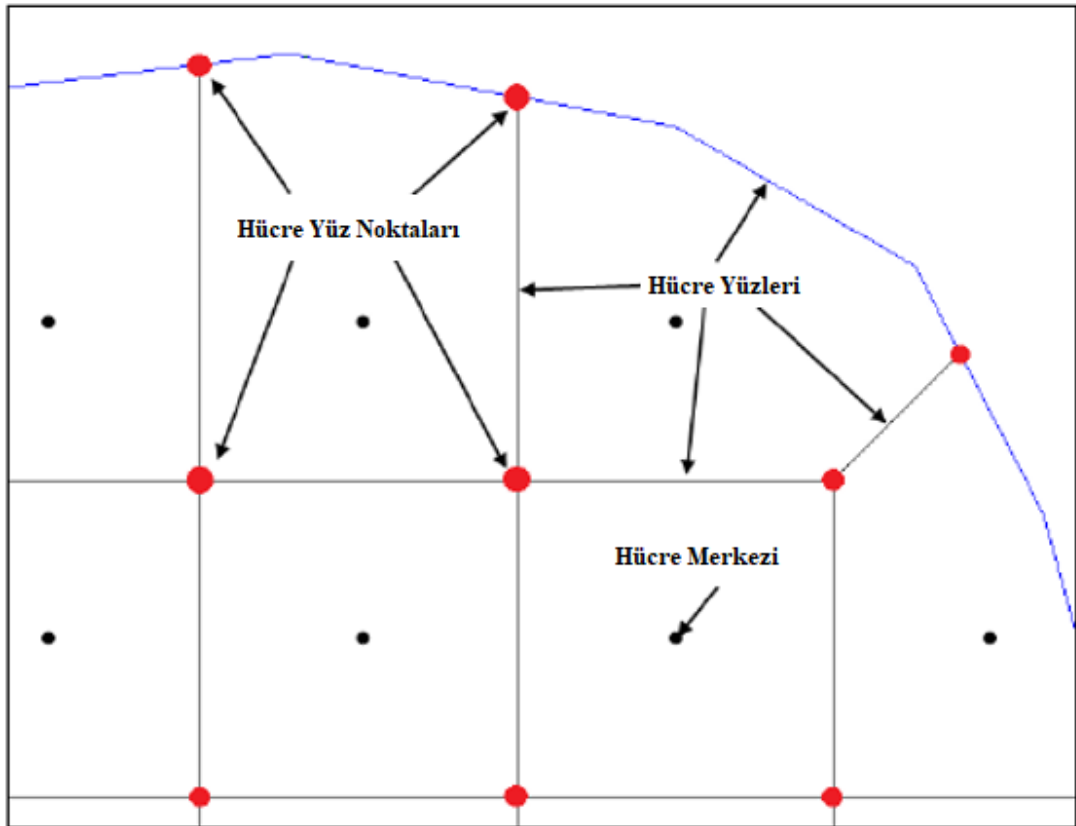
Aşağıda, HEC-RAS'ta bir hesaplama ağı oluşturma adımları özetlenmiştir:

1. **Ağ Boyutunun Belirlenmesi:** Modelleme alanının detayına uygun bir ağ boyutu (örneğin, 50x50 metre) seçilmektedir.
2. **Otomatik Ağ Oluşturma:** HEC-RAS'ın araçları kullanılarak başlangıç hesaplama ağı otomatik olarak oluşturulmaktadır.
3. **Ağ Düzenlemesi:** Otomatik oluşturulan ağ, ihtiyaçlara göre düzeltme çizgileri ve ağ veri giriş araçları ile kullanıcı tarafından düzenlenebilmektedir.
4. **Ayrırma Çizgilerinin Eklenmesi:** Akım kontrolü ve doğrultusunu belirlemek için ayırma çizgileri eklenir ve düzenlenmektedir.
5. **Kontrol ve Doğrulama:** Son olarak, oluşturulan ağ yapısı incelenerek doğruluğu ve modelleme gereksinimlerine uygunluğu kontrol edilebilmektedir.

4.14. 2B Hesaplama Ağı'nın Oluşturulması

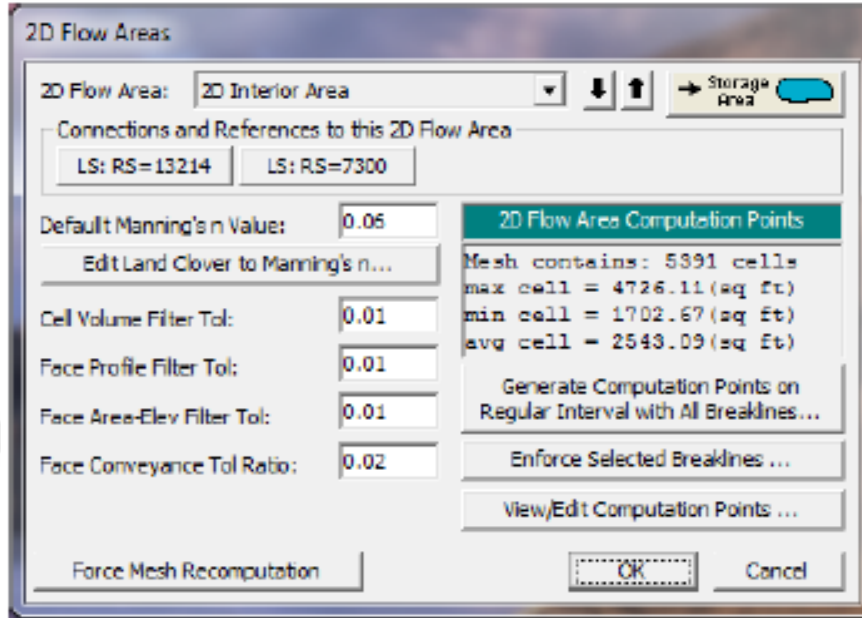
HEC-RAS terminolojisiinde, 2B modelleme için tanımlanan hesaplama ağı 2B akım alanı ile başlar. 2B akım alanı, 2B hesaplamanın gerçekleşeceği sınırları tanımlamaktadır. Bu alan içerisindeki her bir hesaplama hücresi aşağıdaki üç temel özelliğe sahiptir:

1. **Hücre Merkezi (Cell Center):** Hücrede su yüksekliğinin hesaplandığı noktadır. Bu nokta, hücrenin tam geometrik merkezi olmak zorunda değildir, ancak hesaplamalar bu merkez üzerinden gerçekleştirilebilmektedir.
2. **Hücre Yüzeyleri/Sınırları (Cell Faces):** Hücrelerin sınırlarını oluşturan yüzeylerdir. Bu yüzeyler genellikle düz çizgilerden oluşur, ancak 2B akım alanının dış sınırlarında birden fazla noktadan oluşan karmaşık şekiller de alabilmektedir.
3. **Hücre Yüzey Noktaları (Cell Face Points):** Hücre yüzeylerinin sonlandığı noktaları ifade eder. 2B akım alanına ait dış sınırların yüzey noktaları, 2B alanların 1B elemanlara veya sınır şartlarına bağlanmasında kullanılmaktadır. Şekil 21 'de bu bağlantılar ve hücre yüzey noktaları detaylandırılmıştır.



Şekil 21. HEC-RAS 2B modeli hesaplama ağı elemanları

2B hesaplama ağı oluşturmak için geometrik veri penceresinde sol panelde yer alan 2B Flow Area düğmesi seçilmektedir, bu durumda 2B flow area penceresi Şekil 22 'deki gibi görüntülenebilmektedir.



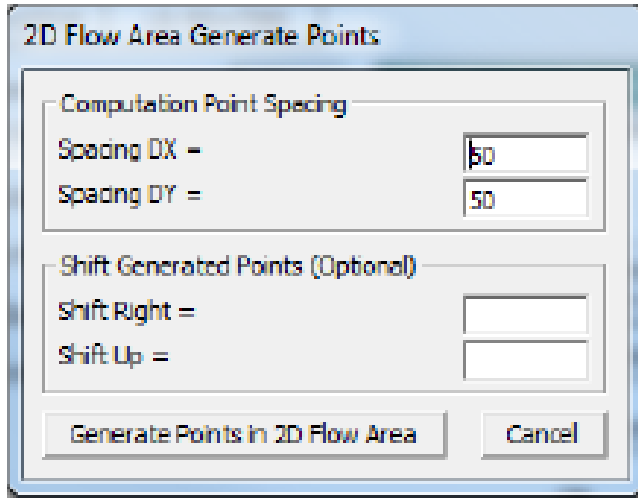
Şekil 22. 2B akım alanı ağ oluşturma penceresi

2B Akım Alanı Düzenleyicisi, kullanıcıya hesaplama ağı oluşturmak için belirli bir ağ ölçüsü seçme imkânı sunmaktadır. Bu düzenleyicide "Generate Computational Points on Regular Interval with All Breaklines" düğmesi kullanılarak açılan pencerede istenen ağ ölçüleri tanımlanmaktadır (Şekil 23.). Bu pencerede, DX ve DY değerleri girilerek hesaplama noktaları arasındaki mesafeler belirlenmektedir. Örneğin, DX=50 ve DY=50 girildiğinde, ayırma çizgileri ve dış sınır çizgileri dışında 50x50 metrelik düzenli bir ağ oluşturulmaktadır. Ancak, 2B akım alanı sınırlarına yakın hücreler düzensiz şekillerde olabilmektedir.

Ayırma çizgisi bulunan 2B alanlarda ağ oluşturma aracı, ayırma çizgileri üzerinde otomatik yüzeyler üretmektedir. Ayırma çizgisi etrafındaki hücrelerin düzgün olmaması durumunda, "Enforce Selected Breaklines" seçeneği kullanılarak ayırma çizgisi boyunca yeni hücreler oluşturulmaktadır. Bu, akımın ayırma çizgisini geçmesini engellemektedir. Ayrıca, her bir ayırma çizgisi için farklı hücre boyutları tanımlanabilmektedir. Bu işlem, GIS Tools menüsü altındaki "Breaklines Cell Spacing Table" aracı kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Hücre boyutlarının belirlendiği pencerede, istenirse hücre merkezlerinin başlayacağı sol üst X ve Y koordinatları da tanımlanabilmektedir. Ancak, bu genellikle

gereklidir çünkü program poligonun sol üst köşesini referans almaktadır. "Shift Generated Points" düğmesi ile hücre merkezlerinin konumu değiştirilebilmektedir.



Şekil 23. Hücre nokta mesafelerinin belirlendiği pencere

Eğer mevcut bir ağ bulunuyorsa ve "Generate Points in 2B Flow Area" seçeneği yeniden kullanılırsa, mevcut tüm ağ noktaları yenilenir ve mevcut veriler kaybolmaktadır.

2B akım alanları penceresinde, ön hesaplamalarda kullanılmak üzere aşağıdaki beş kutu bulunmaktadır:

1. **Varsayılan Manning n Değerleri (Default Manning's n Value):** 2B akım alanındaki hücre yüzeyleri için hesaplamalarda kullanılacak Manning n değerleri buraya girilmektedir. Arazi kullanımı tablosu aracılığıyla düzenlenebilmektedir ve tanımlanmamış bölgelerde öngörülen değerler kullanılmaktadır.

2. "Edit Land Classification to Manning's n" düğmesi, arazi kullanımına göre Manning n değerlerini düzenlemeyi sağlamaktadır. Bu düğme ile açılan pencerede Manning n değerleri ve arazi sınıfları tablolar hâlinde düzenlenebilmektedir.

3. **Hücre Hacim Filtreleme Aracı (Cell Volume Filter Tol):** 2B hücre sayılarını azaltmak amacıyla yükseklik-hacim eğrileri üretilirken kullanılmaktadır. Daha az nokta, hesaplama hızını artırırken doğruluğu bir miktar azaltabilmektedir. Varsayılan hata payı 3 mm'dir.

4. **Yüzey Profili Filtreleme Aracı (Face Profile Filter Tol):** 2B hücrelerin yüzeylerindeki nokta sayısını azaltmak için kullanılmaktadır. Varsayılan hata payı 3 mm'dir.

5. **Yüzey Alan-Yükseklik Filtreleme Aracı (Face Area-Elev Filter Tol):** Hücre yüzeylerinin hidrolik özellikleri tablolarını azaltmak için kullanılmaktadır. Daha az nokta, hesaplama hızını artırır ancak doğruluğu düşürür. Varsayılan hata payı 3 mm'dir.

6. **Yüzey Taşınım Oranı (Face Conveyance Tol Ratio):** Yüzey şeklinin daha az veya daha fazla nokta ile temsil edilmesini sağlamaktadır. Varsayılan hata sınırı 0.02'dir (%2).

4.15. Hesaplama Ağı'nın Düzenlenmesi/Değiştirilmesi

Hesaplama ağı, suyun iki boyutlu akım alanındaki hareketini kontrol eden bir yapıdır. Her zaman adımı için, bir ağ hücresinin merkezinde yüzey yüksekliği hesaplanmaktadır. Akım hareketi, hesaplama hücresinin yüzeylerinden hücreden hücreye geçişle kontrol edilmektedir. HEC-RAS içerisinde tanımlanan arazi ve hesaplama ağı için önceden detaylı bir hazırlık yapılmaktadır. Bu hazırlık, her hücreye ait yükseklik-hacim ilişkisi ve her hücre yüzeyi için yükseklik-ıslak çevre-alan-pürüzlülük gibi hidrolik özellik eğrilerinin oluşturulmasını içermektedir.

Hücre boyutları, ele alınan akım alanındaki su yüzü eğimi ve arazi engelleri göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Su yüzü eğiminin düşük olduğu ve hızlı değişmediği bölgelerde daha büyük hücreler tercih edilebilmektedir. Ancak, su yüzü eğiminin dik olduğu, yükseklik ve eğimin hızlı değiştiği alanlarda, bu değişimleri doğru şekilde yansıtabilmek için daha küçük hücreler gereklidir. Akım hareketleri hücre yüzeyleri tarafından kontrol edildiğinden, küçük hücreler, hem geometrik değişimleri hem de akım dinamiğindeki hızlı farklılıkları daha iyi gösterebilmektedir.

Genellikle hücre boyutu, arazinin su yüzü eğimi ve akışı engelleyen yapılar dikkate alınarak belirlenmektedir. Yatay eğimli ve değişimlerin yavaş olduğu bölgelerde büyük hücre ölçüleri kullanılabilir. Ancak dik eğim ve hızlı değişimlerin bulunduğu yerlerde, daha küçük hücreler kullanılarak detayların yakalanması sağlanmaktadır (Betsholtz and Nordlöf, 2017).

Hesaplama ağı, aşağıdaki araçlar kullanılarak düzenlenebilir ve değiştirilebilmektedir:

Ayrırma çizgileri, Nokta hareket ettirme, Nokta ekleme, Noktaların kaldırılması

4.16. 2B Akım Alanı Dış Sınır Şartları

2B akım alanının 1B nehir koluna ve depolama alanına bağlanmasının yanı sıra 2B akım alanları ile direk bağlı beş çeşit harici-dış sınır şartı vardır. Bu sınır şartları aşağıda verilmiştir:

Flow Hydrograph (Akım hidrografi), Stage Hydrograph (Konum hidrografi), Normal Depth (Normal derinlik), Rating Curve (Anahtar eğrisi), Precipitation (Yağış)

Normal derinlik ve anahtar eğrisi sınır şartları, yalnızca akımın 2B akım alanını terk ettiği konumlarda kullanılabilmektedir. Akım ve konum hidrografi sınır şartları ise akımın 2B akım alanına giriş ve çıkış kesitlerinde tanımlanabilmektedir. Akım hidrografi için pozitif akım değerleri, akımın 2B akım alanına girişini; negatif akım değerleri ise akımın 2B akım alanından çıkışını ifade etmektedir. Konum hidrografında, 2B akım alanı içerisinde konum, zemin seviyesinin/su yüzeyinin üzerinde ise akım girişi; su yüzeyinin altında ise akım çıkış yönünde gerçekleşmektedir. Eğer hücre kuru ise ve konum sınır şartı 2B akım alanı minimum hücre yüksekliğinden düşükse akım transferi gerçekleşmez.

2B akım alanına ait sınır şartları, geometrik veri penceresindeki ilgili sekmede tanımlanmaktadır. Bu işlemi gerçekleştirmek için önce sınır şartı atanacak bölge seçilmektedir ve ardından pencerenin üst kısmında yer alan sınır şartı türlerinden uygun olanı belirlenmektedir. 2B akım alanı seçildiğinde yalnızca dört tür sınır şartının tanımlanabileceği görülmektedir. Bu sınır şartları şunlardır:

Stage Hydrograph (Seviye Hidrografi): Akım alanındaki su seviyesinin zamanla değişimini tanımlamaktadır. **Flow Hydrograph (Debi Hidrografi):** Akım alanına giren veya çıkan akım debisinin zamanla değişimini tanımlamaktadır. **Rating Curve (Anahtar Eğrisi):** Akım alanındaki belirli bir noktada su seviyesi ile debi arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. **Normal Depth (Normal Derinlik):** Akımın uzaklaşması için Manning denklemi kullanılarak tanımlanan sınır şartıdır.

4.17. Uygun Ağ Ölçülerinin ve Hesaplama Zaman Aralığının Seçimi

Uygun ağ hücre boyutu ve hesaplama zaman aralığının (ΔT) belirlenmesi, 2B akım alanlarında doğru sonuçların elde edilmesi için kritik öneme sahiptir. Araziyi ve üzerindeki su yüzeyini doğru bir şekilde modellemek için yapılması gereken ilk adım, hesaplama ağının oluşturulması yani hücrelerin boyutlandırılmasıdır. Birçok 2B akım modeli, her bir hücre ve hücre yüzeyi için tek bir yükseklik değeri kullanmaktadır (ağ tabanlı modeller). Sonlu elemanlar yöntemlerinde ise arazinin temsili, üçgenler kullanılarak yapılmaktadır (her üçgenin üç yüksekliği ve düzlemsel yüzey). Her bir

yüzey, iki yükseklik ve bunlar arasındaki düz çizgilerle temsil edilmektedir. Arazide ne kadar ve hangi ölçüde hücreler oluşturulacağına karar verirken dikkatli olmak oldukça önemlidir.

HEC-RAS içinde hücreler üç ila sekiz kenara sahip olabilmektedir. Her bir hücre, basit bir plana sahip olmayıp, arazinin detaylı bir şekilde temsil edilmesini sağlayan yükseklik, hacim/alan ilişkilerine sahiptir. HEC-RAS hücre yüzeyleri, detaylı yükseklik-alan, ıslak çevre ve pürüzlülük bilgilerini içeren kesitlerdir. Bu sayede, HEC-RAS içinde büyük hücre boyutları kullanılsa bile, ele alınan arazi doğru bir şekilde tanımlanabilmektedir.

Doğru hesaplama hücrelerini tanımlamak için, hücre yüzeylerinin akımı engelleyen yüksek noktaları temsil edecek şekilde oluşturulması gereklidir. Ayrıca, su yüzeyi eğimi de dikkate alınmalıdır. Her bir hücre merkezinde tek bir su yüzeyi yüksekliği hesaplanmaktadır. Büyük hücrelerde, farklı su yüzeyi yükseklikleri hesaplanarak su yüzeyinin ortalama eğimi belirlenmektedir. Bu hesaplama bazı bölgeler için geçerlidir. Eğer su yüzeyi eğiminde hızlı bir değişim söz konusuysa, küçük hücre boyutları kullanılması gereklidir. HEC-RAS modeli, farklı bölgelerde değişik hücre boyutlarının kullanılmasına olanak tanımaktadır. Yani, hesaplama ağı küçük hücreler ile tanımlanabileceği gibi, arazi ve su yüzeyi eğiminin fazla değişmediği bölgelerde büyük hücreler de tanımlanabilmektedir.

HEC-RAS'ta iyi bir hesaplama ağı geliştirmek için dikkate alınması gereken bazı önemli hususlar şunlardır:

1. **Hücre boyutları, şekilleri ve dağılımı**, arazinin yeterince doğru bir şekilde temsil edilmesini sağlamalıdır. Özellikle hücre yüzeyleri, suyun hareketini kontrol ettiğinden, yeterli sayıda ve doğru konumda olmalıdır. Akıma engel olan yollar, seddeler ve doğal yükseklikler gibi bariyerler, hücre yüzeyleri ile tanımlanmalıdır. Ayrıca, ana kanal kenar sınırı boyunca bir kesme hattı oluşturulmalıdır. Bu sayede, ana kanaldaki su, kanal boyunca kenar sınırına ulaşana kadar taşmaz.

2. **Hücre boyutları**, su yüzeyi eğimini ve bu eğimin değişimini temsil edecek şekilde olmalıdır. Eğer su yüzeyi eğimi hızla değişmiyorsa, su yüzeyi yüksekliğini ve eğimini doğru bir şekilde hesaplamak için daha büyük hücreler kullanılabilmektedir. Ancak, su yüzeyi eğimi hızlı bir şekilde değişiyorsa, bu değişimi ve o bölgede oluşan kuvvet/enerji kayıplarını doğru bir şekilde hesaplayabilmek için hücrelerin daha küçük boyutlarda tanımlanması gerekmektedir. Hücre boyutları ve şekilleri, daha doğru hesaplamalar sağlamak için büyük hücrelerden küçüğe doğru kademeli olarak değişmelidir.

İyi bir hesaplama ağı oluşturmak için uygun hesaplama zaman aralığının belirlenmesi gereklidir. Uygun zaman aralığı, hücre boyutuna ve hücrelere doğru akan suyun hızına bağlıdır. HEC-RAS, hesaplama ağındaki akımı çözmek için iki ana denklem seti kullanmaktadır: Difüzyon dalga denklemleri ve Saint Venant denklemleri. Genellikle, difüzyon dalga denklemleri, Saint Venant denklemlerine göre nümerik olarak daha hızlı çözüm sunmaktadır. Yani, difüzyon dalga denklemleri kullanılarak yapılan hesaplamalarda daha uzun zaman adımları ile kararlı ve doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Aşağıda, difüzyon dalga denklemleri ve Saint Venant denklemleri için uygun zaman aralıklarının belirlenmesi adımları verilmiştir.

Saint Venant denklemleri (full momentum):

$$C = \frac{V\Delta T}{\Delta X} \leq 1.0 \text{ (mak } C = 3.0)$$

veya

$$\Delta T \leq \frac{\Delta X}{V} \text{ (} C = 1.0)$$

C= Akış katsayısı

V=Akım dalga hızı (ft/s)

ΔT =hesaplama zaman aralığı (s)

ΔX = Ortalama hücre boyutu (ft)

Difüzyon Dalga Denklemi:

$$C = \frac{V\Delta T}{\Delta X} \leq 2.0 \text{ (mak } C = 5.0)$$

Veya

$$\Delta T \leq \frac{2\Delta X}{V} \text{ (} C = 2.0)$$

4.18. Pratik Olarak Zaman Adımının Seçimi

Bu denklemleri kullanmak için, yüksek hıza sahip ve su yüzeyi ile hızın ani değişim gösterdiği alanlar belirlenmelidir. Bu alanlarda, ortalama hücre boyutu (ΔX) ve maksimum hız (V) hesaplanmalıdır. Maksimum hız, hesaplama öncesinde tahmin edilmektedir, ancak hesaplama sonuçları doğrultusunda belirlenen V değeri uygun kabul edilir. Önerilen akış katsayısı ile (örneğin, Saint Venant denklemleri için C=1) bir ΔT seçilir. Saint Venant denklemleri için C=3.0 ve difüzyon dalga denklemleri için C=5.0 gibi yüksek katsayılar seçilerek kararlı ve doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Modelleme sırasında, durum zamanla ve konumla yavaş değişiyorsa daha geniş zaman

adımları kullanılabilmektedir. Ancak, taşkın dalgası modelleniyor ve konum ile zamanla hızlı değişimler söz konusuysa, yüksek hız bölgesinde akış katsayısı $C=1$ alınarak zaman adımı daha da küçültülmelidir. Ayrıca, 2B alanı kuru olarak hesaplama başlanıyorsa, daha doğru ve kararlı bir ön ıslak alan için $C=1$ alınarak zaman aralığı belirlenmelidir.

Hesaplama ağı ve seçilen zaman adımının uygunluğu mutlaka kontrol edilmelidir. Bunun için, ağ ve zaman aralığı, sonucun yakınsamasını sağlayacak şekilde küçültülmelidir. Ağ ve zaman adımı eşzamanlı olarak optimize edilirse, model yakınsar. Farklı hücre boyutlarına en uygun zaman adımlarının test edilmesi ve bu değişkenlerin sonuçları nasıl etkilediğinin incelenmesi önemlidir. Nümerik olarak en uygun sonucu elde etmek ve hesaplama süresini minimize etmek için ΔX ve ΔT doğru şekilde belirlenmelidir.

4.19. Hesaplamaların Gerçekleştirilmesi

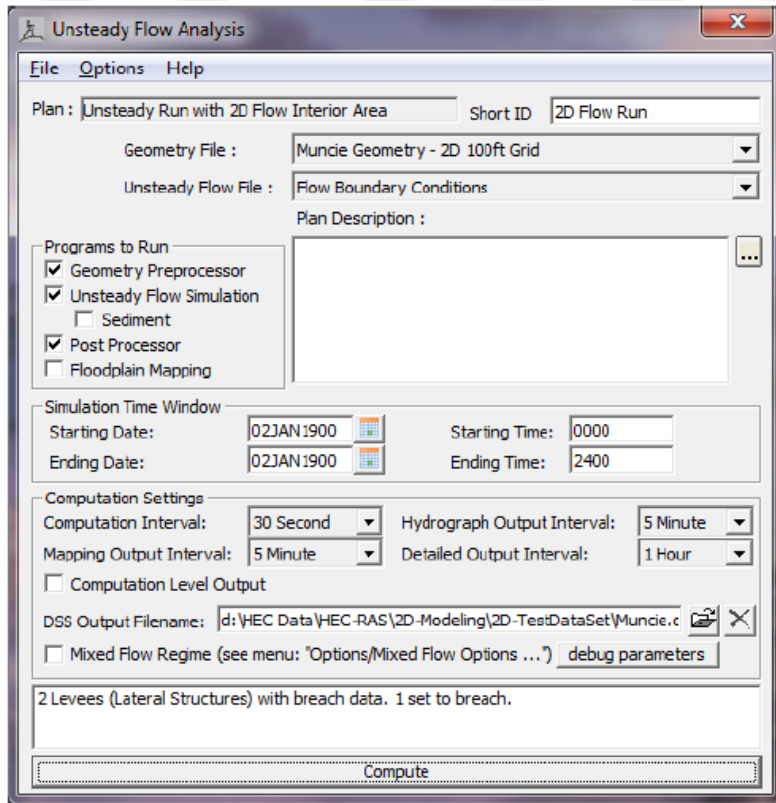
Modeli çalıştırmak için Unsteady Flow Analysis penceresi açılır. 1B ve 2B birleşik akım verilerini içeren seçili geometri dosyasına dayalı bir plan oluşturulmaktadır. Bu planı çalıştırmak için bir değişken akım dosyası seçilir ve plan başlığı ile kısa kimlik (Short ID) tanımlanmaktadır. Programı çalıştırmak için aşağıdaki adımlar belirlenir: Zaman simülasyon penceresi açılır ve diğer tüm hesaplama ayarları yapılmaktadır. Compute düğmesine basılarak program çalıştırılmaktadır. Eğer daha önce 2B akım alanı ön işlemcisinde (RAS Mapper'da) program çalıştırılmamışsa, değişken akım işlemcisinde otomatik olarak program başlatılmaktadır.

Programs to Run penceresinde Floodplain Mapping kontrol kutusu bulunur. Eğer RAS Mapper doğru bir şekilde kurulmuşsa, arazi veri seti geometri dosyaları ile ilişkilendirilmektedir ve bu seçenek aktif hale gelmektedir. Bu seçenek etkinleştirildiğinde, program değişken akım hesaplamalarını tamamladıktan ve gerekli değişiklikler yapıldıktan sonra, modeldeki her konuma ait maksimum taşkın yayılma derinlik ağını oluşturmak için (ve diske kaydetmek amacıyla) "ComputeFloodMaps.exe" isimli ayrı bir işlemci çalıştırılmaktadır. Ancak bu seçenek, taşkın haritalaması için gerekli değildir; sadece değişken akım hesaplamaları sonucunda depolanmış taşkın haritasını otomatik olarak oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Floodplain Mapping seçeneği genellikle önceden seçili değildir çünkü RAS Mapper'da hesaplamalar tamamlandıktan sonra dinamik taşkın haritalaması yapılmaktadır ve statik taşkın haritası (depolanmış derinlik ağı) oluşturulmaktadır. Bu nedenle, Floodplain Mapping seçeneğinin kapalı (işaretlenmemiş) olması önerilmektedir. Bu seçeneğin asıl

amacı, hesaplanan taşkın haritalarını CWMS veya HEC-WAT gibi diğer sistemlerde kullanılabilir hale getirmektir.

Post Processor seçeneği, yalnızca 1B akımlar ve 1B/2B karışık veri setlerinde başvurulabilen ek (detaylı) çıktılar sağlar. 2B çıktılar ise değişken akım çalıştırıldığında üretilmektedir.

Computational Setting alanının altında, Mapping Interval isimli yeni bir özellik bulunmaktadır. Bu özellik, RAS Mapper’da dinamik harita oluşturmak ve taşkın haritasında animasyon yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Belirli bir aralık tanımlandığında (örneğin 1 saat), sınırlı sayıda hidrolik çıktı değişkeni, tüm kesitler, depolama alanlar ve 2B akım alanları için ikili (binary) çıktı dosyası olarak kaydedilmektedir. Bu dosyaya ayrıca her noktaya ait maksimum ve minimum değerler de kaydedilmektedir. Bu dosya, RAS Mapper’da sonuçları dinamik haritalama amacıyla kullanılır. Option menüsü altında ise ek haritalama seçenekleri bulunmaktadır.

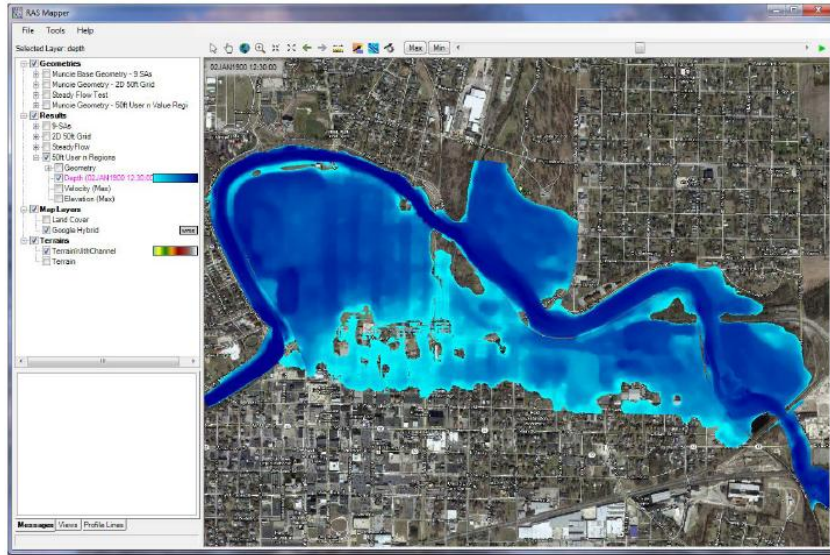


Şekil 24. Değişken akım analiz penceresi ve taşkın plan özellikleri

Compute düğmesine basıldığında, değişken akım işlemcisi çalışmaya başlamaktadır. Bu işlem şu aşamalarda gerçekleşmektedir: 2B geometri ön işleme, değişken akım hesaplamaları ve son olarak taşkın haritalama işlemleri (Brunner ,2017, Ardıçlıoğlu, 2020).

4.20. Sonuçların RAS Mapper Kullanılarak Görüntülenmesi

Modele ait değişken akım hesaplamaları tamamlandıktan sonra, 1B çıktıları (grafikler ve tablolar) daha önce yapıldığı gibi incelenebilmektedir. *Fakat 2B sonuçları sadece RAS Mapper da görüntülenebilmektedir.* RAS Mapper da nehir kollarındaki, depolama alanlarındaki ve 2B akım alanlarındaki taşkın alanları aynı anda görüntülenebilmektedir. Bu amaçla HEC-RAS ana penceresinde GIS Tools RAS Mapper menüsü (veya bu pencerede RAS Mapper  düğmesi) seçilmektedir. Bu durumda Şekil 25. 'de verilen RAS Mapper penceresi görüntülenebilmektedir. Bu bölümde RAS Mapper da 1B/2B çıktılarının nasıl görüntülenebileceği ele alınmıştır. Daha detaylı bilgilere HEC-RAS User Manual kitabının 20. Bölümünde açıklanmıştır (Ardıçlıoğlu 2020, ASCE, 2017).



Şekil 25. 1B/2B taşkın yayılmasını gösteren RAS Mapper penceresi

5. MATERYAL YÖNTEM

5.1. Çalışma Alanı

Gümüşhane İli Kelkit İlçesi Yeni Yol Köyü Yerleşim Yeri ve Bahçeleri, Bahçecik Deresi'nden kaynaklanan taşkın zararlarından etkilenmektedir. Bahçecik Deresi kaynaklı taşkınların, yerleşim yerlerine olan zararlı etkilerini belirlemek için, akarsu havzasında yapılacak tesislerin belirlenmesi, mecraların yeterli kesit genişliğine kavuşturularak mecralarındaki akışın düzenlenmesi, projenin amacını oluşturmaktadır.

Proje alanı, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, Gümüşhane İli Kelkit İlçesi Yeni Yol Köyü Yerleşim Yeri ve Bahçeleri içerisinde yer alan Bahçecik Deresi'ni kapsamaktadır. Bu alan, Gümüşhane İl Merkezine yaklaşık 98 km uzaklıktadır. Bölgenin ayrıntılı olarak ekler bölümünde fotoğrafları mevcuttur (Fotoğraflar).



Şekil 26. Yeni Yol Köyü Bahçecik Deresi Mevcut Bir Görünümü

5.1.1. Havza Özellikleri

Akarsu Havzası: Yeşilırmak Havzası

Yağış Havzası Alanı: 10,42 km²

Koordinatlar: 39° 21' - 39° 25' doğu boylamları ve 39° 54' - 39° 52' kuzey

enlemleri Problem Tanımı

Bahçecik Deresi'nin mevcut dere yatağı, kapasite yetersizliği nedeniyle taşkın riskine açıktır.



Şekil 27. Bahçecik deresi taşkın riskine açık bir görünüm

5.1.2. Bölgenin İklim Özellikleri

Doğu Anadolu ile Karadeniz Bölgesi arasında bulunan Gümüşhane İli geçiş iklimi özelliği taşımaktadır. Karadeniz'in nemli havasını yüksek Zigana duvarları keserken, Doğu Anadolu'nun sert soğuklarının bölgeye ulaşmasını Kop Dağı engellemektedir. Bu coğrafi konum, Gümüşhane'ye benzersiz ve hoş bir iklim sunmaktadır.

Coğrafi Konum: 39-41 derece Doğu Boyamları, 40-41 derece Kuzey Enlemleri

İklim Tipi: Karasal iklim

Güneşlenme Durumu: En fazla güneşlenme Temmuz ayında

En az güneşlenme: Ocak ve Aralık aylarında

Yağış Durumu: Bahar ve kış ayları yağışlı geçmektedir.



Şekil 28. Bahçecik deresi bahar ayında yağışlı bir görünüm

Kış yağışları genellikle Proje alanı çevresindeki meteorolojik veriler, Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilen istasyonlardan alınmaktadır. Bu istasyonlarda yağış, sıcaklık, nispi nem, rüzgar ve kar gibi parametreler düzenli olarak ölçülmekte ve kayıt altına alınmaktadır.

5.1.3. Bölgenin Toprak ve Arazi Kullanım Özellikleri

Doğu Karadeniz'in ardı toprakları genellikle sıg yapılıdır. Yamaç arazilerdeki topraklar zonal özellikte olup, yoğun erozyon nedeniyle üst toprak büyük ölçüde taşınmıştır.

Toprak Tipleri ve Verimlilik Durumu

Yamaç Araziler: Genelde taşlı, kireçli veya az kireçli toprak yapısına sahiptir.

Vadi Tabanı Araziler: Derin, verimli ve sulamaya uygun topraklara sahiptir.

Kollüviyal ve alüviyal karakterde oldukları için horizon oluşumu gözlenmez.

Tarım ve Yerleşim Alanları

Vadi tabanlarındaki toprakların verimli olması ve sulama imkanlarının bulunması nedeniyle, tarım ve yerleşim faaliyetleri bu alanlarda yoğunlaşmıştır. Bu bölgelerde yetiştirilen başlıca ürünler:

Tahıllar: Buğday, arpa

Sebzeler: Fasulye, patates, soğan

Meyveler: Ceviz ve diğer meyve türleri

Ağaç Yetiştiriciliği: Sulama olanaklarının bulunduğu yerlerde ve dere kenarlarında kavak yetiştiriciliği yapılmaktadır.

Orman ve Mera Kullanımı

Proje alanının çevresinde ormanlık alan oldukça sınırlıdır. Mevcut ormanlar, genellikle bozuk nitelikli meşcerelerden oluşmaktadır. Yamaç arazilerde geçmişten günümüze kadar yoğun ve kontrolsüz otlatma yapılmış, bu durum erozyonu artırmıştır.

Mera Kullanımı: Hasat sonrası tarım alanları, Orman içi açıklıklar ve Yaylalar

Hayvancılık: Geleneksel hayvancılık faaliyetleri halen sürdürülmektedir.

Erozyon ve Taşınan Topraklar

Yoğun otlatma ve yanlış arazi kullanımı nedeniyle, erozyona uğrayan topraklar yamaçlardan yan derelere, vadi tabanına ve akarsulara taşınarak mansap bölgelerine kadar ulaşmaktadır.

Yaşanan bu taşkınların nedenlerini ve havza problemlerini; Yağışların yüksekliği, Ani kar erimeleri, Proje alanı içinde dere yatak kapasitesinin yetersizliği,

Mevcut yatakta bitki örtüsü gelişmesi, Yetersiz sanat yapılarında kapasite yetersizliği, Proje alanı içinde kıyı oyulmaları sonucu bina ve yollarda tahribat riski olarak sıralayabiliriz. Proje alanının en önemli su kaynağı Bahçecik Deresidir. Proje alanını oluşturan Bahçecik Deresi'nin sarfiyatı yaz aylarında oldukça azalmaktadır.



Şekil 29. Bahçecik deresi nisan ayındaki yağıştan ve kar erimesinden bir görünüm

Proje alanında taşkın zararları oluşturan derelerin taşkın hidrolojisi, değişik yinelemeli taşkın debileri Mockus yöntemiyle hesaplanan değerler proje taşkın debisi olarak seçilmiştir.

5.2. Taşkın Debileri

Bahçecik Deresi'nde projelendirilmesi önerilen tesislerin tasarımında kullanılan taşkın debisi değerleri ve hesaplama yöntemleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur:

Tablo 3. Bahçecik deresi yinelemeli taşkın debileri

Dere	Yağış alanı (km ²)	Q ₂₅ m ³ /s	Q ₁₀₀ m ³ /s	Q ₅₀₀ m ³ /s
Bahçecik	10.42	7.81	10.74	14.02

Proje alanının memba kesiminde, Yeniyol Köyü ve çevresindeki tarım arazileri boyunca dere yatağının kapasite yetersizliği nedeniyle sık sık taşkın olayları yaşanmaktadır.



Şekil 30. Bahçecik Deresi Yağış Halindeki Görünümü

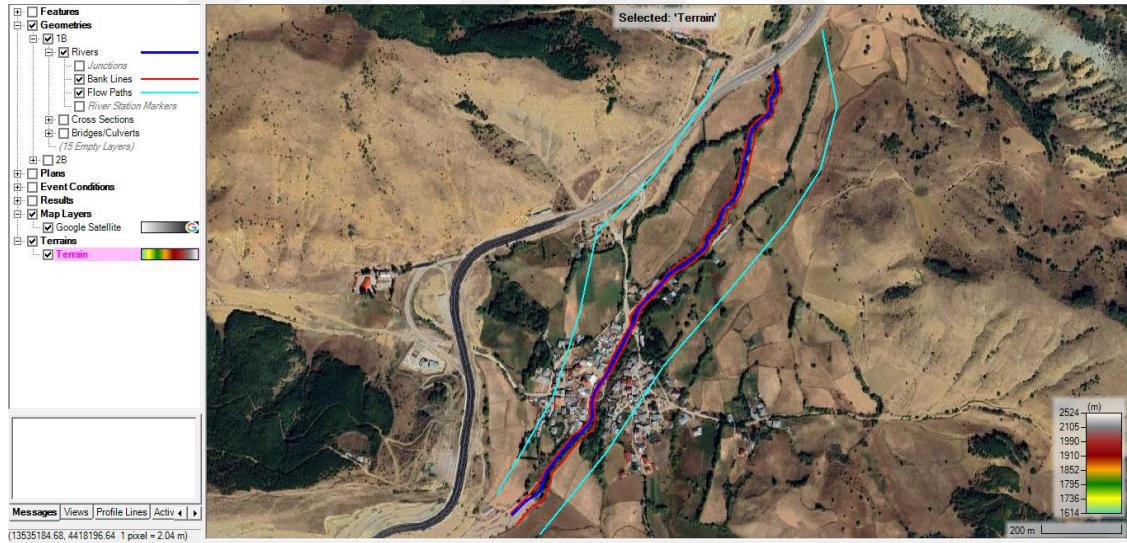
5.3. Bahçecik Deresinin 1B Modellenmesi

HEC-RAS taşkın hesaplamalarında kullanılacak sayısal yükseklik haritası 30m çözünürlükte USGS sayfasından (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) alınarak, daha sonra 5m çözünürlükte harita elde edilmiştir. Bu sayısal yükseklik haritası RAS Mapper da açılarak dere ana kanal çizgisi (Rivers) membadan mansaba doğru Şekil 31’de verildiği üzere tanımlanmaktadır.



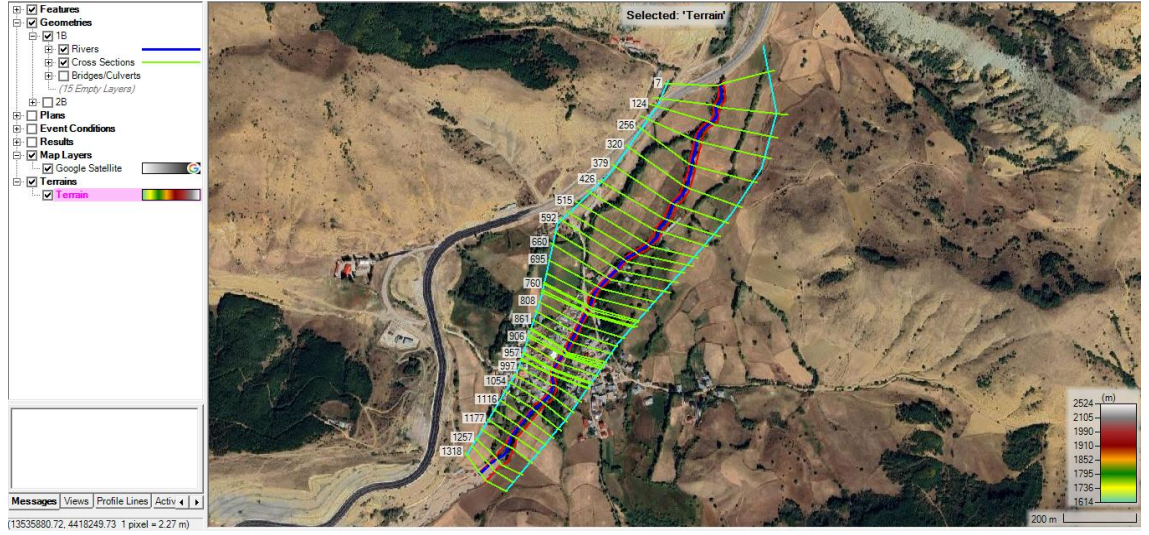
Şekil 31. Bahçecik deresi sayısal yükseklik haritası (DEM)ve dere ana çizgisi

Benzer şekilde dere sol ve sağ sahil sınır çizgileri, kırmızı çizgiler, (Bank Line) ve taşkın yatak sınırları, mavi çizgiler, (Flow Paths) Şekil 32’ de görüleceği üzere belirlenmektedir.



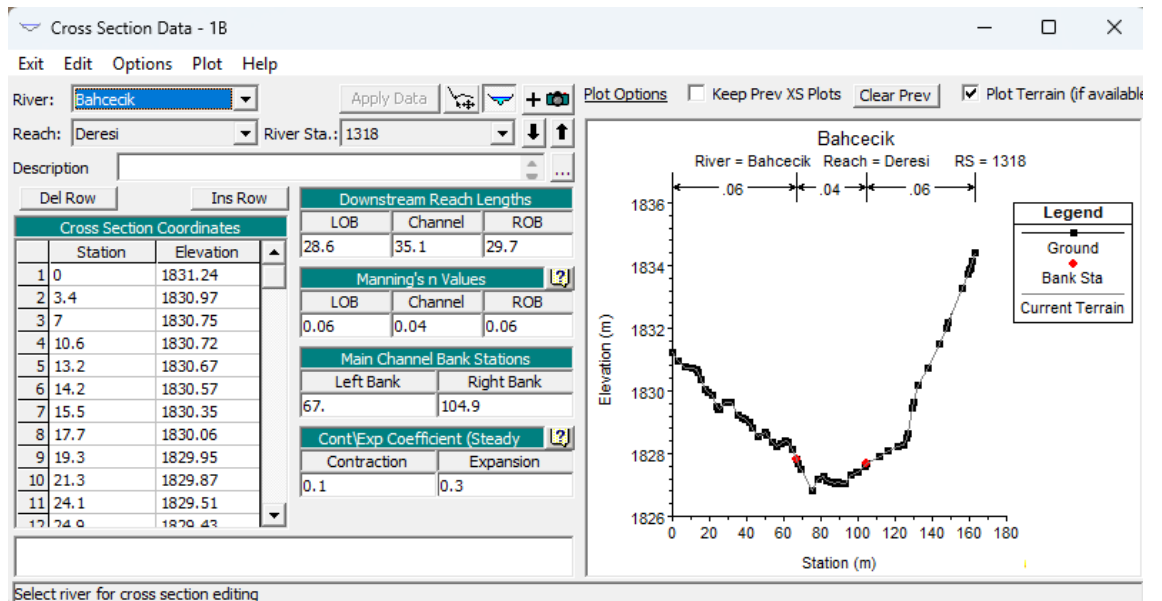
Şekil 32. Bahçecik deresi ana yatak ve taşkın yatak sınırları

Membadan başlayarak mansaba doğru 30m lik aralıklar ile enkesitler oluşturulmaktadır. Enkesitler akış yönünde, sol sahilden sağ sahile doğru dereyi dik kesecek şekilde tanımlanmaktadır. Enkesit sınırları sol ve sağ sahil taşkın sınırlarını kesecek şekilde ve birbiriyle çakışmayacak şekilde düzenlenmektedir. Şekil 33’de görüleceği üzere Bahçecik Deresi’nde çalışma yapılan bölüm yaklaşık 1318 metre uzunluğundadır.



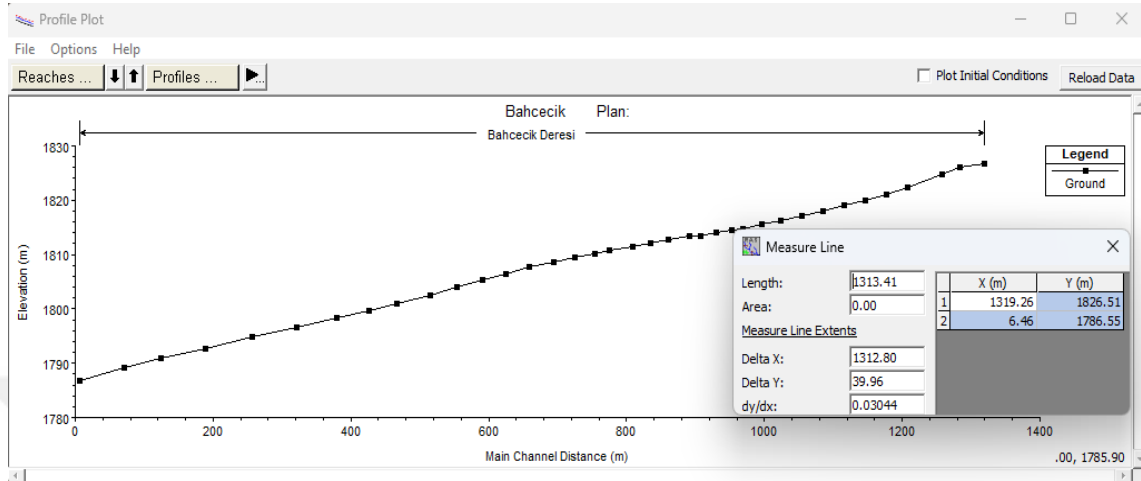
Şekil 33. Bahçecik deresi oluşturula enkesitler

Şekil 34’de dere üzerinde belirlenen ilk en kesite (1318) ait sayısal yükseklik haritasından elde edilen koordinatlar; Station (x koordinatları) ve Elevation (yükseklik) dağılımları verilmiştir. Pencerenin orta bölümünde mansap kesitine olan mesafeler, ana kanal ve taşkın yataklarında tanımlanan Manning pürüzlülük katsayıları, ana kanal sağ ve sol sahil sınırları ve kesit daralma ve genişleme katsayıları tanımlanmaktadır. Manning pürüzlülük katsayıları tüm enkesitlerde ana kanal için 0.04, sağ ve sol taşkın yataklarında ise 0.06 olarak alınmıştır. Pencerenin sağ bölümünde bu değerlerin grafiksel dağılımı verilmektedir. Enkesit derinlik dağılımı siyah noktalar ile ve ana kanal sınırları kırmızı noktalar ile gösterilmektedir. Pencerenin üst kısmında ise kesite ait bilgiler ve Manning katsayıları ve sınırları gösterilmektedir.



Şekil 34. Bahçecik deresi örnek enkesit profil görünümü

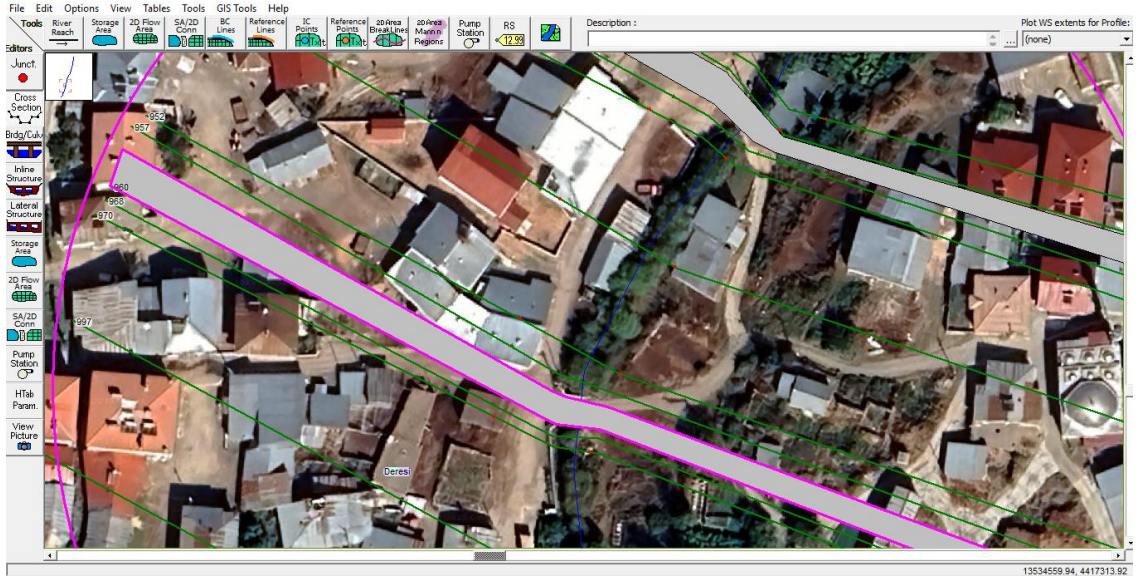
Şekil 35’de Bahçecik deresi boy kesit profili ve belirlenen enkesitler verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere ele alınan dere bölümünde 40 kesit tanımlanmıştır. Derenin mabadaki 1319.26m kesiti ile mansapta belirlenen 6.46m kesiti arasında yaklaşık 40m kot farkı bulunmakta ve dere eğimi 0.030 olarak belirlenmiştir.



Şekil 35. Bahçecik deresi boy kesit görünümü ve eğimi

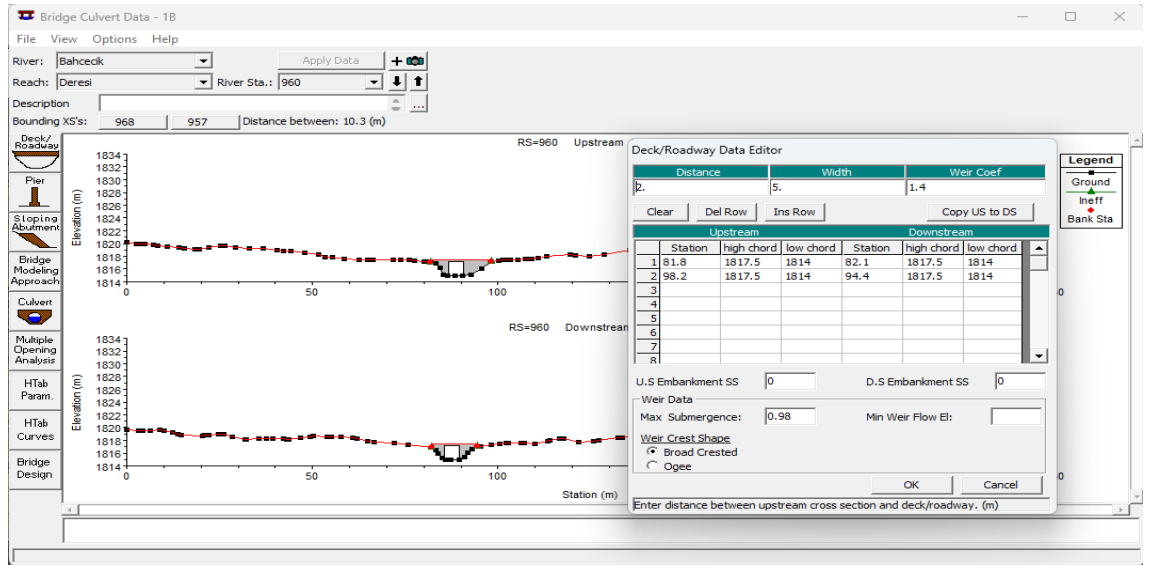
5.3.1. Menfezlerin Tanımlanması

Bahçecik Deresi üzerinde ele alınan bölümde toplam 3 adet menfez bulunmaktadır. Bu 3 menfez aynı özellikte olup, betonarme kutu profile sahiptir. Dikdörtgen kutu profiller 2.2 metre yükseklik ve 4 metre açıklığa sahiptir. Menfez üzerindeki yolun genişliği (menfezin derinliği) her üç menfezde 5m dir. Bölüm 2 de açıklandığı üzere menfez ve köprülerin hidrolik hesaplamaları için yapıların memba ve mansabına akımın daralma ve genişleme kayıplarını belirlemek amacıyla dört kesit tanımlanmaktadır. Mansaba doğru ilk menfez 970-952 kesitleri arasında olduğu Şekil 36’da görülmektedir. İlave olarak menfezin mabında 968 nolu kesit ve mansabında da 957 nolu kesitler tanımlanarak 1 nolu menfez 960 kesitine yerleştirilmiştir. Mabadaki 968 nolu daralma kesitinde ve mansaptaki 957 genişleme kesitinde etkisiz akım alanları tanımlanarak genişleme ve daralma katsayıları, sırasıyla 0.5 ve 0.3 olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 36. Bahçecik deresi üzerinde tanımlanan 1 nolu menfez görünümü

Şekil 36’da gösterilen Geometrik veri penceresinin sol sütununda bulunan Bridge/Culvert düğmesi yardımı ile Şekil 37’ de verilen pencere görüntülenmektedir. Açılan pencerede Options menüsü seçilerek “Add a Bridge and/or Culvert” düğmesi ile menfezin tanımlanacağı kesit 960 olarak tanımlanmaktadır ve yanda verilen “Deck/Roadway Data Editor” görüntülenmektedir. Pencerenin üst satırında Distance kutusuna menfezin memba kesitine olan mesafesi 2m olarak tanımlanmaktadır, bir sonraki kutuya menfezin üstündeki yol genişliği 5m olarak girilmektedir. Weir Coefficient-Savak katsayısı program tarafından 1.4 olarak atanmaktadır. Altteki bölmede ise menfezin yerleştirileceği dolgunun memba ve mansap yüzlerine ait üst ve alt kotlar şekildeki gibi tanımlanmaktadır. Pencere veri girişi tamamlandığında Ok düğmesi ile pencere kapatılmaktadır.



Şekil 37. 1 Nolu menfeze ait veri giriş ve görünüm penceresi

Bir sonraki adımda yukardaki Bridge/Culvert penceresinde menfezin tanımlanması için sol sütunda bulunan Culvert düğmesi seçilerek Şekil 38’ de verilen aşağıdaki pencere görüntülenmektedir. Bu pencerede menfezin şekli (Shape) Box-Kutu, genişliği-Span 4m ve yüksekliği-Rise 2.2m olarak tanımlanmaktadır.

Pencerenin orta bölümünde; membadaki kesitten olan uzaklık – Distance to Upstream XS m olarak girilmiştir. Menfez uzunluğu – Culvert Length 5m, Giriş yük kaybı – Entrance Loss Coefficient 0.5, Menfez içi pürüzlülükler – Manning’s n 0.013, Menfezin memba ve mansap taban kotları – Invert elevations 1815.5m olarak girilmektedir.

Pencerenin en alt bölümünde ise menfezin adı ve memba, mansap merkez istasyon bilgileri (x koordinatları) tanımlanmaktadır. Ok tuşuna basılarak pencere kapatılmaktadır.

Bu işlemler benzer şekilde diğer iki menfez içinde yapılarak Bahçecik deresi üzerinde 3 menfez tanımlanmaktadır.

Culvert Data Editor

Culvert Group: **Culvert #1**

Solution Criteria: **Computed Flow Control**

Shape: **Box** Span: **4** Rise: **2**

Chart #: **8 - Flared wingwalls**

Scale #: **1 - Wingwall flared 30 to 75 deg.**

Distance to Upstrm XS: **2**

Culvert Length: **5**

Entrance Loss Coeff: **0.5**

Exit Loss Coeff: **1**

Manning's n for Top: **0.013**

Manning's n for Bottom: **0.013**

Depth to use Bottom n: **0**

Depth Blocked: **0**

Upstream Invert Elev: **1815.5**

Downstream Invert Elev: **1815.5**

Culvert Barrel Data

Barrel Centerline Stations # Barrels: **1**

Barrel Name	US Sta	DS Sta
1	88.6	86.4
2		
3		
4		
5		

Barrel GIS Data: 1
Length: 0

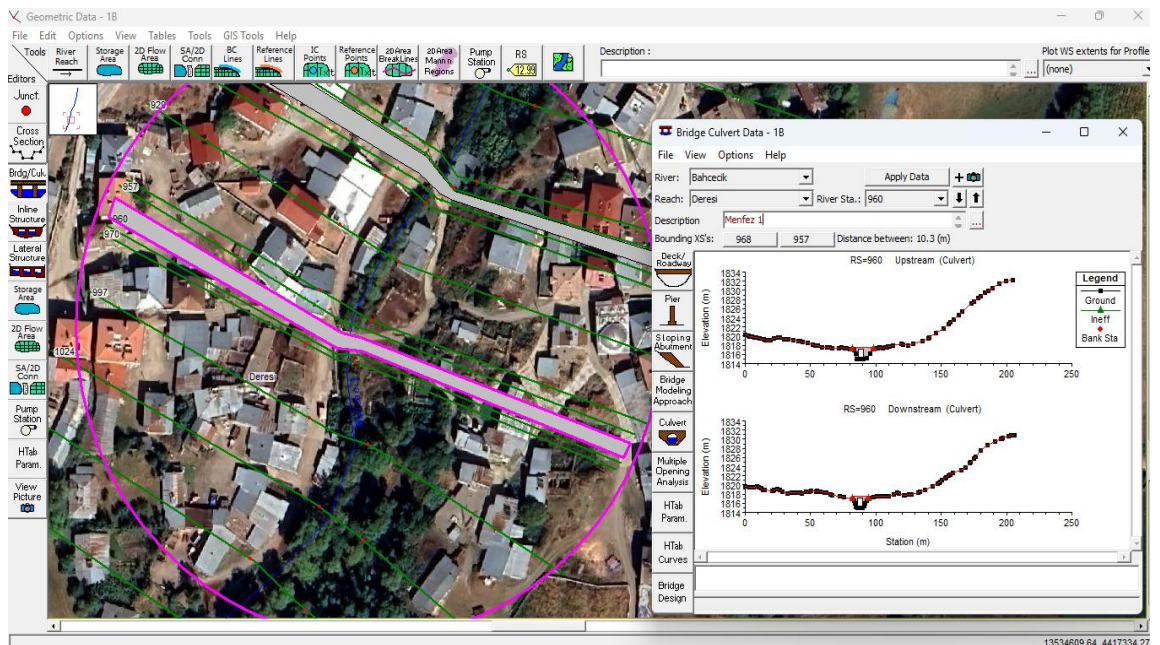
X	Y
1	
2	
3	
4	
5	

Individual Barrel Centerlines ... Show on Map OK Cancel Help

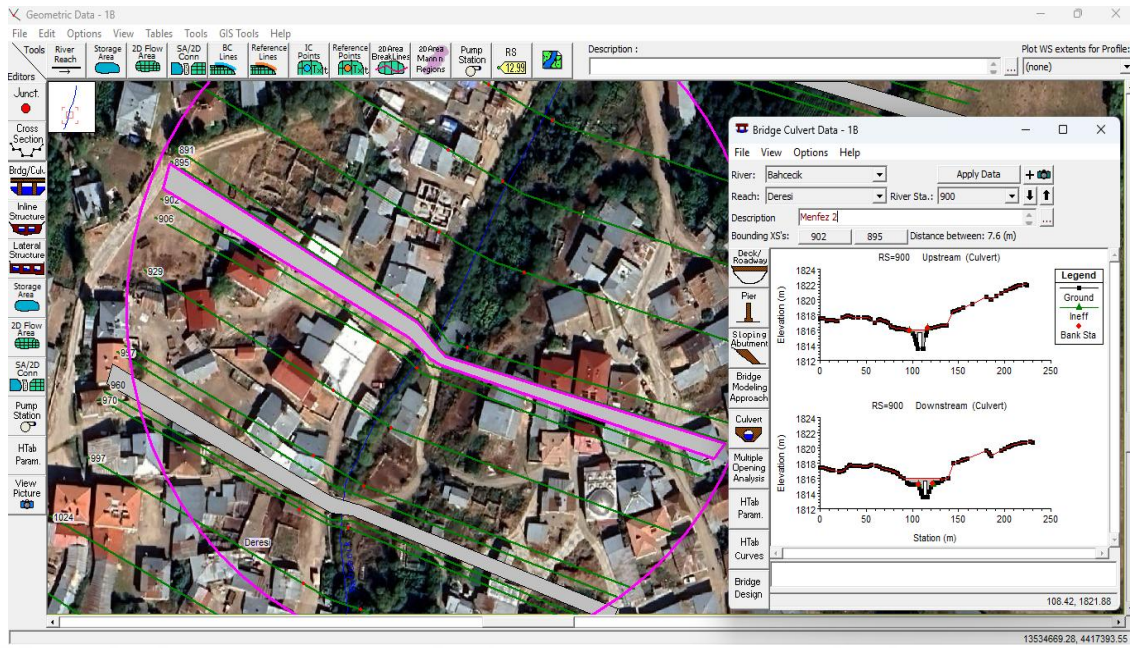
Select culvert to edit

Şekil 38. 1 Nolu menfez özelliklerinin tanımlanması

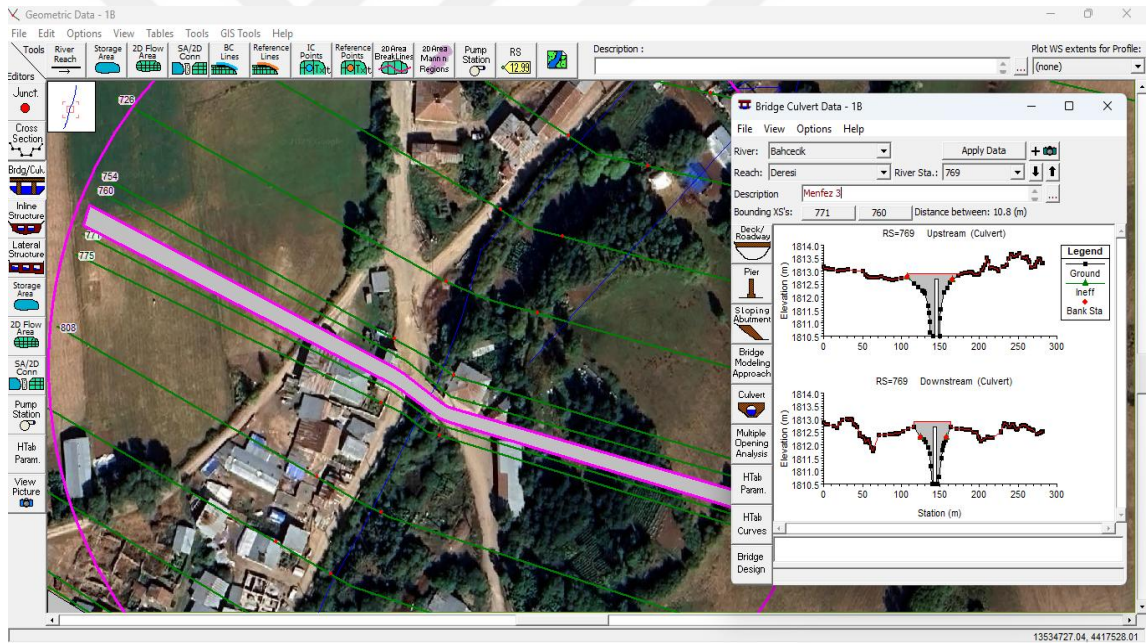
Şekil 39.' da 1 nolu menfeze ait plan ve memba-mansap kesit görünümüleri verilmiştir. Benzer şekilde 2 ve 3 nolu menfezlere ait görünümelerde sırasıyla Şekil 40. ve Şekil 41.' de verilmiştir.



Şekil 39. Bahçecik Deresi 1 Nolu menfez plan ve kesit görünümüleri



Şekil 40. Bahçecik Deresi 2 Nolu menfez plan ve kesit görünüşleri



Şekil 41. Bahçecik Deresi 3 Nolu menfez plan ve kesit görünüşleri

Bahçecik deresi üzerinde bulunan menfezler tanımlanarak, geometrik veri girişi tamamlanır ve Geometri penceresi kaydedilmektedir.

5.3.2. Debi ve Kararlı Akış Analizi

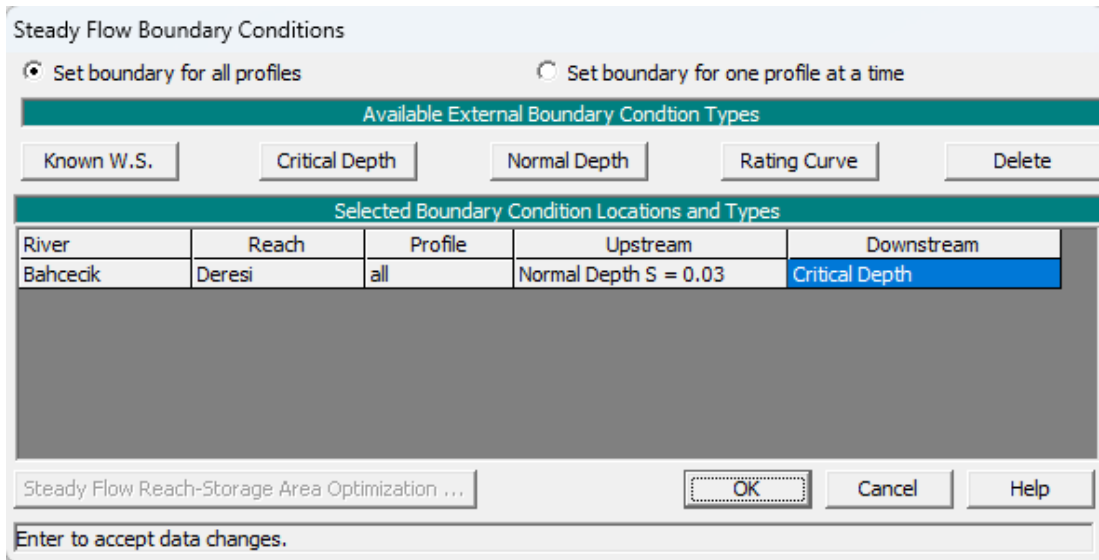
Menfezlerde düzenli akım analizinin gerçekleştirilebilmesi için, modelleme sürecine başlamadan önce akım verilerinin ve sınır şartlarının tanımlanması gerekmektedir. HEC-RAS arayüzünde bu verilerin girilmesi amacıyla ana menüden “Edit” ve ardından

“Steady Flow Data” seçenekleri kullanılarak, Şekil 42’de gösterilen veri giriş penceresi açılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Bahçecik Deresi’ne ait üç farklı akım profili (debi senaryosu) değerlendirilmiştir. “Number of Profiles” kutusuna 3 değeri girildiğinde, pencerenin orta bölümünde her bir debi senaryosu için ayrı veri giriş alanları oluşturulmaktadır. Söz konusu akım değerleri, derenin memba kesiminde yer alan 1318 numaralı enkesitten elde edilmiş olup, sırasıyla 7.81 m³/s, 10.74 m³/s ve 10.82 m³/s olarak modele tanımlanmıştır. Ayrıca, profil isimleri “Q25”, “Q100” ve “Q500” şeklinde tanımlanmıştır.

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates		
River	Reach	RS	Q25	Q100	Q500
1 Bahcecik	Deresi	1318	7.81	10.74	14.02

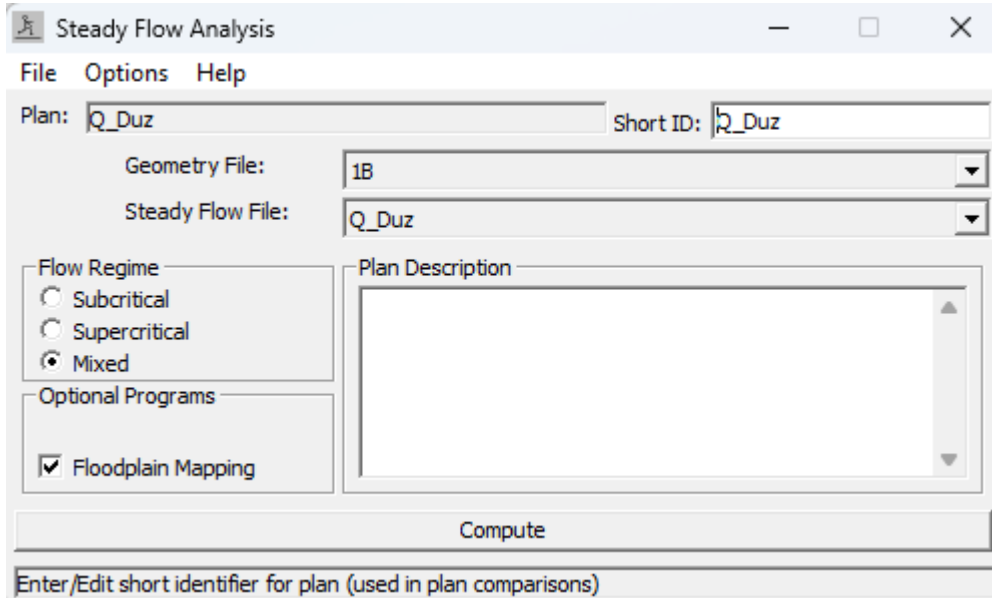
Şekil 42. Bahçecik deresi düzenli akım veri giriş penceresi

Sınır koşullarının tanımlanabilmesi için, önceki bölümde bahsedilen düzenli akım veri giriş penceresinin üst kısmında bulunan “Boundary Conditions” butonu tıklanarak ilgili pencere etkinleştirilir (Şekil 43.). Akım analizi, karışık rejim (Mixed flow regime) koşulları altında gerçekleştirileceğinden, her bir akım profili için memba ve mansap bölgelerinde ayrı ayrı sınır koşulları tanımlanması gerekmektedir. Bu kapsamda, pencerede bulunan “Upstream” bölümünde “Normal Depth” seçeneği işaretlenir ve derenin eğimi $S=0.030$ olarak girilir. “Downstream” kutusunda ise “Critical Depth” seçildikten sonra, Ok düğmesine basılarak düzenli akım veri girişi tamamlanır.



Şekil 43. Memba ve Mansap sınır şartlarının tanımlanması

Düzenli akım analizinin başlatılması amacıyla, programın ana menüsünden sırasıyla “Run” ve “Steady Flow Analysis” seçenekleri seçilir; böylece Şekil 44’de gösterilen analiz penceresi aktif hale gelir. Açılan pencerede, “Short ID” alanına analiz için “Q_Duz” ifadesi girilir ve pencerenin sol alt köşesinde yer alan “Flow Regime” seçenekleri arasından “Mixed” akım rejimi tercih edilir. Analiz parametrelerinin tanımlanmasının ardından, “Compute” butonuna tıklanarak hesaplama süreci başlatılır.

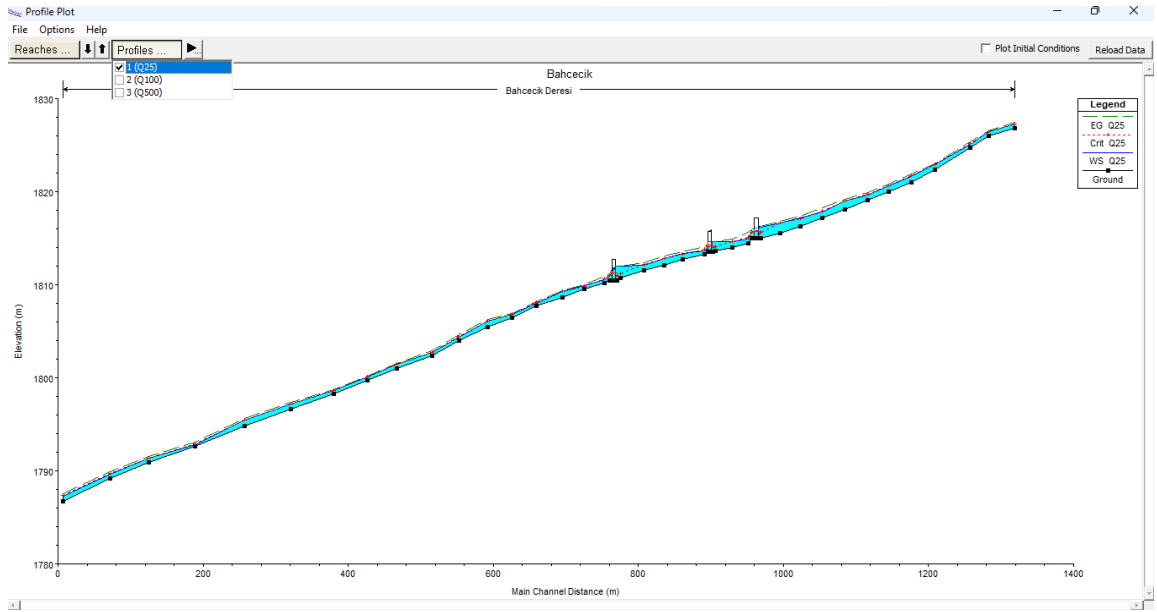


Şekil 44. Düzenli akım analiz penceresi.

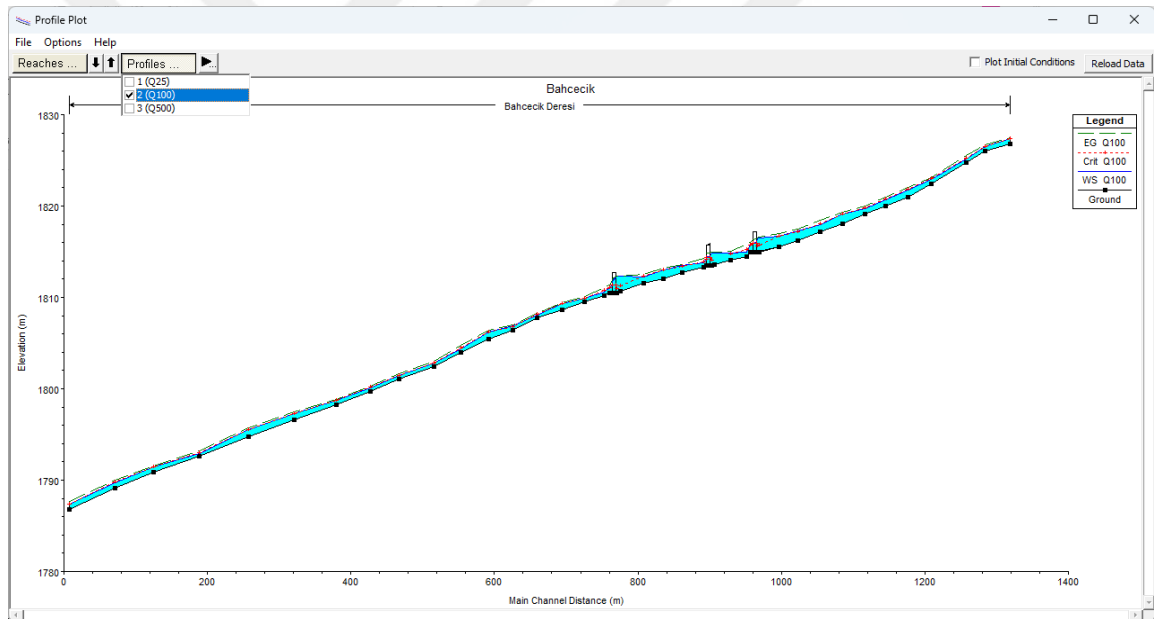
5.3.3. Düzenli Akım Analiz Sonuçları

Bahçecik deresi su yüzü profillerini görüntülemek için ana pencerede ilgili düğmeye basılır. Açılan pencerede, “Option” menüsündeki “Variables” düğmesi ile açılan pencerede gösterilmesi istenen bilgiler seçilir. Su yüzü, enerji çizgisi ve kritik derinlik bilgileri işaretlenerek grafik üzerinde görünmesi sağlanır. Ayrıca, istenilen akım profillerini görüntülemek için Menü çubuğundaki “Profiles” düğmesine tıklanır ve altında yer alan istenen profiller (debiler) seçilir.

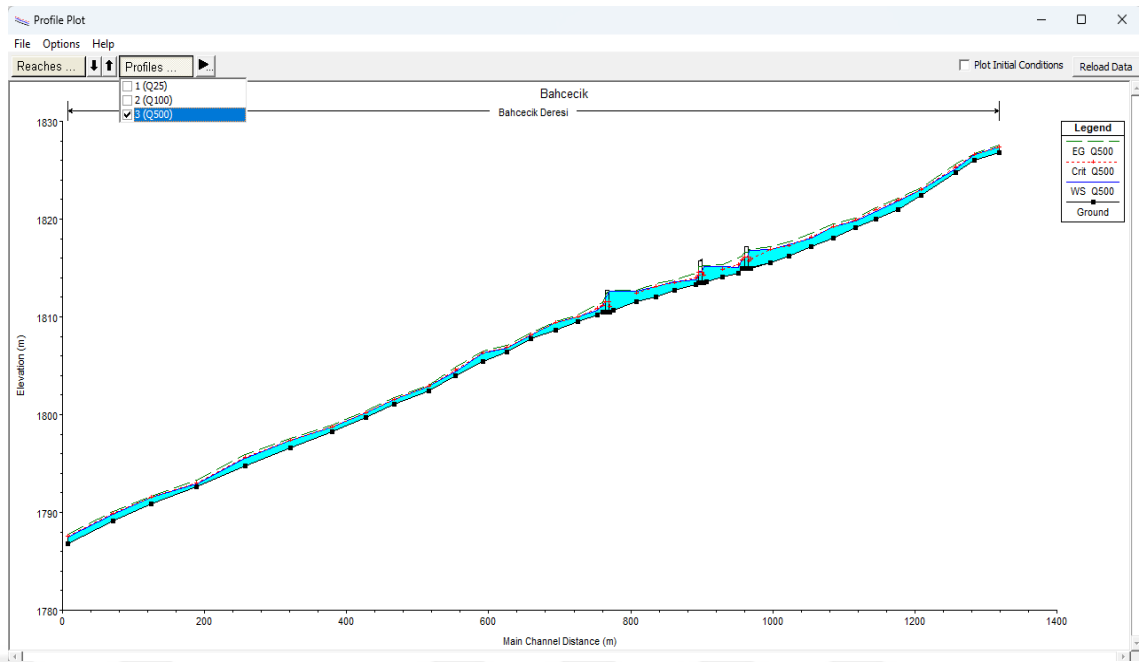
Bahçecik deresinin Yeniyol beldesi yakınlarındaki 1318 metrelik kısmının yatak eğimi yaklaşık %3 olup, oldukça dik bir yapıya sahiptir. Bu güzergahta akımın genellikle sel rejiminde gerçekleşmesi beklenmektedir. Ancak menfez yakınlarındaki bazı kesitlerde oluşabilecek kabarmalar nedeniyle kısmi nehir rejimi de görülebilmektedir. Nehir kolunun herhangi bir kesitinde kritik altı akım (subkritik akım) meydana gelmesi durumunda, programda karışık akım rejimi analizinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Yazılım, yalnızca karışık akım rejimi seçildiğinde, kritik altı ve kritik üstü (süperkritik) akım koşullarına ait su yüzeyi profillerini hesaplayabilmektedir. Şekil 39’ da $Q_{25}=7.81\text{m}^3/\text{s}$ debisine ait boy kesit profil verilmiştir. Şekilde dere taban çizgisi (Ground) siyah hat olarak, su yüzü (WS) mavi hat ile, kritik derinlik hattı (Crit) kesikli kırmızı hat ve enerji yüksekliği (EG) kesikli yeşil hat ile gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, dere üzerinde çoğunlukla akım su seviyesi kritik akım seviyesinin altında gerçekleşmekte, yani sel rejiminde- kritik üstü akım oluşmaktadır. Benzer durum Şekil 45 ve Şekil 46’ da gösterilen Q_{100} ve Q_{500} debileri içinde gözlenmiş olup, sadece menfezlerin yakınlarında akım nehir rejiminde gerçekleşmektedir. Yani her üç akım profili içinde karışık rejimde (Mixed Flow) akım gerçekleşmektedir.



Şekil 45. Bahçecik deresi Q_{25} boy kesit akım profili

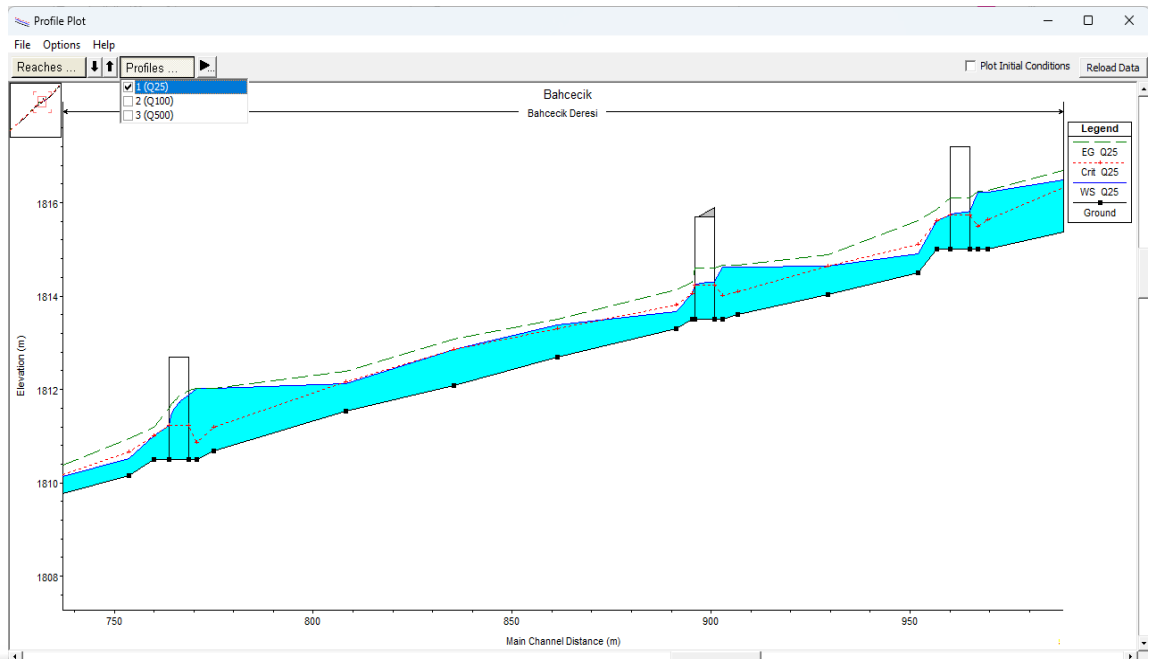


Şekil 46. Bahçecik deresi Q_{100} boy kesit akım profili

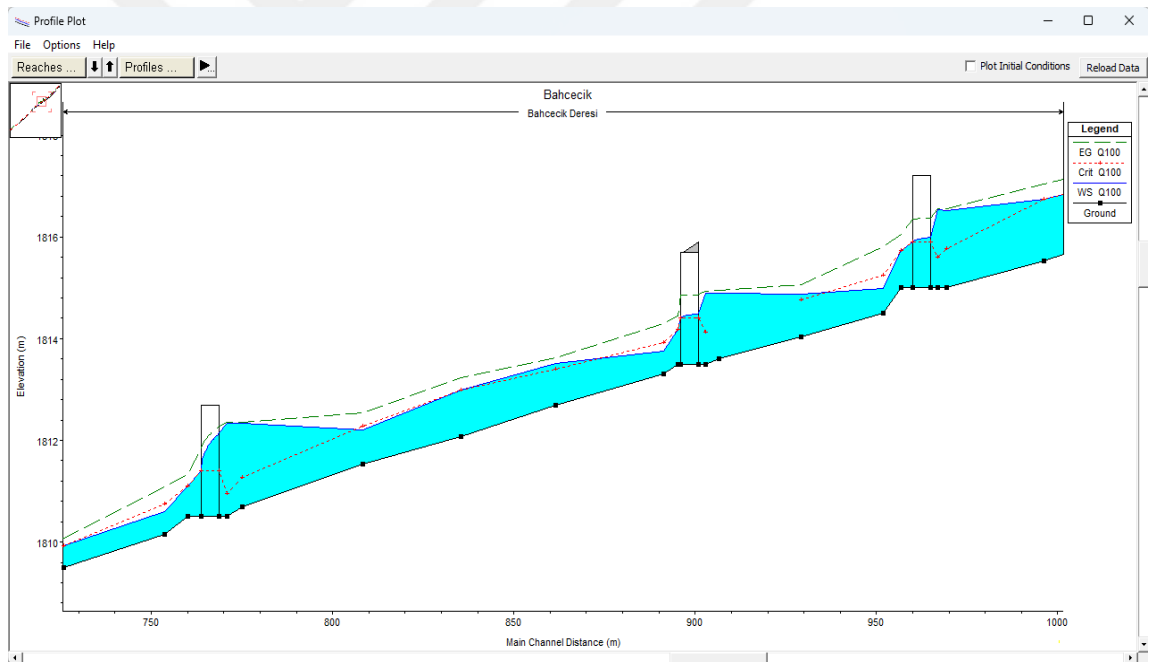


Şekil 47. Bahçecik deresi Q_{500} boy kesit akım profili

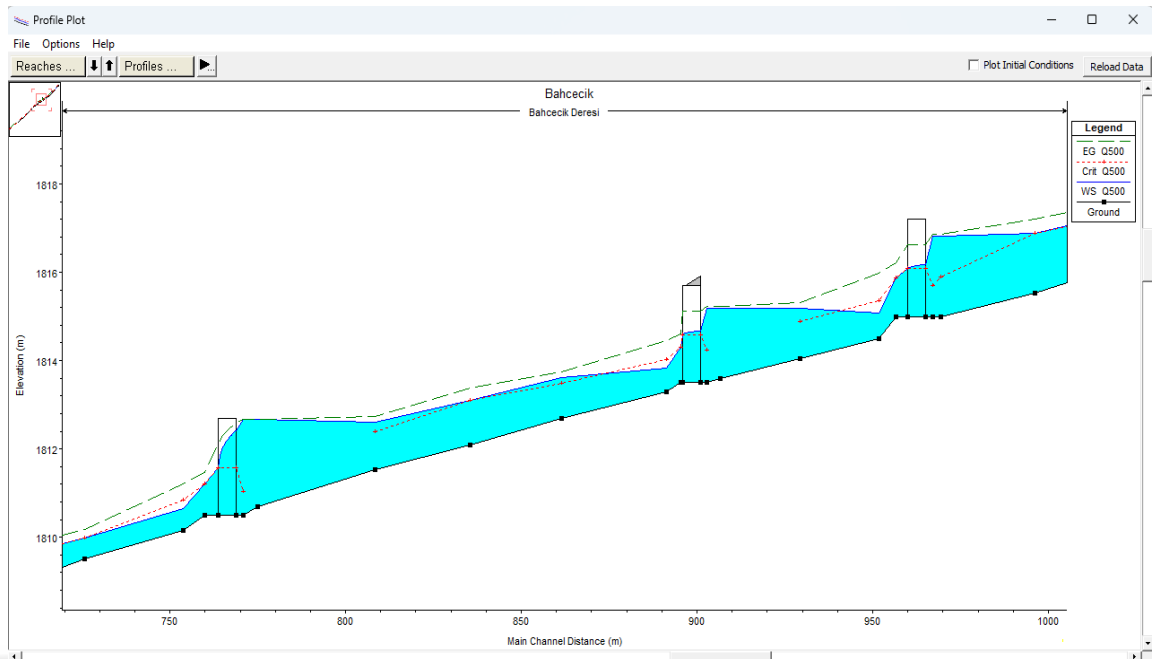
Şekil 45 ve Şekil 47’ de sırasıyla Q_{25} , Q_{100} ve Q_{500} debilerine ait menfez yakınlarında oluşan su yüzü profillerine ait dağılımlar gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere menfez yakınlarında akım derinlikleri kritik derinliğin üzerine çıkmakta yani kritik altı-nehir rejiminde akım gerçekleşmektedir. Bu durum Şekil 48 ve Şekil 50’ de verilen her üç debiye ait hesap tablolarında da görülmektedir. Son sütunlarda gösterilen Froude sayıları incelendiğinde ele alınan kesitlerde çoğunlukla $Fr > 1$ sel rejiminde akımın gerçekleştiği, her üç menfezin yakınlarındaki kesitlerde ise $Fr < 1$ ve akımın nehir rejiminde-kritik altı gerçekleştiği görülmektedir. Bu şekillerden de görüleceği üzere ele alınan her üç debide de akım menfezlerden sorunsuz geçmekte, membada akım sel rejiminde iken menfezde akım kritik rejimden geçmektedir.



Şekil 48. Q₂₅ debisinde menfezlerde oluşan akım



Şekil 49. Q₁₀₀ debisinde menfezlerde oluşan akım



Şekil 50. Q₅₀₀ debisinde menfezlerde oluşan akım

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Q_Duz River: Bahcecik Reach: Deresi Profile: Q25

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Deresi	1318	Q25	7.81	1826.80	1827.32	1827.30	1827.41	0.023233	1.38	5.64	25.68	0.94
Deresi	1283	Q25	7.81	1826.02	1826.44	1826.44	1826.57	0.024667	1.61	4.86	18.51	1.00
Deresi	1257	Q25	7.81	1824.76	1825.08	1825.18	1825.41	0.095806	2.53	3.09	16.47	1.87
Deresi	1208	Q25	7.81	1822.39	1822.91	1822.91	1823.04	0.028006	1.58	4.95	21.34	1.05
Deresi	1177	Q25	7.81	1821.01	1821.63	1821.71	1821.93	0.043901	2.44	3.21	10.04	1.38
Deresi	1146	Q25	7.81	1820.00	1820.60	1820.63	1820.86	0.026936	2.27	3.44	8.21	1.12
Deresi	1116	Q25	7.81	1819.12	1819.64	1819.72	1819.91	0.039277	2.26	3.45	11.11	1.30
Deresi	1085	Q25	7.81	1818.08	1818.96	1818.97	1819.20	0.021818	2.13	3.67	8.10	1.01
Deresi	1054	Q25	7.81	1817.21	1817.84	1817.95	1818.23	0.045289	2.79	2.80	7.18	1.43
Deresi	1024	Q25	7.81	1816.24	1817.14	1817.06	1817.33	0.013865	1.94	4.02	7.20	0.83
Deresi	997	Q25	7.81	1815.52	1816.59	1816.59	1816.86	0.021531	2.28	3.42	6.55	1.01
Deresi	970	Q25	7.81	1815.00	1816.22	1815.64	1816.26	0.001806	0.92	8.48	10.04	0.32
Deresi	968	Q25	7.81	1815.00	1816.23	1815.49	1816.26	0.000837	0.69	11.37	11.51	0.22
Deresi	960	Culvert										
Deresi	957	Q25	7.81	1815.00	1815.61	1815.61	1815.87	0.021045	2.23	3.50	6.96	1.01
Deresi	952	Q25	7.81	1814.50	1814.90	1815.12	1815.63	0.105489	3.77	2.07	6.41	2.12
Deresi	929	Q25	7.81	1814.04	1814.65	1814.65	1814.88	0.021131	2.15	3.64	7.82	1.00
Deresi	906	Q25	7.81	1813.60	1814.62	1814.10	1814.67	0.001991	0.96	8.10	9.38	0.33
Deresi	902	Q25	7.81	1813.50	1814.62	1814.01	1814.66	0.001293	0.82	9.55	10.39	0.27
Deresi	900	Culvert										
Deresi	895	Q25	7.81	1813.50	1814.06	1814.06	1814.29	0.020707	2.11	3.70	8.02	0.99
Deresi	891	Q25	7.81	1813.30	1813.67	1813.81	1814.12	0.067291	2.98	2.62	8.31	1.69
Deresi	861	Q25	7.81	1812.69	1813.39	1813.30	1813.50	0.011867	1.47	5.32	13.35	0.74
Deresi	835	Q25	7.81	1812.08	1812.86	1812.86	1813.08	0.021711	2.08	3.75	8.67	1.01
Deresi	808	Q25	7.81	1811.53	1812.12	1812.17	1812.39	0.030416	2.28	3.42	8.90	1.18
Deresi	775	Q25	7.81	1810.69	1812.02	1811.18	1812.03	0.000467	0.51	15.26	16.13	0.17
Deresi	771	Q25	7.81	1810.50	1812.02	1810.87	1812.03	0.000182	0.33	23.48	23.37	0.11
Deresi	769	Culvert										
Deresi	760	Q25	7.81	1810.50	1811.00	1811.00	1811.19	0.021484	1.93	4.04	10.44	0.99
Deresi	754	Q25	7.81	1810.15	1810.52	1810.65	1810.94	0.077917	2.85	2.74	10.43	1.78
Deresi	726	Q25	7.81	1809.50	1809.88	1809.84	1809.99	0.016841	1.49	5.25	16.88	0.85
Deresi	695	Q25	7.81	1808.66	1809.23	1809.23	1809.37	0.024053	1.67	4.70	97.34	1.00
Deresi	660	Q25	7.81	1807.73	1808.02	1808.07	1808.19	0.049563	1.81	4.32	94.68	1.34

Şekil 51. Q₂₅ debisinde kesitlerde hesaplanan akım özellikleri

Deresi	626	Q25	7.81	1806.42	1806.83	1806.78	1806.90	0.014285	1.15	6.76	92.30	0.75
Deresi	592	Q25	7.81	1805.42	1806.12	1806.12	1806.28	0.023019	1.79	4.37	128.78	1.00
Deresi	553	Q25	7.81	1804.01	1804.34	1804.44	1804.64	0.101505	2.41	3.25	34.89	1.88
Deresi	515	Q25	7.81	1802.40	1802.77	1802.77	1802.89	0.025568	1.55	5.03	20.76	1.01
Deresi	466	Q25	7.81	1801.03	1801.42	1801.43	1801.57	0.028016	1.74	4.49	16.69	1.07
Deresi	426	Q25	7.81	1799.70	1800.05	1800.09	1800.22	0.041682	1.85	4.23	19.45	1.26
Deresi	379	Q25	7.81	1798.29	1798.65	1798.64	1798.75	0.025701	1.44	5.42	68.74	0.99
Deresi	320	Q25	7.81	1796.61	1797.17	1797.17	1797.33	0.022434	1.77	4.40	25.26	0.99
Deresi	256	Q25	7.81	1794.80	1795.41	1795.46	1795.64	0.031422	2.13	3.66	44.53	1.17
Deresi	188	Q25	7.81	1792.60	1792.86	1792.90	1793.05	0.046002	1.96	3.99	51.08	1.33
Deresi	124	Q25	7.81	1790.87	1791.38	1791.38	1791.50	0.023659	1.58	4.93	88.46	0.98
Deresi	71	Q25	7.81	1789.15	1789.64	1789.70	1789.87	0.040427	2.14	3.66	34.33	1.29
Deresi	7	Q25	7.81	1786.75	1787.26	1787.32	1787.53	0.032928	2.31	3.38	93.22	1.22

Total flow in cross section.

Şekil 51. (Devamı)

Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables Locations Help												
HEC-RAS Plan: Q_Duz River: Bahcecik Reach: Deresi Profile: Q100												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Deresi	1318	Q100	10.74	1826.80	1827.35	1827.36	1827.49	0.029982	1.66	6.47	27.20	1.09
Deresi	1283	Q100	10.74	1826.02	1826.52	1826.52	1826.65	0.024464	1.62	6.63	24.82	1.00
Deresi	1257	Q100	10.74	1824.76	1825.13	1825.25	1825.52	0.089232	2.76	3.89	17.22	1.86
Deresi	1208	Q100	10.74	1822.39	1822.96	1822.98	1823.12	0.029518	1.79	6.00	22.24	1.10
Deresi	1177	Q100	10.74	1821.01	1821.72	1821.81	1822.05	0.038543	2.53	4.25	11.42	1.32
Deresi	1146	Q100	10.74	1820.00	1820.69	1820.75	1821.02	0.028637	2.52	4.27	9.12	1.18
Deresi	1116	Q100	10.74	1819.12	1819.73	1819.81	1820.02	0.039190	2.38	4.50	13.40	1.31
Deresi	1085	Q100	10.74	1818.08	1819.09	1819.10	1819.35	0.021113	2.23	4.82	9.74	1.01
Deresi	1054	Q100	10.74	1817.21	1817.93	1818.08	1818.40	0.045184	3.04	3.54	7.97	1.46
Deresi	1024	Q100	10.74	1816.24	1817.27	1817.19	1817.50	0.014197	2.14	5.03	7.93	0.86
Deresi	997	Q100	10.74	1815.52	1816.73	1816.73	1817.03	0.020680	2.42	4.43	7.55	1.01
Deresi	970	Q100	10.74	1815.00	1816.52	1815.77	1816.56	0.001446	0.92	11.73	11.85	0.29
Deresi	968	Q100	10.74	1815.00	1816.53	1815.60	1816.55	0.000728	0.72	14.95	12.69	0.21
Deresi	960	Culvert										
Deresi	957	Q100	10.74	1815.00	1815.74	1815.74	1816.04	0.019906	2.44	4.41	7.32	1.00
Deresi	952	Q100	10.74	1814.50	1814.99	1815.24	1815.81	0.094602	4.01	2.68	6.96	2.06
Deresi	929	Q100	10.74	1814.04	1814.88	1814.77	1815.07	0.011602	1.91	5.63	9.18	0.78
Deresi	906	Q100	10.74	1813.60	1814.90		1814.95	0.001656	0.99	10.85	10.43	0.31
Deresi	902	Q100	10.74	1813.50	1814.90	1814.13	1814.94	0.001127	0.85	12.59	11.52	0.26
Deresi	900	Culvert										
Deresi	895	Q100	10.74	1813.50	1814.18	1814.18	1814.45	0.019330	2.29	4.68	8.46	0.98
Deresi	891	Q100	10.74	1813.30	1813.75	1813.92	1814.29	0.063865	3.25	3.31	8.86	1.70
Deresi	861	Q100	10.74	1812.69	1813.51	1813.39	1813.63	0.011007	1.54	6.97	15.36	0.73
Deresi	835	Q100	10.74	1812.08	1812.98	1812.98	1813.23	0.020763	2.21	4.85	9.89	1.01
Deresi	808	Q100	10.74	1811.53	1812.21	1812.28	1812.54	0.031612	2.53	4.25	9.77	1.22
Deresi	775	Q100	10.74	1810.69	1812.34	1811.27	1812.35	0.000406	0.51	21.03	20.14	0.16
Deresi	771	Q100	10.74	1810.50	1812.34	1810.95	1812.35	0.000203	0.33	32.29	35.17	0.11
Deresi	769	Culvert										
Deresi	760	Q100	10.74	1810.50	1811.10	1811.10	1811.33	0.020820	2.10	5.11	11.34	1.00
Deresi	754	Q100	10.74	1810.15	1810.59	1810.74	1811.08	0.073043	3.08	3.48	11.26	1.77
Deresi	726	Q100	10.74	1809.50	1809.92	1809.92	1810.09	0.021063	1.78	6.05	17.61	0.97
Deresi	695	Q100	10.74	1808.66	1809.32	1809.32	1809.46	0.018914	1.67	6.89	109.66	0.92
Deresi	660	Q100	10.74	1807.73	1808.04	1808.12	1808.29	0.069088	2.24	4.80	97.03	1.60
Deresi	626	Q100	10.74	1806.42	1806.90	1806.84	1806.97	0.013627	1.21	8.85	102.09	0.75
Deresi	592	Q100	10.74	1805.42	1806.22	1806.22	1806.39	0.021700	1.85	5.83	136.90	0.99
Deresi	553	Q100	10.74	1804.01	1804.38	1804.50	1804.76	0.111725	2.72	3.95	38.35	2.01
Deresi	515	Q100	10.74	1802.40	1802.81	1802.83	1802.97	0.029654	1.77	6.06	22.93	1.10
Deresi	466	Q100	10.74	1801.03	1801.49	1801.50	1801.67	0.023951	1.84	5.83	24.04	1.02
Deresi	426	Q100	10.74	1799.70	1800.08	1800.15	1800.33	0.050228	2.18	4.93	20.36	1.41
Deresi	379	Q100	10.74	1798.29	1798.70	1798.70	1798.83	0.025762	1.59	6.76	77.05	1.02
Deresi	320	Q100	10.74	1796.61	1797.25	1797.26	1797.44	0.023251	1.93	5.57	45.38	1.02
Deresi	256	Q100	10.74	1794.80	1795.50	1795.55	1795.77	0.029573	2.27	4.72	69.91	1.17
Deresi	188	Q100	10.74	1792.60	1792.90	1792.97	1793.16	0.050779	2.27	4.73	61.93	1.43
Deresi	124	Q100	10.74	1790.87	1791.44	1791.44	1791.59	0.023493	1.71	6.29	94.88	1.00
Deresi	71	Q100	10.74	1789.15	1789.71	1789.79	1789.99	0.039374	2.31	4.64	42.34	1.31
Deresi	7	Q100	10.74	1786.75	1787.35	1787.43	1787.68	0.032744	2.53	4.24	95.40	1.24

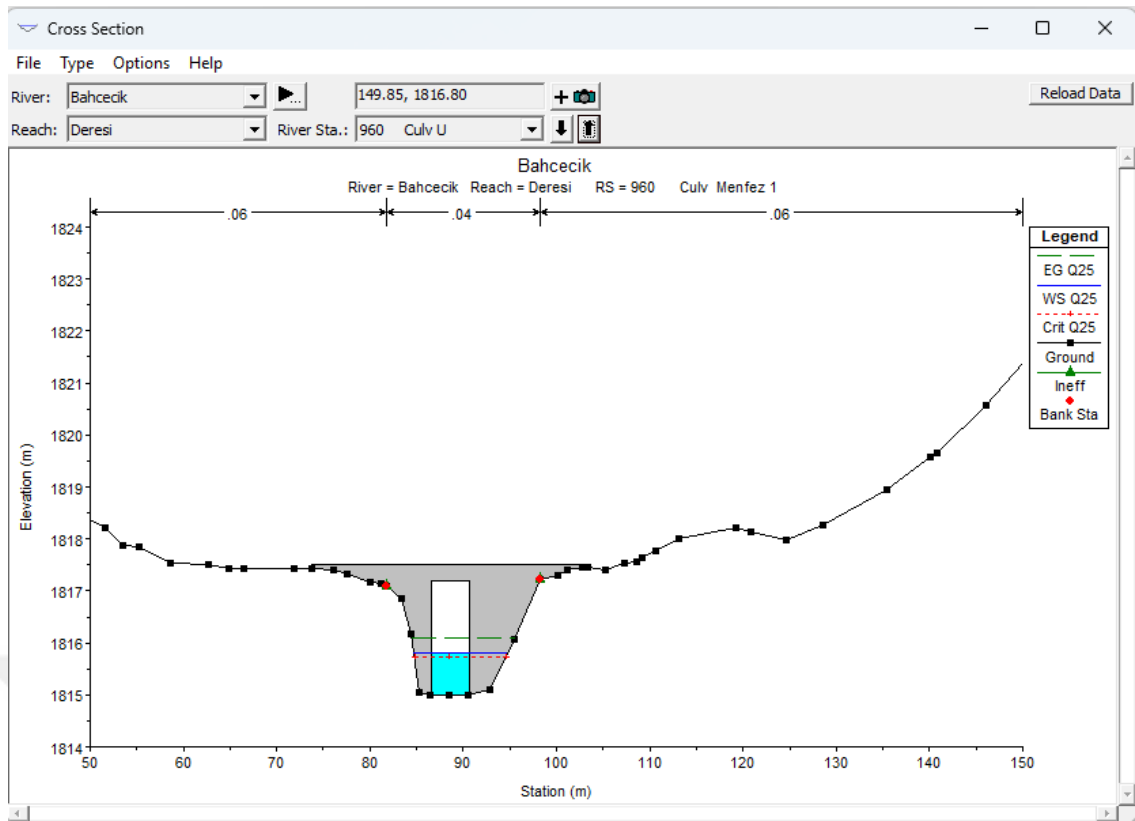
Total flow in cross section.

Şekil 52. Q₁₀₀ debisinde kesitlerde hesaplanan akım özellikleri

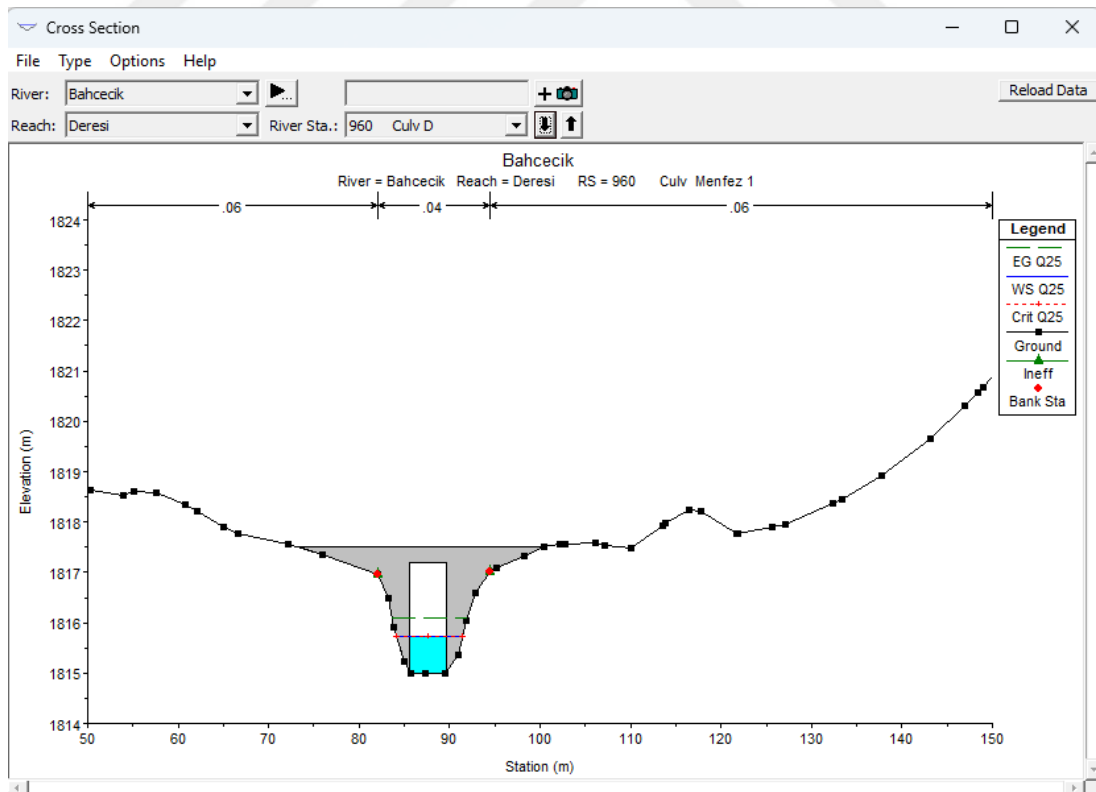
Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables Locations Help												
HEC-RAS Plan: Q_Duz River: Bahcecik Reach: Deresi Profile: Q500												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Deresi	1318	Q500	14.02	1826.80	1827.40	1827.41	1827.56	0.030016	1.78	7.88	29.83	1.11
Deresi	1283	Q500	14.02	1826.02	1826.58	1826.58	1826.73	0.022614	1.69	8.46	34.21	0.98
Deresi	1257	Q500	14.02	1824.76	1825.17	1825.32	1825.64	0.090034	3.03	4.63	17.98	1.91
Deresi	1208	Q500	14.02	1822.39	1823.01	1823.03	1823.21	0.029821	1.97	7.13	23.17	1.13
Deresi	1177	Q500	14.02	1821.01	1821.82	1821.91	1822.16	0.035849	2.60	5.40	13.17	1.30
Deresi	1146	Q500	14.02	1820.00	1820.79	1820.93	1821.16	0.029003	2.67	5.25	10.38	1.20
Deresi	1116	Q500	14.02	1819.12	1819.79	1819.90	1820.14	0.040921	2.60	5.38	14.48	1.36
Deresi	1085	Q500	14.02	1818.08	1819.21	1819.21	1819.49	0.020412	2.31	6.06	11.34	1.01
Deresi	1054	Q500	14.02	1817.21	1818.03	1818.20	1818.55	0.044475	3.19	4.39	9.07	1.47
Deresi	1024	Q500	14.02	1816.24	1817.39	1817.32	1817.67	0.014753	2.33	6.03	8.60	0.89
Deresi	997	Q500	14.02	1815.52	1816.87	1816.87	1817.20	0.019840	2.53	5.54	8.61	1.01
Deresi	970	Q500	14.02	1815.00	1816.82	1815.89	1816.86	0.001159	0.90	15.60	13.70	0.27
Deresi	968	Q500	14.02	1815.00	1816.83	1815.70	1816.86	0.000639	0.74	18.96	13.89	0.20
Deresi	960		Culvert									
Deresi	957	Q500	14.02	1815.00	1815.87	1815.87	1816.22	0.019127	2.62	5.35	7.68	1.00
Deresi	952	Q500	14.02	1814.50	1815.08	1815.36	1815.99	0.087516	4.22	3.32	7.50	2.03
Deresi	929	Q500	14.02	1814.04	1815.19	1814.89	1815.32	0.005910	1.61	8.70	10.94	0.58
Deresi	906	Q500	14.02	1813.60	1815.19		1815.24	0.001438	1.00	14.08	13.17	0.29
Deresi	902	Q500	14.02	1813.50	1815.19	1814.23	1815.23	0.000998	0.87	16.12	13.02	0.25
Deresi	900		Culvert									
Deresi	895	Q500	14.02	1813.50	1814.30	1814.30	1814.61	0.018691	2.46	5.69	8.97	0.99
Deresi	891	Q500	14.02	1813.30	1813.83	1814.02	1814.45	0.061012	3.48	4.03	9.40	1.69
Deresi	861	Q500	14.02	1812.69	1813.62	1813.49	1813.75	0.010216	1.60	8.79	17.39	0.72
Deresi	835	Q500	14.02	1812.08	1813.09	1813.09	1813.37	0.020091	2.34	5.99	10.96	1.01
Deresi	808	Q500	14.02	1811.53	1812.61	1812.39	1812.73	0.007251	1.58	8.86	13.61	0.63
Deresi	775	Q500	14.02	1810.69	1812.66		1812.67	0.000289	0.48	33.43	51.73	0.14
Deresi	771	Q500	14.02	1810.50	1812.67	1811.03	1812.67	0.000180	0.30	46.73	54.58	0.10
Deresi	769		Culvert									
Deresi	760	Q500	14.02	1810.50	1811.21	1811.21	1811.46	0.019373	2.22	6.33	12.29	0.99
Deresi	754	Q500	14.02	1810.15	1810.66	1810.83	1811.22	0.070625	3.30	4.24	12.04	1.78
Deresi	726	Q500	14.02	1809.50	1809.99	1809.99	1810.18	0.021488	1.94	7.22	18.62	1.00
Deresi	695	Q500	14.02	1808.66	1809.38	1809.38	1809.54	0.019465	1.82	8.57	117.32	0.95
Deresi	660	Q500	14.02	1807.73	1808.17	1808.17	1808.31	0.023510	1.66	8.44	112.79	0.99
Deresi	626	Q500	14.02	1806.42	1806.80	1806.89	1807.07	0.062465	2.30	6.10	90.33	1.55
Deresi	592	Q500	14.02	1805.42	1806.31	1806.31	1806.49	0.020251	1.89	7.56	148.57	0.97
Deresi	553	Q500	14.02	1804.01	1804.41	1804.55	1804.87	0.124060	3.01	4.65	47.42	2.15
Deresi	515	Q500	14.02	1802.40	1802.89	1802.89	1803.05	0.023968	1.75	8.03	26.45	1.01
Deresi	466	Q500	14.02	1801.03	1801.54	1801.57	1801.77	0.028073	2.12	6.61	28.61	1.13
Deresi	426	Q500	14.02	1799.70	1800.15	1800.21	1800.40	0.042605	2.23	6.27	21.99	1.34
Deresi	379	Q500	14.02	1798.29	1798.75	1798.75	1798.90	0.024363	1.71	8.20	82.17	1.01
Deresi	320	Q500	14.02	1796.61	1797.34	1797.34	1797.54	0.021506	1.99	7.06	106.10	1.00
Deresi	256	Q500	14.02	1794.80	1795.57	1795.65	1795.89	0.031232	2.50	5.62	89.73	1.22
Deresi	188	Q500	14.02	1792.60	1792.95	1793.04	1793.26	0.048327	2.47	5.68	70.64	1.43
Deresi	124	Q500	14.02	1790.87	1791.51	1791.51	1791.68	0.022232	1.78	7.87	101.22	0.99
Deresi	71	Q500	14.02	1789.15	1789.78	1789.88	1790.09	0.040586	2.50	5.62	51.57	1.35
Deresi	7	Q500	14.02	1786.75	1787.44	1787.53	1787.81	0.031216	2.68	5.22	101.73	1.24
Total flow in cross section.												

Şekil 53. Q₅₀₀ debisinde kesitlerde hesaplanan akım özellikleri

Şekil 51 (a) ve Şekil 52 (b) de Q₂₅ debisinde 1 Nolu menfez (960) giriş ve çıkış kesitlerinde oluşan akım profilleri verilmiştir. Şekillerde akım su derinliğinin kritik derinliğin üzerinde olduğu, enerji seviyeleri ve etkisiz akım sınırları görülmektedir. Bahçecik deresi üzerindeki 2 ve 3 nolu menfezlerde oluşan üç farklı akıma ait profiller Ek-1 de ayrıca gösterilmiştir.



Şekil 54.(a)



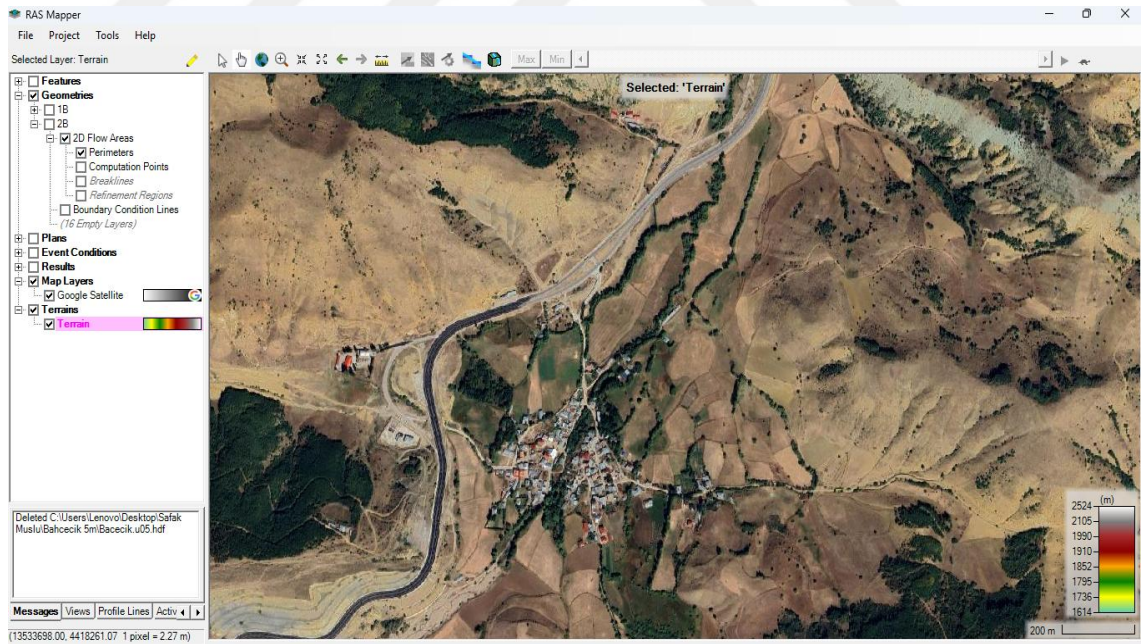
Şekil 55. (b)

Şekil 54 (a) ve Şekil 55 (b) debisi, 1 nolu menfez giriş ve çıkış kesitlerinde oluşan akım profilleri

5.4. Bahçecik Deresinin 2B Modellemesi

5.4.1. 2B Alanın Tanımlanması

Bahçecik deresi iki boyutlu (2B) değişken akım modellenmesi üç farklı periyottaki akım durumlarında ele alınmıştır. Bu amaçla Bahçecik proje dosyası içerisinde “2B” başlıklı geometri dosyası, değişken akım dosyaları ve plan dosyaları oluşturulmuştur. HEC-RAS ana penceresinde  simgesi kullanılarak veya *Edit* ve *Geometrik Data* menüleri ile bir geometrik veri dosyası oluşturulmaktadır (2B). Taşkın bölgesinin iki boyutlu modellenmesi için gerekli adımlar RAS Mapper üzerinden ele alınmıştır. Bu amaçla HEC-RAS ana penceresinde bulunan  simgesi yardımı ile *RAS Mapper* penceresi aktif hale getirilmektedir. Pencerede çalışma bölgesine ait Sayısal Yükseklik Haritası (SYH-DEM) tiff dosyası (*Terrains*) ve Harita katmanı (*Map Layers*) Google Satellite yüklenmektedir (Şekil 56.).



Şekil 56. Çalışma alanının SYH ve uydu görüntüsü

Şekil 50’ de görüleceği üzere RAS Mapper penceresinde sol tarafta bulunan veri katmanları bölümünde Geometries düğmesinin yanındaki artı işareti ile alt menüler

açılarak 2B katmanı görüntülenmektedir. Daha sonra 2D Flow Areas katmanı yanındaki artı işareti seçilerek 2B modelleme için gerekli olan alt katmanlar görüntülenmektedir.

2D Flow Areas katmanının altında bulunan *Perimeters* “Sınırlar” menüsü işaretlenerek farenin sağ tuşuna basıldığında açılan kutuda görüntülenen *Edit Geometry*

menüsü seçilmektedir.  işlem kutuları

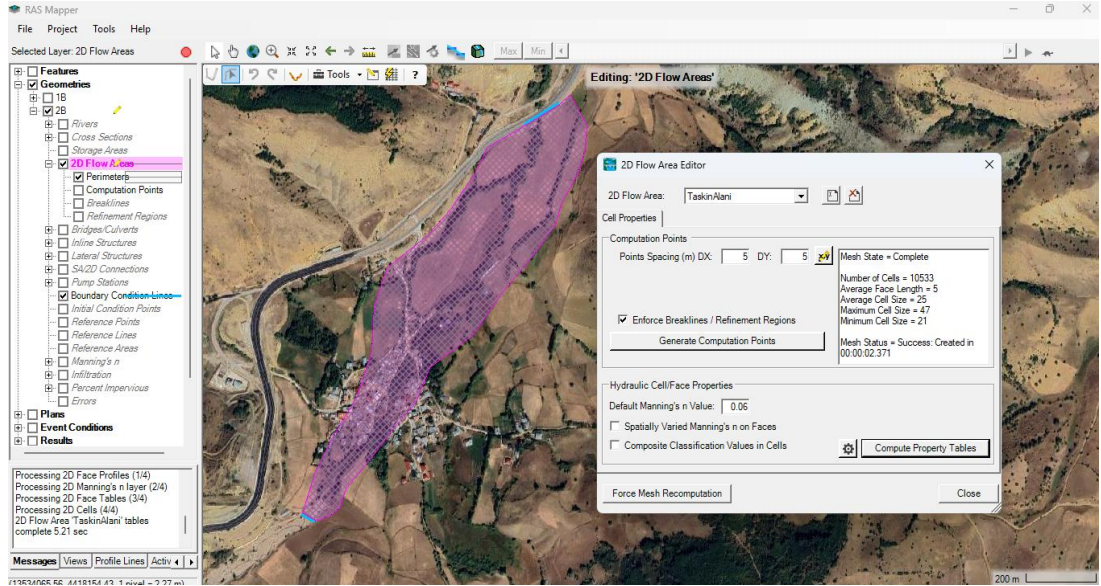
görüntülenmektedir. Yeni özellik ekle (*Add New Feature*)  düğmesi kullanılarak RAS Mapper da 2B alanı temsil edecek poligon (alan) tanımlanmaktadır. Alan sınırlarında değişiklik yapılmak istenirse pencerenin üst kısmında bulunan *Edit Feature*,

düzenleme özelliği  düğmesi seçilerek sınırlar güncellenebilmektedir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra kırmızı renkte görünen *Perimeters* katmanı seçilerek açılan kutudan *Stop Editing* düğmesi ile tanımlanan alan kaydedilmektedir. Pencerenin sol üst

kısımında bulunan *Edit Mesh Properties* (ağ özelliklerinin girişi)  simgesi seçilerek veya poligonun içerisinde farenin sağ tuşuna basılarak 2B akım alanı düzenleme penceresi aktif hale getirilmektedir.

Şekil 57’ de verilen kutuda *Point Spacing (m)* satırında, ağ merkezleri arasındaki mesafeler $Dx=5$ ve $Dy=5$ olarak tanımlanmaktadır. Pencerede ayrıca *Default Manning’s n Value* kutusuna ağ yapısı içerisindeki hücreler için pürüzlülük katsayısı 0.06 olarak tanımlanmıştır. Pencerede bulunan *Generate Computational Points* Hesaplama Noktaları Oluştur düğmesine basılarak tanımlı alan içerisinde hesaplama ağı oluşturulmaktadır. Bu durumda pencerenin sağ tarafındaki kutuda oluşturulan hücre sayısı (10533) ve bazı özellikler görüntülenmektedir. *Close* düğmesine basılarak pencere kapatılmaktadır.

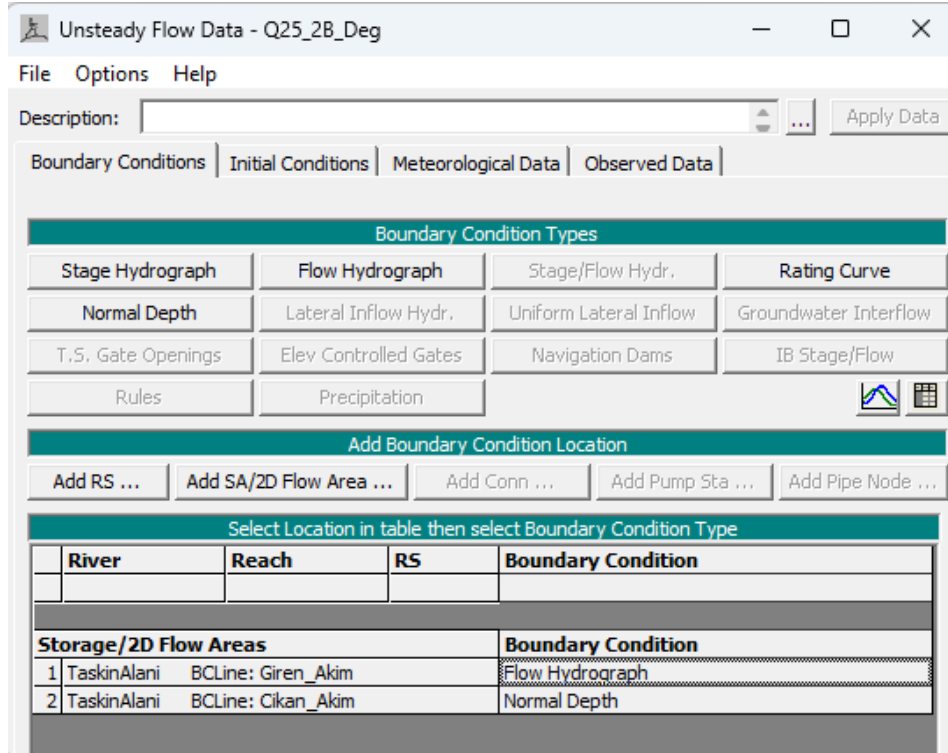
2B hesaplama alanına ait memba-Giren Akim ve mansap-Cikan Akim sınır şartları tanımlanmaktadır. Sınır şartlarına ait özellikler RAS Mapper penceresinde sol tarafta bulunan *Baundary Condition Lines* katmanında görüntülenebilmektedir.



Şekil 57. 2B akım alanı düzenleme penceresi

5.4.2. Değişken Akım Veri Girişi

Ağ yapısı ve sınır şartları oluşturulduktan sonra değişken akım verileri (*Unsteady Flow Data*) tanımlanacaktır. HEC RAS ana penceresinde *Edit* ve *Unsteady Flow Data* menüleri seçilmektedir. Bu durumda Şekil 58.' de verilen değişken akım penceresi görüntülenmektedir. Pencerede *Boundary Condition* düğmesi aktif iken pencerede tanımlı sınır şartları görüntülenmektedir.



Şekil 58. Q₂₅, 2B değişken akım veri giriş penceresi

Birinci satırda bulunan BCLine Giren_Akim satırında debi giriş hidrografi için üst bölümden *Flow Hydrograph* seçilmektedir. Bu durumda Şekil 59'da verilen pencere görüntülenmektedir. Memba sınır şartı için değişken akım verileri 10 dakikalık adımlar ile 2 saatlik yükselme süresi dikkate alınarak Q₂₅ için hazırlanmıştır. Bu kesit için hidrograf, başlangıç ve bitiş debileri (minimum) 2 m³/s ve pik debi (saat 02:00 deki) 7.81 m³/s alınıp, ara değerler enterpolasyon edilerek oluşturulmuştur. Pencerede ayrıca altta bulunan *EG Slope for distributing flow along BC line* kutusuna da memba koluna ait daha önce belirlenen kanal taban eğimi 0.03 girilmektedir.

Flow Hydrograph

2D: TaskinAlani BCLine: Giren_Akim

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 10 Minute

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: 01SEP2008 Time: 00:00

☒ Fixed Start Time: Date: 01SEP2008 Time: 00:00

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	31Aug2008 2400	0:00:00	2
2	01Sep2008 0010	0:10:00	2.484
3	01Sep2008 0020	0:20:00	2.968
4	01Sep2008 0030	0:30:00	3.453
5	01Sep2008 0040	0:40:00	3.937
6	01Sep2008 0050	0:50:00	4.421
7	01Sep2008 0100	1:00:00	4.905
8	01Sep2008 0110	1:10:00	5.389
9	01Sep2008 0120	1:20:00	5.873
10	01Sep2008 0130	1:30:00	6.358
11	01Sep2008 0140	1:40:00	6.842
12	01Sep2008 0150	1:50:00	7.326
13	01Sep2008 0200	2:00:00	7.81
14	01Sep2008 0210	2:10:00	7.326
15	01Sep2008 0220	2:20:00	6.842
16	01Sep2008 0230	2:30:00	6.358

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

☐ Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow: Multiplier: EG Slope for distributing flow along BC Line: 0.030 ☐ TW C

Plot Data OK Cancel

Şekil 59. Q₂₅ değişken akım hidrografi

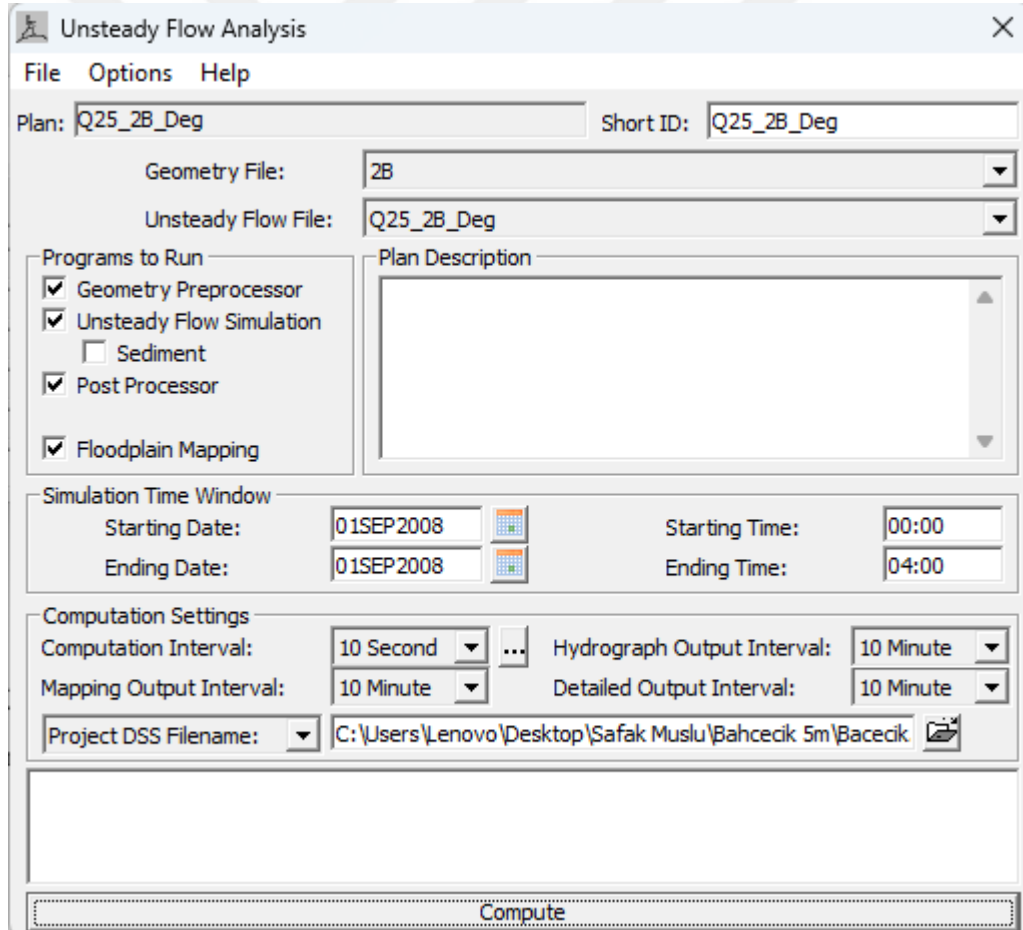
Çıkan Akım Sınır şartı için: Normal Depth $S=0.03$ olarak tanımlanmaktadır.

Değişken akım veri penceresi *File* ve *Save Unsteady Flow Data* menüleri ile çalışma klasörüne Q25_2B_Deg olarak kaydedilmektedir.

Q_{100} ve Q_{500} debilerine ait değişken akım hidrografları ve değişken akım veri dosyaları sırasıyla Q100_2B_Deg ve Q500_2B_Deg olarak tanımlanmaktadır ve kaydedilmektedir.

5.4.3. 2B Alan Değişken Akım Analizi

Bu aşamada değişken akım hesaplaması gerçekleştirilebilmektedir. HEC RAS ana penceresinde menü çubuğunda Run ve Unsteady Flow menüleri veya pencerede  simgesi seçilerek Şekil 60' da verilen Değişken Akım Analiz (Unsteady Flow Analysis) penceresi görüntülenmektedir.



Şekil 60. Değişken akım analiz penceresi

Analize başlamak için değişken akım analiz penceresinde kullanılacak geometri ve değişken akım dosyalarını içeren bir Plan ve kısa kimlik bilgisi (Short ID)

tanımlanmaktadır. Bu amaçla pencerede, *Geometry File* ve *Unsteady Flow File* kutularına yanda bulunan aşağı ok düğmeler yardımı ile çalışılmak istenen dosyalar seçilmektedir. Pencerede *File* ve *Save Plan* menüleri kullanılarak plan dosyası “Q25_2B_Deg” adıyla kaydedilmektedir. Açılan kısa kimlik tanımlama kutusuna plan tanımlayıcı Q25_2B_Deg olarak girilmiştir. Şekil 60’dan görüleceği üzere değişken akım analizinde taşkın başlama zamanı olarak 01 Eylül 2008, saat 00:00 olarak tanımlanmıştır. 4 saatlik bir taşkın hidrografi oluşturulduğundan bitiş tarihi ise 1 Eylül 2008 saat 04:00 olarak girilmiştir.

Computation Interval 10 saniye, Mapping output Interval 10 dakika, Hydrograph output interval 10 dakika ve Detailed output interval 10 dakika seçilerek hesaplama zaman aralıkları tanımlanmıştır.

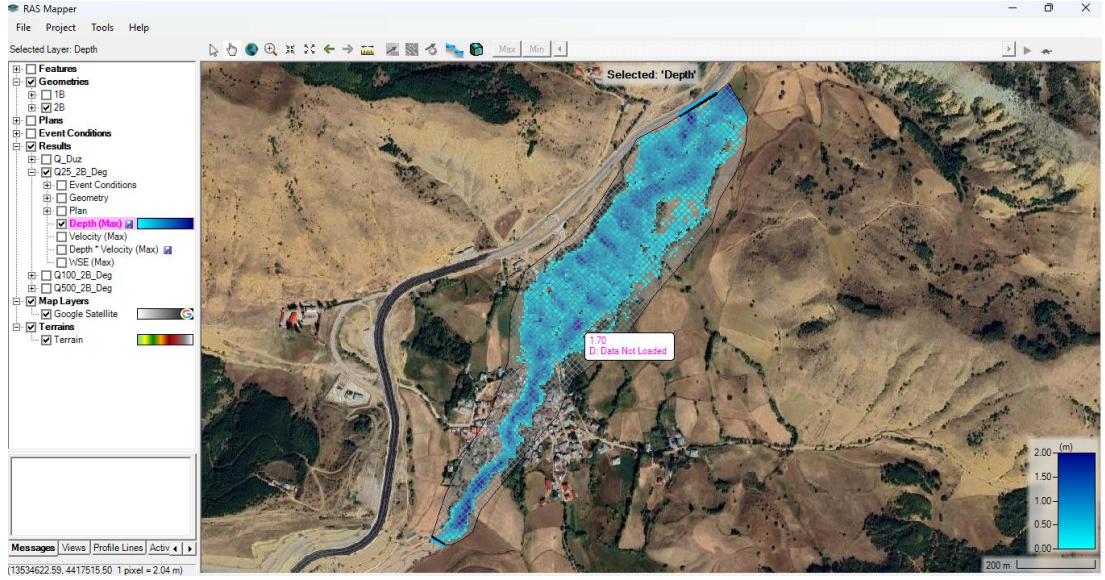
File ve Save menüleri ile plan dosyası yeniden kaydedilmektedir. Değişken Akım Analiz penceresinde bulunan Compute düğmesi yardımı ile program çalıştırılmaktadır.

Benzer analizler Geometri dosyası (2B) aynı kalmak üzere Q_{100} ve Q_{500} debileri içinde gerçekleştirilmektedir.

5.4.4. Q_{25} Değişken Akım Sonuçlarının İncelenmesi

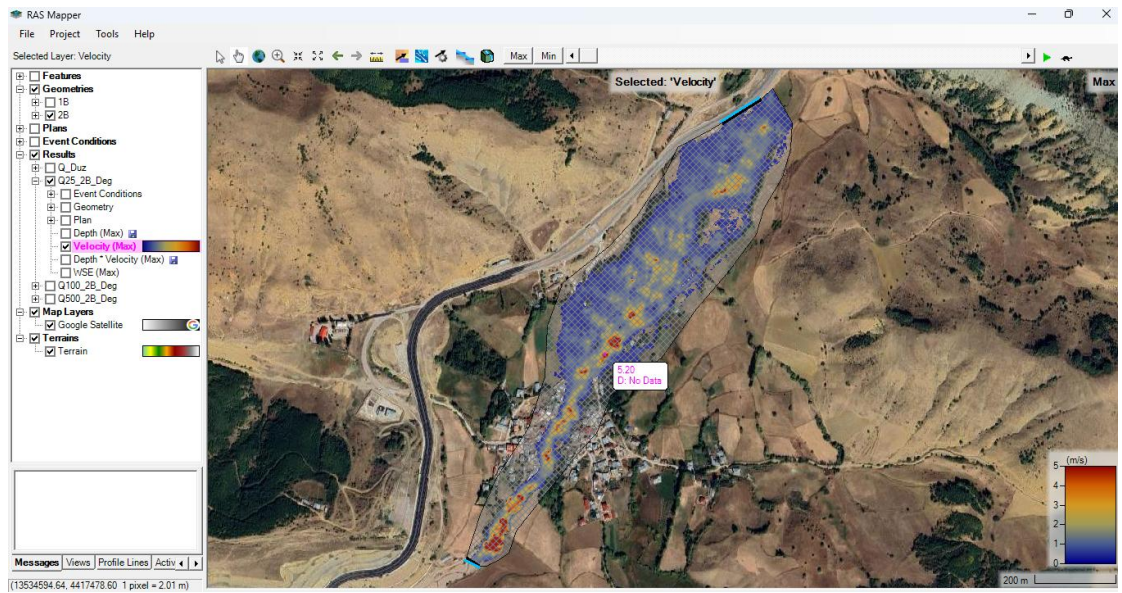
Sonuçları görmek için HEC RAS ana penceresinde RAS Mapper penceresi aktif hale getirilir. Pencerenin sol kısmında bulunan Result düğmesi ile hesaplama sonuçları incelenebilmektedir.

Şekil 61’ de 2B planı için hesaplanan derinlik dağılım sonuçları gösterilmiştir. Pencerede maksimum debi durumunda su yayılma derinlikleri gösterilmiştir. Veri katmanları penceresinde Depth katmanı seçilerek derinlik ölçeği aktif hale getirilmektedir. Bu durumda pencerenin sağ tarafında derinlik ölçeği oluşmaktadır. Fare oluşan derinlik dağılımı üzerinde gezdirilerek istenilen noktaya ait hesaplanan derinlik değeri şekilde orta kısımda görüleceği üzere (1.7m) görüntülenebilmektedir.



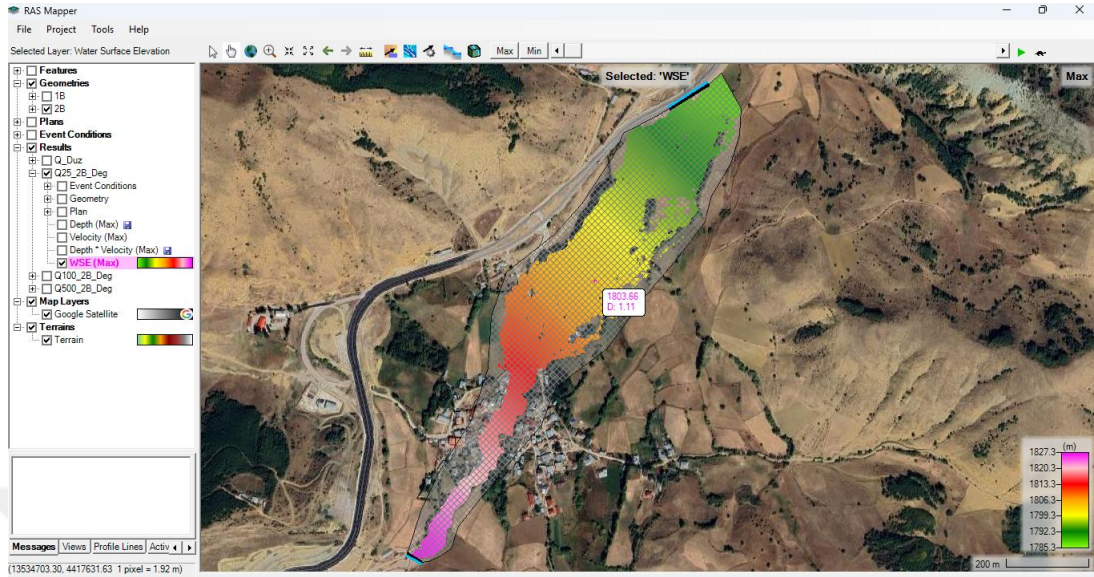
Şekil 61. Bahçecik deresi, Q₂₅, 2B taşkın derinlik dağılımı

Benzer şekilde veri katmanları penceresinde *Results* menüsü altında bulunan *Velocity* (Hız) düğmesi aktif hale getirilerek istenilen zamandaki hız dağılım grafiği görüntülenebilmektedir. Şekil 62’ de Maksimum debi durumunda 2B alan bölgesinde hız dağılımı renk ölçeğinde gösterilmiştir. Şekil üzerinde hız dağılımları renk skalasında gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere 2B bölgesinde hız dağılımı 0.3-5.0m/s arasında değişmektedir. 2B alan mansap bölgesinde seçilen bir noktaya ait ortalama hız değeri 4.44m/s olarak görüntülenmiştir.



Şekil 62. Bahçecik deresi, Q₂₅, deresi 2B taşkın hız dağılımı

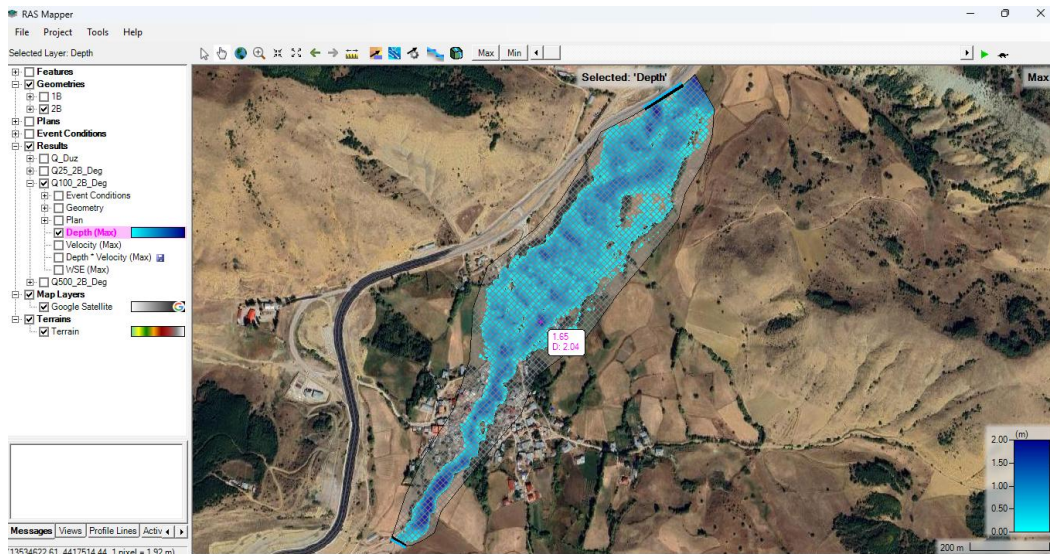
Benzer şekilde 2B alan için maksimum su yüzü yüksekliklerini gösteren dağılım Şekil 63’ de verilmiştir.



Şekil 63. Bahçecik deresi, Q₂₅, deresi 2B taşkın su yüzü yükseklik dağılımları

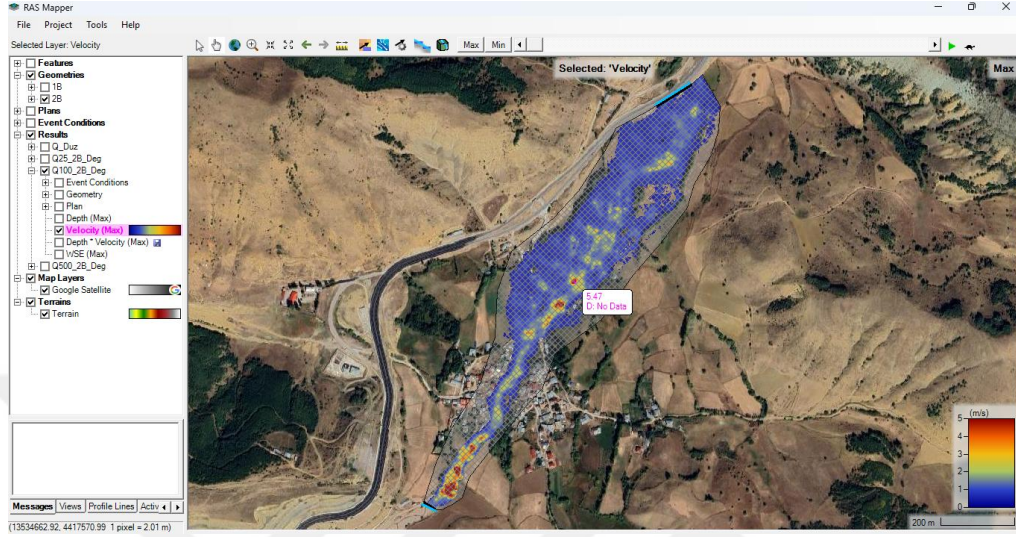
5.4.5. Q₁₀₀ Değişken Akım Sonuçlarının İncelenmesi

RAS Mapper penceresinin sol kısmında bulunan Results menüsü altındaki Q100_2B_Deg düğmesi aktif hale getirilmektedir. Veri katmanları penceresinde Depth katmanını seçilerek 2B akım alanı derinlik dağılımı Şekil 64’de ki gibi görüntülenmektedir. Taşkın bölgesindeki derinlik değeri fare ile istenilen noktaya giderek belirlenebilmektedir. Şekilden görüleceği üzere 2B alanında taşkın derinlikleri 0.2-2.0m arasında değişim göstermektedir.



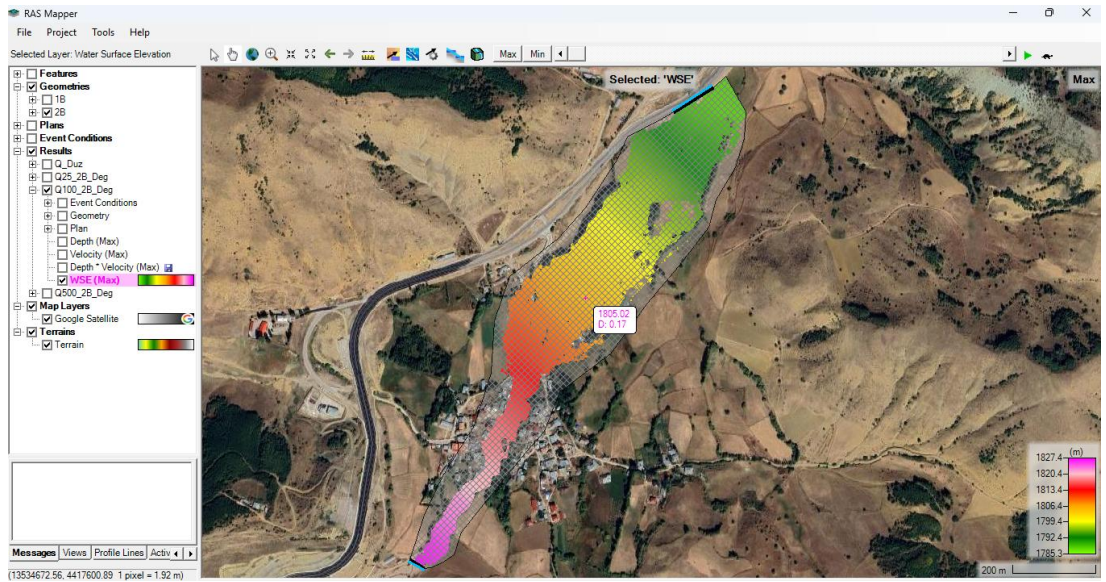
Şekil 64. Bahçecik deresi, Q₁₀₀, 2B taşkın derinlik dağılımı

Benzer şekilde veri katmanları penceresinde *Results* menüsü altında bulunan *Velocity* (Hız) düğmesi aktif hale getirilerek istenilen zamandaki hız dağılım grafiği görüntülenebilmektedir. Şekil 65’ de Maksimum debi durumunda 2B alan bölgesinde hız dağılımı renk ölçeğinde gösterilmiştir.



Şekil 65. Bahçecik deresi, Q_{100} , 2B taşkın hız dağılımı

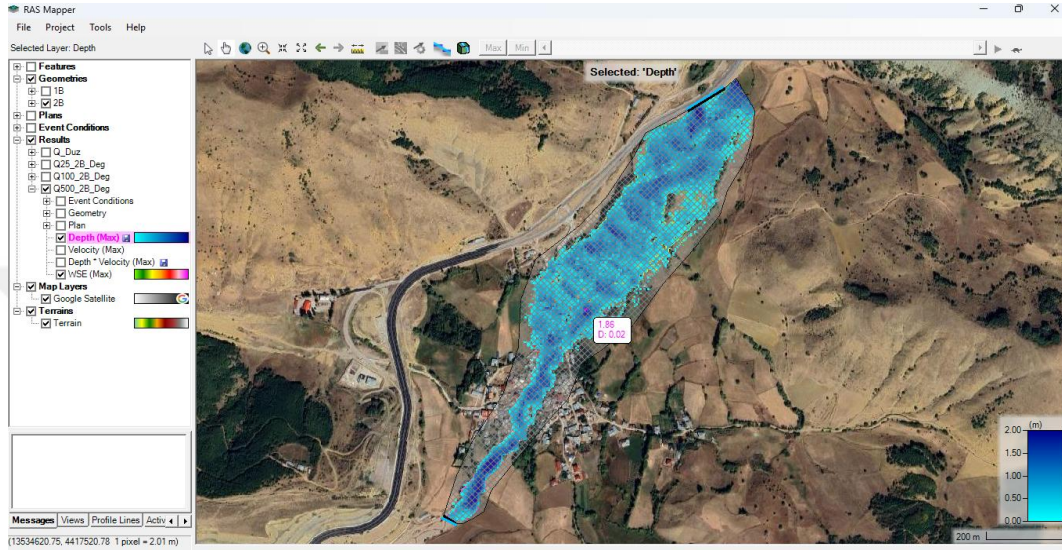
2B alan için maksimum su yüzü yüksekliklerini gösteren dağılım Şekil 66’ da verilmiştir.



Şekil 66. Bahçecik deresi, deresi, Q_{100} , 2B taşkın su yüzü yükseklik dağılımları

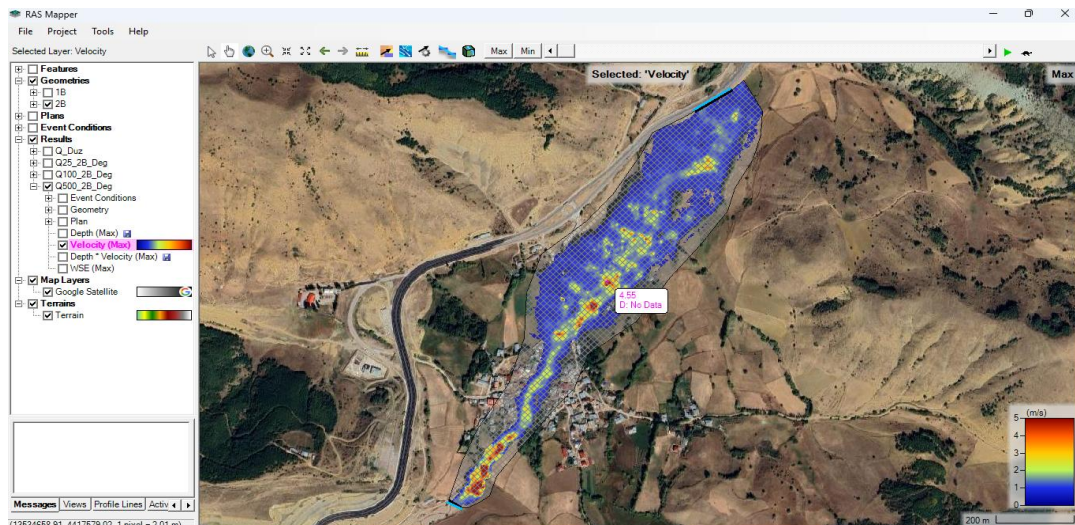
5.4.6. Q_{500} Değişken Akım Sonuçlarının İncelenmesi

RAS Mapper penceresinin sol kısmında bulunan Results menüsü altındaki $Q_{500_2B_Deg}$ düğmesi aktif hale getirilmektedir. Veri katmanları penceresinde Depth katmanını seçilerek 2B akım alanı derinlik dağılımı Şekil 67’ de ki gibi görüntülenmektedir. Taşkın bölgesindeki derinlik değeri fare ile istenilen noktaya giderek belirlenebilmektedir.



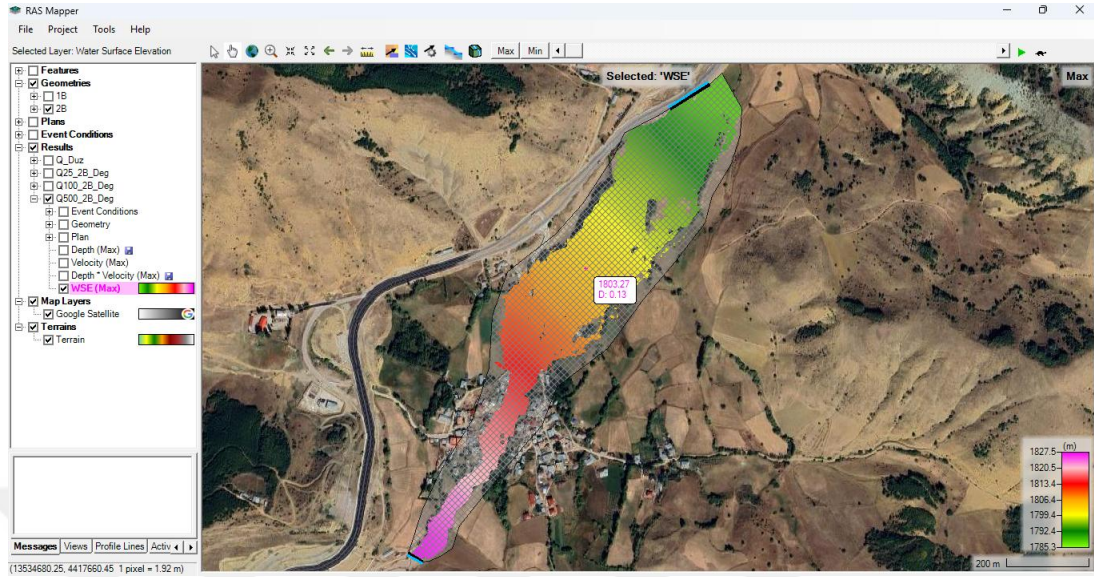
Şekil 67. Bahçecik deresi, Q_{500} , 2B taşkın derinlik dağılımı

Benzer şekilde veri katmanları penceresinde Results menüsü altında bulunan Velocity (Hız) düğmesi aktif hale getirilerek istenilen zamandaki hız dağılım grafiği görüntülenebilmektedir. Şekil 68’ de Maksimum debi durumunda 2B alan bölgesinde hız dağılımı renk ölçeğinde gösterilmiştir.



Şekil 68. Bahçecik deresi, Q_{500} , 2B taşkın hız dağılımı

2B alan için maksimum su yüzü yüksekliklerini gösteren dağılım Şekil 69’ da verilmiştir.



Şekil 69. Bahçecik deresi, Q₅₀₀, 2B taşkın su yüzü yükseklik dağılımları

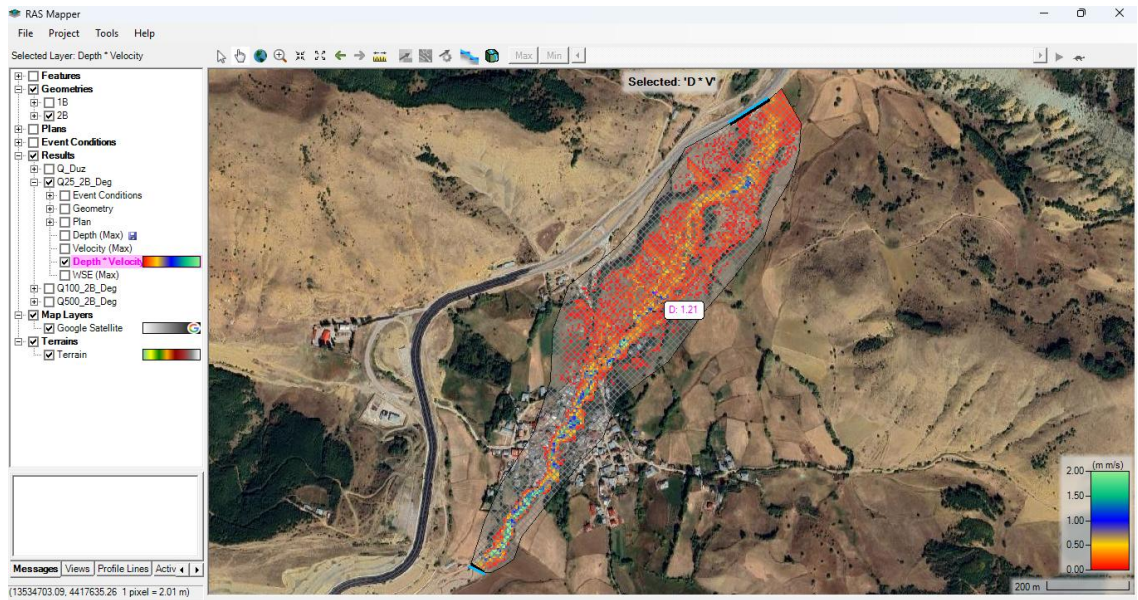
5.5. Bahçecik Deresi 2B Taşkın Risk Analizi

Taşkın suyunun derinliği (m) ve hızı (m/s), insan hayatını tehdit etme, büyük yapısal hasarlar oluşturma ve tarım arazilerine zarar verme açısından önemli rol oynar. Bu etkiler, taşkının büyüklüğü ile akarsuların ve taşkın ovalarının hidrolik özelliklerine bağlı olarak değişir. Taşkın risk analizlerinde, su derinliği ve hızının birlikte değerlendirilmesi, taşkın etkileri hakkında daha kesin ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Tablo 4. Derinlik ve hıza bağlı taşkın risk sınıfları

Taşkın Risk Sınıfı	Derinlik x Hız (m ² /s)
Düşük	<0.2
Orta	0.2-0.5
Yüksek	0.5-1.5
Çok Yüksek	1.5-2.5
Aşırı	>2.5

Q₂₅ debisinde hesaplanan DxV değerlerinin 2B taşkın bölgesindeki dağılımı HEC-RAS programında hesaplanarak grafik olarak Şekil 70’ de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere 2B taşkın bölgesinde DxV değerleri 0.02-2.0 m²/s arasında değişmektedir. Yerleşimin olduğu bölgelerde ise bu risk değerinin tarımsal alanlara göre nispeten yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 70. Bahçecik deresi 2B taşkın alanı, Q_{25} için $D \times V$ dağılımı

HEC-RAS da 2B alanına ait hesaplanan $D \times V$ değerlerine göre taşkın risk bölgeleri ArcGis programında Tablo 4’ de verilen kriterlere göre sınıflandırılarak Şekil 71’ de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere özellikle derenin memba kısımlarında ve dere güzergâhı boyunca risk nispeten yüksek olmakta, Mansaba doğru oluşan taşkın bölgelerinde ise risk orta ve düşük seviyede gerçekleşmektedir.



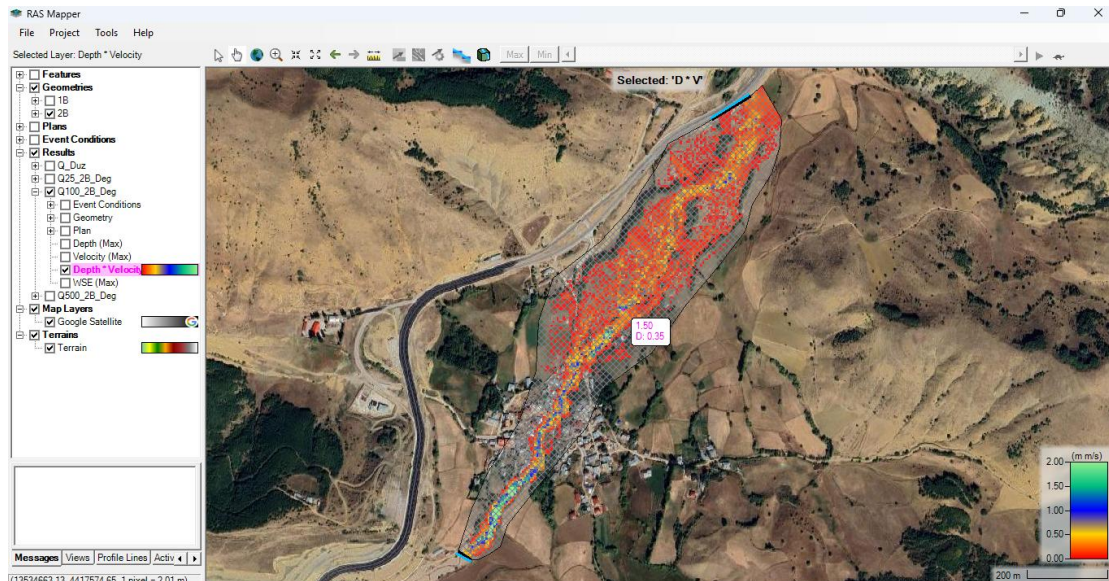
Şekil 71. Q_{25} taşkın risk dağılımı

ArcGis programında belirlenen bu risk sınıflarına göre kaç m^2 alan, hangi tehlike sınırı içerisinde olduğu hesaplanabilmektedir. Tablo 5’ te görüleceği üzere Q_{25} debisinde 126bin m^2 lik alan taşkın riskine maruz kalmaktadır. Bu bölgenin 359 m^2 si aşırı riskli, 813 m^2 çok yüksek riskli ve 9014 m^2 si yüksek riskli alan olarak belirlenmiştir. Tablonun son sütununda taşkın bölgesinde tanımlı risk sınıflarına göre arazi oranları verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere aşırı ve çok yüksek riskli bölgelerin oranı %1 den küçük olmakta, Yüksek riskli bölge oranı ise %7.2 olarak belirlenmiştir. Q_{25} debisinde taşkından etkilenen alanın %73.5 lik kısmı düşük, %18.4 ‘lük kısmı ise orta riskli bölge olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5. Bahçecik deresi Q_{25} taşkın alan ve risk durumları

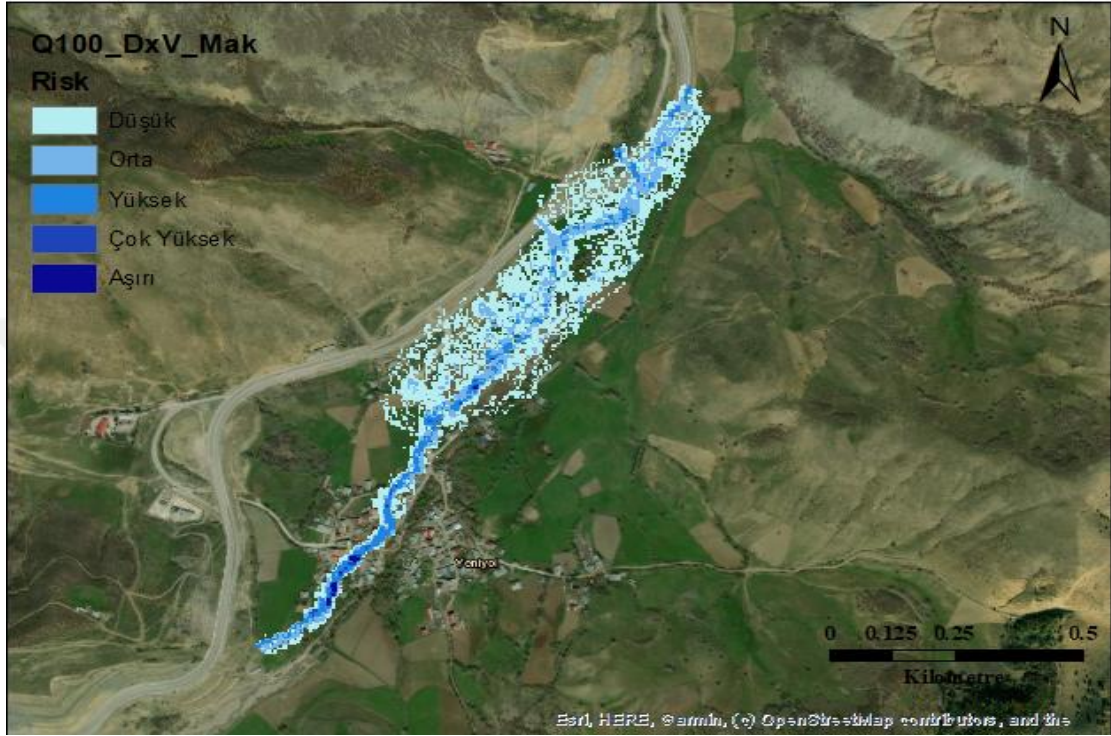
Taşkın Risk Sınıfları	Derinlik x Hız (m^2/s)	Alan (m^2)	Oran %
Düşük	<0.2	92 732.8	73.5
Orta	0.2-0.5	23 197.7	18.4
Yüksek	0.5-1.5	9 013.8	7.2
Çok Yüksek	1.5-2.5	813.4	0.64
Aşırı	>2.5	359.0	0.28
Toplam Alan=		126 116.6	100

Q_{100} debisinde hesaplanan $D \times V$ değerlerinin 2B taşkın bölgesindeki dağılımı HEC-RAS programında hesaplanarak grafik olarak Şekil 72’de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere $D \times V$ değerleri memba yakınlarında yüksek olmaktadır. Yerleşimin olduğu bölgelerde ise bu risk değerinin tarımsal alanlara göre nispeten yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 72. Bahçecik deresi 2B taşkın alanı, Q_{100} için $D \times V$ dağılımı

HEC-RAS da 2B alanına ait hesaplanan $D*V$ değerlerine göre taşkın risk bölgeleri ArcGis programında sınıflandırılarak Şekil 73’ de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere derenin memba kısımlarında ve dere güzergahı boyunca risk nispeten yüksek olmakta, Mansaba doğru oluşan taşkın bölgelerinde ise risk orta seviyede gerçekleşmektedir.



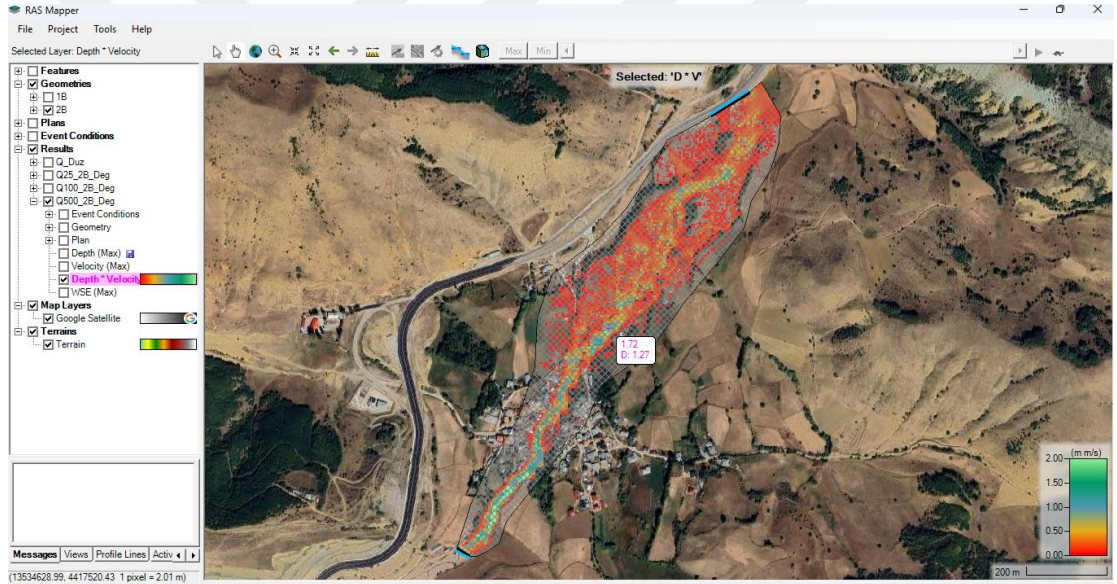
Şekil 73. Q_{100} taşkın risk dağılımı

ArcGis programı ile hesaplanan risk sınıflarına göre kaç m^2 alan, hangi tehlike sınırı içerisinde olduğu belirlenerek Tablo 6’ da gösterilmiştir. Tabloda görüleceği üzere Q_{100} debisinde yaklaşık 138bin m^2 lik alan taşkın riskine maruz kalmaktadır. Bu bölgenin 666 m^2 si aşırı riskli, 1096 m^2 çok yüksek riskli ve 15 124 m^2 si yüksek riskli alan olarak belirlenmiştir. Tablodan görüleceği üzere aşırı ve çok yüksek riskli bölgelerin oranı %1.3, Yüksek riskli bölge oranı ise %11 olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Bahçecik deresi Q₁₀₀ taşkın alan ve risk durumları

Taşkın Risk Sınıfları	Derinlik x Hız (m ² /s)	Alan (m ²)	Oran %
Düşük	<0.2	90 930.8	65.9
Orta	0.2-0.5	30 180.3	21.9
Yüksek	0.5-1.5	15 124.4	11.0
Çok Yüksek	1.5-2.5	1 068.8	0.8
Aşırı	>2.5	666.4	0.5
Toplam Alan=		137 970.7	100

Q₅₀₀ debisinde hesaplanan DxV değerlerinin 2B taşkın bölgesindeki dağılımı HEC-RAS programında hesaplanarak grafik olarak Şekil 74’ de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere DxV değerleri memba yakınlarında yüksek olmaktadır. Yerleşimin olduğu bölgelerde ise bu risk değerinin tarımsal alanlara göre nispeten yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

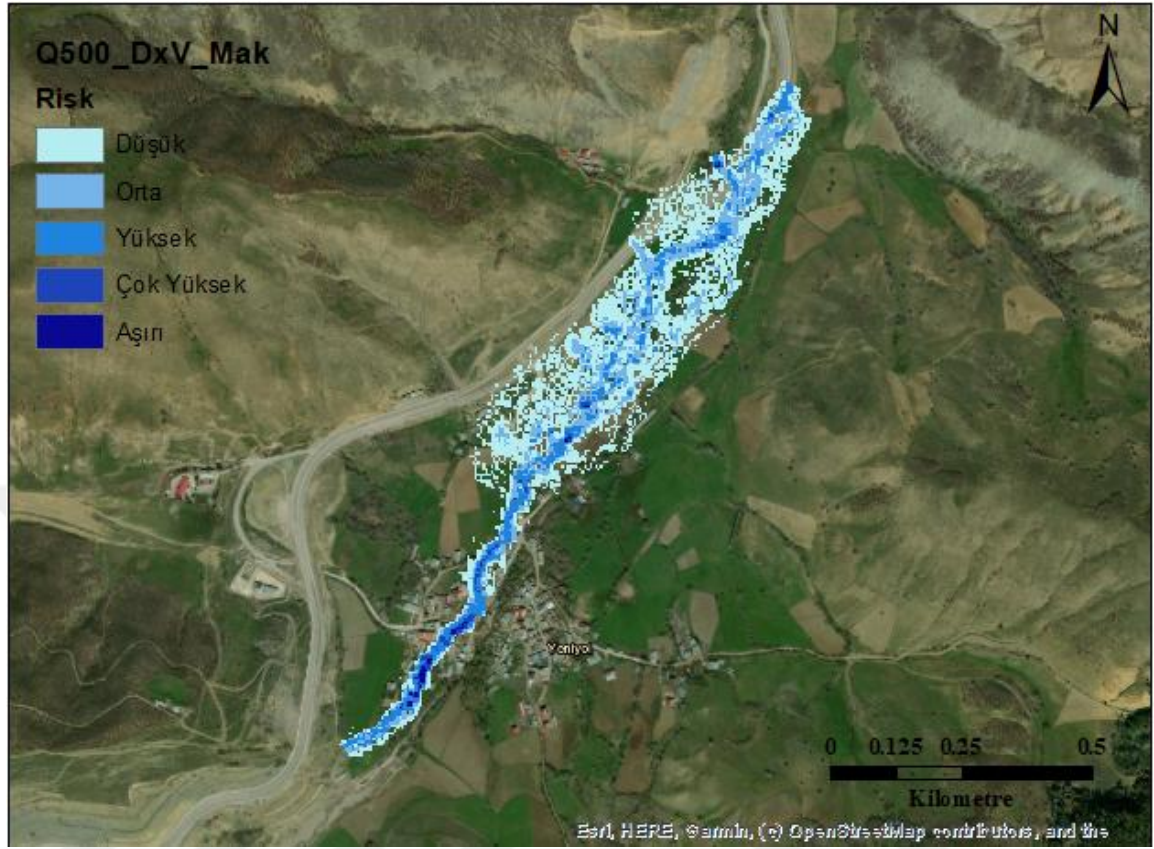


Şekil 74. Bahçecik deresi 2B taşkın alanı, Q₅₀₀ için DxV dağılımı

HEC-RAS da 2B alanına ait hesaplanan D*V değerlerine göre taşkın risk bölgeleri ArcGis programında sınıflandırılarak Şekil 75’ de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere derenin memba kısımlarında ve dere güzergahı boyunca risk nispeten yüksek olmakta, Mansaba doğru oluşan taşkın bölgelerinde ise risk orta seviyede gerçekleşmektedir.

ArcGis programında hesaplanan risk sınıflarına göre kaç m² alan, hangi tehlike sınırı içerisinde olduğu belirlenerek Tablo 7’ de gösterilmiştir. Tabloda görüleceği üzere Q₅₀₀ debisinde yaklaşık 146 364m² lik alan taşkın riskine maruz kalmaktadır. Bu bölgenin 1068m² si aşırı riskli, 2454m² çok yüksek riskli ve 21 427m² si yüksek riskli

alan olarak belirlenmiştir. Tablodan görüleceği üzere aşırı ve çok yüksek riskli bölgelerin oranı %2.4, Yüksek riskli bölge oranı ise %14.6 olarak belirlenmiştir.



Şekil 75. Q₅₀₀ taşkın risk dağılımı

Tablo 7. Bahçecik deresi Q₅₀₀ taşkın alan ve risk durumları

Taşkın Risk Sınıfı	Derinlik x Hız (m ² /s)	Alan (m ²)	Oran %
Düşük	<0.2	86 392.8	59.0
Orta	0.2-0.5	35 022.6	23.9
Yüksek	0.5-1.5	21 426.8	14.6
Çok Yüksek	1.5-2.5	2 453.6	1.7
Aşırı	>2.5	1 068.3	0.7
Toplam Alan=		146 364.2	100

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Gümüşhane İli Kelkit İlçesi Yeniyol Köyü yerleşim alanı için HEC-RAS ve ArcGIS yazılımları kullanılarak üç farklı taşkın tekerrür debisine (Q_{25} , Q_{100} ve Q_{500}) göre bir boyutlu (1B) ve iki boyutlu (2B) taşkın analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara bağlı değerlendirmeler yapıp, belirlenen taşkın yükseklikleri uydu görüntüleri ile entegre edilerek taşkın risk analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmada 1B modelleme için düzenli akım şartlarında hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. 2B modellemede ise değişken akım şartları dikkate alınmıştır. Her iki durumda da DSİ tarafından önerilen farklı taşkın tekerrür debilerine ait (Q_{25} , Q_{100} ve Q_{500}) veriler kullanılarak HEC-RAS ve ArcGIS yazılımları ile çalışma alanının taşkın risk haritaları oluşturulmuştur.

HEC-RAS ile yapılan analizler sonucunda, 1 boyutlu ve 2 boyutlu modellemenin avantajları ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilmektedir: 1 boyutlu modelleme ile güzergâh üzerinde bulunan köprü ve menfez gibi sanat yapıları hassas şekilde tanımlanabilmekte, bu yapıların taşkın durumlarındaki akıma etkileri gözlemlenebilmektedir. Bahçecik Deresi üzerinde bulunan 3 menfezinde 25, 100 ve 500 yıllık debileri sorunsuz bir şekilde ilettiği belirlenmiştir. 2 boyutlu modellemede menfezler dikkate alınmadan taşkın sınırları ve yükseklikleri belirlenmiştir. 1 boyutlu analiz için daha fazla geometrik veriye ve modelleme sırasında daha fazla zamana ihtiyaç duyulmaktadır. 1 boyutlu modellemede, dere hattı boyunca taşkınların meydana geldiği ve derenin yetersiz olduğu kesitler görülebilmektedir. 2 boyutlu modellemede ise taşkın alan tanımlanması daha kolay ve kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir, oluşan taşkın yükseklikleri tanımlı alana bağlı olarak belirlenebilmektedir. 1 boyutlu modellemede taşkın pik debileri yeterli olurken 2 boyutlu modelleme için taşkın hidrografi gerekmektedir. 1 boyutlu modellemede enkesitlerde ve boy kesitler üzerinde detaylı bilgiler elde edilebilmektedir. 2 boyutlu modellemede ise taşkın zamana bağlı simüle edilerek, taşkın başlangıç zamanı, en şiddetli olduğu an ve sona erdiği taşkın alanındaki derinlik, hız ve benzeri akım özellikleri belirlenebilmektedir.

Bir boyutlu düzenli akım analizlerinde membadan 3. menfezin mansabına kadar (769 nolu kesit, şekil 35) olan bölgede dere yatak kesitlerinin her üç periyottaki debiyi sorunsuz geçirdiği belirlenmiş, 769 nolu kesitin mansabında ise özellikle sağ sahilde arazi kotlarına bağlı taşkınlar olduğu gözlemlenmiştir. Yerleşimin sona erdiği bu bölgelerde tarımsal alanların etkilenebileceği belirlenmiştir. Çalışma alanında, taşkın

koruma yapısının olmadığı, var olan dere yataklarında seddelerin süreklilik göstermediği ve dere boyundaki yapılaşmanın taşkın riskini artırdığı gözlemlenmiştir.

Yapılan analizlerde, 25, 100 ve 500 yıllık taşkın debileri için sırasıyla 12,6 hektar, 13,8 hektar ve 14,6 hektarlık alanların su altında kalacağı belirlenmiştir. Su derinliklerine bağlı taşkın dağılımı incelendiğinde, 25 yıllık taşkında su seviyesinin genellikle 1 metrenin altında olduğu, 100 yıllık taşkında su derinliğinin yaklaşık 1,5 metre civarında ve 500 yıllık taşkında 2 metreye kadar yükselebildiği görülmektedir.

İki boyutlu analizlerde taşkından etkilenen bölgelerde derinlik ve hıza bağlı (DxV) taşkın risk sınıflandırılmaları ArcGIS ile belirlenerek ilgili alanlar hesaplanmıştır. Buna göre Q_{25} debisinde taşkından etkilenen alanın sadece %1 e yakın kısmı aşırı ve çok yüksek riskli bölge, %7.2 lik kısmı da yüksek riskli bölge olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde Q_{100} debisinde taşkından etkilenen alanın %1.3 lük kısmı aşırı ve çok yüksek riskli bölge, %11 lik kısmı da yüksek riskli bölge olarak belirlenmiştir. Q_{500} debisinde taşkından etkilenen alanın %2.4 lük kısmı aşırı ve çok yüksek riskli bölge, %15 lik kısmı da yüksek riskli bölge olarak belirlenmiştir. Her bir akım durumunda bu yüksek riskli bölgeler genellikle derenin memba kısmında oluşmaktadır.

Analizler sonucunda Bahçecik Deresi için yapılabilecek öneriler;

Yeniyol Köyü, dere hattı boyunca uzanan ve buna göre şekillenen bir yerleşim alanıdır. Bazı evler, dereye çok yakın bir şekilde inşa edilmiştir ve bu tür evlerin dereye mesafesi sıfırdır, yani bitişiktir. Taşkın durumunda bu plansız yerleşim alanları büyük zarar görebilmektedir. Bu nedenle, yerleşim yerlerinin buralardan kaldırılarak taşkından etkilenmeyecek bölgelere taşınması gerekmektedir. Taşkın yayılım haritasında da görüldüğü üzere, taşkının etki ettiği alanların iskâna açılmaması, iskâna açılmışsa da buralarda yapılaşmaya izin verilmemelidir.

Bahçecik Deresi'nin mevcut güzergâhtaki kesitleri özellikle mansapta hesaplanan tekerrür taşkın debileri için yetersiz kalmaktadır. Dere boyunca bazı bölgelerde yapıların dereye çok yakın olması, dere hattına müdahaleyi zorlaştırmaktadır. Bir taşkın sırasında ya da sonrasında gerekli müdahalelerin hızlı ve etkili bir şekilde yapılabilmesi için, oluşturulan taşkın yayılım haritasına göre hareket edilmelidir.

Taşkınlar, ülke ekonomisine büyük zararlar verebileceği gibi, en önemlisi insan hayatını tehlikeye atmaktadır. Yapılacak imar planlamaları, detaylı analizler yapılarak, insan hayatını tehdit etmeyecek şekilde ve toleranssız bir güvenlik anlayışıyla değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Akgün, Ç., 2018. *Tuzluca Barajı Çevresel Etkilerinin Maliyet Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane.
- Akkaya, U. (2016). *Meriç ve Tunca nehirlerinin Edirne şehir merkezi kısmında 2 boyutlu taşkın modellemesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi , Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Akkoç, N. F. (2019). *Aras havzası Kars çayı 1D ve 2D taşkın analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Alpan, C. (2018). *Fırat-Dicle, Çoruh ve Doğu Karadeniz Havzalarında ekstrem değer dağılımı ile taşkın frekans analizinin yapılması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Anılan, T., Yüksek, Ö., ve Kankal, M. (2016). Doğu Karadeniz Havzası'nın L-momentlere dayalı taşkın frekans analizi. *Teknik Dergi*, 27(2), 7403-7427.
- Ardıçlıoğlu M., HEC-RAS Mapper ile Akarsuların 1D/2D Modellenmesi ve Uygulamalar, E-Kitap 2020, www.mehmetardiclioglu.info
- Ardıçlıoğlu M., Open Channel Flows and HEC-RAS Applications, LAP LAMBERT Academic Publishing, ISBN: 978-62-0-21608-3, 2019.
- Ardıçlıoğlu, M. (2017). Açık kanal akımları ve HEC-RAS uygulamaları.
- Ardıçlıoğlu, M. (2020). Hec-Ras Mapper İle Akarsuların 1d/2d Modellenmesi Ve Uygulamalar.
- Aronoff, S. (1989). Geographic information systems: A management perspective. Geocarto International, 4(4), 58. <https://doi.org/10.1080/10106048909354237>
- ASCE, 2017, Two-Dimensional Modelling Using HEC-RAS
- Bağdatlı, M. C. (2013). *Tekirdağ İli Marmara kıyı havza karakteristikleri ve taşkın risk faktörlerinin belirlenerek Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veri tabanının oluşturulması*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Bahçeçi, A.(2014). *Ayamama deresi havzasının taşkın analizi modeli*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Batur, E., ve Maktav, D. (2012). Uzaktan Algılama Ve Cbs Entegrasyonu Ile Taşkın Alanlarının Belirlenmesi: Meriç Nehri Örneği. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5, 47-54.

- Berz, G. (2000, March). Flood disasters: lessons from the past—worries for the future. In Proceedings of the institution of civil engineers-water and maritime engineering (Vol. 142, No. 1, pp. 3-8). Thomas Telford Ltd.
- Betsholtz, A., & Nordlöf, B. (2017). Potentials and limitations of 1D, 2D and coupled 1D-2D flood modelling in HEC-RAS. TVVR17/5003 (Lund University, Sweden).
- Betsholtz, A., ve Nordlöf, B. (2017). Potentials and limitations of 1D, 2D and coupled 1D-2D flood modelling in HEC-RAS. TVVR17/5003.
- Bhattachaiyya, N.N., ve Bora, A.K., Floods of the Brahmaputra River in India. Water International, IWRA, 22 (4), 222–229, 1997.
- Bingöl, Y. (2006). *İstanbul derelerinin mevcut durumu ve taşkın derelerinin hesabı*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bolat, S.(2019). *Taşkın Modellemeleri İçin Farklı Uzaktan Algılama Görüntülerinden Elde Edilen Pürüzlülük Haritalarının Karşılaştırılması*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Bousmar, D., ve Zech, Y., Discussion of "Two Dimensional Solution for Straight and Meandering Overbank Flows" by D. Alan Ervine. K. Babaeyan Koopaei and Robert H.J. Sellin. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 128, 550–551, 2002.
- Bozkurt, O. Ç., ve Akyürek, Z. (2020). *Utilization of Numerical Weather Prediction Models for Flood Planning and Operational Studies in Datascarce Basins*, Doctoral dissertation, Middle East Technical University, Turkey.
- Börü, S., ve fuat Toprak, Z. (2022). Alternatif Bir Su Kaynağı Olarak Yağmur Suyu Hasadı. *Türk Hidrolik Dergisi*, 6(1), 42-50.
- Brunner G. W., Common Model Stability Problems When Performing an Unsteady Flo Analysis, Hydrologic Engineering Center, Davis CA, 2017
- Brunner, G. W., Combined 1D and 2D Modeling with HEC-RAS Davis, CA, USA, 2014.
- Bureau of Public Roads (BPR), 1965. Hydraulic Charts for the Selection of Highway Culverts, Hydraulic Engineering Circular No. 5, U.S. Department of Commerce.
- Chaudhry, M. H. (2008). Open-Channel Flow. Springer Science + Business Media, Boston.
- Chow, V. T., 1959, Open Channel Hydraulics, Mc Graw – Hill Book Company, Tokyo, 680 s.
- Costabile, P., Costanzo, C., Ferraro, D., Macchione, F., Petaccia, G., 2020. Performances of the New HEC-RAS Version 5 for 2-D Hydrodynamic-Based

- Rainfall-Runoff Simulations at Basin Scale: Comparison with a State-of-the Art Model. Water. 12. 2326. 10.3390/w12092326.
- Çavdar, N. (2018). *Dinamik dalga modeli kullanılarak farklı enkesitli prizmatik kanallarda taşkın ötelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi , Pamukkale Üniversitesi, Denizli .
- Dağ, İ. (2019). *Antakya Altınçay deresinin hec-ras yazılımı ile taşkın analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.
- Demir, F. (2014). *Aşağı Sakarya Nehri Adapazarı kesimi taşkın risk tayini*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Dernek, E. (2012). *Taşkın yapıları tasarımı ve kayı deresi örneği*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Doğu, A. (2016). *Kırıkkale Çoruhözü deresinin taşkın pik debilerinin hesaplanması ve bir boyutlu modellenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Dolo, A. (2018). *Arhavi ilçesi için dron verisine dayalı sel ve taşkın modellemesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- DSİ, 2017. Yukarı Havza Islah Önlemleri Kapsamında Yeni Bir Uygulama; Süzücü (Geçirgen) Tersip Bentleri, DSİ Teknik Bülten, Sayı: 123, Ankara, 62s.
- Durmuş, H. (2020). *Taşkın farkındalık ve erken uyarı sistemleri değerlendirmesi: Trabzon Beşikdüzü örneği*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Efe, H., ve Önen, F. (2015). Batman Çayı'nın taşkın analizinin HEC-RAS programıyla yapılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 6(2), 83-92.
- Ekici, (2019). *A. Hec-ressim paket programı ile göksu havzasının taşkın modellenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Elbaşı, E., ve Özdemir, H. (2023). Akım gözlem istasyonu bulunmayan havzalarda taşkın debisi tahmini: *Doğu Karadeniz örneği. Türk Coğrafya Dergisi*, (84), 85-96.
- Elbaşı, E., ve Özdemir, H. (2023). Akım gözlem istasyonu bulunmayan havzalarda taşkın debisi tahmini: *Doğu Karadeniz örneği. Türk Coğrafya Dergisi*, (84), 85-96.
- Elçi, Ş., Tayfur, G., Haltaş, İ. ve Kocaman, B. (2017). Baraj yıkılması sonrası iki boyutlu taşkın yayılımının yerleşim bölgeleri için modellenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 28(3), 7955-7975.

- Eren, M. E. (2011). *Boğluca (kayalı) deresinin taşkın riskinin irdelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ersoy, S. B. (2017). *Manisa Kızıldere taşkın akımlarının HEC-RAS ile modellenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- Ertekin, U., 2018. *Türkiye'deki Akarsu Havzalarında Taşkın Mevsimselliğinin Belirlenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik, İstanbul.
- Federal Highway Administration, 1985. Hydraulic Design of Highway Culverts, Hydraulic Design Series No. 5, U.S. Department of Transportation, Washington D.C.
- French, R. H., 1985, Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill Inc., New York, 620 pp.
- Gökoğlu, F. (2000). *Akarsularda Taşkın Dalgalarının Sayısal Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Hakan, M. (2008). *Kızılırmak Havzasında taşkın frekans analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırklareli.
- HEC User Guide. 2010. “HEC-RAS River Analysis System”, U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydraulic Reference Manual Version 4.1.
- HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 6.0, December, 2020, U.S Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 609 Second Street, Davis, CA.
- HEC-RAS River Analysis System, Supplemental to HEC-RAS, Version 5.0, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis CA, 2018.
- HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Version 5.0, US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis CA, 2016.
- HEC-RAS Verification and Validation Tests, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis CA, 2018.
<https://mgm.gov.tr/FILES/arastirma/yagisdegerlendirme/2024AlansalYagisDegerlendirme.pdf>
- İnsapedia. (2019). Taşkın Nedir Taşkın Nedenleri Türleri ve Oluşumu Erişim: 29.08.2021
- Kara, Ö. (2009). *Su yüzü profillerinin HEC-Ras paket programıyla incelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

- Karakuyu, M., 2002. Şehirleşmenin Küresel İklim Sapmaları ve Taşkınlar Üzerindeki Etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 97-108s.
- Kaya, Ç. M. (2012). *Giresun Pazarsuyu örneğinde, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve uzaktan algılama entegrasyonu ile taşkın risk haritalarının üretilmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Kaya, Ç. M. (2017). *Akım Gözlem İstasyonu Bulunmayan Taşkın Havzalarındaki Değişimlerin Taşkın Riskine Etkisinin Belirlenmesi: Rize. Güneysu Örneği*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon).
- Keçik H. E. (2019). *HEC-RAS İle İmalı Deresinde Taşkın Modellemesi ve Taşkın Yayılım Haritalarının Oluşturulması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Keçik, H. E. (2017). *Hec-Ras ile İmalı Deresinde taşkın modellemesi ve taşkın yayılımharitalarının oluşturulması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Kızmaz, Y. (2020). *Sakarya Kaynarca Havzası Taşkın Yayılım-Tehlike-Risk Haritalarının Modellenmesi: Seyren Deresi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Knight, D., ve Shamseldin, A. (Eds.). (2005). *River basin modelling for flood risk mitigation*. CRC Press.
- Knight, D., ve Shamseldin, A. (Eds.). (2005). *River basin modelling for flood risk mitigation*. CRC Press.
- Kuşoğlu, Y. (2019). *Törbüzek çayında taşkın analizi yapılması ve taşkın yayılım alanlarının HEC-RAS ile elde edilmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Menteşe, İ. K., ve Eroğlu, N. (2022, August). *Kastamonu Bozkurt Ezine Çayı Havza Parametrelerinin Arcgis-Hydrology İle Belirlenmesi ve Taşkın Debilerinin Hesaplanması*. In The 14th International Scientific Research Congress (p. 15).
- Mogollón, B., Frimpong, E. A., Hoegh, A. B. ve Angermeier, P. (2016). An empirical assessment of which inland floods can be managed. *Journal of Environmental Management*, 167, 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.10.044>
- Nas, S. S. ve Nas, E., 2013. Taşkın Alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Belirlenmesi ve Risk Analizi: Harşit Çayı (Gümüşhane) Örneği, Taşkın ve Heyelan Sempozyumu, 405-419s.

- Oghly, R., ve Latif, A. (2024). *Denizli ili Serinhisar ilçe merkezi taşkın yayılım alanlarının coğrafi bilgi sistemleri ve HEC-RAS paket programı ile modellenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Ogras, S., ve Onen, F. (2020). Flood Analysis with HEC-RAS: A Case Study of Tigris River. *Advances in Civil Engineering*, 2020(1), 6131982.
- Onuşluel, G. (2005). *Floodplain Management based on the HEC-RAS modeling system*, Doctoral dissertation, Dokuz Eylul Üniversitesi, Samsun.
- Önen, F., ve Oğraş, S. (2019). Dicle Nehri'nin taşkın analizinin HEC-RAS programı ile yapılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(3), 1087-1098.
- Özalp, D., 2009. *Dere Taşkın Risk Haritalarının Cbs Kullanılarak Oluşturulması ve Cbs ile Taşkın Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özcan, O. (2008). *Sakarya Nehri alt havzasının taşkın riski analizinin uzaktan algılama ve CBS ile belirlenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özdemir, H. (2007). *Havran çayı havzasının (Balıkesir) CBS ve uzaktan algılama yöntemleriyle taşkın ve heyelan risk analizi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Özer, (2022). F., ve Tosunoğlu, F. *Proje Taşkın Debisi Hesaplama Yöntemlerinin Analizi: Uzun dere Göleti Örneği*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi Erzurum Teknik Üniversitesi, Erzurum.
- Özger, M. (2001). *Meskun Bölgelerdeki Taşkın Zararları Tahmininin Bulanık Sistemle Modellemesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Öztürk, D. (2009). *CBS tabanlı çok ölçütlü karar analizi yöntemleri ile sel ve taşkın duyarlılığının belirlenmesi: Güney Marmara havzası örneği*, Yayınlanmamış Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Öztürk, M. (2006). *İstanbul derelerinin taşkın debilerinin tahmini*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi , Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Pakniyat, H. (2015). *Tahtalı barajının yıkılması durumunda oluşacak taşkın dalgalarının modellenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi , Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Palamut, N. (2014). *Baraj yıkılma analizi ve uygulaması*, Yayınlanmamış Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

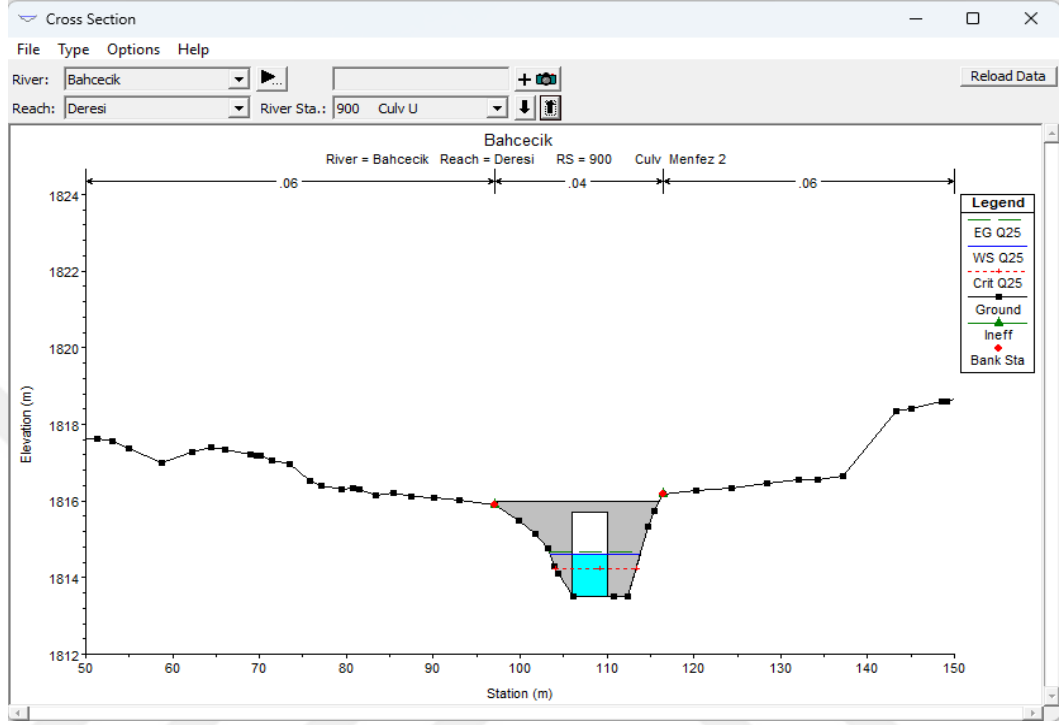
- Pistil, F. (2005). *Gezende barajı mansabında taşkın ötelemenin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Salman, C. (2010). *Munzur projesi kapsamında yapılacak barajların bölgedeki taşkın koruma yapılarına etkisi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Sarıcan, Y. (2013). *Taşkın tehlikesinin belirlenmesi amacı ile otomatik yağış miktarı ölçüm sisteminin geliştirilmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Seçkin, N. (2002). *Ceyhan ve Seyhan Havzalarının bölgesel taşkın frekans analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Seçkin, N., ve Yurtal, R. (2009). *L-Momentlere dayalı gösterge-sel metodu ile bölgesel taşkın frekans analizi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Serencam, U. (2013). *Taşkın zararları ve zarar görebilirlik analizi: Trabzon Değirmendere Sanayi Mahallesi örneği*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Shırzad, M. R. (2017). *Taşkın riskinin uzaktan algılama ve CBS teknolojileri ile değerlendirilmesi: Kocaeli Maden Deresi örneği*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Spor, P. (2023). *Dereelerde iki boyutlu taşkın modellemesi ve taşkın tehlike risk haritalarının oluşturulması*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Şevgin, F., ve fuat Toprak, Z. (2021). Meteorolojik Akış Katsayısının Bulanık SMRGT Yöntemi ile Belirlenmesi: Murat Havzası Örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(2), 401-409.
- Şık, B. (2015). TOPRAK ATLASI Toprak Araziler ve Tarlalar Hakkındaki Olgular ve Rakamsal Veriler 2015. HEINRICH BÖLL STIFTUNG (1st ed., pp. 0–0). HEINRICH BÖLL STIFTUNG.
- Taş, E., İçağa, Y. ve Zorluer, İ., 2016. Taşkın Yayılım Haritalarının Oluşturulması ve Taşkın Zarar Analizi: Akarçay Afyon Alt Havzası Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 711-721.
- Tektaş, Y. (2021). *Diyarbakır İli Çınar İlçesi Çakmak Deresinin Hec-Ras İle Taşkın Modellemesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Üniversitesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.

- Tiryaki, M. (2014). *Sarıçay'ın (Çanakkale) Paleotaşkın Analizi ve Taşkın Alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile haritalanması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.
- Topuksak, Ş. (2021). *Menfezlerin projelendirilmesinde taşkın debisi saptama yöntemlerinin irdelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Uçar, İ. (2010). *Trabzon Değirmendere havzası'nda coğrafi bilgi sistemleri ve bir hidrolik model yardımıyla taşkın analizi yapılması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- (URL-1), <https://350ankara.org/daha-cok-beton-daha-cok-sel-felaketi>. 24 Eylül 2016.
- (URL-2) <https://mgm.gov.tr/files/genel/raporlar/meteorolojikafetler2010-2021.pdf>
- (URL- 3) <https://www.ethicwater.com.tr/2023/04/11/su-ve-afetler/>
- Uşul, N., 2008. Mühendislik Hidrolojisi. Odtü Basımevi, Ankara, 140s.
- Uykur, R. (2003). *Ürgüp Damsa Köyü Taşkın Paşa Külliyesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Üçüncü, Z. (2018). *Kırıkkale Karadere ve Hodar derelerinin taşkın pik debilerinin hesaplanması ve HEC-RAS programında bir boyutlu modellenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Ülke, A. (2003). *Muskingum metodu kullanılarak taşkın ötelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Ünal, H. B. (2022). *Ergene Nehri: Tekirdağ Muratlı-Kırklareli Pehlivan köy Arası Taşkın Akımı Belirlenmesi ve Hidrodinamik Taşkın Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Üniversitesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Üyüklüoğlu, M. (2015). *HEC-RAS ile taşkın bölgelerinin modellenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Yozgat.
- Yaylak, M. M., 2016. *Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla Bitlis Deresi Taşkın Risk Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis.
- Yıldırım, İ. (2020). *Geyve Karaçay deresi taşkın yayılım haritalarının oluşturulması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Yılmaz, İ., Öztürk, D., ve Kırbaç, U. (2017). Çorum ili taşkın tehlikesinin analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak incelenmesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16, 3-6.
- Yurdakul, M. E. (2019). *Güney Sapanca Havzası taşkın yayılım haritalarının modellenmesi: Keçi Deresi örneği*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

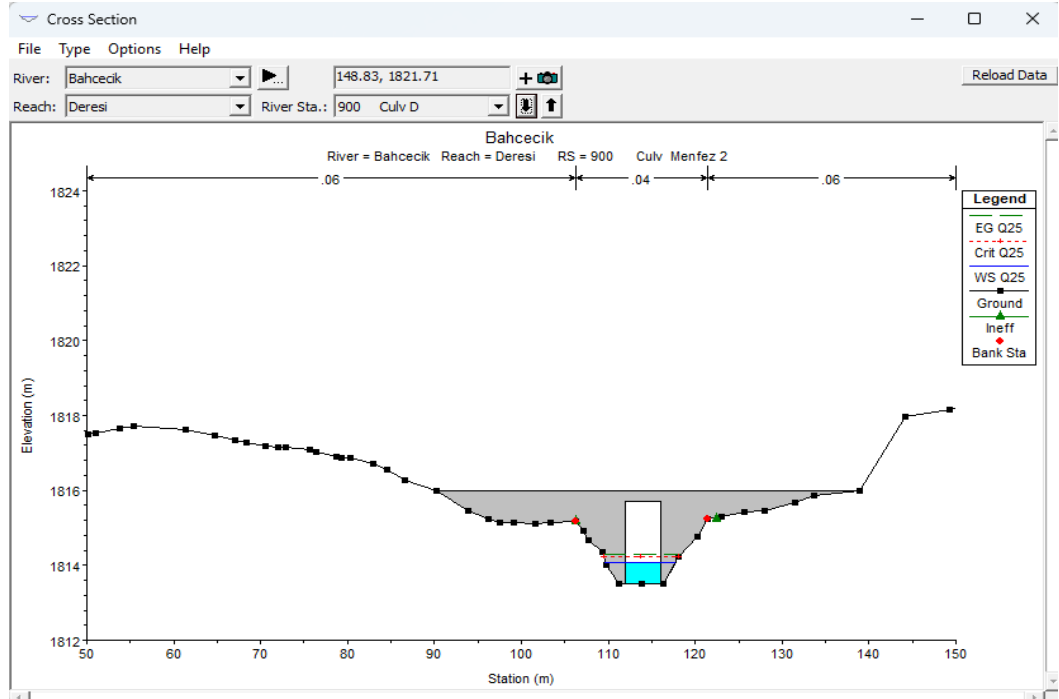
- Yüksek, Ö., Anılan, T., 2016. Doğu Karadeniz Taşkınlarında Heyelanların Etkisi ve Taşkın Sebepleri”, Ulusal Heyelan Sempozyumu Tebliğler Kitabı, 27-29 Nisan 2016, Ankara, Sayfa 119-136.DSİ, 2017
- Yüksek, Ö., Anılan, T., Akçalı, E., 2021, “A1 Afet Sorunsalı/Doğu Karadeniz Havzası Taşkın Yönetimi”, Taşkın Yönetimi, Doğu Karadeniz Çevre Tartışmaları", Livre de Lyon, Lyon, pp.1-26.
- Yüksek, Ö., Serencam, U., Üçüncü, O., Anılan, T., 2013. Afet ve Taşkın Yönetimi ve Değirmendere Örneği, Taşkın ve Heyelan Sempozyumu, 2013, Trabzon, 33-44.
- Zaifoğlu, H., 2018. *Lefkoşa İçin Bir Taşkın Yönetim Sistemi Geliştirilmesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Zorba, G. (2023). Havza taşkın pik debilerinin belirlenmesinde HEC-HMS modelinin kullanılması: *Bursa-Kestel Narlıdere Havzası uygulaması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa).

EKLER

Ek 1. Menfez memba ve mansap kesitlerinde oluşan akım profilleri

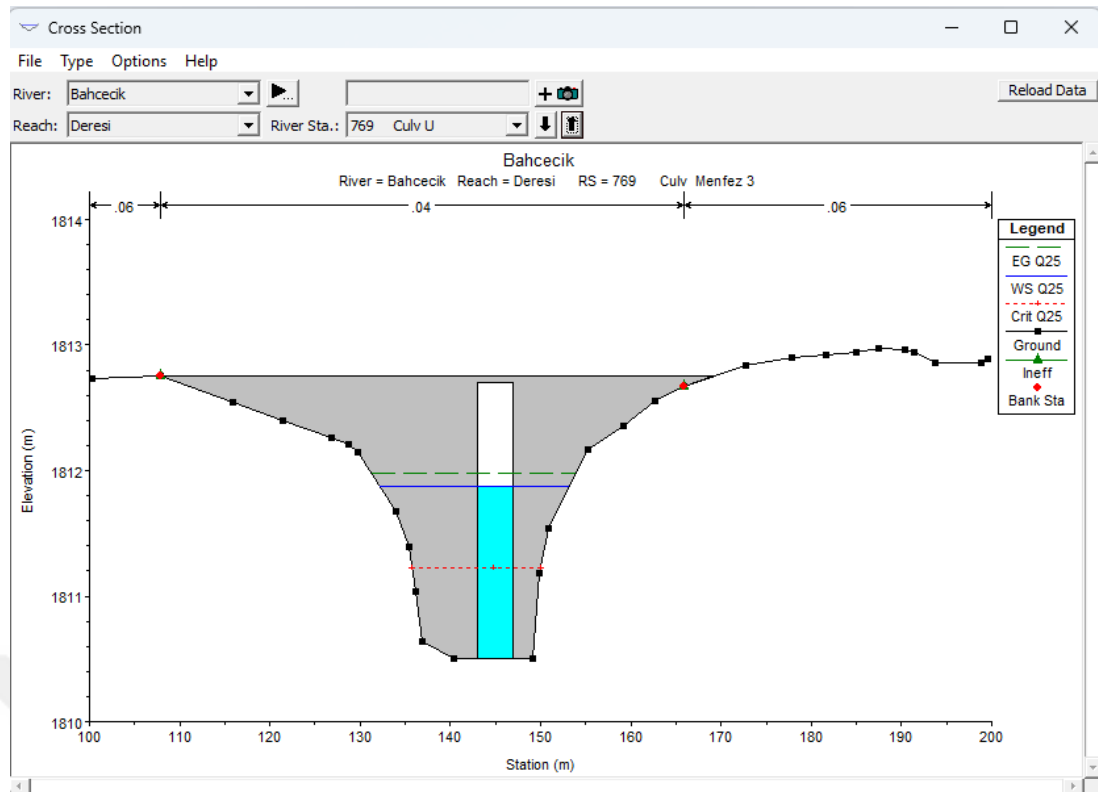


(c)

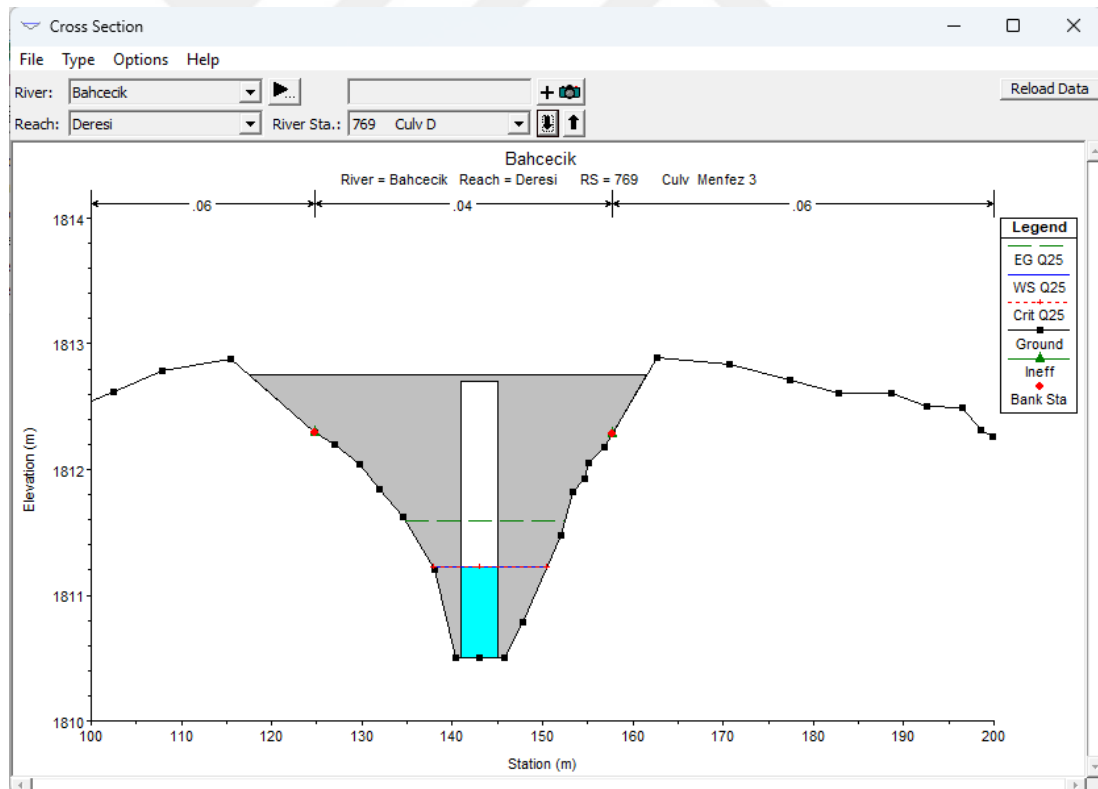


(d)

(c)-(d) Q_{25} debisi, 2 nolu menfez giriş ve çıkış kesitlerinde oluşan akım profilleri

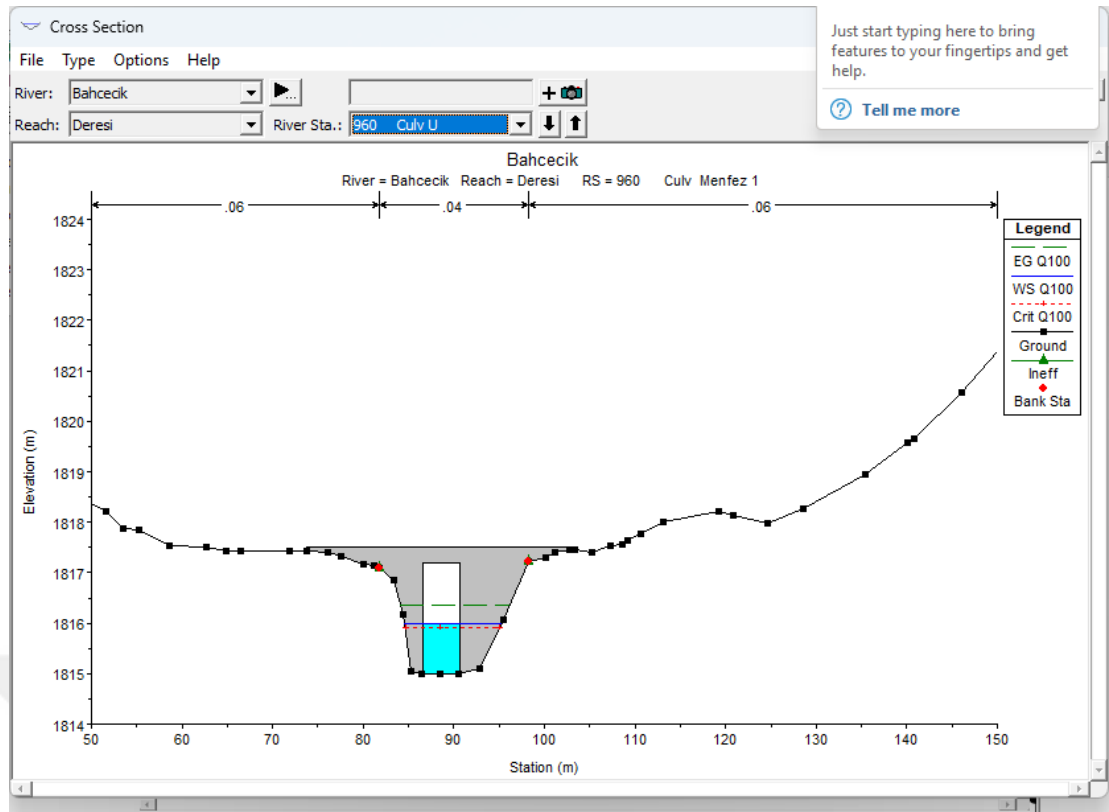


(e)

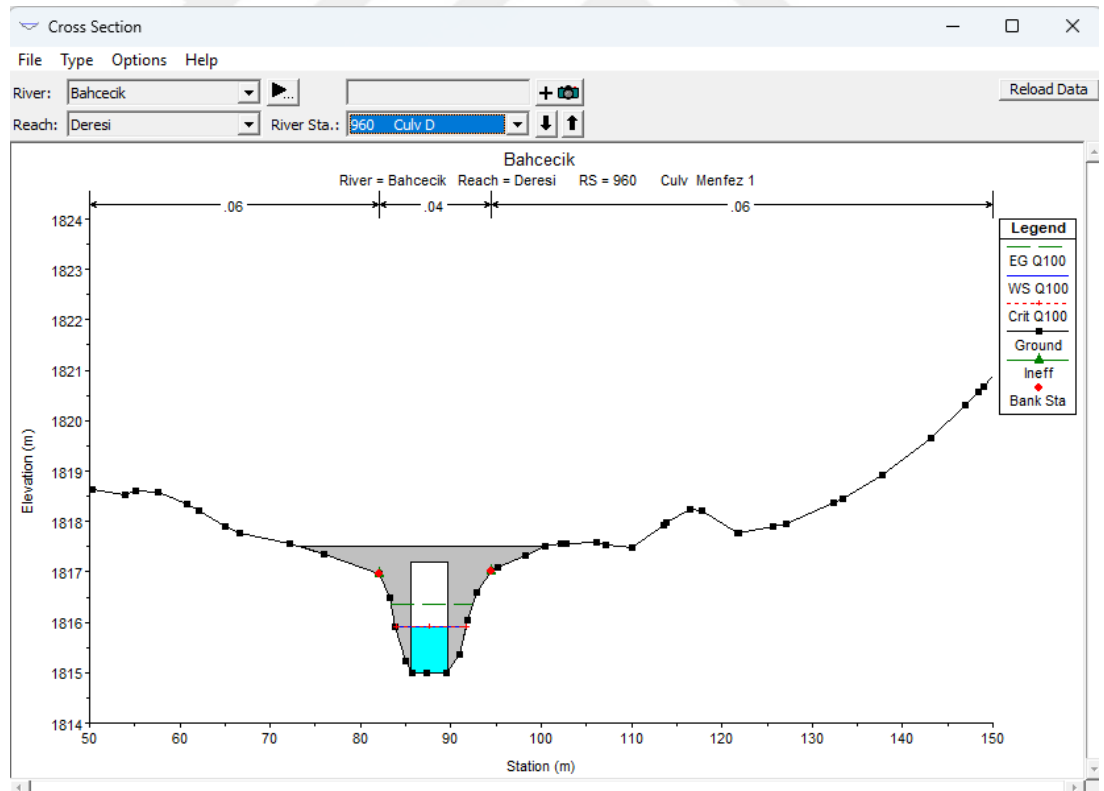


(f)

(e)-(f) Q_{25} debisi, 3 nolu menfez giriş ve çıkış kesitlerinde oluşan akım profilleri

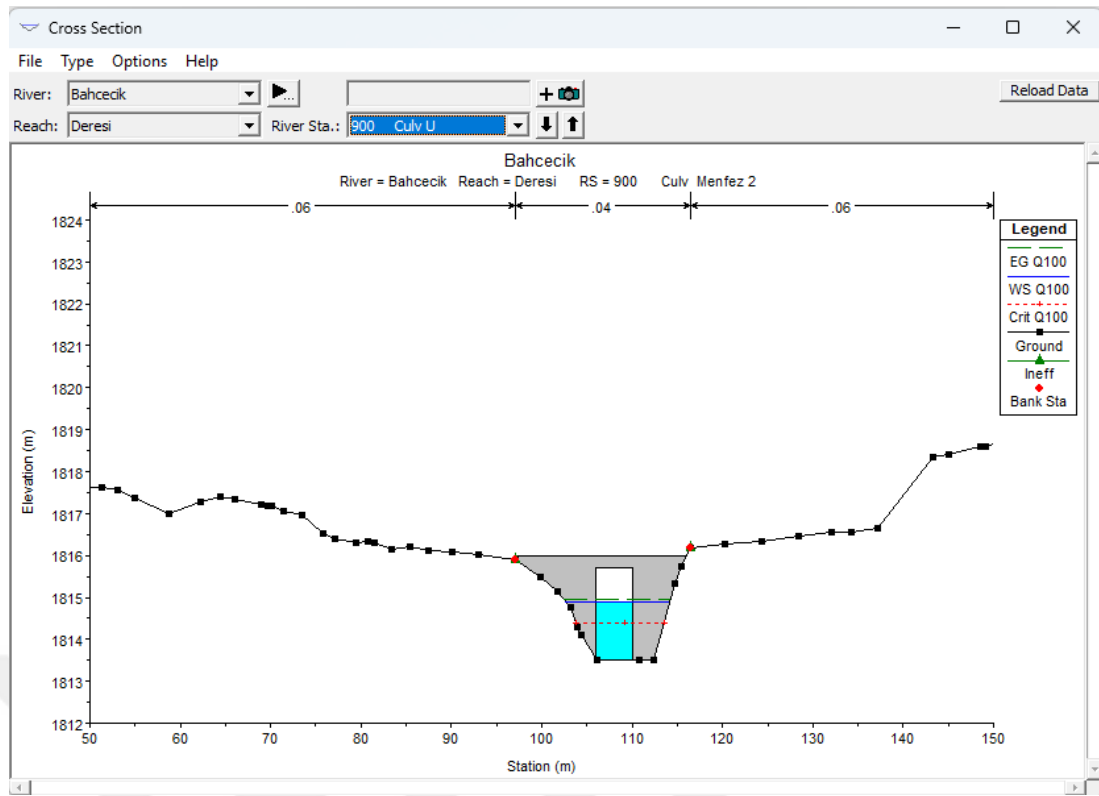


(a)

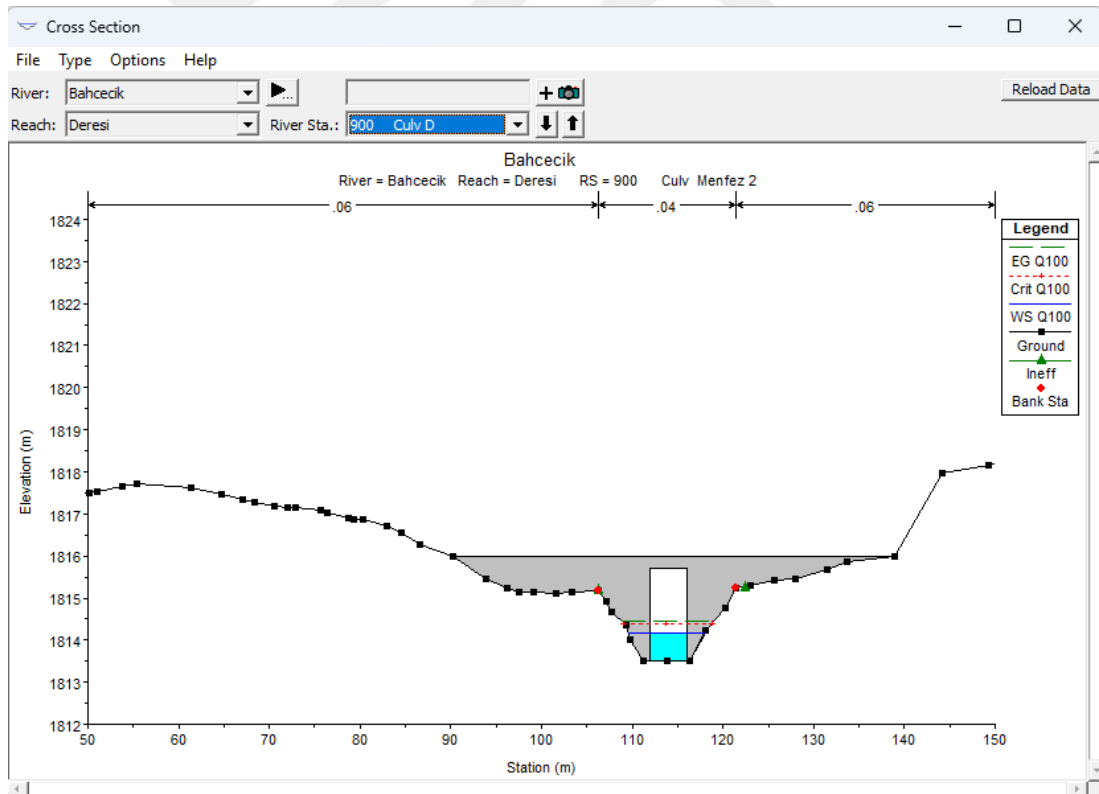


(b)

(a)-(b) Q_{100} debisi, 1 nolu menfez giriş ve çıkış kesitlerinde oluşan akım profilleri

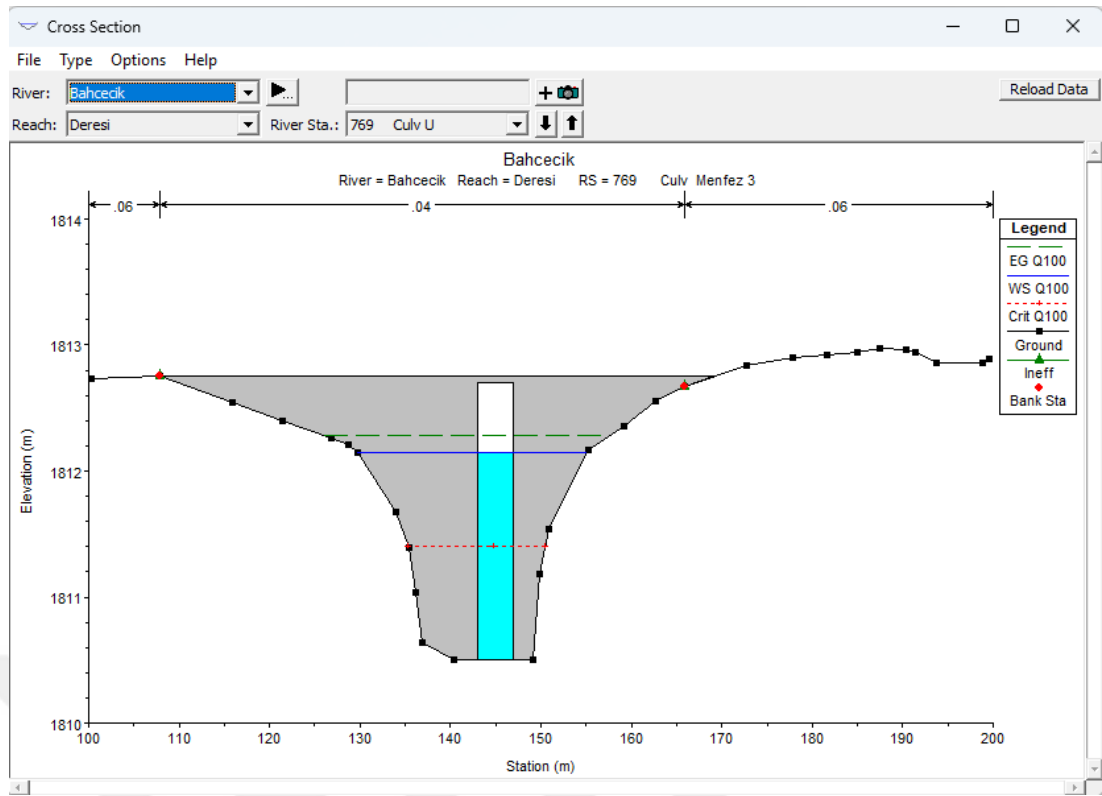


(c)

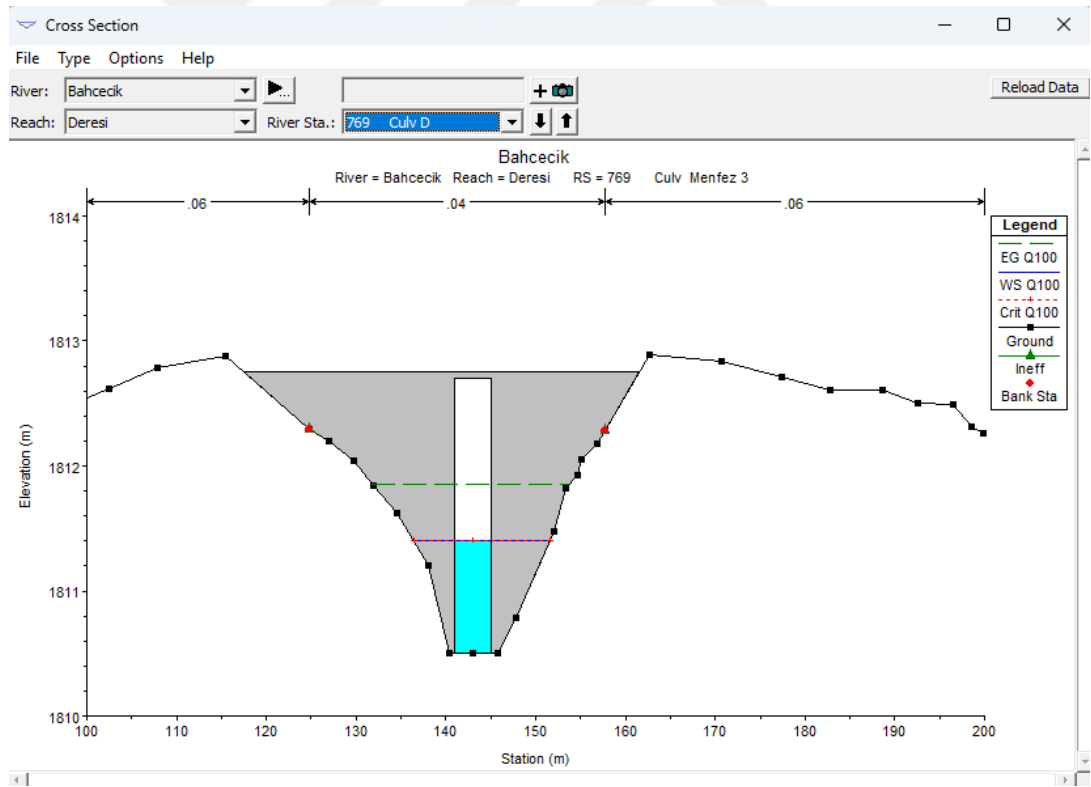


(d)

(c)-(d) Q_{100} debisi, 2 nolu menfez giriş ve çıkış kesitlerinde oluşan akım profilleri

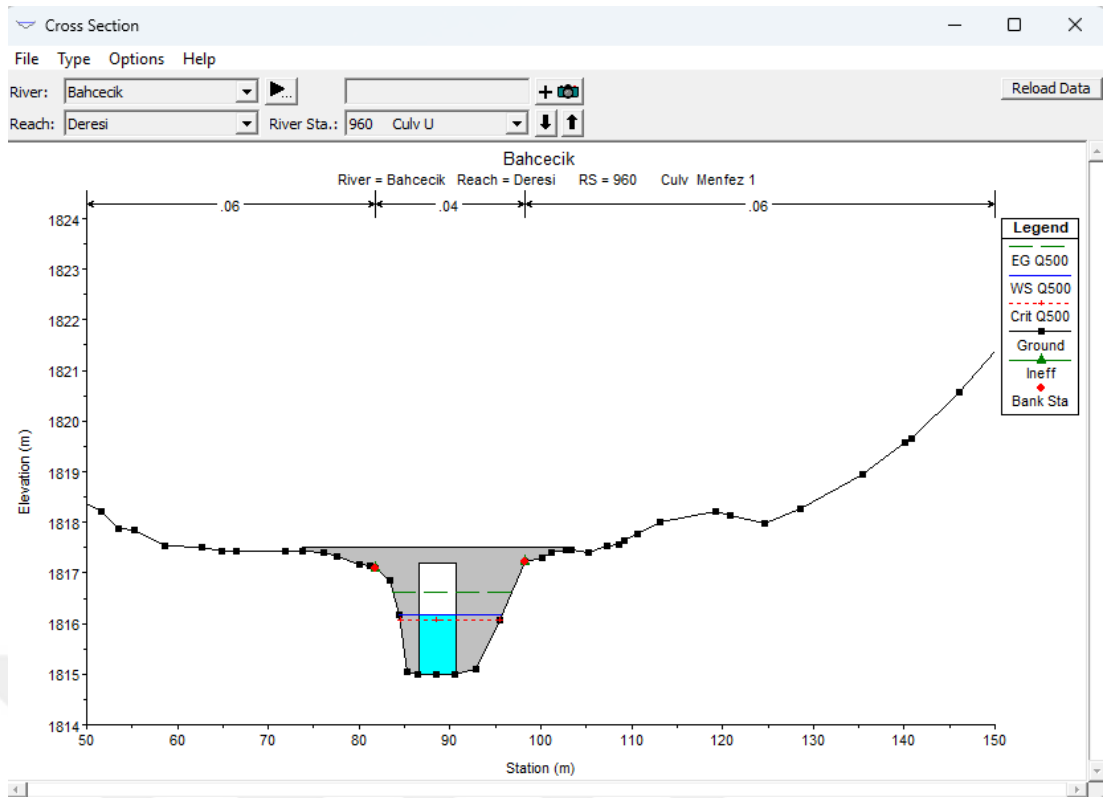


(e)

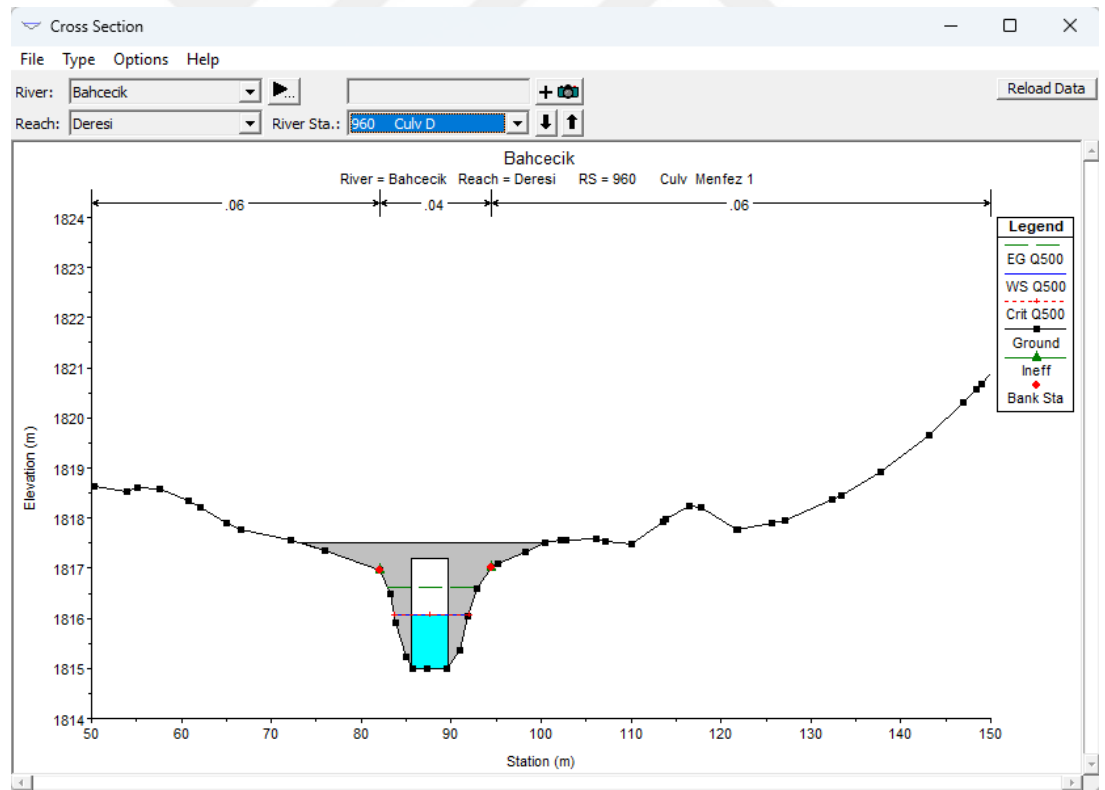


(f)

(e)-(f) Q_{100} debisi, 3 nolu menfez giriş ve ıkış kesitlerinde oluşan akım profilleri

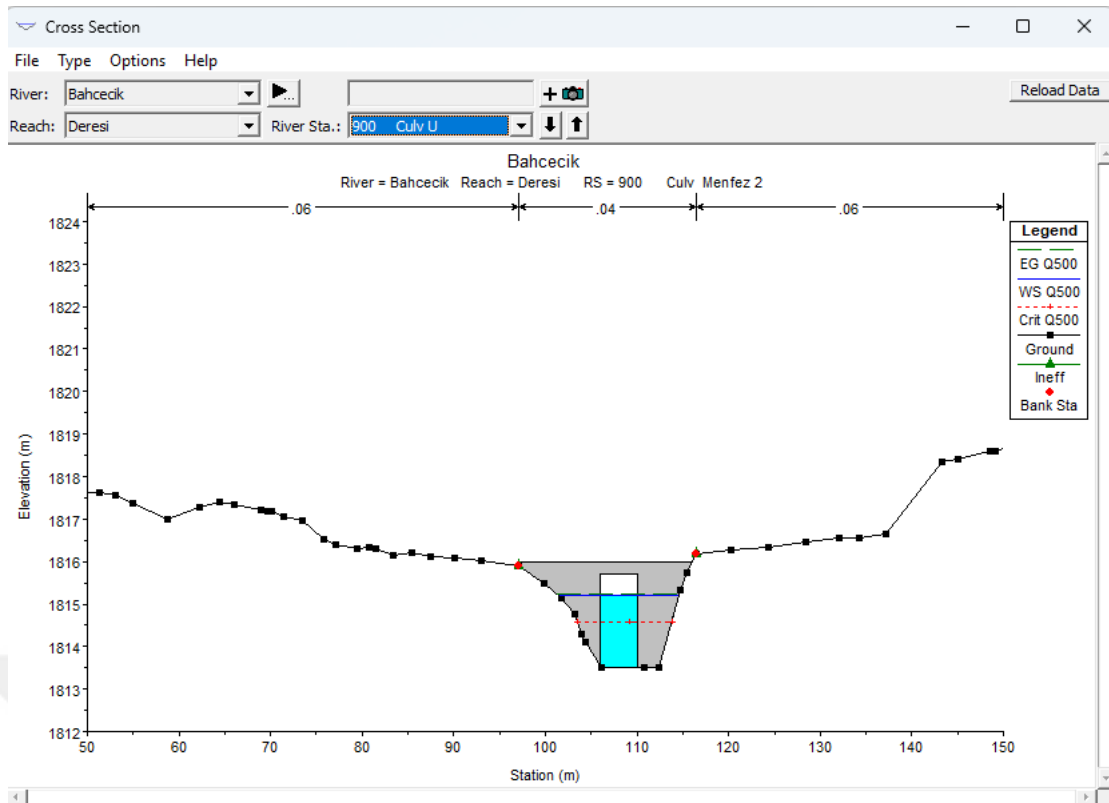


(a)

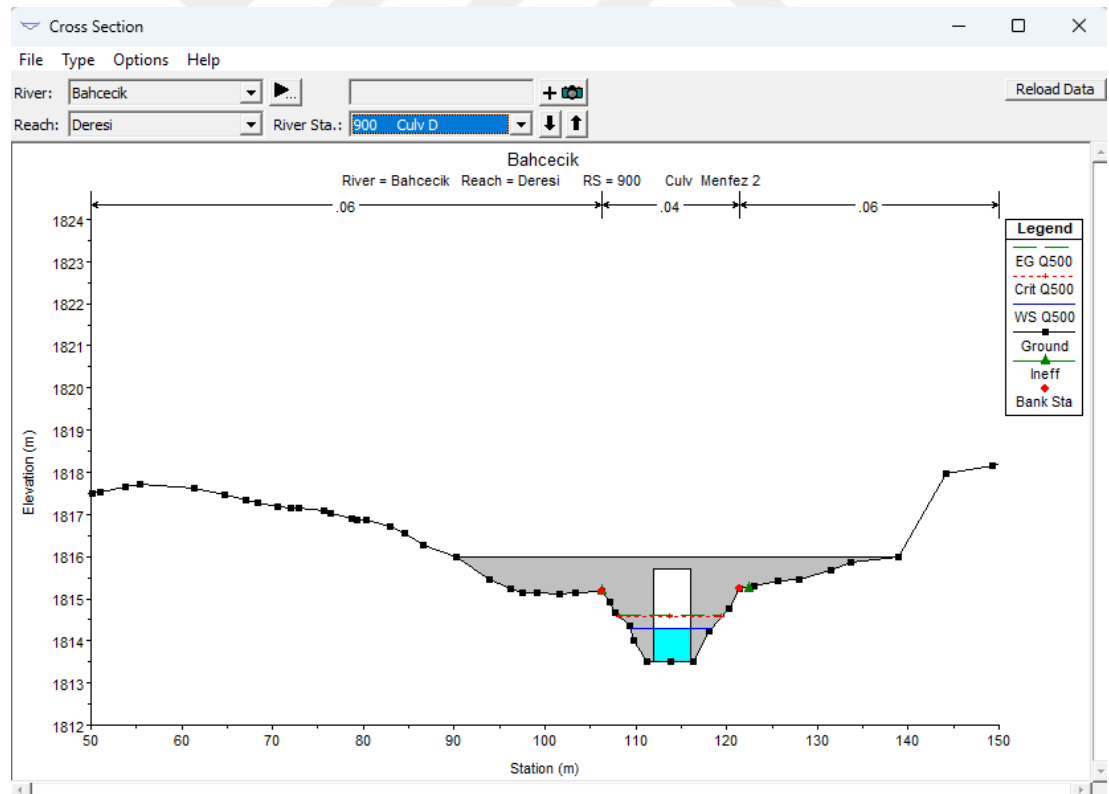


(b)

(a)-(b) Q_{500} debisi, 1 nolu menfez giriş ve çıkış kesitlerinde oluşan akım profilleri

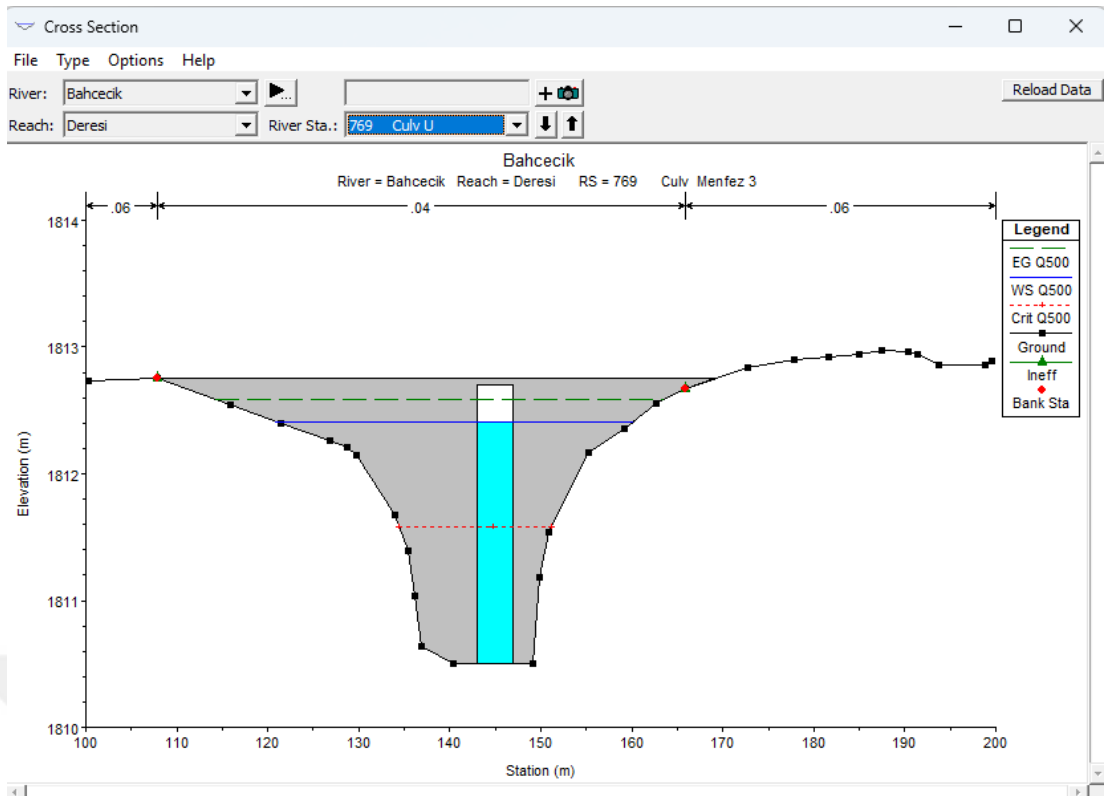


(c)

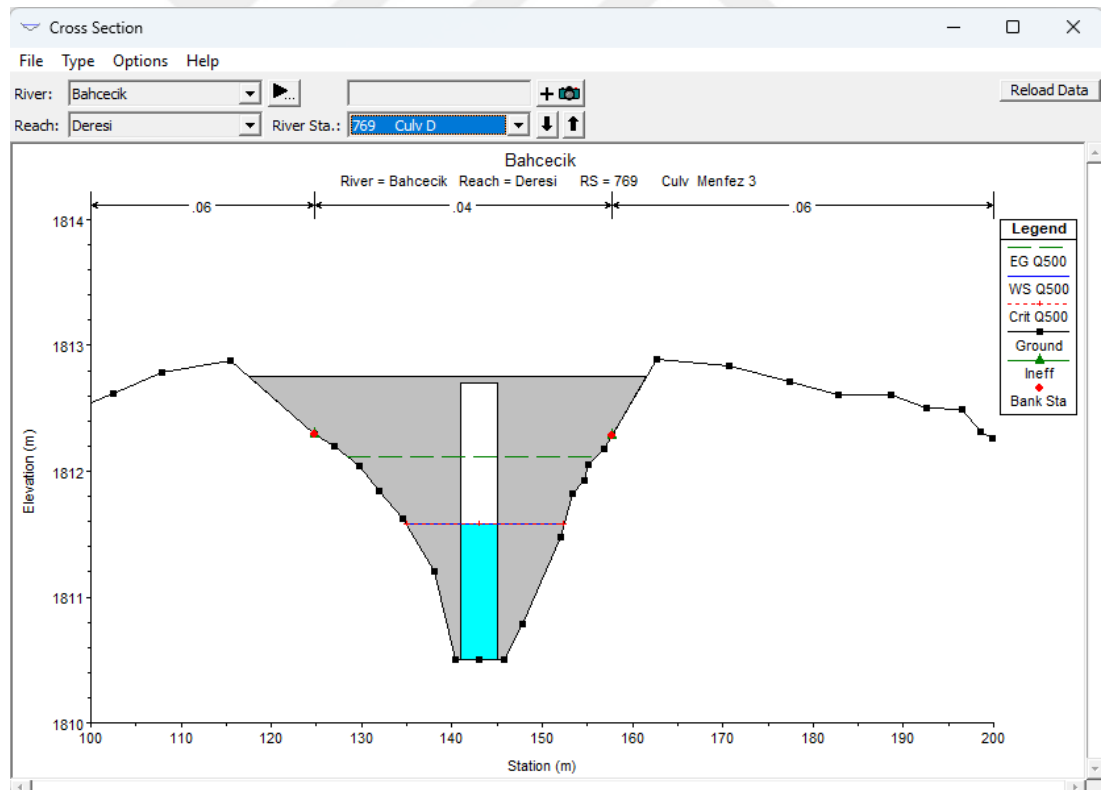


(d)

(c)-(d) Q_{500} debisi, 1 nolu menfez giriş ve çıkış kesitlerinde oluşan akım profilleri



(e)



(f)

(e)-(f) Q_{500} debisi, 3 nolu menfez giriş ve çıkış kesitlerinde oluşan akım profilleri

Ek 2. Fotoğraflar



Şekil 76. Bahçecik deresi 760 (3. Menfez) nolu kesit görünümü



Şekil 77. Bahçecik deresi 760 (3. Menfez) nolu kesit görünümü



Şekil 78. Bahçecik deresi 760 (3. Menfez) nolu kesit menba görünümü



Şekil. 79. Bahçecik deresi 760 (3. Menfez) nolu kesit mansab görünümü



Şekil 80. Bahçecik deresi 906 (2. Menfez) nolu kesit görünümü



Şekil 81. Bahçecik deresi 1054 nolu kesit menba görünümü



Şekil 82. Bahçecik deresi 1054 nolu kesit mansab görünümü



Şekil 83. Bahçecik deresi 997 nolu kesit görünümü



Şekil 84. Bahçecik deresi 1116 nolu kesit görünümü



Şekil 85. Bahçecik deresi 660 nolu kesit görünümü



Şekil 86. Bahçecik deresi 695 nolu kesit görünümü



Şekil 87. Bahçecik deresi 515 nolu kesit görünümü



Şekil 88. Bahçecik deresi 124 nolu kesit görünümü



Şekil 89. Bahçecik deresi 7 nolu kesit görünümü



Şekil 90. Bahçecik deresi 40 nolu kesit görünümü



Şekil 91. Bahçecik deresi 11 nolu kesit görünümü



Şekil 92. Bahçecik deresi 906 (2. Menfez) nolu kesit menba görünümü



Şekil 93. Bahçecik deresi 426 nolu kesit görünümü



Şekil 94. Bahçecik deresi 379 nolu kesit görünümü



Şekil 95. Bahçecik deresi 695 nolu kesit görünümü



Şekil 96. Bahçecik deresi 660 nolu kesit görünümü



Şekil 97. Bahçecik deresi 808 nolu kesit görünümü



Şekil 98. Bahçecik deresi 695 nolu kesit görünümü



Şekil 99. Bahçecik deresi 957 (1. Menfez) nolu kesit görünümü



Şekil 100. Bahçecik deresi 861 nolu kesit görünümü



Şekil 101. Bahçecik deresi 957 (1. Menfez) nolu kesit menba görünümü



Şekil 102. Bahçecik deresi 957 (1. Menfez) nolu kesit mansab görünümü



Şekil 103. Bahçecik deresi 1054 nolu kesit görünümü



Şekil 104. Bahçecik deresi 1054 nolu kesit görünümü



Şekil 105. Bahçecik deresi 957 (1. Menfez) nolu kesit önden görünümü



Şekil 106. Bahçecik deresi 906 (2. Menfez) nolu kesit görünümü



Şekil 107. Bahçecik deresi 906 (2. Menfez) nolu kesit mansab görünümü



Şekil 108. Bahçecik deresi 906 (2. Menfez) nolu kesit menba görünümü



Şekil 109. Bahçecik deresi 906 (2. Menfez) nolu kesit görünümü

ÖZGEÇMİŞ

Şafak MUSLU, 2003 yılında Gümüşhane Ali Fuat Kadirbeyoğlu Anadolu Lisesi'nden, 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Kimya bölümünden, 2020 yılında Gümüşhane Üniversitesi'nin Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Orta düzeyde İngilizce bilmektedir.

2021 yılında Gümüşhane İl Özel İdaresinde 2 sene İnşaat Mühendisi olarak görev yaptıktan sonra 2024 yılından itibaren Gümüşhane Gençlik ve Spor İl Müdürlüğünde memur olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

