GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

ÇANKIRI TATLIÇAY DERESİ'NİN TAŞKIN ANALİZİ

Burak ÇOLAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2019

Burak ÇOLAK tarafından hazırlanan "ÇANKIRI TATLIÇAY DERESİ'NİN TAŞKIN ANALİZİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Nihat EROĞLU

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi ……..

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Doç. Dr. Yakup DARAMA

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Atılım Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Müsteyde KOÇYİĞİT

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi ...……

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 24/07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

……..

Burak ÇOLAK

24/07/2019

ÇANKIRI TATLIÇAY DERESİ'NİN TAŞKIN ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Burak ÇOLAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Bu tez kapsamında Arc-GIS programı kullanılarak, çalışma alanı olarak belirlenen Çankırı ilinin merkezinden geçen Tatlıçay Deresi'nin havza parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen havza parametrelerine uygun olarak seçilen taşkın hesaplama yöntemleri ile (DSİ Sentetik Yöntemi ve Bölgesel Taşkın Frekans Analizi) çeşitli tekerrürdeki taşkın debileri hesaplanmıştır. Taşkın analizleri için oluşturulan arazi modeli, 1/1000 ölçekteki hâlihazır harita Civil 3D programında işlenerek 3 boyutlu (3D) olarak oluşturulmuş, bu model yine Civil 3D vasıtası ile hidrolik analizlerin yapılacağı HEC-RAS programına aktarılmıştır. HEC-RAS programının son versiyonunda, yaygın olarak kullanılan bir boyutlu (1D) akıma ek olarak, son yıllarda gelişen teknoloji ve yüksek kaliteli veriye erişimin kolaylaşması ile iki boyutlu (2D) akım analizlerini de yapabilmektedir. Bu çalışma kapsamında Tatlıçay Deresi HEC-RAS programında 1D ve birleştirilmiş bir ve iki boyutlu (1D-2D) model olmak üzere iki farklı şekilde analiz edilmiştir. 1D modelde dere ve taşkın yatağı bir boyutlu,1D-2D modelde ise dere yatağı bir boyutlu, taşkın yatakları iki boyutlu olarak analiz edilmektedir. 1D, 2D ve 1D-2D modellerinin veri gereksinimleri, kurulum aşamaları ve modellerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak aradaki farklar ortaya konmuştur. Bu çalışmada ayrıca Tatlıçay Deresi üzerinde bulunan 8 adet köprü senaryolar oluşturularak kademeli olarak düzenlenmiş ve köprülerin taşkın anındaki etkisi irdelenmiştir. Sonuç olarak 1D model yatağın taşkın kapasitesinin bulunmasında yeterli olarak değerlendirilmiş, ancak ana yatak dışında yayılım alanlarının belirlenmesinde iki boyutlu (2D) analizin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuca ilave olarak, köprülerin taşkın anındaki olumsuz etkisi 1D analizde yeterli olarak gözlemlenemezken, köprülerin düzenlenmesiyle birlikte 1D-2D modelde elde edilen yayılım alanlarında 1D modele göre ciddi miktarda azalmalar belirlenmiştir.

Bilim Kodu	:	91122
Anahtar Kelimeler	:	Taşkın, Arc-GIS, Hidroloji, HEC-RAS, 1D Modelleme, Birleştirilmiş 1D-2D Modelleme
Sayfa Adedi	:	198
Danışman	:	Doç. Dr. Nihat EROĞLU

FLOOD ANALYSIS IN ÇANKIRI TATLIÇAY STREAM

(M. Sc. Thesis)

Burak ÇOLAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

In this study, basin parameters of Tatlıçay Stream passing through the city center of Çankırı province is determined using the software programme Arc-GIS. Flood discharges with various reoccurrences are calculated by DSİ Synthetic Method and Regional Flood Frequency Analysis. The land model with a scale of 1/1000 is prepared using Civil 3D and transferred into HEC-RAS in order to calculate hydraulic analysis. With the latest version of HEC-RAS, 2D flood analysis can be done in addition to 1D flood analysis. Tatlıçay Stream is analyzed in two different ways such as 1D and united 1D and 2D models together using HEC-RAS. Stream and stream bed is analyzed in 1D model. Stream bed is modelled as one dimensional and floodplain is modelled as two dimensional in united 1D and 2D models. The differences between 1D, 2D and united 1D-2D models are compared according to the data requirements, installation stages and the results of the analysis. 8 bridges built on Tatlıçay Stream are also analyzed and their effect on the flood is discussed. As a result 1D model is considered to be sufficient to determine the flood capacity of the stream bed but it is concluded that 2D model is required to determine the propagation areas outside the main stream bed. In addition to this, the negative impact of bridges while flood occuring cannot be observed sufficiently in 1D analysis, with the arrangement of the bridges, significant reductions in the propagation areas obtained according to 1D model in the combined 1D-2D model were determined.

Science Code	:	91122
Key Words	:	Flood, Arc-GIS, Hydrology, HEC-RAS, 1D Modelling, Combined 1D-2D Modelling
Page Number	:	198
Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. Nihat EROĞLU

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aşamasında çok kıymetli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanı Hocam Doç. Dr. Nihat EROĞLU'na, çalışmalarımda her türlü bilgi ve birikiminden faydalandığım kıymetli dostum Dr. Mümtaz AK'a, bana sağladıkları katkılar ve kolaylıklardan dolayı çalıştığım işyerim Netsu Grup Mühendislik çalışanları ve patronum İnş. Müh. Onur ÇÖREKÇİ'ye, tez yazım çalışmalarında katkılarını sunan kıymetli dostum Teknik Uzman İnş. Yük. Müh. Kaan GÖLLÜ'ye, analiz çalışmalarını yaptığım esnada program ile ilgili problemlerimi çözmem için her türlü yardımda bulunan İnş. Müh. Selçuk MERCAN'a, verilerin temininde yardımcı olan Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'ne, ayrıca çalışmalarım esnasında bana her türlü sabrı gösteren eşim Şehri ÇOLAK, kızım Asel ÇOLAK, babam, annem ve kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……. v

ABSTRACT……... vi

TEŞEKKÜR……... vii

İÇİNDEKİLER…….. viii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ……..... xii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ……. xvi

RESİMLERİN LİSTESİ…… xxv

HARİTALARIN LİSTESİ……. xxvi

SİMGELER VE KISALTMALAR…… xxvii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI 3

3. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI..... 11

3.1. Çalışma Alanında (Dere Yatağında) Tespit Edilen Problemler..... 14

4. HAVZA FİZYOGRAFİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ 21

4.1. Sayısal Yükseklik Modelinin (SYM) Elde Edilmesi 21

4.2. SYM Boşluklarının Doldurulması 22

4.3. Akışın Yönünü Belirleme 22

4.4. Kümülatif Akımın Hesaplanması..... 23

4.5. Havza Çıkış Noktasının ve Havza Alanının Belirlenmesi 24

4.6. Havza Tabakasının Çıkarılması 26

4.7. Havza Alanı..... 27

4.8. Havza Ağırlık Merkezi Koordinatlarının Belirlenmesi..... 28

4.9. Akarsu Ana Kol Uzunluğu..... 29

Sayfa

4.10.Eğim..... 30

5. TAŞKIN DEBİLERİNİN BELİRLENMESİ……... 31

5.1. Taşkın Hesaplama Yönteminin Belirlenmesi..... 31

5.2. Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi..... 33

5.3. Havza Alanının Belirlenmesi..... 33

5.4. Havza Yağış – Akış Eğri Numarasının Tayini..... 35

5.5. Havzaya Ait Ana Kol için Harmonik Eğimin Belirlenmesi..... 37

5.6. DSİ Sentetik Yöntem ile Taşkın Debisi Hesabı..... 39

5.6.1. Thissen Poligonu ile meteoroloji istasyonlarının havzadaki temsil oranının tespit edilmesi..... 48

5.6.2. Plüviyograf katsayıları kullanılarak 24 saatlik yağışın 2, 4, 6, 8, 12, 18 saat yağış değerlerine çevrilmesi..... 50

5.6.3. Yağışın zamansal dağılım katsayılarının belirlenmesi..... 50

5.6.4. Yağışın alansal dağılım katsayılarının belirlenmesi..... 52

5.6.5. Maksimize faktörünün uygulanması..... 53

5.6.6. Çeşitli tekerrürlerde taşkın debi değerlerinin elde edilmesi..... 53

5.7. Bölgesel Taşkın Frekans Analizi (BTFA) Yöntemi ile Taşkın Hesabının Yapılması..... 63

5.8. DSİ Sentetik Yöntemi ve BTFA ile Elde Edilen Taşkın Debilerinin Karşılaştırılması ve Hidrolik Analiz İçin Taşkın Debilerinin Belirlenmesi..... 67

6. 1 BOYUTLU (1D) VE 2 BOYUTLU (2D) HİDROLİK MODELLEME..... 73

6.1. Teorik Altyapı..... 73

6.1.1. Bir boyutlu (1D) kararlı (steady) akım..... 73

6.1.2. Bir boyutlu (1D) kararsız akım..... 77

6.1.3. İki boyutlu (2D) kararsız akım..... 78

6.1.4. Modelleme sadeleştirmesi..... 79

Sayfa

6.1.5. Çözüm Teknikleri 81
6.2. HEC-RAS Programı 82
6.2.1. 1D HEC-RAS modellemesi 82
6.2.2. Geometrik veri 83
6.2.3. 2D HEC-RAS Modellemesi 87
6.2.4. 1D-2D HEC-RAS Birleşiminin Modellemesi 90
7. MODELLEME ve SONUÇLAR 93
7.1. Bir Boyutlu (1D) Model Oluşturulması 93
7.1.1. Geometri verileri 93
7.1.2. Köprülerin modellenmesi 95
7.1.3. Pürüzlülük katsayısının belirlenmesi 99
7.1.4. Sınır şartlarının belirlenmesi ve kararlı akım değerlerinin girilmesi 100
7.2. 1D Model İçin Elde Edilen Analiz Sonuçları 100
7.2.1. 25 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{25}) için 1D analiz sonuçları 101
7.2.2. 50 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{50}) için 1D analiz sonuçları 108
7.2.3. 100 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{100}) için 1D analiz sonuçları 116
7.2.4. 500 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{500}) için 1D analiz sonuçları 121
7.3. 2D Model Oluşturulması 129
7.3.1. 2D geometrisinin ayarlanması 129
7.3.2. Arazi kullanımı sınıflandırılması 131
7.4. 1D-2D Birleştirilmiş Modelinin Oluşturulması 134
7.4.1. 1D-2D birleştirilmiş model geometrisinin ayarlanması 134
7.4.2. Köprülerin modellenmesi 138
7.4.3. Sınır şartlarının belirlenmesi 138

Sayfa

7.5. 1D-2D Birleştirilmiş Model Sonuçları 138

7.5.1. 25 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{25}) için 1D-2D analiz sonuçları 139

7.5.2. 50 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{50}) için 1D-2D analiz sonuçları 147

7.5.3. 100 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{100}) için 1D-2D analiz sonuçları..... 154

7.5.4. 500 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{500}) için 1D-2D analiz sonuçları..... 164

7.6. Senaryolara Göre Analizi Yapılan HEC-RAS 1D ve 1D-2D Model Sonuçlarının Karşılaştırılması 173

7.7. Model Kalibrasyonu 176

8. SONUÇLAR 179

KAYNAKLAR……. 185

EKLER……. 189

EK-1. Köprü Röleveleri……..…..……..... 190

ÖZGEÇMİŞ……. 198

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. 2000 – 2011 Yılları Arasında Avrupa Ülkelerinde Kayıt Altına Alınmış Taşkın Zararları 4

Çizelge 2.2. Ülkemizde 1975-2015 yılları arasında meydana gelen taşkınlar ve etkileri 6

Çizelge 5.1. Sentetik yöntemlerin uygun sonuçlar verdiği durumlar 33

Çizelge 5.2. Yağış akış eğri numaraları 36

Çizelge 5.3. Tatlıçay havzası için belirlenen yağış-eğri numarasının hesaplanması 37

Çizelge 5.4. Tatlıçay Deresi havzası için harmonik eğim hesabı 39

Çizelge 5.5. DSİ Sentetik Yönteminde kullanılan genel değerler 40

Çizelge 5.6. DSİ Sentetik Yöntemi boyutsuz birim hidrograf değerleri 40

Çizelge 5.7. DSİ Sentetik Yönteminde birim hidrografın tespit edilmesi için hesap edilen değerler 43

Çizelge 5.8. Havza için tespit edilen BH_2 birim hidrografı 44

Çizelge 5.9. Havza için tespit edilen BH_4 birim hidrografı 46

Çizelge 5.10. Havza için tespit edilen BH_6 Birim Hidrografı 47

Çizelge 5.11. Meteoroloji istasyonlarının havzadaki temsil oranları 49

Çizelge 5.12. Meteoroloji istasyonları yüksek tekerrürlü yağış değerleri 49

Çizelge 5.13. Çankırı MGM İstasyonu plüviyograf katsayıları 50

Çizelge 5.14. Proje alanı için elde edilen yağışın zamansal dağılımı katsayıları 52

Çizelge 5.15. Proje alanı (A=672,90 km^2) için elde edilen yağışın alansal dağılımı katsayıları 53

Çizelge 5.16. Çeşitli tekerrürlere göre yağış miktarları 53

Çizelge 5.17. 100 yıl tekerrürlü yağış miktarlarının zamansal dağılımı ve akışa geçen miktarlar 56

Çizelge 5.18. Çeşitli yağış sürelerine karşılık gelen taşkın debileri 57

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.19. Çeşitli yağış sürelerine karşılık gelen taşkın debileri (m^3/s)..... 57

Çizelge 5.20. DSİ Sentetik Yöntemi ile hesaplanan çeşitli tekerrürlere karşı gelen maksimum taşkın debileri..... 58

Çizelge 5.21. Baz akım eklemiş haliyle elde edile taşkın hidrografına ait değerler..... 59

Çizelge 5.22. Tatlıçay Deresi havzasının civarındaki akım gözlem istasyonları (AGİ) ve bilgileri..... 64

Çizelge 5.23. Bölgede Bulunan AGİ'lere ait çeşitli tekerrürdeki yıllara göre taşkın debi değerleri (m^3/s)..... 65

Çizelge 5.24. Bölgede bulunan AGİ'lere ait taşkın debilerinin 2 yıllık taşkın debisine (Q_2) oranları ve bunların ortalama değerleri..... 66

Çizelge 5.25. Tatlıçay Deresi havza çıkış noktası için BTFA analizi ile elde edilen taşkın debileri (m^3/s)..... 67

Çizelge 5.26. DSİ Sentetik ve BTFA yöntemleriyle elde edilen taşkın debileri..... 68

Çizelge 5.27. BTFA analizinde elde edilen 100 yıl tekerrürdeki taşkın debisi için hidrografın elde edilmesi..... 69

Çizelge 7.1. 1D ve 1D-2D olarak analiz edilecek olan 32 farklı model..... 101

Çizelge 7.2. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{25} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar 107

Çizelge 7.3. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{25} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları..... 107

Çizelge 7.4. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{50} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar 115

Çizelge 7.5. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{50} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları..... 115

Çizelge 7.6. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{100} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar..... 121

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 7.7. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{100} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları 121

Çizelge 7.8. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{500} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar 127

Çizelge 7.9. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{500} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları 127

Çizelge 7.10. Corine 2012 arazi sınıflandırılması verisine göre Tatlıçay Deresi için oluşturulan arazi yükseklik modelindeki alanları temsil eden pürüzlülük katsayıları 132

Çizelge 7.11. Seçilen hücre boyutlarına göre elde edilen sonuçlar 135

Çizelge 7.12. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{25} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar 145

Çizelge 7.13. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{25} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları 145

Çizelge 7.14. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{50} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar 153

Çizelge 7.15. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{50} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları 153

Çizelge 7.16. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{100} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar 161

Çizelge 7.17. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{100} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları 161

Çizelge 7.18. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{500} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar 169

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 7.19. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{500} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları..... 169

Çizelge 7.20. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesi sonucunda Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar..... 174

Çizelge 7.21. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesi sonucunda Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları..... 174

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Çankırı ilinin Türkiye'deki konumu 11

Şekil 3.2. Tatlıçay Deresi'nin çalışmaya konu olan bölümü (Google Earth) 12

Şekil 4.1. Çankırı bölgesini içine alan sayısal yükseklik modeli 21

Şekil 4.2. SYM'de oluşması muhtemel boşluk 22

Şekil 4.3. Akım yönlerini temsil eden numaralar 23

Şekil 4.4. Çankırı bölgesi akım yönlerini gösterir harita 23

Şekil 4.5. Çankırı şehir merkezini de kapsayan akarsu ağı haritası 24

Şekil 4.6. Havza çıkış noktası ve akarsu ağı 25

Şekil 4.7. Tatlıçay Deresi havza sınırları 26

Şekil 4.8. Tatlıçay Deresi havza sınırları içerisinde kalan SYM görüntüsü 27

Şekil 4.9. Havza alanının vektör formatındaki poligonu 27

Şekil 4.10. *Polygon* formatındaki havza alanını tabakasının özellikler tablosu 28

Şekil 4.11. Havza alanı ve ağırlık merkezinin görüntüsü 28

Şekil 4.12. Polygon formatındaki havza alanı ağırlık merkezi koordinatlarını gösterir özellikler tablosu 29

Şekil 4.13. Havza akarsu ağının en uzun kolu 29

Şekil 4.14. Slope komutu ile elde edilmiş havzaya ait eğim haritası 30

Şekil 5.1. Tatlıçay Deresi'nin Acıçay Deresi ile birleştiği noktadaki havza sınırı 34

Şekil 5.2. Havzaya ait L ve Lc boyları 34

Şekil 5.3. Tatlıçay Deresi havzasının ve havza çıkış noktasının uydu görüntüsü 37

Şekil 5.4. Arc-GIS programında Tatlıçay Deresi'nin ana kolunun harmonik eğim hesabı için parçalara ayrılması 38

Şekil 5.5. DSİ Sentetik Yöntemi boyutsuz birim hidrograf grafiği 41

Şekil 5.6. Havza alanı için belirlenen DSİ Sentetik Metod 2 saatlik birim hidrografı .. 45

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.7.BH_2, BH_4 ve BH_6 Birim Hidrografları 48

Şekil 5.8. Havza alanı için belirlenen thissen poligonu 48

Şekil 5.9. Türkiye haritası üzerinde yağışın zamansal dağılım gösterimi 51

Şekil 5.10. Bölgelere göre yağışın zamansal dağılımı grafiği (Günel, 2005)..... 51

Şekil 5.11. Çeşitli yağış sürelerine karşılık gelen yağış alan dağılımı grafiği..... 52

Şekil 5.12. 100 yıl tekerrüründe 12 saatlik yağışa karşılık havza çıkışında elde edilen hidrograf 55

Şekil 5.13. Tatlıçay deresi havza çıkışı için DSİ Sentetik Metodu ile elde edilen hidrograflar..... 58

Şekil 5.14. Tatlıçay deresi havza çıkışı için DSİ Sentetik Metodu ile elde edilen hidrograflar..... 62

Şekil 5.15. Tatlıçay havzasının civarındaki akım gözlem istasyonları 64

Şekil 5.16. Tatlıçay Deresi havza çıkışında 2 yıllık taşkın debisinin (Q_2) BTFA analizi ile belirlenmesi 66

Şekil 5.17. DSİ ve BTFA Yöntemleri ile elde edilen 100 yıl tekerrürdeki taşkın debileri 71

Şekil 6.1. Enerji eşitliğinde kullanılan semboller 73

Şekil 6.2. HEC-RAS programında alt bölümlere ayrılmış kesitin şekli 75

Şekil 6.3. Tipik bir HEC-RAS enkesit geometrisi..... 83

Şekil 6.4. Örnek bir enkesit özellikler tablosu 84

Şekil 6.5. Taşkın bendi (levee) olmayan bir kesitteki akış durumu..... 85

Şekil 6.6. Taşkın bendi eklenmiş şekliyle kesitteki akış durumu 86

Şekil 6.7. Bir hesaplama ağının/şebekesinin gösterimi 88

Şekil 6.8. Yanal yapı kullanılarak 1D-2D bağlantısının modellendiği Tatlıçay Deresi'ne ait gösterim 91

Şekil 7.1. HEC-RAS 1D modelinin genel plan görüntüsü..... 94

Şekil 7.2. Civil 3D programında oluşturulmuş arazi modeli, aks hattı ve en kesitler ... 95

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.3. Tatlıçay Deresi üzerinde bulunan köprüler..... 96

Şekil 7.4. Köprü-1 boyutlarının şematik plan ve kesit görüntüsü..... 97

Şekil 7.5. Köprü rölevelerinin HEC-RAS'ta tanımlanması..... 98

Şekil 7.6. Köprü-3'ün HEC-RAS programındaki kesit modeli görüntüsü..... 98

Şekil 7.7. Manning pürüzlülük katsayılarının temsil ettiği kısımları gösteren Tatlıçay Deresi'ne ait bir enkesit örneği..... 99

Şekil 7.8. HEC-RAS 1D'de 25 yıl tekerrürlü debisinin oluşturduğu taşmalar..... 102

Şekil 7.9. Q_{25} taşkın debisi için Merkez Mah. üst kısmındaki kırsal bölgede taşma gözlemlenen kanal kesiti (Km:3+690.00)..... 102

Şekil 7.10. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{25})..... 103

Şekil 7.11. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{25} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{25})..... 103

Şekil 7.12. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{25})..... 104

Şekil 7.13. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{25} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{25})..... 104

Şekil 7.14. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{25})..... 105

Şekil 7.15. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, köprü olan kısımlarda Q_{25} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{25})..... 105

Şekil 7.16. HEC-RAS 1D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{25})..... 106

Şekil 7.17. HEC-RAS 1D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{25} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{25})..... 106

Şekil 7.18. HEC-RAS 1D'de 50 yıl tekerrürlü debinin oluşturduğu taşmalar..... 109

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.19. Ana kanalda taşma yaşanan kesitlerden bir örnek 110

Şekil 7.20. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{50}) 111

Şekil 7.21. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{50} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{50}) 111

Şekil 7.22. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{50}) 112

Şekil 7.23. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{50} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{50}) 112

Şekil 7.24. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{50}) 113

Şekil 7.25. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, köprü olan kısımlarda Q_{50} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{50}) 113

Şekil 7.26. HEC-RAS 1D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{50}) 114

Şekil 7.27. HEC-RAS 1D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{50} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{50}) 114

Şekil 7.28. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{100}) 117

Şekil 7.29. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{100} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{100}) 117

Şekil 7.30. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{100}) 118

Şekil 7.31. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{100} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{100}) 118

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.32. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{100})..... 119

Şekil 7.33. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, köprü olan kısımlarda Q_{100} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{100}) 119

Şekil 7.34. HEC-RAS 1D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{100})..... 120

Şekil 7.35. HEC-RAS 1D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{100} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{100}) 120

Şekil 7.36. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{500})..... 123

Şekil 7.37. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{500} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{500})..... 123

Şekil 7.38. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{500})..... 124

Şekil 7.39. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{500} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{500}) 124

Şekil 7.40. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{500})..... 125

Şekil 7.41. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, köprü olan kısımlarda Q_{500} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{500}) 125

Şekil 7.42. HEC-RAS 1D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{500})..... 126

Şekil 7.43. HEC-RAS 1D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{500} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{500}) 126

Şekil 7.44. 1D Modelinde elde edilen taşkın yayılım alanları..... 128

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.45. Polygon formatındaki yapı tabakasının Arc-GIS programında oluşturulması 130

Şekil 7.46. Arazi tabakası üzerine yapıların işlenmesiyle oluşturulmuş arazi modelinin RAS Mapper menüsündeki görüntüsü 131

Şekil 7.47. Corine 2012 arazi sınıflandırılması verisine göre Tatlıçay Deresi için oluşturulan arazi yükseklik modelini temsil eden pürüzlülük alanları 133

Şekil 7.48. HEC-RAS 1D-2D modellemesi için belirlenmiş Tatlıçay Deresi'nin sağ ve sol kısmındaki 2D alanlar 134

Şekil 7.49. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde oluşturulmuş ağ yapısı 136

Şekil 7.50. HEC-RAS 1D-2D için oluşturulmuş yanal yapının profili 137

Şekil 7.51. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde kullanılmış yanal yapıların yerleşimi . 137

Şekil 7.52. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde kullanılmış çözüm parametrelerinin kararsız (unsteady) akım analiz penceresindeki görüntüsü 139

Şekil 7.53. HEC-RAS 1D-2D'de 25 yıl tekerrürlü debisinin oluşturduğu taşmalar 140

Şekil 7.54. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{25}) 141

Şekil 7.55. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{25} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{25}) 141

Şekil 7.56. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{25}) 142

Şekil 7.57. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{25} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{25}) 142

Şekil 7.58. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{25}) 143

Şekil 7.59. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{25} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{25}) 143

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.60. HEC-RAS 1D-2D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{25}) 144

Şekil 7.61. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{25} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{25}) 144

Şekil 7.62. 1D ve 1D-2D analizde Q_{25} debisi için taşkın yayılım alanları (Senaryo-1) 146

Şekil 7.63. HEC-RAS 1D-2D'de 50 yıl tekerrürlü debisinin oluşturduğu taşmalar..... 147

Şekil 7.64. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{50}) 149

Şekil 7.65. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{50} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{50}) 149

Şekil 7.66. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{50}) 150

Şekil 7.67. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{50} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo2-Q_{50}) 150

Şekil 7.68. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{50}) 151

Şekil 7.69. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{50} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{50}) 151

Şekil 7.70. HEC-RAS 1D-2D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{50}) 152

Şekil 7.71. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{50} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{50}) 152

Şekil 7.72. 1D ve 1D-2D analizde Q_{50} debisi için taşkın yayılım alanları (Senaryo-1)..... 154

Şekil 7.73. Senaryo 1-2 ve 3'e göre 100 yıl tekerrürlü debi gelmesi neticesinde suyun yayılmaya başladığı bölge 156

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.74. Q_{100} debisi gelmesi durumunda Abdülhalikrenda Mahallesi'ndeki taşkın yayılımı 156

Şekil 7.75. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{100})..... 157

Şekil 7.76. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{100} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{100})..... 157

Şekil 7.77. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{100})..... 158

Şekil 7.78. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{100} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili..... 158

Şekil 7.79. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{100})..... 159

Şekil 7.80. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{100} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{100})..... 159

Şekil 7.81. HEC-RAS 1D-2D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{100})..... 160

Şekil 7.82. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{100} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{100})..... 160

Şekil 7.83. 1D-2D model için Q_{50} ve Q_{100} debileri için taşkın yayılım alanları (Senaryo-1)..... 163

Şekil 7.84. 1D ve 1D-2D modelleri için Q_{100} debisi taşkın yayılım alanları (Senaryo 1)..... 164

Şekil 7.85. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{500})..... 165

Şekil 7.86. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{500} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{500}).... 165

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.87. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre derecelendirilmesi (Senaryo 2-Q_{500}) 166

Şekil 7.88. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{500} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{500}) 166

Şekil 7.89. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{500})..... 167

Şekil 7.90. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{500} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{500})..... 167

Şekil 7.91. HEC-RAS 1D-2D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{500})..... 168

Şekil 7.92. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{500} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{500})..... 168

Şekil 7.93. 1D-2D modelinde Q_{100} ve Q_{500} debileri için taşkın yayılım alanları (Senaryo-1)..... 170

Şekil 7.94. 1D-2D modellinde Q_{500} debisi için taşkın yayılım alanları (Senaryo-2/Senaryo 4) 171

Şekil 7.95. Kırklareli İlinde bulunan taşkın için büyük risk oluşturabilecek çok gözlü bir köprü..... 172

Şekil 7.96. Taşkın anında akıma büyük bir engel oluşturabilecek gözleri tıkanmış bir köprü 173

Şekil 7.97. Tatlıçay Deresi'nin HEC-RAS'tan alınmış Km=4+260.00 en kesiti 177

Şekil 7.98 HEC-RAS'ta Q=97,68 m^3/s değeri Km=4+260.00 'de bulunan su yüksekliği görünütüsü..... 178

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Çankırı'da 15 Mayıs 1958 tarihinde meydana gelmiş taşkına ait gazete haberi 14

Resim 3.2. Tatlıçay Deresi'nde 2015 yılında meydana gelmiş taşkın-1..... 15

Resim 3.3. Tatlıçay Deresi'nde 2015 yılında meydana gelmiş taşkın-2..... 15

Resim 3.4. Tatlıçay Deresi yatağında meydana gelmiş bir daralma..... 16

Resim 3.5.Çankırı il merkezi Tatlıçay Deresi'ne yakın yerleşim birimleri..... 17

Resim 3.6. Taşkın anında gelebilecek akım için olumsuz sonuç doğuracak şekilde Kaplanan köprü-1..... 18

Resim 3.7. Taşkın anında gelebilecek akım için olumsuz sonuç doğuracak şekilde kaplanan köprü-2..... 18

Resim 3.8. Tatlıçay Deresi'nde meydana gelmiş bitkiselleşme-1 19

Resim 3.9. Tatlıçay Deresi'nde meydana gelmiş bitkiselleşme-2 20

Resim 3.10. Tatlıçay Deresi üzerinde bulunan çok ayaklı köprü 20

Resim 4.1. Tatlıçay Deresi'nin Acıçay Deresi'ne katıldığı kesim..... 25

Resim 7.1. Köprü-3 memba ve mansap görüntüsü..... 97

Resim 7.2. Mart 2015 tarihinde Çankırı Tatlıçay Deresi'nde meydana gelen taşkın ... 108

Resim 7.3. Mayıs 1998 taşkınında yıkılan bir köprü..... 155

Resim 7.4. Tatlıçay Deresi üzerindeki keskin dönüş..... 162

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita **Sayfa**

Harita 3.1. Çankırı ili merkezini oluşturan mahalle yerleşimi..... 12

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
C	Daralma veya genişleme katsayısı / savak katsayısı
CN	Havza akış katsayısı
c_f	Sürtünme katsayısı (m/s^2)
f	Koriyolis parametresi (m/s^2)
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
ha	Yağış sonucu oluşan akış miktarı (mm)
he	Enerji kaybı değeri (m)
L	Havza alanı içerisindeki ana kol uzunluğu (km)
Lc	Havza ağırlık merkezinin ana koldaki izdüşümüyle havza çıkışı arasında kalan mesafe (km)
n	Manning pürüzlülük katsayısı
P	Yağış miktarı (mm)
q	Birim alanda birim derinlikteki debi ($lt/s/km^2/mm$)
Q	Debi (m^3/s)
Qp	Birim derinlikteki yüzey akışıyla oluşacak debi (m^3/s)
Q_2	İki yıllık tekerrür yılına ait debi (m^3/s)
Q_{25}	Yirmi beş yıllık tekerrür yılına ait debi (m^3/s)
Q_{50}	Elli yıllık tekerrür yılına ait debi (m^3/s)
Q_{100}	Yüz yıllık tekerrür yılına ait debi (m^3/s)
Q_{500}	Beş yüz yıllık tekerrür yılına ait debi (m^3/s)
R	Hidrolik yarıçap değeri (m)
S	Hücre sınır yüzeyi
Sf	Enerji çizgisi eğimi (m/m)
Sh	Harmonik eğim
So	Kanal taban eğimi (m/m)
T	Birim hidrograf süresi

Tp	Birim hidrografta pik zaman
Vi	Kanal kesitinde ortalama akım hızları (m/s)
Vb	Birim derinlikteki yüzey akışıyla oluşacak hacim (m^3)
Yi	Kanal tabanının deniz seviyesine göre yüksekliği (m)
y_w	Yanal yapı yükseliği
y_{ws}	Yanal yapı üzerindeki su yüksekliği (m)
Zi	Kanal tabanının deniz seviyesine göre yüksekliği (m)
α	Hız düzeltme katsayısı
∇	Diferansiyel işleç
Δt	Hesap zaman aralığı (s)
Δx	Mekansal kesit aralığı (m)
Ω	Akımın hücrede işgal ettiği hacim

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
BTFA	Bölgesel taşkın frekans analizi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DSİ	Devlet Su İşleri
HEC	Hydrologic Engineering Center
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
M.Ö	Milattan önce
RAS	River Analysis System
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
YAMA	Yılda anlık maksimum akım
1D	Bir boyutlu model
2D	İki boyutlu model

1. GİRİŞ

Temel ihtiyaç olan suya daha yakın olmak için, medeniyetler hep su kaynaklarına yakın yerlerde kurulmuştur. Zaman içinde şehirlerin büyümesi, çarpık kentleşmenin yaygınlaşması, orman arazilerinin talan edilmesi, imar planlamasının yanlış yapılarak taşkın yataklarının işgal edilmesi ve dere üzerlerinin örtülmesi gibi sebeplerden ötürü, taşkın afetleri yaşanmakta ve birçok yapı sular altında kalmaktadır. Bu tip sorunlardan dolayı taşkın afeti, dünyanın pek çok yerinde önemli can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Taşkının önüne geçmek tamamen mümkün olmasa da can ve mal kayıplarının en aza indirgenmesi için alınacak bazı önlemler, oluşabilecek olası zararların azaltılmasını sağlayacaktır (Uşkay ve Aksu, 2002).

İnsanlar konaklamak ve tarım yapabilmek amacıyla hem suya yakın hem de düz arazi olması sebebiyle taşkın yatağı olan bölgelere yerleşimden vazgeçmemektedirler. Bilinçsiz kentleşmenin önüne geçebilmek için halka ve yerel yönetimlere, oluşabilecek taşkın afeti neticesinin sonuçlarının daha iyi ifade edilmesi ve gerekli hukuksal önlemlerin alınması gerekmektedir. Taşkından etkilenecek birimlerin ve taşkın etkilerinin niteliksel ve niceliksel sonuçlarının ortaya konması için gelişen teknolojinin de yardımı ile çalışılan alan modellenerek taşkın analizleri ve taşkın yayılım haritaları oluşturulabilir (Uçar, 2010). Elde edilen yayılım haritalarına göre imar planlamasının yapılması, dereler ve akarsular için yeterli alanların ayrılması ve üzerlerinin kapatılmaması, olası taşkınların büyük ölçüde önlenmesini sağlayacaktır. İmar planlamasının taşkın yayılım haritaları göz önünde bulundurularak bu şekilde oluşturulması, bilinçsiz kentleşmenin sonrasında alınacak tedbirlere kıyasla çok daha ekonomik bir çözüm olarak gözükmektedir.

Taşkın yayılım haritalarının oluşturulması için literatürde birçok modelleme yapılmış, bir boyutlu ve iki boyutlu analizler sonucunda çeşitli tekerrürdeki debiler (Q_{50}, Q_{100}, Q_{500} ve üzeri gibi) için taşkın yayılım alanları belirlenmiştir.

Literatürde nehirsel taşkınlar birçok şekilde modellenmiştir. En bilinen şekli ile nehir ve çevresindeki taşkın arazileri, akışın yalnızca bir boyutlu (1D) olarak modellendiği en kesitler dizisi ile temsil edilir. Bu tür modeller, akımın, nehrin ana yatağını aştığı durumlarda, akım seviyesinin en kesit yönünde kesitin sağ ve sol sahillerindeki aynı kotu yakalayana dek

yayıldığını göstermektedir. Bunun yerine düz ve geniş taşkın yayılım planlarına sahip nehirlerde akımın gidebileceği çeşitli iki boyutlu akış yollarını hesaba katan iki boyutlu (2D) modellemesi gereklidir. Bu durum, nehir yatağının kendi güzergâhı boyunca alınmış enine kesitler ile 1D olarak temsil edildiği, taşkın yatağının ise akım modelinin 2D olduğu bir ağ yapısı ile temsil edildiği, birleştirilmiş 1D-2D modelinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır (Betsholtz and Nordlöf, 2017).

Bu tez kapsamında, Çankırı merkezinden geçen Tatlıçay Deresi için Arc-GIS programı yardımıyla elde edilen hidrolojik veriler ışığında, bir boyutlu (1D) ve birleştirilmiş bir ve iki boyutlu (1D-2D) modellemeler oluşturulmuş ve HEC-RAS programında analiz edilerek taşkın yayılım alanları tespit edilmiştir. Her iki model yoluyla elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılarak, modeller arasındaki farklar ve benzerlikler ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada ilk olarak daha önceki benzer çalışmaların anlatıldığı literatür taraması kısmı verilmiştir (Bölüm 2 : LİTERATÜR TARAMASI). Bölüm 3'te (ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI) Çankırı ili ve Tatlıçay Deresi ile ilgili genel bilgiler verilmiş, geçmiş taşkınlardan bahsedilmiş ve dere yatağında tespit edilen problemler ortaya konulmuştur. Tatlıçay Deresi'ne ait tekerrürlü taşkın debilerinin hesaplanabilmesi için Bölüm 4'te Arc-GIS programı yardımıyla derenin sahip olduğu havzaya ait fizyografik parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler ışığında Bölüm 5'te DSİ Sentetik Yöntemi ve Bölgesel Taşkın Frekans Analizi (BTFA) kullanılarak çeşitli tekerrürlerdeki taşkın debileri elde edilmiştir. Bölüm 6'da ise analizlerde kullanılacak olan HEC-RAS programının teorik altyapısı ve modellemelerin nasıl oluşturulacağı anlatılmıştır. Son kısımda (Bölüm 7) HEC-RAS programında oluşturulmuş 1D, 2D ve birleştirilmiş 1D-2D modellerinin analiz sonuçları ortaya konulmuştur. Elde edilen analiz sonuçları yine bu bölümde karşılaştırılarak benzerlik ve farklılıklar tespit edilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Türkiye'deki en eski su yapıları Orta Anadolu'da M.Ö. II. bin yıldan, Hitit döneminden kalmadır (Öziş, 2002). Daha sonraki zamanlarda da yüz binlerce su yapısı inşa edilmiş ve halen su yapılarına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde, su yapılarından (baraj, gölet, regülatör, sulama, dere ıslahı yapıları v. b.), içme ve kullanma suyu, sulama suyu, yangın suyu, hayvan içme suyu, enerji, taşkın önleme, rüsubat kontrolü, ulaşım ve rekreatif amaçlı olarak kullanılmaya devam edilmektedir.

Su, her ne kadar insanların vazgeçilmesi olsa da düzensiz yapılaşma, ormanların kısmen veya tamamen yok edilmesi, dere üzerinde yapılan yapıların dere kesitini daraltması ve barajların yıkılması gibi sebeplerden ötürü taşkınlar meydana gelmekte ve bunun sonucunda can ve mal kayıpları yaşanmaktadır (Uçar, 2010). Özellikle Hindistan, Çin, Bangladeş, İran ve Nepal gibi Asya kıtasında olan ülkelerde çok sayıda taşkın afeti olmakta ve bu afetler sonucunda ciddi zararlar oluşmaktadır (UNESCO, 2006). Örneğin, Nepal'de 1983 ve 2008 yılları arasında gerçekleşen taşkın ve heyelan sonucunda oluşan mal kaybı tüm afetler sonucunda oluşan mal kaybının % 57.89'unu oluşturmaktadır (Oi, Higaki, Yagi, Usuki ve Yoshino, 2014). Bu da taşkının ne kadar büyük boyutta tehlike oluşturabileceğini göstermektedir. Türkiye'de ise taşkın neticesinde her yıl ortalama 100 milyon ABD dolara yakın ekonomik zarar oluşmakta ve bunun yanı sıra can kayıpları yaşanmaktadır (Kılıçer ve Özgüler, 2002). Çizelge 2.1.'de Avrupa ülkelerinde meydana gelen taşkın zararları verilmiştir. Çizelge 2.1. incelendiğinde Avrupa gibi gelişmiş ülkelerin bulunduğu bir kıtada bile milyonlarca insan taşkının zararlarından etkilenmekte ve milyarlarca dolar zarar taşkın neticesinde ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 2.1. 2000 – 2011 Yılları Arasında Avrupa Ülkelerinde Kayıt Altına Alınmış Taşkın Zararları (Jol, Füssel, Lung, Hildén and Marx, 2017)

Ülke	Kayıt Altına Alınmış Sel Felaketi Sayısı	Ölümler	Taşkın Zararı Maliyetleri (USD x1000)	Etkilenen İnsan Sayısı
Almanya	8	36	1,840,000	331,450
Arnavutluk	5	4	17,673	90,484
Avusturya	6	14	3,300,000	61,416
Belçika	8	5	238	3,300
Birleşik Krallık	15	26	14,949,150	350,830
Bosna-Hersek	8	3	87,000	328,740
Bulgaristan	12	52	458,000	13,350
Çek Cumhuriyeti	9	49	2,977,560	220,165
Finlandiya	1	0	0	400
Fransa	20	72	4,322,350	55,961
Yunanistan	15	16	605,659	12,330
Hırvatistan	6	0	80,000	3,160
İrlanda	3	2	325,000	900
İspanya	10	38	576,285	8,460
İsviçre	3	7	2,450,000	5,600
İtalya	19	115	10,444,000	58,150
Kanarya Adaları	2	23	79,923	700
Litvanya	2	4	0	0
Macaristan	9	2	578,000	47,814
Makedonya	6	2	3,600	109,750
Moldova	4	5	8,584	23,000
Karadağ	4	0	0	7,886
Norveç	2	0	0	2,100
Polonya	7	49	3,880,000	120,550
Portekiz	6	52	1,350,000	948
Romanya	31	222	1,548,790	213,575
Sırbistan	5	2	0	20,480
Sırbistan-Karadağ	6	2	0	46,545
Slovakya	8	8	34,000	1,180
Slovenya	1	0	5,000	0
Türkiye	18	216	932,000	110,870
Ukrayna	7	55	1,040,755	578,665

Taşkınlar meydana geldiği bölgenin topoğrafik ve jeoteknik nitelikleri ile iklim şartlarına bağlı olarak gerçekleşen doğal afetlerdir. Ancak taşkınlara sadece doğal faktörler neden olmamaktadır. Çoğu taşkın afeti insan aktivitelerinin bir neticesi olarak meydana gelmektedir.

Taşkınların büyüklüğü can kaybı ve ekonomik kayıplarda en önemli parametreyi oluşturmaktadır. Ancak Çizelge 2.1 incelendiğinde Birleşik Krallık, Fransa gibi gelişmiş ülkeler ile Romanya ve Türkiye gibi henüz gelişmekte olan ülkelerde meydana gelen taşkınların ekonomik açıdan verdiği zarar ile yaşanan can kayıpları arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Bu durum ülkelerin gelişmişlik düzeyleriyle ve halklarının bilinç düzeyleriyle açıklanabilir. Yani gelişmiş olan ülkelerde ekonomik zararlar çokken, bilinç düzeyi yüksek olduğundan can kayıpları az olmaktadır.

Çizelge 2.2.'de ülkemizde 1975-2015 yılları arasında meydana gelen taşkın olayları ve etkileri verilmektedir. Ülkemizde taşkınlar, doğal afet olarak depremlerden sonra en çok zarara sebebiyet veren afet durumundadır. Elde edilmiş verilere göre taşkın sebebi ile her yıl oluşan ekonomik kayıp yaklaşık 300 milyon TL değerine ulaşmaktadır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017)

Çizelge 2.2. Ülkemizde 1975-2015 yılları arasında meydana gelen taşkınlar ve etkileri (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 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
1996	4	1	11,000
1997	1	0	1,390
1998	2	57	7,000
1999	1	3	0
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	893 933.00

Gelişmekte olan ülke özelliğini taşıyan Türkiye'de sanayileşmenin beraberinde getirdiği şehir merkezlerindeki plansız kentleşme neticesinde akarsu havzalarındaki insan faaliyetlerinin artması, taşkının sebep olduğu can kaybı ve maddi zararların boyutunu artırmaktadır.

Akarsu yataklarında taşkın kontrol tesislerinin artması ile taşkınların oluşturduğu can kayıplarında önemli azalmalar olduğu görülmesine karşın benzer neticeyi ekonomik kayıplar açısından ifade etmek mümkün olmamaktadır. Ekonomik açıdan büyümenin neticesi olarak taşkın riski taşıyan alanlardaki ekonomik değerlerin büyüklükleri de aynı ölçüde artmakta olduğundan küçük frekanstaki bir taşkında yaşanan ekonomik kayıp, ekonomik büyüme öncesindeki daha büyük frekanslı bir taşkında yaşanandan daha büyük ekonomik kayıplar oluşturabilmektedir. Türkiye'de DSİ tarafından 1954 yılından itibaren 6744 adet taşkından koruma tesisi ve 58 adet taşkın koruma maksatlı baraj inşa edilmiş olup yaklaşık 1.7 milyon hektar alan koruma altına alınmıştır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017)

Literatürde çok sayıda çalışmada, yüksek tekerrürlü taşkın debilerinin hesabı için çeşitli istatistiki ve sentetik yöntemler kullanılmış, hesaplanan debi değerlerine göre hidrolik modellemeler yapılarak taşkın riskleri belirlenmiş ve bunların çözümüne yönelik öneriler sunulmuştur. Yapılan çalışmalardan bir kısmı ilerleyen paragraflarda verilmiştir. Bu tez kapsamında yapılacak olan çalışmalar dikkate alınarak literatürdeki benzer çalışmalar burada sunulmuştur.

Yazıcılar ve Önder (1998) Bartın nehrinde oluşabilecek taşkın yayılımının belirlenmesi için HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's-River Analysis System) yazılımını kullanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçla 1998 yılında Bartın Merkez'de oluşan gerçek taşkın yayılımı kıyaslandığında elde edilen taşkın alanlarının birbirine yakın olduğu sonucuna varılmıştır.

Yalçın ve Akyürek (2004) tarafından yapılan çalışmada Karadeniz Bölgesi'nin Batı Bartın Havzası'nda CBS yardımıyla taşkın için kritik bölgeler belirlenmiştir. Bu çalışmada havzanın büyüklüğü, eğimi, ana kol uzunluğu gibi parametreler CBS kullanılarak tespit edilmiş, daha sonra hidrolojik veriler, arazi kullanımı ve toprak tipi gibi parametreler de kullanılarak çeşitli tekerrürdeki taşkın debi değerleri elde edilmiş ve hidrolik modelde değerlendirmeye alınmıştır.

Oral ve ark (2005) yaptıkları çalışmada Bartın ve Silifke Havzalarını analiz etmişler ve CBS yardımıyla taşkın için kritik bölgeleri tespit etmişlerdir. Bu çalışmada Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) 90 m çözünürlüklü sayısal eğim modelleri, Ikonos uydu

görüntüleri, yağış verileri, sayısal haritalar ve uzaktan algılama teknikleri ile birlikte ArcGIS programı kullanılmış ve analizler bu doğrultuda yapılmıştır. Bu çalışma ile plansız yerleşme, kontrolsüz nüfus artışı ve arazi kullanımının yanlışlığı gibi sebeplerin taşkının riskini son derece artırdığı sonucuna varılmıştır. Yazarlar, CBS tabanlı "karar destek sistemleri" kullanılarak taşkının zararlarının minimize edilebileceğini savunmuşlardır.

Machado ve Ahmad (2006) yaptıkları çalışmada istatistiksel yöntemler kullanarak Kolombiya'nın Atrato Nehri için çeşitli tekerrürlerde taşkın debileri hesaplanmıştır. Hesaplanan debi değerleri HEC-RAS programında modellenmiş ve elde edilen su seviyeleri CBS ortamında gösterilmiştir. CBS haritalarında elde edilen çeşitli tekerrürlerdeki taşkın debileri için taşkın risk haritaları elde edilmiş ve 50 yılda bir oluşabilecek bir taşkını güvenli bir şekilde mansaba aktarabilecek yapısal önlemler bu çalışmada önerilmiştir.

Hardmeyer ve Spencer (2007) taşkın afeti zararlarının yanlış şehirleşme ile ne derece artabileceğini ortaya koymak için, Amerika'nın Rhode Adası'nda CBS kullanarak taşkın analizleri yapmışlar ve bölgedeki yanlış yerleşim modelinin aynı hızıyla artması durumunda yakın zaman içinde taşkın zararlarının %50'ye kadar artabileceğini ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında taşkın oluşacak riskli yerler yerine, daha güvenli ve yüksek alanlarda planlanabilecek kentleşmeyi önermişlerdir.

Türkiye'nin en çok yağış alan bölgelerinden biri olan ve zaman zaman taşkın sonucunda can ve mal kayıplarının yaşandığı Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan Solaklı Deresi üzerinde yapılması planlanan bir tesis için Malkoç ve Ark. (2008) dolusavak hesaplarında kullanılmak üzere taşkın hidrografını elde etmişlerdir. Bu çalışmada, yağmur, kar erimesi ve baz akımın süperpozisyonuyla oluşabilecek taşkın hidrografı elde edilmiştir.

Usul (2008) yaptığı çalışmada Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından geliştirilen ve hidrolik modeller için kullanılan MIKE 11 ile birlikte CBS kullanılarak Fethiye Çayboğazı'na ait taşkın çalışmaları yapmıştır. Bu çalışma neticesinde Fethiye Çayboğazı için taşkın risk haritaları elde edilmiştir.

Solaimani (2009) çalışmasında HEC-RAS ve HEC-GeoRAS programlarını ve CBS yöntemini kullanarak yaptığı analiz ile İran'da bulunan Zaremrood Irmağı için çeşitli tekerrürlerde (2, 5, 10, 25, 50, 100 yıl) oluşacak taşkın debileri için taşkın alanlarını tespit

etmiş ve kullanılan paket programlarının pratikliğini ve hızını ortaya koymuştur.

Uçar (2010) Trabzon Değirmendere Havzası'nda (Maçka) yaptığı çalışma ile yanlış kentleşmenin yanı sıra, dere yatağını daraltacak köprülerin de taşkın riskini artırdığını ortaya koymuştur. Yazar yaptığı çalışmada istatistiksel yöntemler kullanarak taşkın debilerini elde etmiş ve HEC-RAS, HEC-GeoRAS ArcGIS programlarının kullanarak çalışma alanı için (Maçka, Merkez) taşkın risk haritalarını elde etmiş ve çalışmasının neticesinde yapısal ve yapısal olmayan öneriler sunmuşlardır.

Keskin (2012) tarafından Türkiye'nin güney batı kısmında yer alan Dalaman Havzası için taşkın risk analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, 1 boyutlu ve 2 boyutlu olarak hidrolik modelleme yapmışlar ve taşkın yatağında iki farklı Manning katsayısı kullanarak gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmeye çalışılmıştır. Hidrolik modelleme için, HEC-RAS programının yanı sıra FLO-2D programı da kullanılmıştır. 2D boyutlu olarak modellenen yatakta 1 boyutlu modele göre daha fazla veri ihtiyacı ve daha uzun analiz süresi gerektiği görülmüş fakat taşkın anında su altında kalan arazilerin sürekli olması ve bunun 1 boyutlu analiz sonucunda elde edilememesinden dolayı, akışın sadece boylamsal değil (1 boyutlu) yatay olarak da (2 boyutlu) incelenmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Bölgenin olası bir taşkının çalışma alanında 50 milyon Türk Lirası (2012 yılı için) maddi hasara yol açabileceği hesaplanmıştır.

Şahin ve ark. (2013) Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde bulunan Güzelyurt bölgesinde bulunan Bostancı Deresi için taşkın analizleri yapmışlardır. Amerikan Toprak Muhafız Kurumu (SCS) tarafından geliştirilen boyutsuz birim hidrograf yöntemiyle taşkın debilerini belirlemişlerdir. Yapılan çalışmada, Bostancı Deresi üzerinden yerleşim yerleri olduğundun dolayı olası taşkının zararları ciddi boyutlarda can ve mal kaybına yol açabileceği için dere boyunca yapılacak olan ıslah çalışmasının yanı sıra, taşkının sel kapanı yardımıyla yerleşim yerinin olmadığı yan havzaya (Fabrika Deresi'ne) aktarılması önerilmiş ve iki farklı alternatif çözüm önerisi maliyet analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

Koca (2014) yaptığı çalışmada, Rize'nin İyidere Alt Havzası İkizdere Kesiti için DSİ Sentetik, Mockus ve Snyder Sentetik Yöntemleri ile birim hidrograf verilerini elde etmiştir. Elde edilen birim hidrograf değerlerinin birbirinden çok farklı olduğu bunun sebebinin ise havza büyüklüğü ile alakalı olduğu, dolayısıyla her havza alanı için sentetik yöntemlerin

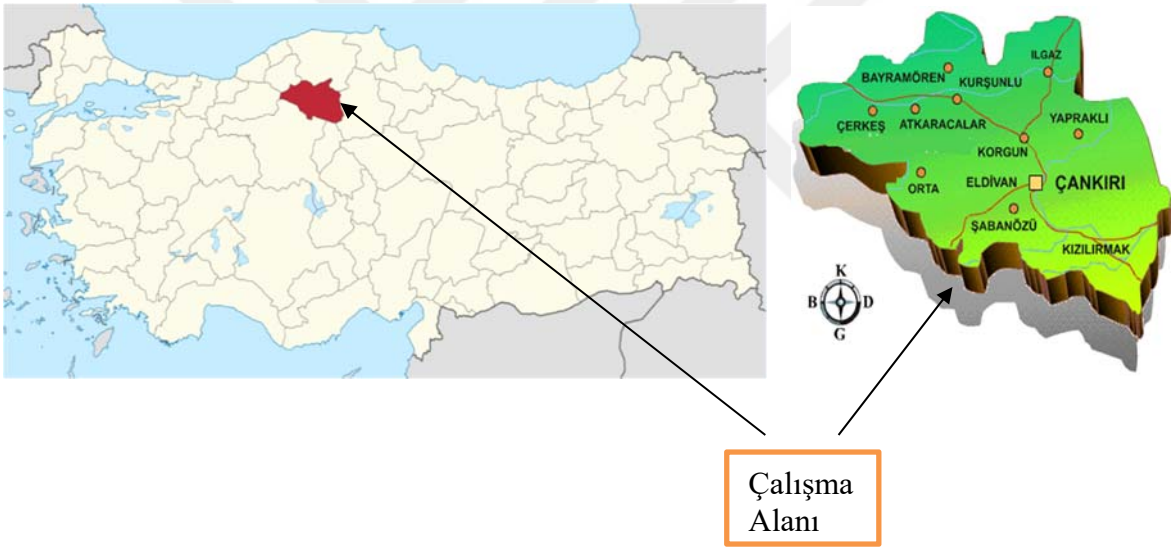
hepsinin uygulanmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca Mockus ve Snyder Sentetik Yöntemlerinde seçilen havza parametrelerinin sonucu çok fazla etkilediğinden dolayısıyla bu parametre seçiminin özenle yapılması gerektiği sonucu da bu çalışma sonunda ortaya çıkmıştır.

Rubiu (2018) yaptığı çalışmada Litvanya'nın Tesiai şehrindeki Minija Nehri için taşkın analizleri yapmıştır. Bu çalışmada 1 boyutlu (1D), 1 Boyutlu ve 2 Boyutlu Birleştirilmiş (1D-2D) ve 2 Boyutlu (2D) olmak üzere üç farklı hidrolik modelleme yapılmış ve analiz sonuçları ortaya konmuştur. Çalışmanın sonucunda, 1D – 2D ve 2D hidrolik modellemelerin 1D modeline göre daha detaylı sonuçlar verdiği ve taşkına maruz kalan alanları daha net belirlendiği elde edilmiştir.

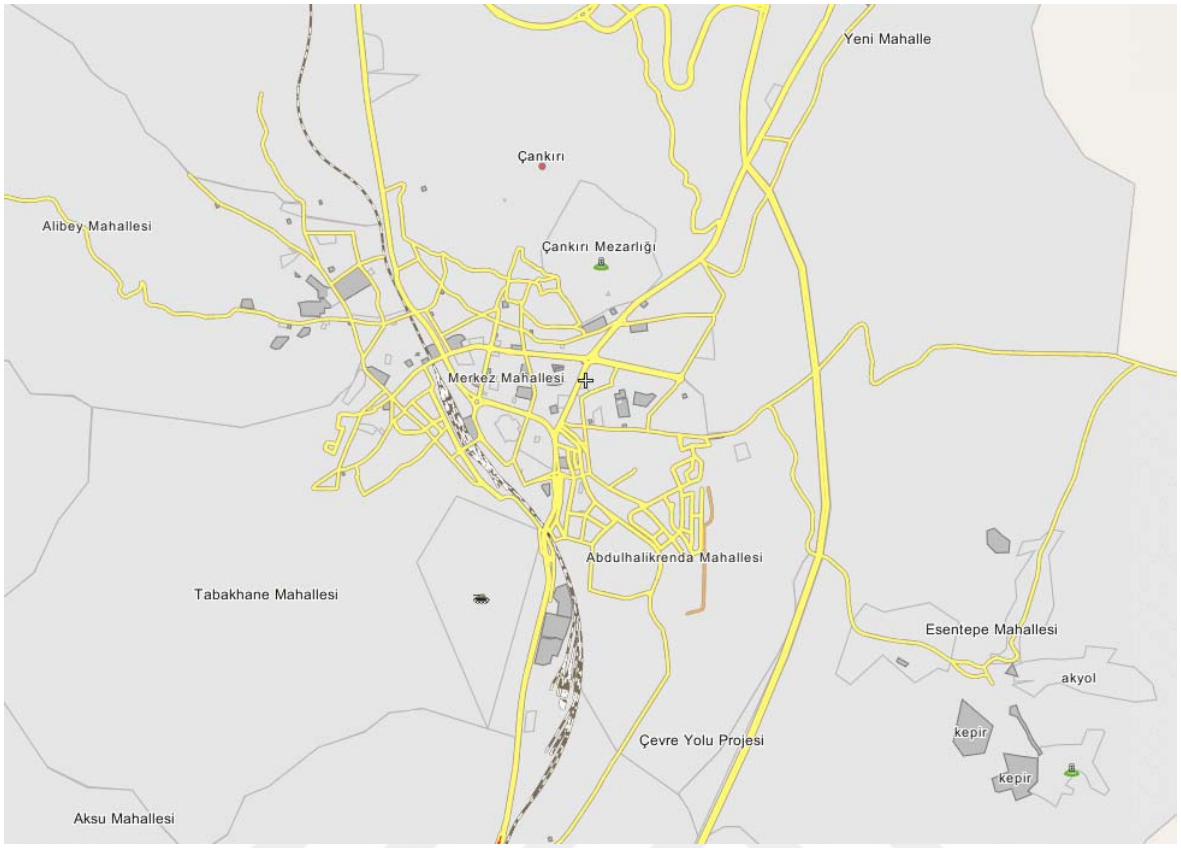
Faisal ve ark. (2018) Bangladeş'in Naogaon bölgesi için taşkın analizleri yapmışlardır. Taşkının verdiği zararları incelemek için 2004, 2007, 2012 ve 2017 yıllarında meydana gelen taşkınların ardından bölgenin uydu görüntülerini değerlendirmişler ve Uzaktan algılama ("*remote sensing*") ve CBS sistemlerini kullanarak farklı taşkın boyutları için taşkına maruz kalan alanları belirlemişlerdir. Çalışmalarında kentleşmiş bölgelerin ve kırsal alanların taşkın anında maruz kaldıkları kayıplar taşkının büyüklüğüne göre değerlendirilmiş ve çalışmanın sonunda taşkın zararlarını minimize edilmesini sağlayabilecek önerilerde bulunmuşlardır.

3. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI

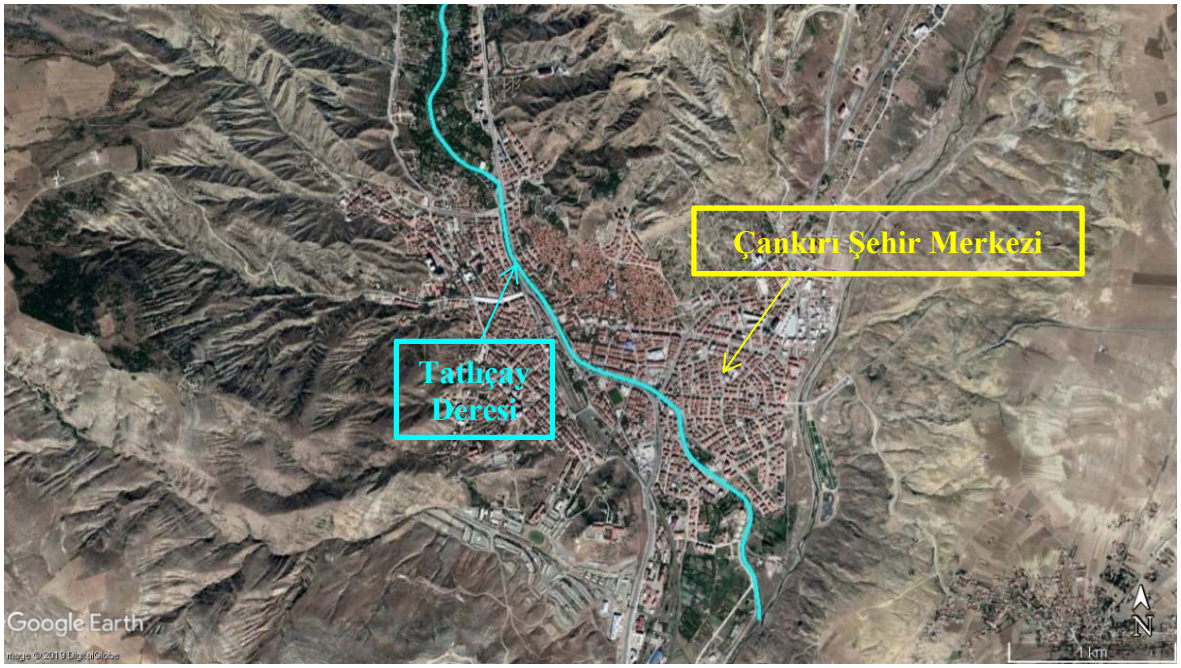
Bu tez kapsamında gerek taşkın riskinin önemli boyutta olması, gerekse çalışma alanına ait verilerin (hidrometrik ve topoğrafik veriler) mevcudiyeti ve kolaylıkla elde edilebilmesi sebebiyle, Çankırı ilinin merkezinden geçen Tatlıçay Deresi çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1., Şekil 3.2. ve Harita 3.1.). Tatlıçay Deresi'ne ait havza göz önüne alındığında, Çankırı ilindeki yerleşim birimleri, konumları itibarıyla havzanın çıkış noktasında bulunmaktadır. Bu durum havzada oluşabilecek yüksek tekerrürlü bir debinin, şehir merkezini doğrudan etkileyebileceği, can ve mal kaybının yaşanabileceği sonucunu doğurmaktadır. Nitekim Tatlıçay Deresi, geçmişte meydana gelen ve can kayıplarına sebep olan taşkınlar yaşanmıştır.



Şekil 3.1. Çankırı ilinin Türkiye'deki konumu



Harita 3.1. Çankırı ili merkezini oluşturan mahalle yerleşimi (Wikimapia)



Şekil 3.2. Tatlıçay Deresi'nin çalışmaya konu olan bölümü (Google Earth)

Orta Anadolu'nun kuzeyinde, Kızılırmak ile Batı Karadeniz ana havzaları arasında yer alan Çankırı; 40° 30' ve 41º kuzey enlemleri ile 32° 30' ve 34º doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin komşuları; batıda Bolu, kuzeybatıda Karabük, kuzeyde Kastamonu, doğuda Çorum ve güneyde Ankara ile Kırıkkale'dir. Denizden yüksekliği 723 metre olup, ülke topraklarının % 0,94'lük bölümüne tekabül eden toplam 7 388 km²'lik bir alana sahiptir.
Çankırı ili Orta Anadolu Coğrafi Bölgesi ve Karadeniz Coğrafi Bölgesi arasında kalmaktadır. Bu nedenle il, iki bölgenin özelliklerini de barındırmakta ve bir geçiş alanı oluşturmaktadır. İl, ilçe ve belde olmak üzere 31 belediye sayısı ve toplam 362 köy idari ünitesi yer alır. Kent nüfus oranı yüzde altmış üçtür (Çankırı Belediyesi, 2019).

Karadeniz Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi arasında yer alan ilde, Karadeniz ikliminden çok İç Anadolu Bölgesi'nin karasal iklimi egemendir. Kışlar soğuk ve yağışlı; yazlar, ova tabanlarında sıcak, yüksek yaylalık kesimlerde serin geçer. Yaz ve kış sıcaklıkları arasındaki fark yüksektir. Yıllık ortalama sıcaklık 11.5°C'dir. En soğuk ay 0.2°C ortalamayla ocak, en sıcak ay 23.3°C ortalamayla temmuzdur. İklimin karasal özelliği, kışın çok düşük, yazın çok yüksek sıcaklıklara yol açar. Bugüne kadar ölçülen en düşük sıcaklık değeri -25°C, (24 Ocak 1980), en yüksek sıcaklık değeri 41.8°C'dir (1 Ağustos 1954). Sıcaklığın yılda ortalama 94 gün 0°C'nin altına düştüğü ilde, yıllık ortalama yağış tutarı 397.2 mm'dir.

Doğal bitki örtüsü yer yer değişiklik gösterir. Ormanlık alanlar, dağlık kesimde yer alır. İç bölümler ise yüzyıllar boyu süren yok etmeler sonucu, bozkıra dönüşmüştür. Kuzey ve güneybatıda, ovalık alanların kenarlarından, dağların eteklerine doğru meşe çalılıklarıyla başlayan bitki örtüsü, yerini yükseklerde karaçam, sarıçam ve köknarlardan oluşan iğne yapraklı ağaçlara bırakır. Kuru orman özelliğindeki bu ormanlarda, orman altı örtüsü yok denecek kadar seyrektir. Güneyde ovalık ve yaylalık alanlarda, bozkır görünümü yaygındır. Bozkır alanlarda, az da olsa yer yer yok etmelerden kurtulmuş orman kalıntıları vardır (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2019).

3.1. Çalışma Alanında (Dere Yatağında) Tespit Edilen Problemler

Çankırı ilindeki nüfusun ve sanayinin gelişimine bağlı olarak artan şehirleşme, Tatlıçay Deresi'ndeki taşkın riskinin de artmasına neden olmaktadır. Yerleşim birimlerinin sayısının çoğalması, yüzey akış katsayısının ve dolayısıyla da havzadan gelen akım miktarının artmasına yol açmaktadır. Tatlıçay Deresi'nde birçok taşkın meydana gelmiş olup, 15 Mayıs 1958 tarihinde meydana gelen taşkında 18 kişi hayatını kaybetmiştir (Resim 3.1.).Yakın geçmişte 2015 yılında meydana gelen taşkında can kaybı yaşanmamasına karşın yerel taşmalar sonucu tarım arazileri zarar görmüştür (Resim 3.2. ve Resim 3.3.). Bu taşkından sonra derenin şehir içinde bulunan bölümüne yapılan yan duvarlarla dere kontrol altına alınmaya çalışılmıştır (Gökmen, 2007).

26.05.1958, Milliyet, Sayfa 1

On gün ara ile iki defa felâkete uğrayan

ÇANKIRI'DA SELDEN 18 KİŞİ ÖLDÜ

Şehri bir çamur deryası haline getiren selden 300 ev tamamen 200 ev kısmen yıkıldı. İkisi beton 9 köprü harab oldu. Zarar şimdilik 10 milyon lira olarak tahmin ediliyor

Korgundaki hasar tesbit edilemedi. Bayar, felâketzedelere Çankırı'nın tekrar ihya edileceğini söyledi

ÇANKIRI'ya ASKERİ BİRLİKLER KURTARMA FAALİYETİNE BAŞLAMIŞTIR. EVLER KULLANILAMIYACAK EŞYA İLE DOLUDUR.

Resim 3.1. Çankırı'da 15 Mayıs 1958 tarihinde meydana gelmiş taşkına ait gazete haberi (Yılmaz, 2012)

Resim 3.2. Tatlıçay Deresi'nde 2015 yılında meydana gelmiş taşkın-1 (Çankırı Postası, 2015)

Resim 3.3. Tatlıçay Deresi'nde 2015 yılında meydana gelmiş taşkın-2 (Çankırı Postası, 2015)

Yaşanan taşkınlardan sonra, dere güzergâhının önemli bir kısmında duvarlı kanal yapılarak önlem alındığı görülmüştür. Ancak derenin çeşitli amaçlarla belli kesimlerinde daraltılması, yerleşim alanlarının dere yatağına çok yakın ve taşkın sahasına kurulması, yol ve park gibi yapıların kamulaştırmaya neden olmamak için taşkın yatağının daraltılıp doldurularak inşa edilmesi gibi dere yatağına yapılan kontrolsüz müdahaleler neticesinde Tatlıçay Deresi olası taşkın riskine maruz bırakılmıştır. Genel olarak 17-18 metre genişliğinde olan Tatlıçay Deresi kimi yerlerde yapılan bilinçsiz uygulamalar nedeniyle 12,5 metreye kadar daraltılmıştır (Resim 3.4.). Bu durum da taşkın anında suyun daralmanın olduğu bu kesitlerden hemen önce kabarmasına, hatta dere yatağından taşarak çevreye yayılmasına yol açacaktır.

Resim 3.4. Tatlıçay Deresi yatağında meydana gelmiş bir daralma

Çankırı şehir merkezinde Tatlıçay Deresi'nin yatak sınırlarını oluşturan yerleşimler taşkın yatağına müdahalenin en net göstergeleridir (Resim 3.5.). Tatlıçay Deresi'nde oluşabilecek

büyük bir taşkında, dere yatağının çok yakınında inşa edilen evlerin hemen hepsinde can ve mal kayıpları yaşanması muhtemeldir.

Resim 3.5.Çankırı il merkezi Tatlıçay Deresi'ne yakın yerleşim birimleri

Tatlıçay Deresi'nin çalışılan bölümünde 8 adet köprü bulunmaktadır. Mevcut yaya ve taşıt köprülerin bazılarına, taşkın anında problem yaratacak şekilde, hem memba hem mansap taraflarında konstrüktif olmayan çelik kaplamalar yapılmıştır. Köprülerdeki çelik levhalar, tabliye alt kotunun 1.00 ile 1,50 m aşağısına kadar akım kesitini daraltacak şekilde imal edilmiştir. Yüksek tekerrürlü taşkın anında gelebilecek debiye göre hesabı yapılarak tabliye alt kotu belirlenen köprüler, daha düşük tekerrürdeki bir debinin gelmesi neticesinde bile akım alanı açısından yetersiz kalarak taşkının sebep olacağı zararları artıracaktır. Resim 3.6.'da ve Resim 3.7.'de Tatlıçay Deresi üzerindeki, bahsi geçen çelik levha kaplamalı köprülerden ikisi görülmektedir.

Resim 3.6. Taşkın anında gelebilecek akım için olumsuz sonuç doğuracak şekilde kaplanan köprü-1

Resim 3.7. Taşkın anında gelebilecek akım için olumsuz sonuç doğuracak şekilde kaplanan köprü-2

Tatlıçay Deresi'nin bu tez kapsamında çalışılan bölümünde, yerleşim birimlerinin henüz yoğunlaşmadığı memba kısımlarında yoğun ve kontrolsüz biçimde bitkiselleşme olduğu gözlemlenmiştir (Resim 3.8. ve Resim 3.9.). Bu da derenin ana yatağındaki pürüzlülüğün artmasına ve gelebilecek taşkınlarda olumsuz sonuçlara yol açmasına neden olacaktır. Bilindiği gibi pürüzlülüğünün artması taşkın debisinin yavaşlamasına ve akım alanının artmasına neden olur. Yeterli akım alanı derenin ana yatağında mevcut değilse, bu durumda akım ana yatağın dışına taşarak risk oluşturacaktır.

Resim 3.8. Tatlıçay Deresi’nde meydana gelmiş bitkiselleşme-1

Dere yatağındaki bitki oluşumu ve ağaçlanma, derenin ana yatağındaki pürüzlülüğün artmasına sebep olmasının yanı sıra, ana yataktaki ağaç dalları taşkın anında gelen dal, çalı, gibi yüzen ve askıdaki rusubatları tutarak mansaba gitmesini engeller ve akım alanının daha da fazla daralmasına yol açar. Resim 3.8.’de ana yataktaki ağaçların görüntüsü verilmiştir.

Resim 3.9. Tatlıçay Deresi'nde meydana gelmiş bitkiselleşme-2

Taşkın anında gözlemlenen durumlardan biri de akımın normaldeki gibi sadece su olarak gelmediğidir. Yüksek değerdeki akım hızlarıyla birlikte sediment, deredeki bitki örtüsü, ağaç dalları, dereye atılmış çöpler gibi malzemeler yüzer veya sürüklenir biçimde akım tarafından taşınır. Bu durum çok ayaklı olan köprülerin olası taşkın durumunda hızlıca tıkanmasına ve kesit alanının daralmasına yol açabilir (Resim 3.10.). Bu nedenle mümkün olduğunca köprü ayaklarının dere içerisindeki ayak sayısı minimize edilmeli, hatta tek açıklıkla geçilebilecek yerlerde sadece kenar ayaklar kullanılarak köprüler planlanmalıdır.

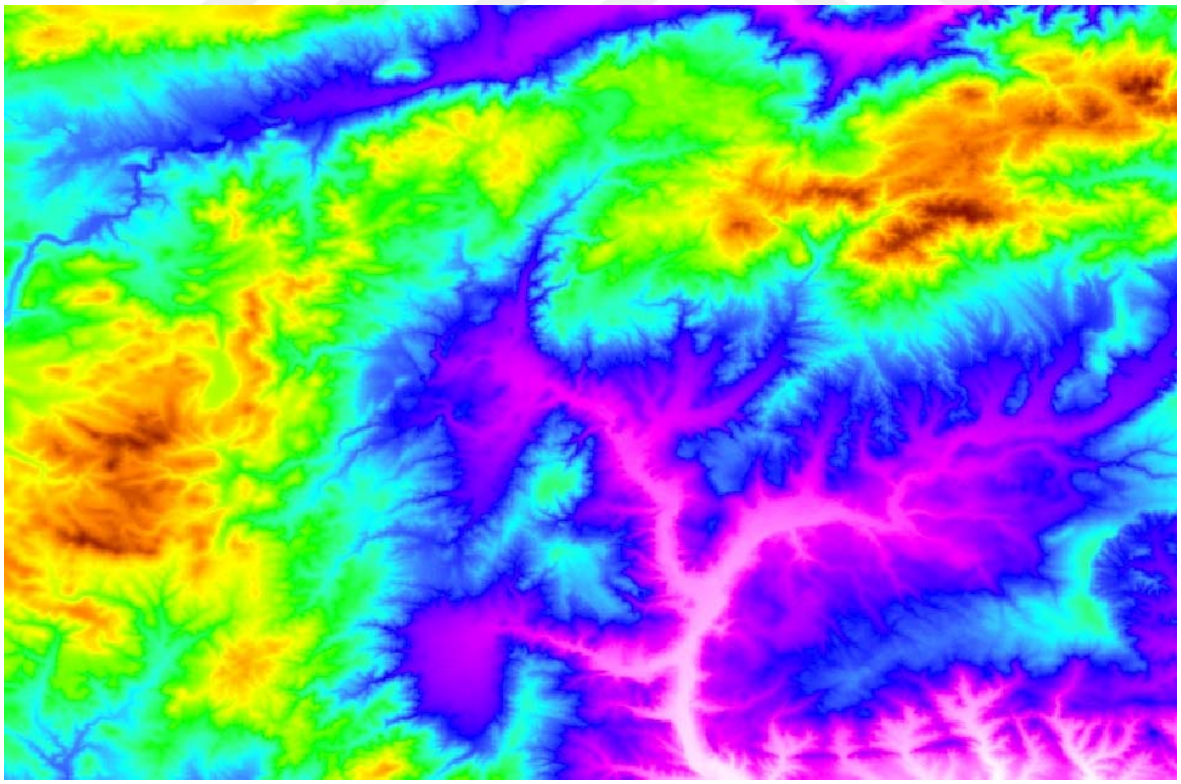
Resim 3.10. Tatlıçay Deresi üzerinde bulunan çok ayaklı köprü

4. HAVZA FİZYOGRAFİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Bu tez kapsamında çalışılan Çankırı ili merkezinden geçen Tatlıçay Deresi'ne ait hidrolojik çalışmaların yapılmasında kullanılacak olan havza fizyografik parametrelerinin belirlenmesi, aşağıda ayrıntılı olarak açıklanan işlemlerle Arc-GIS programında gerçekleştirilmiştir.

4.1. Sayısal Yükseklik Modelinin (SYM) Elde Edilmesi

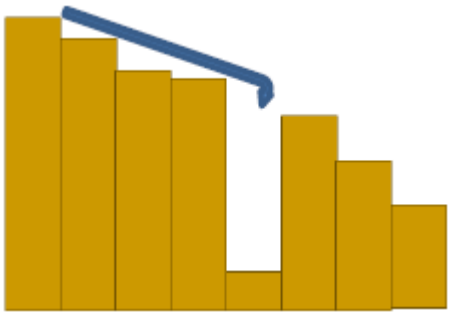
Çalışmada kullanılan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), NASA tarafından tüm dünyanın sayısal arazi modelini çıkarmak üzere uluslararası olarak yürütülen "*Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM" projesi kapsamında uzaya gönderilen Endeavour Uzay Mekiği aracılığıyla sağlanan verilerden elde edilmiştir (Şekil 4.1.). Elde edilen SYM 90 m çözünürlüğünde olup World Geodetic System 84 (WGS84) coğrafik koordinat sisteminde yayınlanmıştır (Sargın, Güreşçi ve Seyrek, 2012).



Şekil 4.1. Çankırı bölgesini içine alan sayısal yükseklik modeli

4.2. SYM Boşluklarının Doldurulması

SYM'yi oluşturan her bir hücrenin, kendisine komşu olan sekiz hücreden birine akış gerçekleştirebilmesi için kendi sahip olduğu sayısal kotunun komşu hücre kotuna eşit veya daha yüksek olması gereklidir. Bu fonksiyon SYM'de yer alması muhtemel boşluk hatalarının giderilmesi için kullanılmaktadır. SYM' de bulunan boşluklar doldurulmazsa akım gerçekleşememektedir. ArcGIS programı SYM' de bulunan boşlukların doldurulması işlemini, ilgili hücrenin kotunun komşu hücresinin kotuna eşit olacak şekilde arttırılmasıyla sağlamaktadır.



Şekil 4.2. SYM'de oluşması muhtemel boşluk

4.3. Akışın Yönünü Belirleme

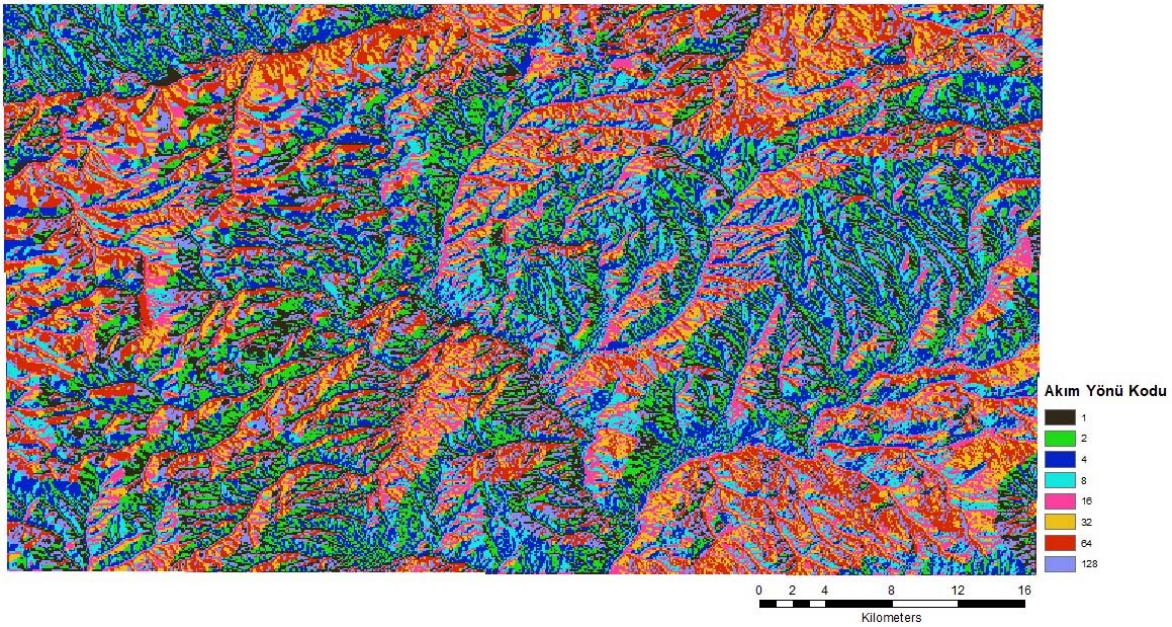
SYM'de bulunan boşlukların doldurulmasından sonra, hücresel sistemdeki akış yönünün belirlenmesi işlemi yapılmalıdır. Su akışı en düşük yükseklik değerine sahip hücreye doğru olacaktır. Akış yönünün belirlenmesinde '8 Yönlü Akım Modeli' ismi verilen modelleme kullanılır. ArcGIS programı akışın hangi hücreye olacağını belirlerken hücreler arasındaki maksimum düşüş değerine karar verir. Maksimum düşüş hücrelerin arasındaki kot farkının hücre ağırlık merkezlerinin birbirine olan uzaklığına oranıdır.

Bir hücrenin akımı hangi yöne ileteceği program tarafından o hücreye verilen kod numarası ile temsil edilmektedir (Şekil 4.3.). Örneğin bir hücrede bulunan su doğusundaki hücreye akacaksa o hücrenin akım yönü kodu 1 olmaktadır. Kod numaraları 2^0'dan başlayarak 2^7'ye kadardır, yani 1 ile 128 arasındaki 2'nin tam sayı kuvvetlerinden oluşmaktadır.

32	64	128
16		1
8	4	2

Şekil 4.3. Akım yönlerini temsil eden numaralar

Çalışılan bölge için oluşturulmuş akım yönlerini gösteren SYM Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.



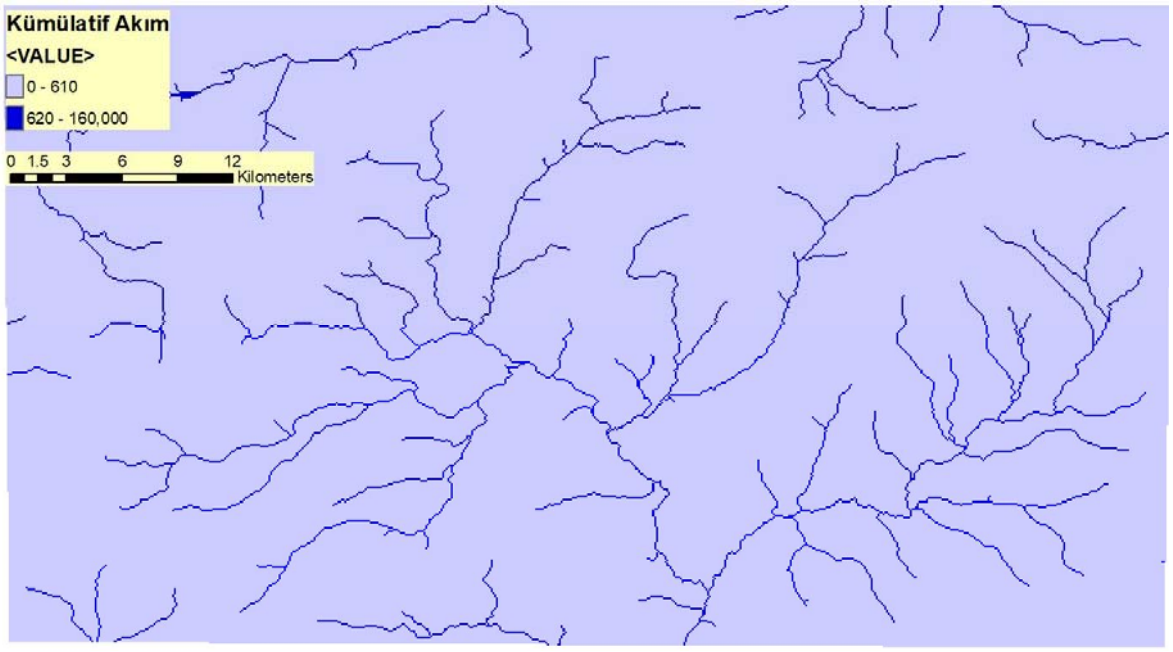
Şekil 4.4. Çankırı bölgesi akım yönlerini gösterir harita

4.4. Kümülatif Akımın Hesaplanması

Kümülatif akımın hesaplanması, bir hücrenin kaç adet hücreden akım topladığının, yani kot değeri kendisinden yüksek kaç adet hücre tarafından beslendiğinin belirlenmesidir. Bu sayı, toplama değeri olaraktan her bir hücreye verilir. Bu işlem sonucunda suyun toplandığı hücreler belirlenir ve bu hücrelerin birleştirilmesiyle akarsu şebekeleri dallara ayrılmış şekilde oluşur.

ArcGIS programı tüm hücrelere sıfırdan başlamak olmak üzere topladığı akım büyüklüğüne göre bir değer verir. Kümülatif akım değerinin sıfır olduğu hücreler, çevresindeki hücrelerden kendisine akış olmayan, gelen akımı da komşu hücresine iletenlerdir. Akarsu

yataklarına karşılık gelen yerler akım toplama değerinin büyük olduğu kısımlardır. Drenaj alanı çalışmalarındaki en önemli husus akarsuyun tanımlamasını yapabilmek için uygun sınır değerlerin (akım toplama değerinin) seçilerek akarsu yataklarının tespit edilmesidir. Akarsu ağının yoğunluğu seçilen sınır değere bağlıdır. Sınır değerinin gereğinden küçük seçilmesi daha yoğun bir akarsu ağının oluşmasına, gereğinden daha büyük seçilmesi ise düşük yoğunlukta bir akarsu ağının oluşmasına neden olacaktır. Bu tez kapsamında çeşitli sınır değerleri seçilerek elde edilen akarsu ağları, uydu görüntülerindeki akarsu ağı ve dijital harita görüntüleri ile kıyaslanmış ve bunların birbirine uyumlu olmasını sağlayan sınır değeri kullanılmıştır. Çalışılan SYM' de kümülatif akım hesabında 610 değeri sınır değer olarak belirlenmiş, bu değerden küçük olan akım toplama hücrelerinin akarsu ağına göre daha açık tondaki bir renkte görülmesi sağlanmıştır (Şekil 4.5.).



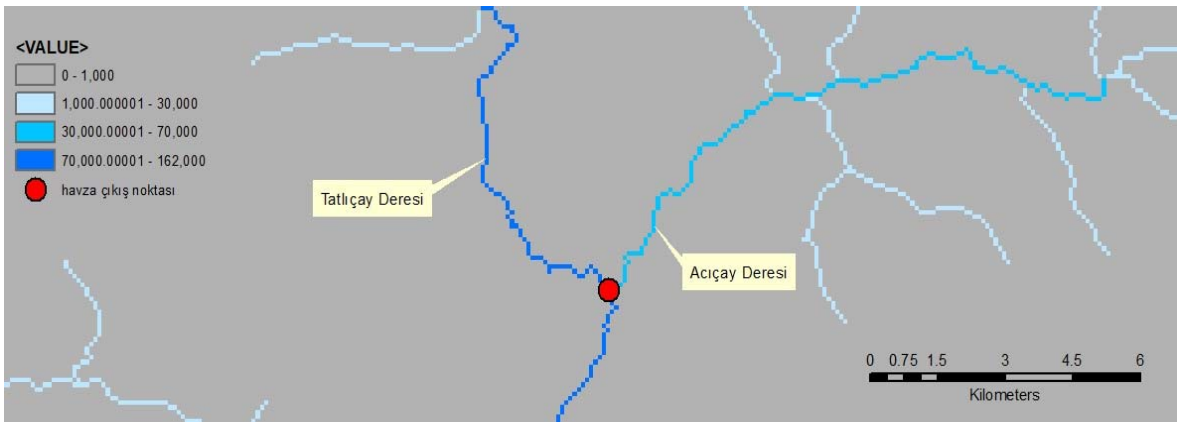
Şekil 4.5. Çankırı şehir merkezini de kapsayan akarsu ağı haritası

4.5. Havza Çıkış Noktasının ve Havza Alanının Belirlenmesi

Kümülatif akımların elde edilmesinden sonra havza sınırlarının belirlenebilmesi için havza çıkış noktasının programa tanımlanması gerekmektedir. Tanımlanan çıkış noktası kümülatif akım ve Bölüm 4.4.'te tarif edilen uygun eşik değeri verilerek oluşturulan akarsu ağını oluşturan hücrelerin üzerinde olacaktır.

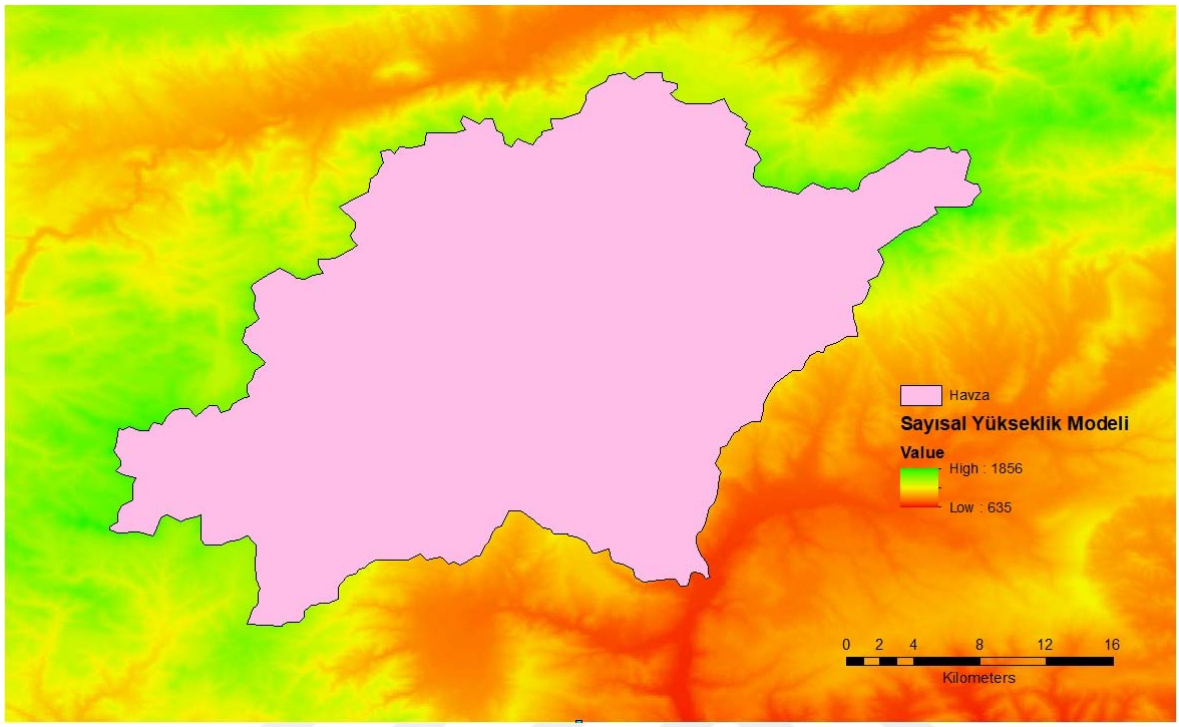
Bu tez kapsamında çalışılan bölge Çankırı ili merkezi olduğu için, şehir merkezinin içerisinden geçen Tatlıçay Deresi'nin Acıçay Deresi'ne katıldığı nokta havza çıkış noktası olarak belirlenmiştir (Resim 4.1. ve Şekil 4.6.).

Resim 4.1. Tatlıçay Deresi'nin Acıçay Deresi'ne katıldığı kesim



Şekil 4.6. Havza çıkış noktası ve akarsu ağı

Watershed komutu ile elde edilen havza alanı Şekil 4.7.' de gösterilmiştir.

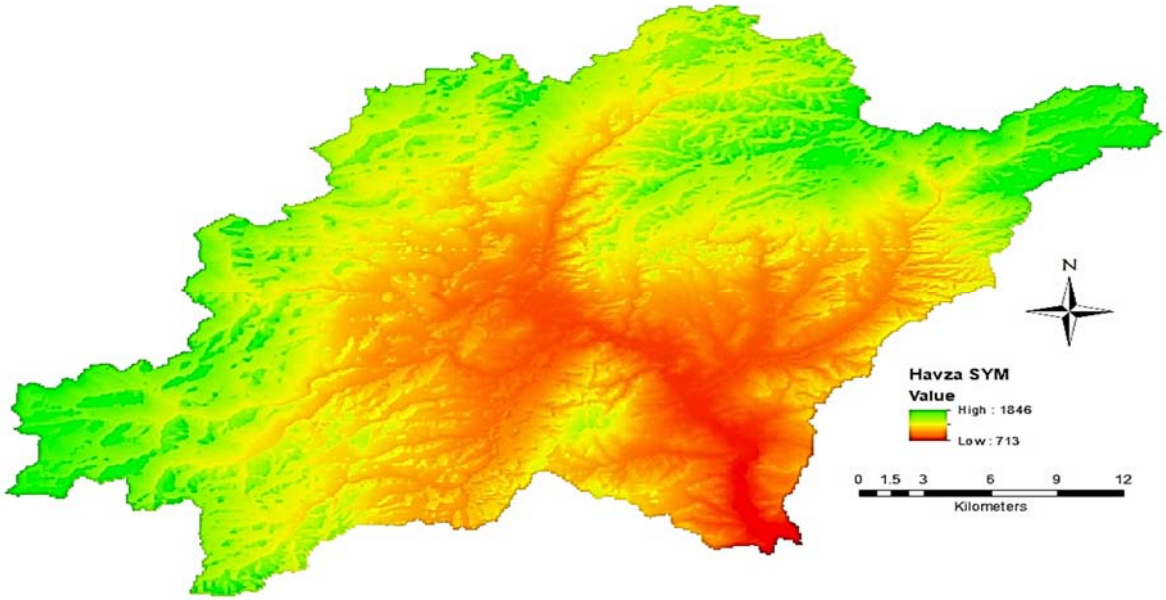


Şekil 4.7. Tatlıçay Deresi havza sınırları

4.6. Havza Tabakasının Çıkarılması

Tatlıçay Deresi'nin içinde bulunduğu havza Kızılırmak Havzası'dır. Tatlıçay Deresi'ne ait gerekli havza parametrelerinin belirlenebilmesi için bu havza sınırına ait SYM'nin tüm SYM içerisinden çıkarılması gereklidir.

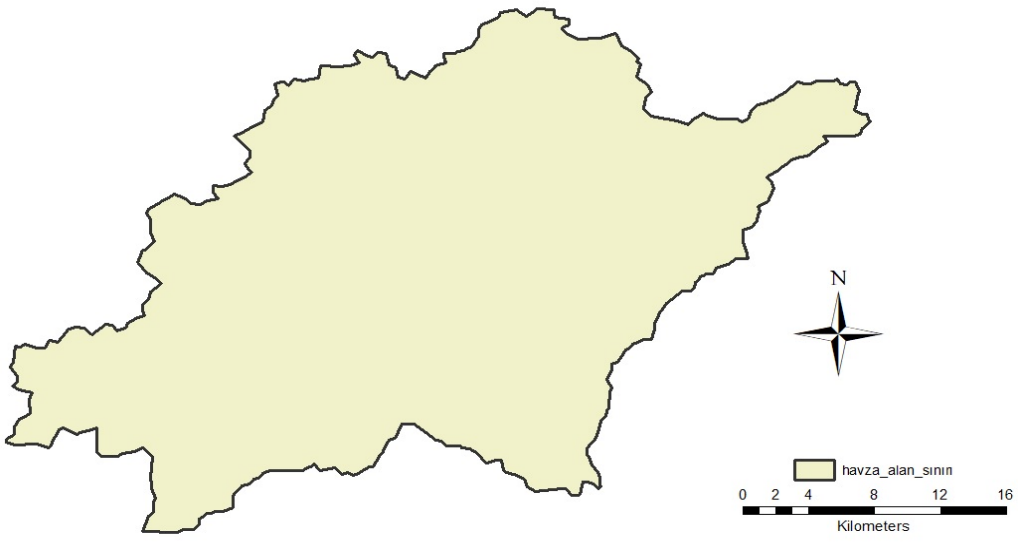
Extract by Mask komutu ile çıkarılarak elde edilen havza alanı Şekil 4.8.' te gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Tatlıçay Deresi havza sınırları içerisinde kalan SYM görüntüsü

4.7. Havza Alanı

ArcGIS programında havza alanının belirlenebilmesi için havza alanının vektör formatında *Polygon* olarak tanımlanması gereklidir. *Polygon* biçiminde oluşturulmuş havza sınırı (Şekil 4.9.) tabakasının özellikler tablosuna *Add Field* komutu ile "Alan" isminde sütun eklenerek, *Calculate Geometry* komutu ile havza alanı hesaplatılabilmektedir. Tatlıçay Deresi'nin havza alanı kilometrekare cinsinden 672,948 olarak bulunmuştur (Şekil 4.10.).



Şekil 4.9. Havza alanının vektör formatındaki poligonu

Table

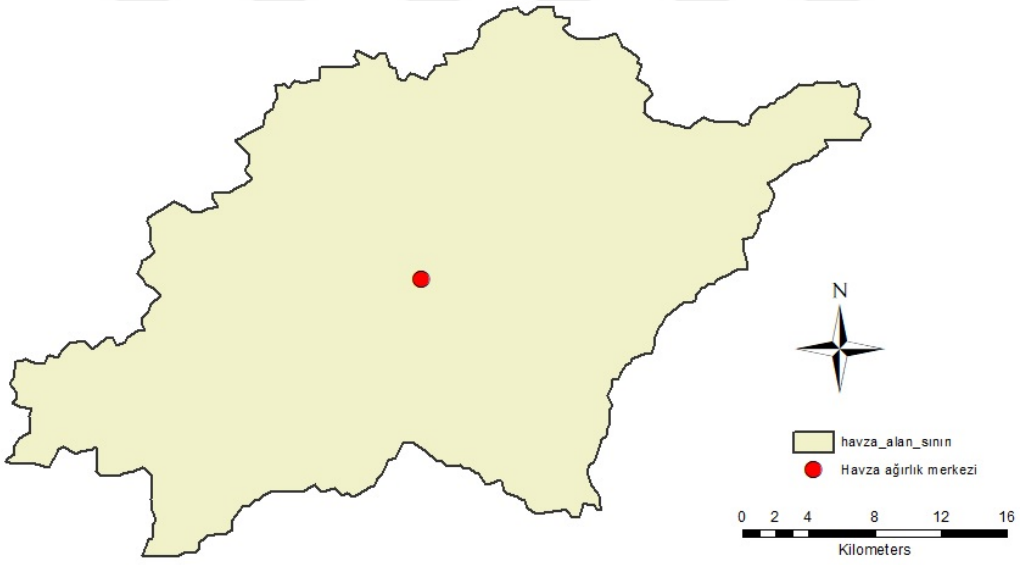
havza_alan_wgs

FID	Shape *	ID	GRIDCODE	alan
0	Polygon	1	0	672.948

Şekil 4.10. *Polygon* formatındaki havza alanını tabakasının özellikler tablosu

4.8. Havza Ağırlık Merkezi Koordinatlarının Belirlenmesi

ArcGIS programında elde edilmiş havzaya ait ağırlık merkezinin yeri Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Havza alanı ve ağırlık merkezinin görüntüsü

Havza ağırlık merkezinin bulunabilmesi için polygon biçiminde oluşturulmuş havza sınırı tabakasının (Şekil 4.11.) özellikler tablosuna *Add Field* komutu ile X ve Y isminde sütun eklenerek, *Calculate Geometry* komutu ile havza ağırlık merkezinin X ve Y koordinatları hesaplatılır. Tatlıçay Deresi'ne ait havza alanının ağırlık merkezi koordinatları sırasıyla X : 544 787 ve Y : 4 507 481 olarak bulunmuştur (Şekil 4.12.). Koordinat sistemi olarak WGS 1984 UTM Zone 36 seçilmiştir.

Table

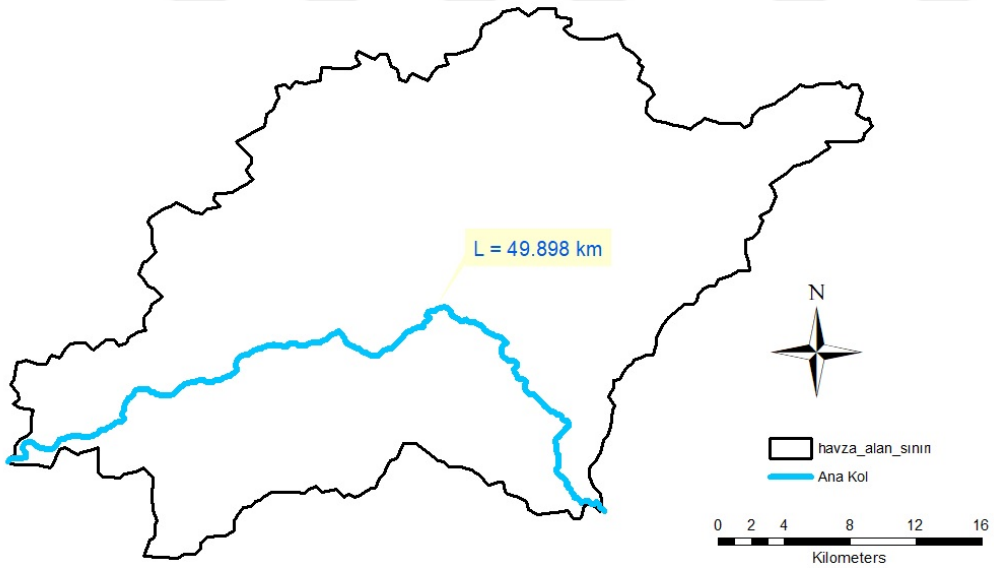
havza_alan_sınırı

FID	Shape *	ID	GRIDCODE	X	Y
0	Polygon	1	0	544787	4507481

Şekil 4.12. Polygon formatındaki havza alanı ağırlık merkezi koordinatlarını gösterir özellikler tablosu

4.9. Akarsu Ana Kol Uzunluğu

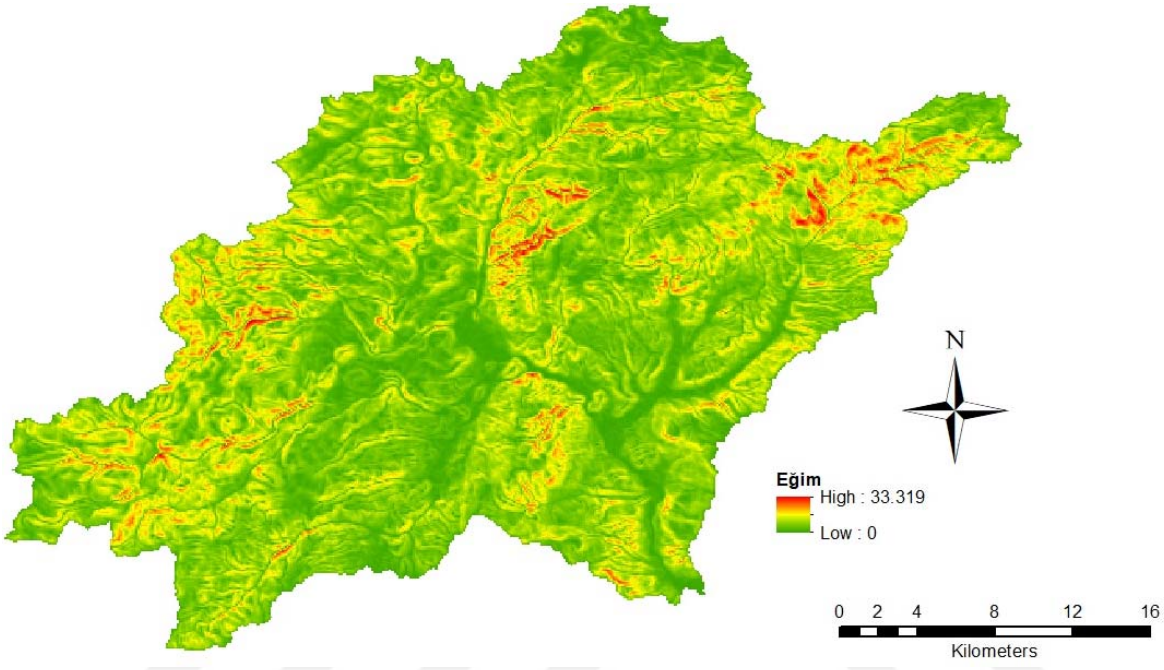
Havza parametrelerinden ana kol uzunluğunu belirlemek için *Flow Accumulation* komutu ile sınır değer belirlenerek elde edilen raster formatındaki akarsu ağı verisinin *Polyline* formatında vektör veriye çevrilmesi gereklidir. Vektör veriye çevirme işlemi tamamlandıktan sonra oluşan verinin özellikler tablosunda gösterilen çizgi uzunlukları değerinden en uzun olanı ana kol olarak belirlenir. Havzanın en uzun kol görüntüsü Şekil 4.13.'de gösterilmiştir. Ana kol uzunluğu 49,898 km olarak bulunmuştur.



Şekil 4.13. Havza akarsu ağının en uzun kolu

4.10. Eğim

Havzanın Arc-GIS programında yüzde cinsinden hesaplanan eğim haritası Şekil 4.14.‘te verilmiştir.



Şekil 4.14. Slope komutu ile elde edilmiş havzaya ait eğim haritası

5. TAŞKIN DEBİLERİNİN BELİRLENMESİ

Tatlıçay Deresi'ndeki taşkınlardan kaynaklı olarak Çankırı şehir merkezinde taşkına maruz kalacak alanların belirlenmesi için çeşitli tekerrürlerdeki (Q_2, Q_5, Q_{10}, Q_{25}, Q_{50}, Q_{100}, Q_{500}) taşkın debilerinin belirlemesi gerekmektedir. Genel olarak anlık maksimum debilerin ölçüldüğü akım gözlem istasyonları (AGİ) varsa bunlar üzerinden istatistiksel yöntemler kullanarak yüksek tekerrürdeki debi değerleri belirlenebilir. Ölçüm istasyonlarının olmadığı havzalarda ise yine yan havzalardaki ölçüm değerleri üzerinden bölgesel bir çalışma yapılarak taşkın debilerinin hesaplanması mümkündür. Bunların yanı sıra, havza üzerindeki yağış değerlerinden yararlanılarak da sentetik yöntemler yardımıyla taşkın debisi hesaplanabilir. Bu amaçla öncelikle havza için uygun taşkın hesaplama yönteminin seçilmesi önemlidir.

5.1. Taşkın Hesaplama Yönteminin Belirlenmesi

Dere, çay ve nehir kenarlarında taşkından etkilenebilecek alanlarda oluşabilecek zararların minimize edilmesi için dere yatağının taşkın debisini kısmen veya tamamen taşıyabilecek kapasitede ıslah edilmesi gerekmektedir. Genel olarak şehir dışında bulunan yerlerde (köy, kasaba, tarım arazisi vb.)100 yıl tekerrürlü taşkın debileri için ıslah çalışmaları yapılırken, şehir içi ve metropollerde 500 yıl ve 1000 yıl tekerrürlü taşkın debileri için taşkın tehlike haritaları oluşturulmakta ve buna göre ıslah çalışmaları yapılmaktadır (DSİ, 2019).

Regülatör, gölet, baraj gibi dere ve nehir yatağının üzerinde bulunan yapıların ise, taşkın anında güvenli bir şekilde havza alanından gelen taşkın debisini mansaba aktarması gerekmektedir. Bunun için bu tip yapılarda yeterli kapasitede bir savak sisteminin inşa edilmesi gerekir. Bu savak sisteminin ebatlarını belirlemek için çeşitli yinelemeli taşkın pik debi ve hidrografları bilinmelidir. Mansabında riskli bir bölge olmayan ve rezervuar hacmi nispeten az olan küçük yapılarda genel olarak 100 ve 500 yıllık yinelemeli taşkın değerleri kullanılırken, daha büyük yapılar için 1000, 5000 ve 10000 yıllık yinelemeli taşkın değerleri dikkate alınmalıdır. Küçük veya büyük su yapısı fark etmeksizin, rezervuar alanın mansabında ve riskli bir konumda yerleşim alanının bulunması durumunda da kadastrofal (muhtemel en büyük debi) değerinin güvenli bir şekilde tahliye edilmesi gerekmektedir. Bu tip durumlarda rezervuar hacmi içerisinde kadastrofal debinin geciktirilerek ötelenmesi ve

tasarım için kabul edilen (örneğin 1000 yıllık yinelemeli taşkın değeri) debi değerinin altında bir debi olarak mansaba aktarılması gerekmektedir (DSİ, 2012).

Nehir yataklarında ve su yapılarında kullanılacak taşkın debi değerlerinin hesabında, ilgili akarsu üzerinde debi ölçümünün yapılmadığı yerlerde genel olarak Snyder, DSİ ve Mockus Sentetik yöntemleri kullanılır. Bu tip havzalarda, havza karakteristikleri ve yakın yerlerde ölçülmüş yinelemeli yağış değerleri kullanılarak yapı tasarımında gerekli taşkın değerleri elde edilmeye çalışılır. Synder Sentetik Yöntemi, 1000 km² havza alanından daha büyük havza alanına sahip havzalar için iyi sonuçlar vermektedir. DSİ Sentetik yöntemi (Amerikan Toprak Muhafaza Servisi tarafından geliştirilen SCS Sentetik Metodun Türkiye için uyarlanmasıyla elde edilmiş bir taşkın debisi hesaplama yöntemidir) ise havza alanı 10 km² ile 1000 km² arasında olan orta ölçekli havzalarda sıkça kullanılan yaygın bir metottur. DSİ Sentetik Yöntemi için hidrografın yükselme süresinin (T_p) 2 saati geçmesi yöntemin güvenirliliğini artırmaktadır. Daha küçük süreler için Mockus Yöntemi idealdir. Mockus Sentetik Yöntemi ise 1.0 km² ve 10.0 km² havza alanına sahip yerler için iyi sonuçlar vermekle birlikte bu yöntem havza alanı 50.0 km²'ye kadar olan yerlerde de alternatif bir metottur. Mockus Sentetik Yöntemi toplanma zamanı (T_c) 30 saate kadar olan havzalarda süperpozesiz olarak direk kullanılabilirken, bu sürenin üzerinde toplanma zamanı olan yerlerde drenaj alanları tali parçalara ayrılarak her bir parça için çizilen hidrograflar gecikme zamanlarına göre süperpoze edilmektedir. DSİ Sentetik ve Mockus yöntemlerinin her ikisinin de kullanılabileceği durumlarda genel olarak DSİ Sentetik Yöntemi akarsu kolunun 7.0 km'den büyük olması durumunda daha iyi sonuçlar verirken, Mockus yöntemi 7.0 km'den daha kısa akarsu koluna sahip havzalar için daha ideal sonuçlar vermektedir. Havza alanı 1.0 km²'den küçük olan havzalarda ise rasyonel metot diğer yöntemlere göre daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar vermektedir. Yağış şiddet tekerrür eğrileri bilinen 1.0 km^2 alana sahip havzalarda, yağışın, toplanma süresine eşit sürede üniform akıma geçtiği varsayımı yapılmakta ve daha gerçekçi sonuçlar alınabilmektedir. Genellikle düz alanlarda ve altyapı sistemlerinin tasarımında kullanılan Mc Math Yöntemi ise regülatör, gölet ve baraj tipi yapılarda tercih edilen bir metot değildir (Nurünnisa Usul and Turan, 2006). Bu bilgilerin özeti Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Sentetik yöntemlerin uygun sonuçlar verdiği durumlar

Yöntem	Minimum Havza Alanı (km^2)	Maksimum Havza Alanı (km^2)	Hidrograf Yükselme Süresi (Minimum) (saat)	Maksimum Toplanma Süresi (maksimum) (saat)
Synder	1000	-	-	-
DSİ Sentetik	10	1000	2	-
Mockus Süperpozesiz	1	50	-	30
Rasyonel	-	1-5	-	-

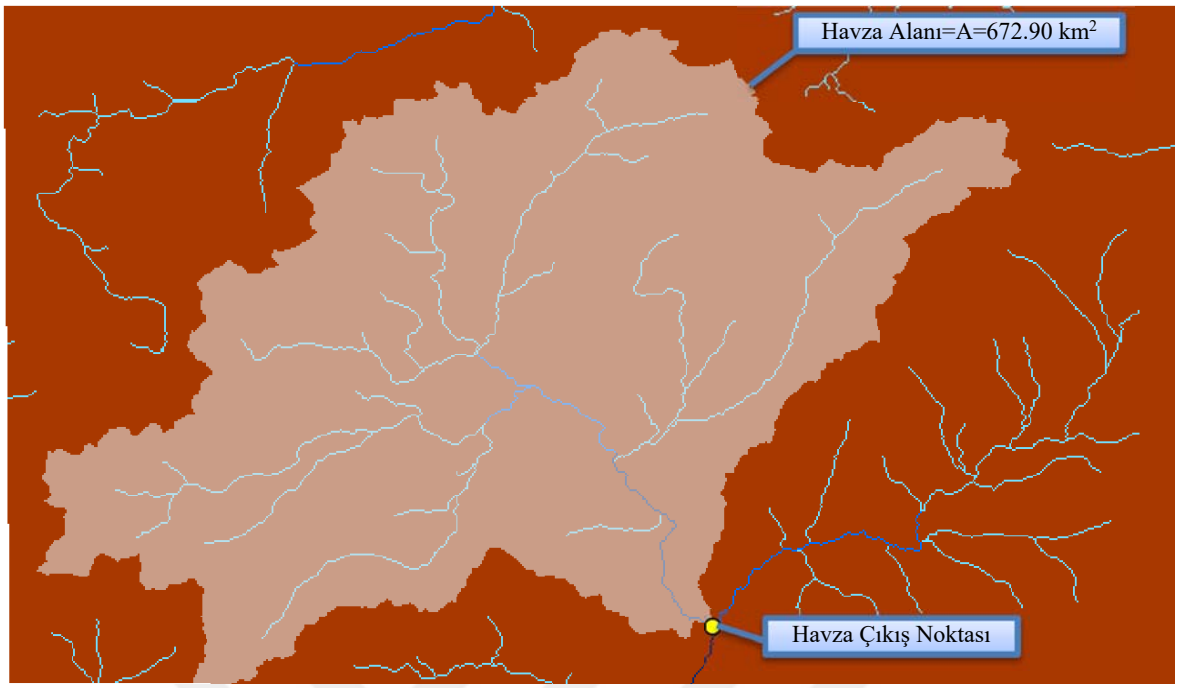
Havza alanında ve akarsu kolu üzerinde uzun dönemli taşkın debi kayıtlarının olduğu yerlerde Noktasal Taşkın Frekans Analizi (NTFA), komşu havzalarda veya yakın akarsu kollarında uzun dönemli debi kayıtlarının olduğu yerlerde ise Bölgesel Taşkın Frekans Analizi (BTFA) yöntemleri kullanılabilmektedir. Bu yöntemlere alternatif olarak da sentetik yöntemler (Snyder, DSİ ve Mockus Sentetik Yöntemleri) kullanılmaktadır.

5.2. Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Havza çıkış noktası için yapılacak olan taşkın hesabı için gerekli olan havza karakteristikleri ArcGIS Programı ile belirlenmiş ve Bölüm 4' te verilmiştir. Elde edilen havza parametreleri kullanılarak en uygun taşkın hesaplama yöntemi belirlenmiştir.

5.3. Havza Alanının Belirlenmesi

Tatlıçay Deresi'nin havza çıkış aksı belirlendikten sonra bu nokta için 1/25000 ölçekli ilgili haritalar ve ArcGIS programı kullanılarak havza alanı belirlenmiştir. Ölçekli haritalardan havza alanı 672.90 km^2 olarak belirlenmiştir. Şekil 5.1.'de havza alanı gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Tatlıçay Deresi'nin Acıçay Deresi ile birleştiği noktadaki havza sınırı

Havza alanı içindeki ana kol uzunluğu (L) ve havza ağırlık merkezinin ana koldaki izdüşümüyle havza çıkışı arasında kalan mesafe (L_c) ArcGIS ile belirlenmiş ve Şekil 5.2.'de L ve Lc uzunluklarının belirlendiği çizim verilmiştir. L uzunluğu 49.90 km, Lc uzunluğu ise 19.90 km olarak ölçülmüştür.

Şekil 5.2. Havzaya ait L ve Lc boyları

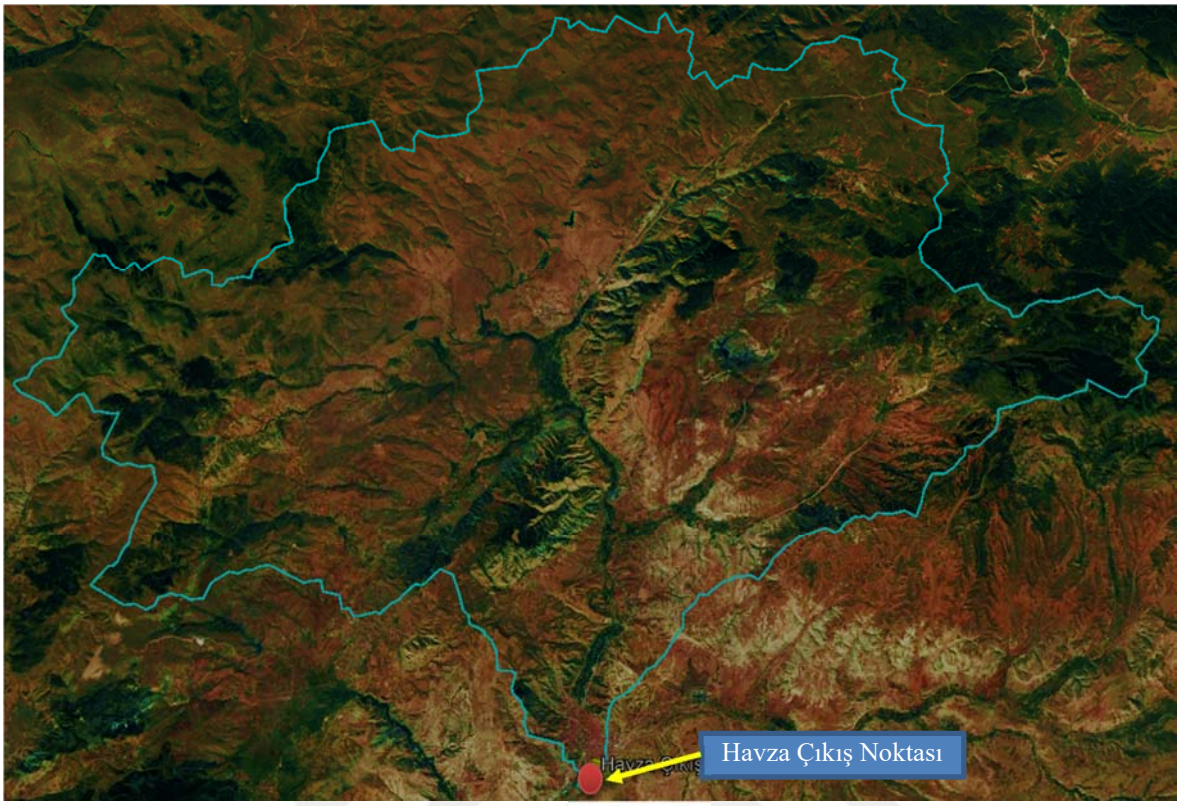
5.4. Havza Yağış – Akış Eğri Numarasının Tayini

Havza alanının en önemli karakteristik özelliklerinden bir tanesi de yağışın akışa geçişini belirleyen parametre olan yağış-akış eğri numarasıdır. Bunun için havza genel olarak sınıflara ayrılarak havzaya ait ağırlıklı ortalama eğri numarası belirlenir. Aşağıda verilen Çizelge 5.2 kullanılarak havzanın özelliklerine karşılık gelen eğri numara değerleri okunabilir.

Çizelge 5.2. Yağış akış eğri numaraları

	Arazi kullanılması örtü	Muamele ve Tatbikat	Sızma için hidrolik şart	HİDROLİK TOPRAK GRUBU			
				A	B	C	D
A. Çok kumlu zeminler.	NADAS	SR	----	77	86	91	94
B. Kumu çok, kili az zemin derince bitkisel toprak	DİZİ	SR	Zayıf	72	81	88	91
	NEBATİ	SR	İyi	67	78	85	89
C. Kumu az, kili çok zemin sığ bitkisel toprak.	Pancar gibi	C	Zayıf	70	79	84	88
		C	Zayıf	65	75	82	86
		CT	Zayıf	66	74	80	82
		CT	İyi	62	71	78	81
	UFAK	SR	Zayıf	65	76	84	88
	DANELİ	SR	İyi	63	75	83	87
	Buğday gibi	C	Zayıf	63	74	82	85
		C	İyi	61	73	81	84
		CT	Zayıf	61	72	79	82
		CT	İyi	59	70	78	81
	SIK EKİLMİŞ	SR	Zayıf	66	77	85	89
	BAKLİYAT	SR	İyi	58	72	81	85
	VEYA OT	C	Zayıf	64	75	83	85
	RATOSYONU	C	İyi	55	69	78	83
		CT	Zayıf	63	73	80	83
		CT	İyi	51	67	76	80
	ÇAYIRLIK	----	Zayıf	68	79	86	89
	VEYA	----	Müsait	49	69	79	84
	MEYDAN	----	İyi	39	61	74	80
		C	Zayıf	74	67	81	88
		C	Müsait	25	59	75	83
		C	İyi	6	35	70	79
D. Çok ağır killi veya kayalık zemin, bitkisel toprak çok ince veya hiç yok.	DEVAMLI ÇAYIR	----	----	30	58	71	78
	ORMAN	----	Zayıf	45	60	77	83
	Çiftlik	----	Müsait	36	60	73	79
	Ağaçları	----	İyi	25	55	70	77
	ÇİFTLİK BİNALARI	----	----	59	74	82	86
	YOLLAR(tozlu)	----	----	72	82	87	89
	YOLLAR (sert zeminde)	----	----	74	84	90	92

Havza yağış-akış eğri değeri belirlenirken Şekil 5.3.'te verilen havza alanının uydu görüntüsünden ve Bölüm 7'de "7.3.2 Arazi kullanımı sınıflandırılması" başlığı altında anlatılacak olan Corine (2012) verilerinden faydalanılarak arazini kullanımı ve alansal dağılımları belirlenmiştir. Elde edilen veriler neticesinde Çizelge 5.2.'deki yağış-akış eğri değerleri kullanılarak havzanın genel sınıflandırılması yapılmış ve CN eğri numarası 79 olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.3.).



Şekil 5.3. Tatlıçay Deresi havzasının ve havza çıkış noktasının uydu görüntüsü

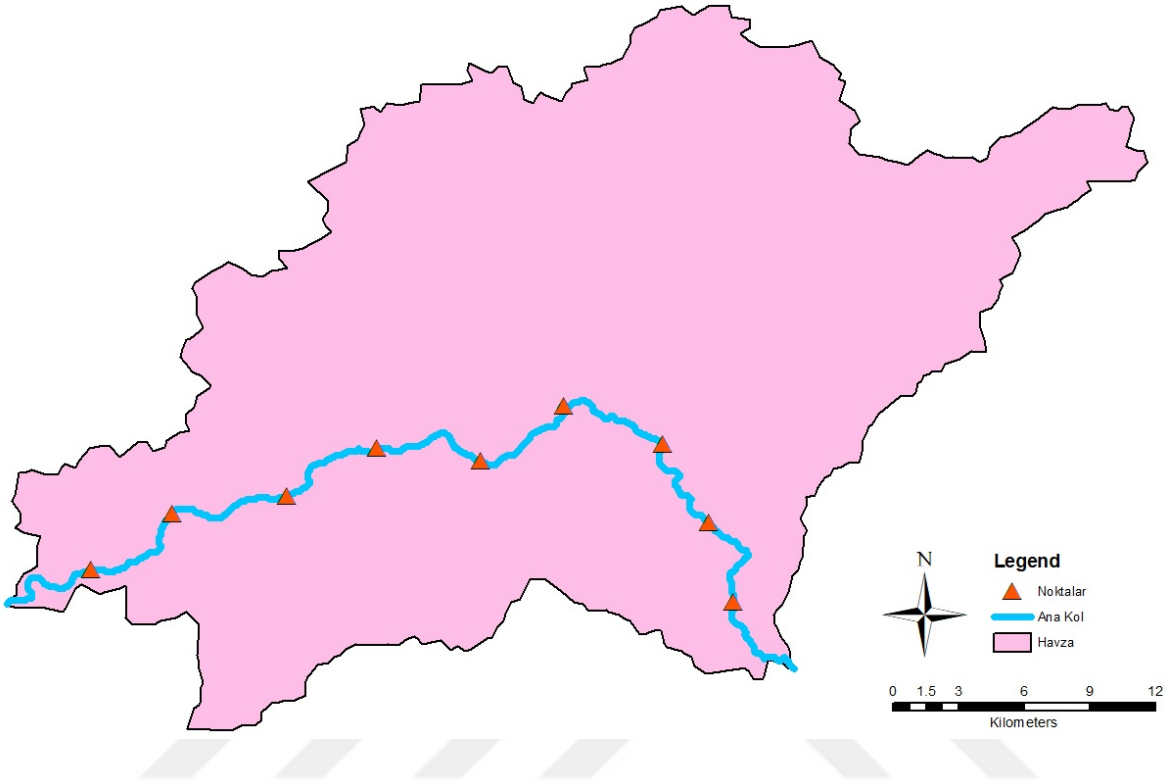
Çizelge 5.3. Tatlıçay havzası için belirlenen yağış-eğri numarasının hesaplanması

Havza Durumu	Alan (%)	Eğri No	Alan (%) x Eğri No
Çayırlık Meydan	45	79	3555
Sık Ekilmiş Bakliyat	15	83	1245
Ufak Daneli	18	75	1350
Dizi Nebati	6	78	468
Orman	10	60	600
Yollar (tozlu)	6	90	540
Toplam	100	Ağırlıklı Ortalama	78~79

5.5. Havzaya Ait Ana Kol için Harmonik Eğimin Belirlenmesi

Havzanın ana kol eğimi yağışın akışa geçmesinde etkili olan bir parametredir. Bu eğim kol boyunca değişkendir ve membaya doğru gittikçe genelde dikleşir. Ana kol için ortalama bir eğim değeri hesaplamak için ana kol 10 eşit parçaya bölünür ve 10 farklı eğim değeri hesaplanır. Tatlıçay havzası için de Bölüm 3'te anlatıldığı gibi Arc-GIS programı vasıtasıyla

ana kolun profili çıkartılmış ve eşit aralıklarla alınan değerler kullanılarak eğimler hesaplanmıştır (Şekil 5.4.).



Şekil 5.4. Arc-GIS programında Tatlıçay Deresi'nin ana kolunun harmonik eğim hesabı için parçalara ayrılması

Hesaplanan bu eğimlerin harmonik ortalaması;

$$Sh=\left[\frac{10}{\sum\frac{1}{\sqrt{S}}}\right]^2 \qquad (5.1)$$

formülüyle belirlenir.

Çizelge 5.4.'te harmonik eğimin hesaplanması gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Tatlıçay Deresi havzası için harmonik eğim hesabı

Nokta	Kot(m)	Kot Farkı(m)	Ara Mesafe(m)	Ara Eğim
0	711	-	4989,8	
1	744	33	4989,8	0,0066
2	770	26	4989,8	0,0052
3	804	34	4989,8	0,0068
4	825	21	4989,8	0,0042
5	880	55	4989,8	0,0110
6	988	108	4989,8	0,0216
7	1168	180	4989,8	0,0361
8	1340	172	4989,8	0,0345
9	1563	223	4989,8	0,0447
10	1776	213	4989,8	0,0427
S	Harmonik Ortalama Eğim			0,0123

Havzanın alanı 672,90 km² olarak belirlendiği için sentetik yöntem olarak DSİ Sentetik Yöntemi kullanılmıştır (Çizelge 5.1.). Tatlıçay Deresi üzerinde havza çıkış noktasına yakın bir akım gözlem istasyonun (AGİ) olmamasından ötürü noktasal taşkın frekans analizi (NTFA) yapılmamış fakat bölgesel olarak mevcut olan akım gözlem istasyonları kullanılarak bölgesel taşkın frekans analizi (BTFA) çalışması yapılmıştır.

Bu tez kapsamında taşkın debilerinin belirlenmesi için DSİ Sentetik Yöntemi ve BTFA yönteminden elde edilen sonuçlar birbiri ile kıyaslanmış ve daha güvenli tarafta olan sonuçlara göre hidrolik modelleme çalışmaları yapılmıştır.

5.6. DSİ Sentetik Yöntem ile Taşkın Debisi Hesabı

DSİ Sentetik Yönteminde kullanılan genel değerler Çizelge 5.5.'te özetlenmiştir. Bu yöntemde kullanılan Meteoroloji Gözlem İstasyonu (MGİ) istatistiki yağış verileri DSİ'nin 2016 yılında yaptırmış olduğu "*Çankırı Merkez Tatlıçay ve Yankolları Mühendislik Hidroloji Raporu"*ndan alınmıştır (DSİ, 2016).

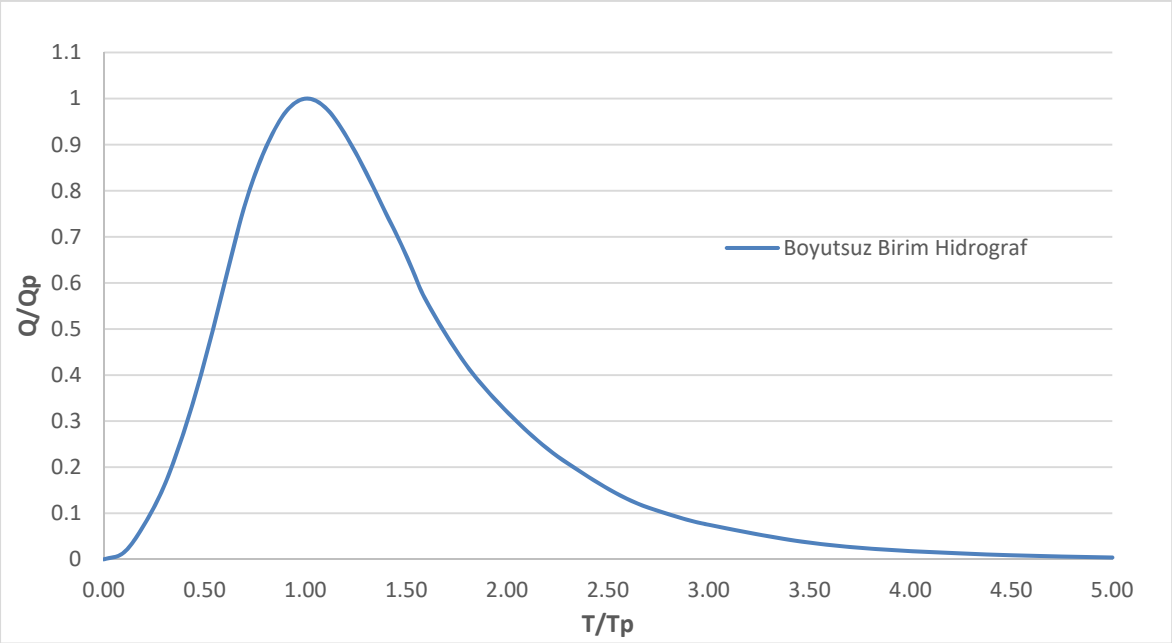
Çizelge 5.5. DSİ Sentetik Yönteminde kullanılan genel değerler

Birim	Açıklama	Değer
A (km²)	Havza Alanı (km^2)	672,90
L (km)	Havza Alanı İçindeki Ana Kol Uzunluğu (m)	49,90
Lc (km)	Havza Ağırlık Merkezinin Ana Koldaki İzdüşümüyle Havza Çıkışı Arasında Kalan Mesafe (m)	19,23
CN	Havza Katsayısı (CN)	79
Sh	Harmonik Eğim	0,0123

DSİ Sentetik Yöntemi ile havzadaki yağış değerleri hesaplanırken boyutsuz birim hidrograf kullanılır. Bu boyutsuz hidrograf havza karakteristiklerine göre birim akış miktarı için boyutlandırılarak havzanın birim hidrografı elde edilir. Çizelge 5.6.'da boyutsuz birim hidrograf değerleri ve Şekil 5.5.'te boyutsuz birim hidrograf grafiği verilmiştir.

Çizelge 5.6. DSİ Sentetik Yöntemi boyutsuz birim hidrograf değerleri

T/Tp	Q/Qp	T/Tp	Q/Qp
0,0	0,00	1,4	0,75
0,1	0,02	1,5	0,66
0,2	0,08	1,6	0,56
0,3	0,16	1,8	0,42
0,4	0,28	2,0	0,32
0,5	0,43	2,2	0,24
0,6	0,60	2,4	0,18
0,7	0,77	2,6	0,13
0,8	0,89	2,8	0,10
0,9	0,97	3,0	0,08
1,0	1,00	3,5	0,04
1,1	0,98	4,0	0,02
1,2	0,92	4,5	0,01
1,3	0,84	5,0	0,00



Şekil 5.5. DSİ Sentetik Yöntemi boyutsuz birim hidrograf grafiği

Tabloda verilen Q_p ve T_p değerleri sırasıyla maksimum debiyi ve süreyi verir. Havza alanı için birim hidrograf çıkartmak için öncelikle havzada birim alanda ve birim yağışta ne kadarlık bir debi oluştuğu hesaplanmalıdır. Bunun için aşağıda verilen ampirik formül kullanılmaktadır.

$$q = \frac{414}{(A^{0,225} x \left(\frac{L\ x\ Lc}{Sh^{0.5}}\right)^{0.16})} \tag{5.2}$$

Bu denklemde:

$q\ (\frac{lt}{s}/km^2/mm)$: Birim alanda birim derinlikteki (1 mm) yüzey akışıyla oluşacak debi değeri,

$A\ (km^2)$: Havza alanı,

$L\ (km)$: Havza alanı içindeki ana kol uzunluğu,

$Lc\ (km)$: Havza ağırlık merkezinin ana koldaki izdüşümüyle havza çıkışı arasında kalan mesafe,

Sh: Harmonik ortalama eğim olarak simgelenmiştir.

A = 672.90 km^2, L =49.90 km, Lc = 19.23 km ve Sh = 0.0123 değerleri Denklem 5.2'de yerine konulduğunda q değeri 22.42 lt/s/km^2/mm olarak elde edilmektedir. Elde edilen bu değer havza alanı ile çarpıldığında birim akışta havza oluşacak debi miktarı belirlenmiş olur.

$$Q_P = A\ x\ q\ /1000 \quad (5.3)$$

Bu denklemde:

Q_P ($\frac{m^3/s}{mm}$) : Tüm havzada birim derinlikteki yüzey akışıyla oluşacak debi değeri olarak simgelenmiştir.

A = 672.90 km^2 ve q =22.42 lt/s/km^2/mm değerleri Denklem 5.3'te yerine konulduğunda havza alanı için Q_P değeri 15.09 m³/s/mm olarak hesaplanır. Havzada birim akış miktarı ile oluşacak olan toplam hacim ise aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$V = A\ /1000 \quad (5.4)$$

Bu denklemde:

V (m^3): Tüm havzada birim derinlikteki yüzey akışıyla oluşacak hacim olarak simgelenmiştir.

A = 672.90 km^2 değeri Denklem 5.4'te yerine konulduğunda V değeri bu havza için 672900 m³ olarak hesaplanır. Boyutsuz hidrografı havza için boyutlu hale getirmek için yukarıda hesaplanan Q ve V değerleri kullanılır. Hidrografın toplam süresini belirlemek için aşağıdaki formül kullanılır.

$$T = 3.65\ x\ (\frac{V}{Q_P})\ /3600 \quad (5.5)$$

Bu denklemde:

T ($saat$): Birim hidrograf süresi olarak simgelenmiştir.

V = 672 900 m^3 ve Qp = 15.09 m³/s/mm değeri Denklem 5.5'te yerine konulduğunda birim hidrograf süresi T (saat) 45.21 saat olarak bulunur.

Hidrografın zirve yaptığı zaman ise toplam sürenin beşte biri alınarak hesaplanır.

$$Tp = T\ /5 \quad (5.6)$$

Bu denklemde:

$Tp\ (saat)$: Birim hidrografın pik yaptığı süre olarak simgelenir ve denklemde toplam hidrograf süresi yerine konulduğunda birim hidrografın pik yaptığı süre Tp (saat) 9.04 saat olarak hesaplanır. Pik debi için geçen süre 2,0 saati geçtiği için birim hidrograf BH_2 kullanılması uygundur. Yukarıdaki hesaplamaları özetleyen bilgeler Çizelge 5.7.'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. DSİ Sentetik Yönteminde birim hidrografın tespit edilmesi için hesap edilen değerler

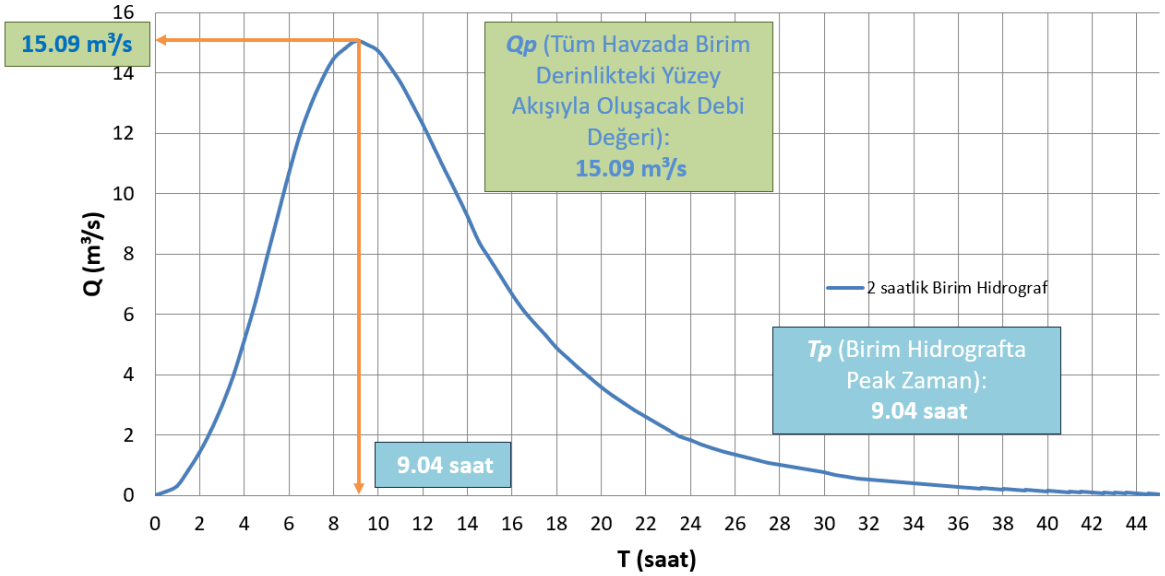
Birim Hidrograf Hesabı		
Qp ($m^3/s/mm$)	Tüm Havzada Birim Derinlikteki Yüzey Akışıyla Oluşacak Debi Değeri	15,09
Vb (m^3)	Tüm Havzada Birim Derinlikteki Yüzey Akışıyla Oluşacak Hacim	672 900
T (saat)	Birim Hidrograf Süresi	45,21
Tp (saat)	Birim Hidrografta Pik Zaman	9,04

Hesaplamalar neticesinde havza alanı için elde edilen birim hidrograf değerleri Çizelge 5.8.'de, birim hidrograf grafiği ise Şekil 5.6.'da verilmiştir.

Boyutsuz birim hidrograf için verilen oranlar kullanılarak 30 dakika süre aralığında 2 saatlik birim hidrograf (BH_2) değerler elde edilebilir.

Çizelge 5.8. Havza için tespit edilen BH_2 birim hidrografı

2 Saatlik Birim Hidrograf BH_2					
T (saat)	Q(m^3/s)	T (saat)	Q(m^3/s)	T (saat)	Q(m^3/s)
0.00	0.00	15.50	7.24	31.00	0.63
0.50	0.13	16.00	6.66	31.50	0.56
1.00	0.32	16.50	6.15	32.00	0.52
1.50	0.82	17.00	5.73	32.50	0.49
2.00	1.40	17.50	5.32	33.00	0.46
2.50	2.11	18.00	4.90	33.50	0.43
3.00	2.99	18.50	4.55	34.00	0.40
3.50	3.99	19.00	4.22	34.50	0.37
4.00	5.18	19.50	3.88	35.00	0.34
4.50	6.44	20.00	3.57	35.50	0.31
5.00	7.85	20.50	3.32	36.00	0.28
5.50	9.27	21.00	3.07	36.50	0.26
6.00	10.68	21.50	2.82	37.00	0.25
6.50	11.96	22.00	2.59	37.50	0.23
7.00	12.96	22.50	2.38	38.00	0.22
7.50	13.78	23.00	2.17	38.50	0.20
8.00	14.45	23.50	1.97	39.00	0.19
8.50	14.82	24.00	1.83	39.50	0.17
9.00	15.07	24.50	1.70	40.00	0.16
9.50	14.94	25.00	1.56	40.50	0.14
10.00	14.73	25.50	1.44	41.00	0.13
10.50	14.23	26.00	1.35	41.50	0.12
11.00	13.68	26.50	1.25	42.00	0.11
11.50	13.02	27.00	1.16	42.50	0.11
12.00	12.31	27.50	1.08	43.00	0.10
12.50	11.56	28.00	1.02	43.50	0.09
13.00	10.81	28.50	0.95	44.00	0.08
13.50	10.06	29.00	0.89	44.50	0.07
14.00	9.23	29.50	0.82	45.00	0.06
14.50	8.41	30.00	0.76		
15.00	7.83	30.50	0.69		



Şekil 5.6. Havza alanı için belirlenen DSİ Sentetik Metod 2 saatlik birim hidrografı

Belirlenen birim hidrografın 2 saat süreli yağış sonucunda oluştuğu varsayımı yapıldığı için bu hidrograf BH_2 olarak isimlendirilmiştir. Uzun zamanlı yağışlara ait hidrografların daha kolay elde edilmesi için BH_4 ve BH_6 birim hidrografları da BH_2 birim hidrografı kullanılarak türetilmiştir. Türetme çalışmasını yapmak için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$2BH_4 = BH_2 + BH_{2(2\ saat\ gecikmeli)} \quad (5.7)$$

$$3BH_6 = BH_2 + BH_{2(2\ saat\ gecikmeli)} + BH_{2(4\ saat\ gecikmeli)} \quad (5.8)$$

Yukarıdaki denklemler yardımıyla elde edilen BH_4 ve BH_6 birim hidrograflarına ait değerler Çizelge 5.9.'da ve Çizelge 5.10.'da verilmiştir.

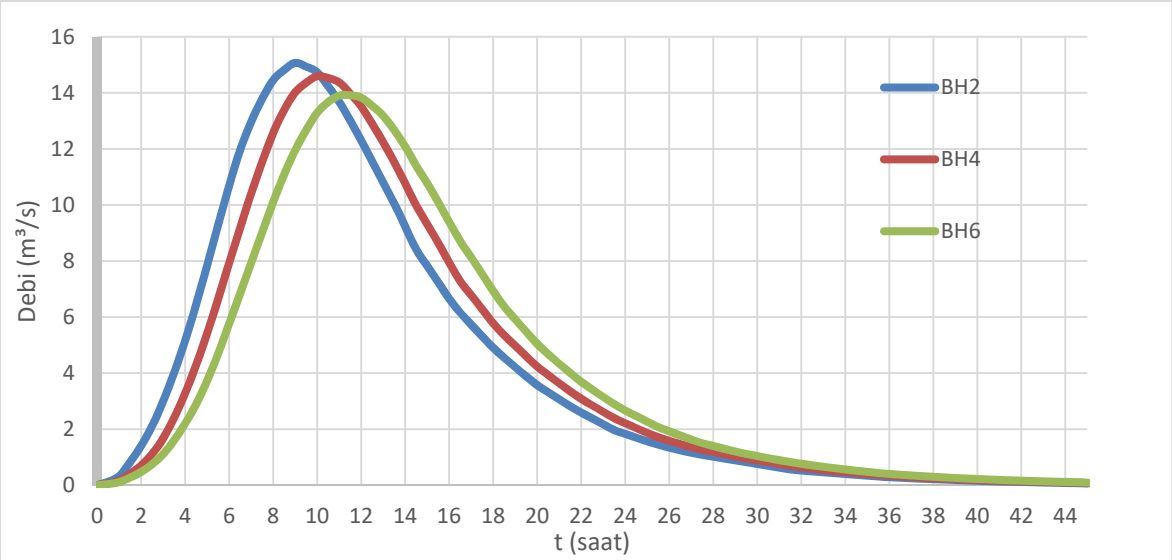
Çizelge 5.9. Havza için tespit edilen BH_4 birim hidrografı

4 Saatlik Birim Hidrograf BH_4					
T (saat)	Q(m^3/s)	T (saat)	Q(m^3/s)	T (saat)	Q(m^3/s)
0.00	0.00	16.00	7.95	32.00	0.64
0.50	0.06	16.50	7.28	32.50	0.59
1.00	0.16	17.00	6.78	33.00	0.54
1.50	0.41	17.50	6.28	33.50	0.50
2.00	0.70	18.00	5.78	34.00	0.46
2.50	1.12	18.50	5.35	34.50	0.43
3.00	1.66	19.00	4.98	35.00	0.40
3.50	2.41	19.50	4.60	35.50	0.37
4.00	3.29	20.00	4.23	36.00	0.34
4.50	4.27	20.50	3.93	36.50	0.32
5.00	5.42	21.00	3.64	37.00	0.29
5.50	6.63	21.50	3.35	37.50	0.27
6.00	7.93	22.00	3.08	38.00	0.25
6.50	9.20	22.50	2.85	38.50	0.23
7.00	10.40	23.00	2.62	39.00	0.22
7.50	11.53	23.50	2.39	39.50	0.20
8.00	12.57	24.00	2.21	40.00	0.19
8.50	13.39	24.50	2.04	40.50	0.17
9.00	14.01	25.00	1.87	41.00	0.16
9.50	14.36	25.50	1.71	41.50	0.15
10.00	14.59	26.00	1.59	42.00	0.14
10.50	14.53	26.50	1.47	42.50	0.12
11.00	14.38	27.00	1.36	43.00	0.11
11.50	13.98	27.50	1.26	43.50	0.11
12.00	13.52	28.00	1.18	44.00	0.10
12.50	12.90	28.50	1.10	44.50	0.09
13.00	12.24	29.00	1.02	45.00	0.08
13.50	11.54	29.50	0.95	45.50	0.04
14.00	10.77	30.00	0.89	46.00	0.04
14.50	9.98	30.50	0.82	46.50	0.04
15.00	9.32	31.00	0.76	47.00	0.03
15.50	8.65	31.50	0.69		

Çizelge 5.10. Havza için tespit edilen BH_6 Birim Hidrografı

6 Saatlik Birim Hidrograf BH_6					
T (saat)	Q(m^3/s)	T (saat)	Q(m^3/s)	T (saat)	Q(m^3/s)
0.00	0.00	16.50	8.71	33.00	0.66
0.50	0.04	17.00	8.12	33.50	0.61
1.00	0.11	17.50	7.54	34.00	0.56
1.50	0.27	18.00	6.93	34.50	0.52
2.00	0.47	18.50	6.37	35.00	0.48
2.50	0.75	19.00	5.93	35.50	0.44
3.00	1.10	19.50	5.48	36.00	0.40
3.50	1.60	20.00	5.04	36.50	0.38
4.00	2.20	20.50	4.67	37.00	0.35
4.50	2.89	21.00	4.34	37.50	0.33
5.00	3.72	21.50	4.01	38.00	0.30
5.50	4.69	22.00	3.69	38.50	0.28
6.00	5.76	22.50	3.42	39.00	0.26
6.50	6.84	23.00	3.15	39.50	0.24
7.00	7.93	23.50	2.89	40.00	0.22
7.50	9.01	24.00	2.66	40.50	0.20
8.00	10.11	24.50	2.47	41.00	0.19
8.50	11.07	25.00	2.27	41.50	0.18
9.00	11.96	25.50	2.08	42.00	0.16
9.50	12.66	26.00	1.92	42.50	0.15
10.00	13.29	26.50	1.78	43.00	0.14
10.50	13.67	27.00	1.63	43.50	0.13
11.00	13.90	27.50	1.50	44.00	0.12
11.50	13.91	28.00	1.40	44.50	0.11
12.00	13.83	28.50	1.30	45.00	0.10
12.50	13.54	29.00	1.20	45.50	0.07
13.00	13.19	29.50	1.12	46.00	0.06
13.50	12.67	30.00	1.04	46.50	0.06
14.00	12.09	30.50	0.97	47.00	0.05
14.50	11.40	31.00	0.89	47.50	0.03
15.00	10.77	31.50	0.82	48.00	0.03
15.50	10.11	32.00	0.77	48.50	0.02
16.00	9.40	32.50	0.71	49.00	0.02

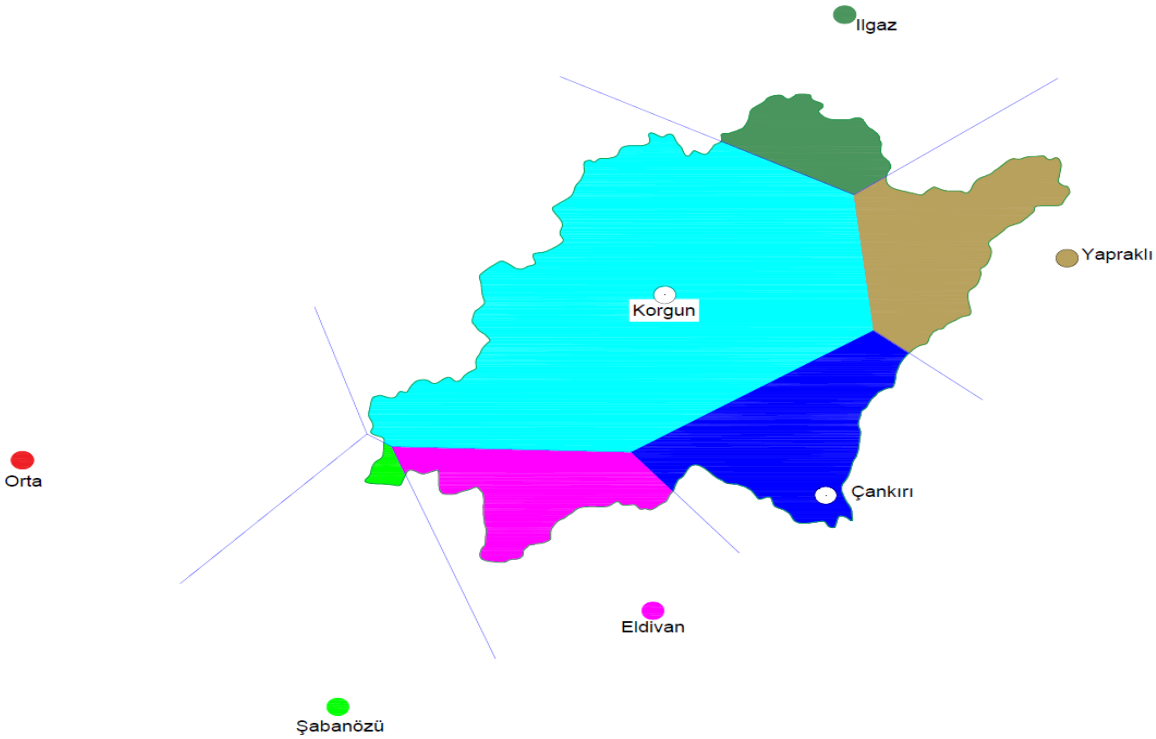
Çizelge 5.9. ve Çizelge 5.10.'da verilen değerler grafik şeklinde Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7.BH_2, BH_4 ve BH_6 Birim Hidrografları

5.6.1. Thissen Poligonu ile meteoroloji istasyonlarının havzadaki temsil oranının tespit edilmesi

Birim hidrografların tespit edilmesinin ardından, havza alanı için çeşitli yinelemeli yağış değerleri elde edilmelidir. Bu nedenle havza alanını en iyi temsil eden istasyonu bulmak için Thissen poligonu çizilmiştir (Şekil 5.8.).



Şekil 5.8. Havza alanı için belirlenen thissen poligonu

Thissen poligonu ile meteoroloji istasyonlarının havza üzerindeki temsil oranı belirlenmiş ve Çizelge 5.11.'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Meteoroloji istasyonlarının havzadaki temsil oranları

İstasyon Adı	Havzadaki Temsil Ettiği Alan (km²)	Havzadaki Temsil Oranı
Orta	0	0.00%
Ilgaz	37.61	5.59%
Yapraklı	86.07	12.79%
Korgun	384.83	57.18%
Çankırı	96.58	14.35%
Eldivan	64.06	9.52%
Şabanözü	3.85	0.57%
Toplam	673	100.00%

Thissen poligonundan da tespit edildiği gibi Orta Meteoroloji istasyonunun havza üzerinde temsil ettiği bir alan yoktur (Şekil 5.8.). Çizelge 5.11.'deki istasyonların farklı tekerrürlü yağış değerleri Çizelge 5.12.'de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Meteoroloji istasyonları yüksek tekerrürlü yağış değerleri (DSİ, 2016)

Hidrolojik Girdiler							
Yinelenmeli Yağış Miktarları (mm)		Tr (yıl)					
İstasyonlar	Thiessen Oranı	2	5	10	25	50	100
ORTA (DMİ)	0.00%	24.87	33.68	39.93	47.94	53.88	59.75
ILGAZ (DMİ)	5.90%	28.25	38.98	46.78	57.42	65.95	74.99
YAPRAKLI (DMİ)	12.79%	32.86	45	53.03	63.19	70.72	78.2
KORGUN (DMİ)	57.18%	25.59	34.62	40.44	47.53	52.61	57.52
ÇANKIRI (DMİ)	14.35%	26.54	34.97	41.55	51.07	59.09	67.97
ELDİVAN (DMİ)	9.52%	35.02	46.85	54.26	63.26	69.7	75.94
ŞABANÖZÜ (DMİ)	0.01%	33.37	39.74	43.06	46.61	48.9	50.96
Havzanın Yağış Değerleri		27.65	37.33	43.80	52.00	58.14	64.30

5.6.2. Plüviyograf katsayıları kullanılarak 24 saatlik yağışın 2, 4, 6, 8, 12, 18 saat yağış değerlerine çevrilmesi

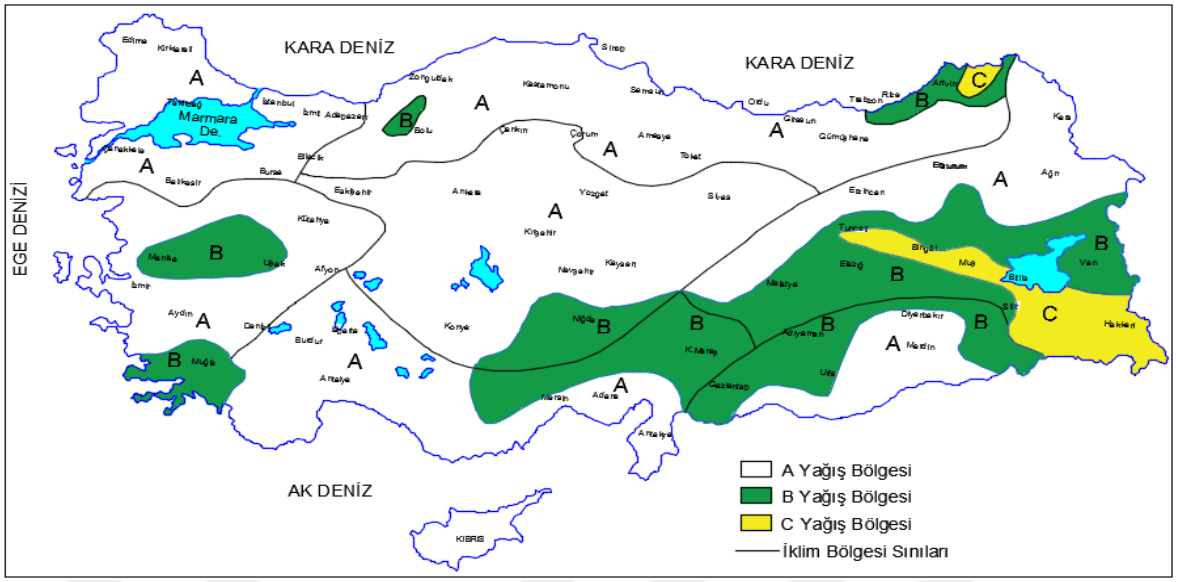
Meteoroloji istasyonlarında yağış derinliğinin ölçülmesi 24 saatlik yağışlar üzerinden elde edilir. Fakat havza çıkışında, şiddeti yoğun daha kısa süreli yağışlarda (2 saatlik, 4 saatlik yağışlar gibi) daha büyük taşkın debi değerleri oluşabilir. Bu kısa süreli yağışlar 24 saatlik yağış sonucu oluşan toplam yağış miktarından daha az bir yağış derinliği oluştursalar bile, daha kısa sürede daha şiddetli yağışlardan dolayı bu durum meydana gelebilir. 24 saatlik ölçüm değerlerini kullanarak daha kısa sürede oluşan yağış derinliklerini tespit etmek için Meteoroloji istasyonlarında ölçülen plüviyograf katsayıları kullanılmaktadır. Plüviyograf katsayıları eğer ilgili meteoroloji istasyonlarında ölçülmüyorsa bölgeye en yakın istasyona ait plüviyograf katsayıları değerlendirmeye alınır. Bölgeye en yakın yerde ölçülen plüviyograf katsayıları Çankırı Meteoroloji İstasyonuna ait olup, ilgili değerler Çizelge 5.13.'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. Çankırı MGM İstasyonu plüviyograf katsayıları (DSİ, 2016)

t (saat)	2	4	6	8	12	18	24
Katsayı	0.66	0.74	0.78	0.82	0.89	0.94	1.00

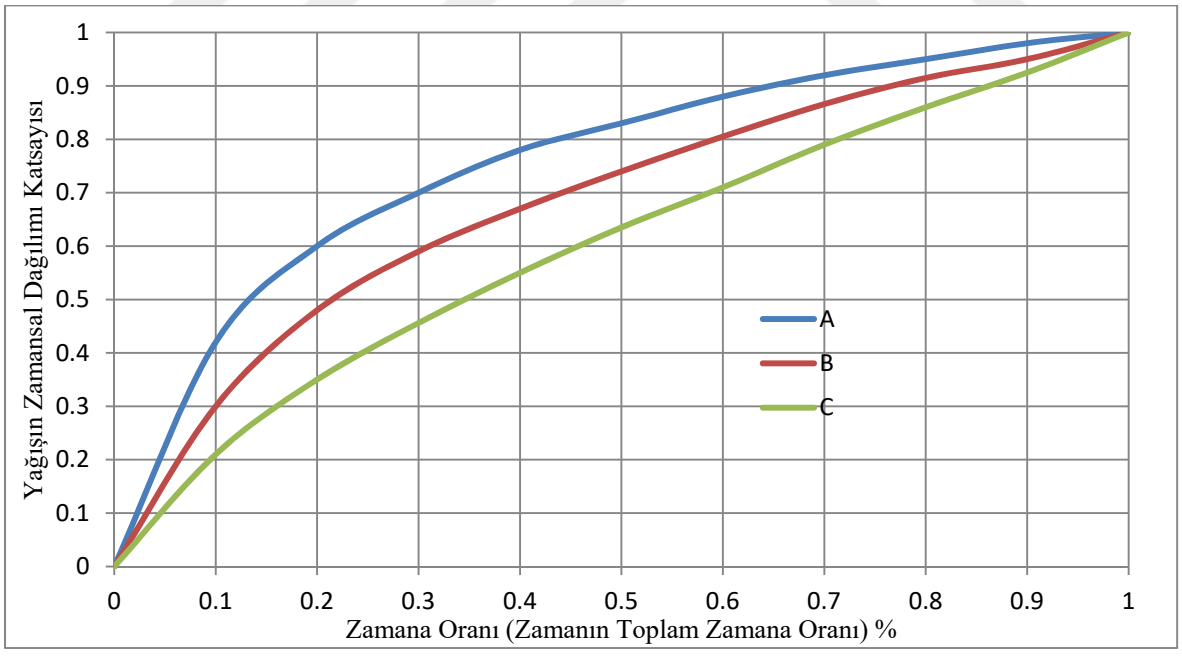
5.6.3. Yağışın zamansal dağılım katsayılarının belirlenmesi

Havza alanına yağan yağmur her zaman eşit şiddette yağmaz ve bu durum havza çıkışında oluşacak olan hidrograf değerini önemli ölçüde etkiler. Genel olarak yağmurlar ilk anlarında daha şiddetli olmakta ve zamanla şiddeti azalarak yağış durmaktadır. Türkiye üzerinde yağışın zamansal olarak dağılımı Şekil 5.9.'da belirtilen haritadaki bölgeler değerlendirilerek yapılır.



Şekil 5.9. Türkiye haritası üzerinde yağışın zamansal dağılım gösterimi (A, B ve C bölgeleri) (Günel, 2005)

Tatlıçay Deresi'ne ait havza, A yağış bölgesinde yer almaktadır. A Bölgesi için zamansal dağılım değerleri Şekil 5.10.'daki grafikten elde edilebilir.



Şekil 5.10. Bölgelere göre yağışın zamansal dağılımı grafiği (Günel, 2005)

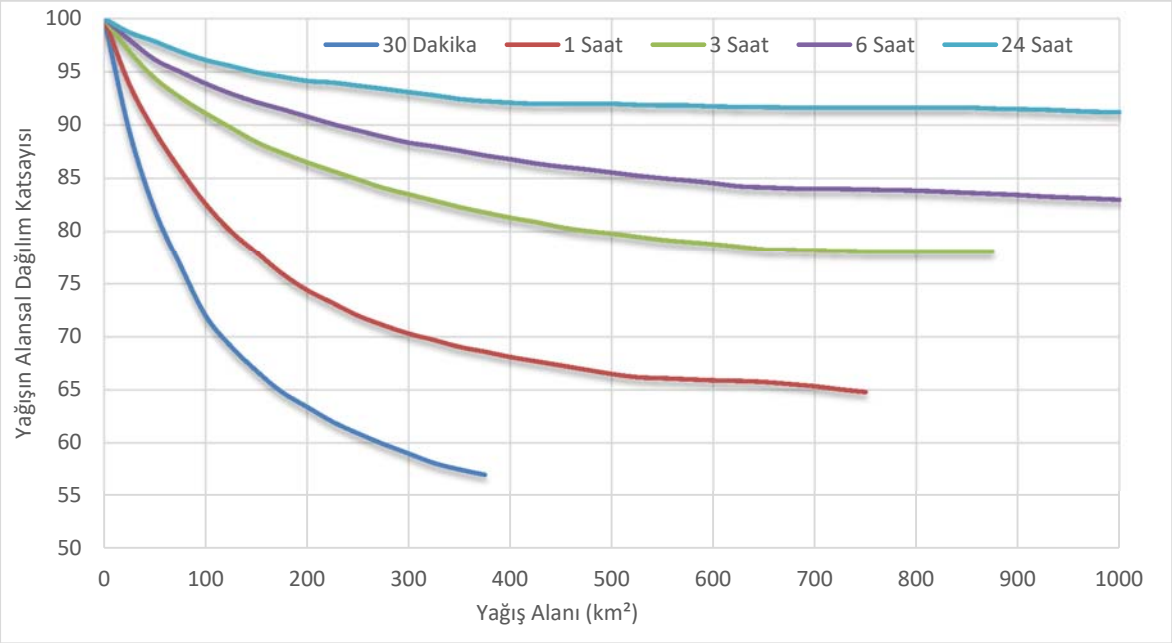
Grafik üzerinden elde edilen katsayılar ise Çizelge 5.14.'te verilmiştir.

Çizelge 5.14. Proje alanı için elde edilen yağışın zamansal dağılımı katsayıları (A Bölgesi)

Zaman Oranı %	8%	11%	17%	22%	25%	33%
Katsayı	0.36	0.44	0.56	0.63	0.66	0.72
Zaman Oranı %	44%	50%	67%	75%	80%	100%
Katsayı	0.80	0.83	0.91	0.93	0.95	1.00

5.6.4. Yağışın alansal dağılım katsayılarının belirlenmesi

Meteoroloji istasyonlarında yapılan ölçümler tek bir noktada yapılır ve taşkın hesaplarında kullanmak için maksimum değerler ilgili zamanlar için kayıt altına alınır. Havza alanına etki edecek yağmurun tek noktada değerlendirilen maksimum veriler üzerinden değerlendirmeye alınması aşırı güvenli hesap sonuçlarına neden olacaktır. Bu da olağan taşkın değerlerinin üzerinde taşkın debileri ile yapı boyutlandırması neticesinde ekonomik olmayan ebatlar elde edilmesine yol açacaktır. Yağış değerlerinin makul bir seviyeye çekilmesi için havzanın alanı ve yağış süresi dikkate alınarak azaltma katsayıları havza için belirlenmelidir. Şekil 5.11.'deki grafik yardımıyla çeşitli yağmur sürelerine karşılık gelen katsayılar elde edilebilir.



Şekil 5.11. Çeşitli yağış sürelerine karşılık gelen yağış alan dağılımı grafiği (Günel, 2005)

Proje sahası için belirlenen Yağış Alan Dağılım Katsayıları (YADK) Çizelge 5.15.'te verilmiştir.

Çizelge 5.15. Proje alanı (A=672,90 km^2) için elde edilen yağışın alansal dağılımı katsayıları

t (saat)	2	4	6	8	12	18	24
Katsayı	0.73	0.80	0.84	0.85	0.87	0.89	0.92

5.6.5. Maksimize faktörünün uygulanması

DSİ Sentetik Yöntemi uygulanırken yağışın zamansal dağılımı katsayısı (YZDK) ve yağışın alansal dağılım katsayısı (YADK) gibi çeşitli azaltma faktörleri uygulanmaktadır. Bu azaltma katsayılarının içerdiği belirsizliklerden dolayı elde edilen son yağış değerlerinin bir katsayı ile artırılması daha güvenli hesaplar elde edilmesini sağlar. Maksimize faktörü denilen bu katsayı değeri 1,13 olarak uygulanmaktadır.

5.6.6. Çeşitli tekerrürlerde taşkın debi değerlerinin elde edilmesi

Taşkın hidrografını elde etmek için gerekli bütün veriler sağlandıktan sonra taşkın debilerini belirlemek için gerekli hesaplamalar aşağıda verilmiştir. Çeşitli tekerrürlere göre yağış miktarları Çizelge 5.16.'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Çeşitli tekerrürlere göre yağış miktarları

				Tekerrür Süresi (yıl)					
				2	5	10	25	50	100
				Havzanın Yağış Değerleri (mm)					
Yağış Süresi (saat)	Plüviyograf Katsayısı	YADK	Maksimize Faktörü	27.65	37.33	43.80	52.00	58.14	64.30
2	0.66	0.73	1.13	15.05	20.32	23.84	28.31	31.65	35.01
4	0.74	0.80	1.13	18.49	24.97	29.30	34.79	38.89	43.02
6	0.78	0.84	1.13	20.47	27.64	32.43	38.50	43.04	47.61
8	0.82	0.85	1.13	21.77	29.40	34.49	40.96	45.79	50.65
12	0.89	0.87	1.13	24.19	32.66	38.32	45.50	50.87	56.26
18	0.94	0.89	1.13	26.14	35.29	41.40	49.16	54.96	60.79
24	1.00	0.92	1.13	28.58	38.60	45.28	53.77	60.11	66.49

Havza alanına yağan yağış miktarı tamamıyla akışa geçmez. Akışa geçen miktar aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır (Bingöl, 2006).

$$\text{ha}=\frac{(\text{P-0.2 x S})^2}{\text{P}+(0.8\text{ x S})} \quad (5.9)$$

Bu denklemde;

$ha\ (mm)$: Havzada yağış sonucu oluşan akış miktarı

$P\ (mm)$: Havza alanına yağan yağış miktarı

$S\ (mm)$: Havzada akışın harici sızıntı olan veya havza içerisinde kalan yağış miktarı olarak simgelenmiştir. Bu değer ise aşağıdaki ampirik denklem ile elde edilebilir (Bingöl, 2006).

$$\text{S}=\left(\frac{1000}{\text{CN}}\text{-10}\right)\text{ x 25.4} \quad (5.10)$$

Bu denklemde;

CN: Havza için tespit edilen eğri numarasını simgelemektedir (CN:79). Denklemde CN değeri yerine konulduğunda S değeri 67.52 mm olarak tespit edilmiştir.

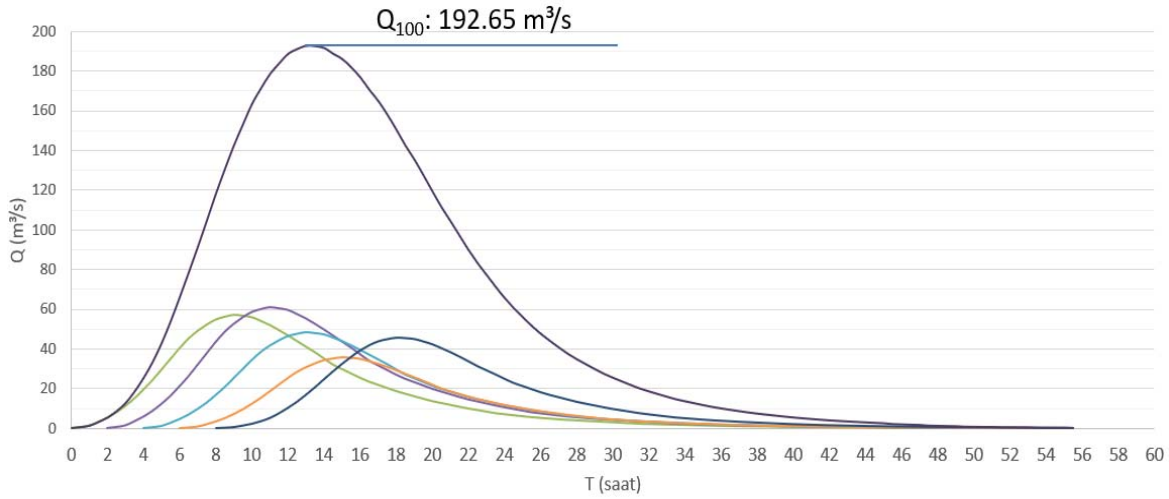
Yağışın zamansal dağılımı ve akışa geçme miktarları hesaplanarak çeşitli yağış sürelerine karşılık gelen akış miktarları tespit edilmiştir. Çizelge 5.17.'de hesaplanan değerler sunulmuştur. Yağış süreleri de birim hidrograf süreleri cinsinden hesaplanarak tablonun son sütunun da gösterilmiştir. Örneğin, 12 saatlik bir yağış için birim hidrografa bölme şekli Çizelge 5.15'ten de anlaşılacağı gibi 12 saatlik yağış için taşkın hidrografı (Q);

$$Q = A1\ x\ BH_2 + A2\ x\ BH_{2\ (2\ saat\ gec.)} + A3\ x\ BH_{2\ (5\ saat\ gec.)} + A4\ x\ BH_{2\ (6\ saat\ gec.)} + A5\ x\ BH_{4\ (8\ saat\ gec)} \quad (5.11)$$

şeklinde formüle edilebilir. Burada An, çeşitli tekerrürlerdeki yağış miktarının zamansal olarak bölünmesiyle elde edilen akışın artım miktarını yani birim hidrografın hangi katsayı ile çarpılacağını vermektedir. Buna göre Çizelge 5.17.'de verilen katsayılar birim hidrograflarla çarpılarak toplandığında 100 yıl tekerrüre sahip 12 saatlik yağışın oluşturacağı hidrograf (Q_{100}) elde edilmiştir.

$$Q_{100} = 3.81\ x\ BH_2 + 4.03\ x\ BH_{2\ (2\ saat\ gec.)} + 3.21\ x\ BH_{2\ (5\ saat\ gec.)} + 2.38\ x\ BH_{2\ (6\ saat\ gec.)} + 3.14\ x\ BH_{4\ (8\ saat\ gec)} \quad (5.12)$$

Yukardaki formül kullanılarak türetilen 100 yılda bir olabilecek 12 saatlik yağışın hesapları eklerde verilmiştir. Elde edilen taşkın hidrografı Şekil 5.12.'de verilmiştir



Şekil 5.12. 100 yıl tekerrüründe 12 saatlik yağışa karşılık havza çıkışında elde edilen hidrograf

Çizelge 5.17.'de elde edilen değerler ve birim hidrograflar kullanılarak çeşitli yağış süreleri için havzada oluşacak akışlar ve çeşitli yağış sürelerine karşılık gelen taşkın debi miktarları hesaplanmıştır.

Çizelge 5.17. 100 yıl tekerrürlü yağış miktarlarının zamansal dağılımı ve akışa geçen miktarlar

Yağış Süresi	Saat	% zaman oranı	YZD katsayısı	Yağış (mm)	Akış (mm)	Artım (mm)	Birim Hidrograf
2 Saat	2	100%	1	35.01	5.19	5.19	BH_2
4 Saat	2	50%	0.83	35.86	5.56	5.56	BH_2
	4	100%	1	43.02	8.98	3.41	$BH_{2\ (2saat\ gec.)}$
6 Saat	2	33%	0.72	34.50	4.98	4.98	BH_2
	4	67%	0.91	43.22	9.08	4.10	$BH_{2(2\ saat\ gec.)}$
	6	100%	1	47.61	11.45	2.36	$BH_{2(4\ saat\ gec.)}$
8 Saat	2	25%	0.66	33.31	4.49	4.49	BH_2
	4	50%	0.83	42.23	8.57	4.08	$BH_{2(2\ saat\ gec.)}$
	6	75%	0.93	47.28	11.26	2.69	$BH_{2\ (4\ saat\ gec.)}$
	8	100%	1	50.65	13.18	1.92	$BH_{2\ (6\ saat\ gec.)}$
12 Saat	2	17%	0.56	31.56	3.81	3.81	BH_2
	4	33%	0.72	40.77	7.84	4.03	$BH_{2(2\ saat\ gec.)}$
	6	50%	0.83	46.91	11.06	3.21	$BH_{2\ (4\ saat\ gec.)}$
	8	67%	0.91	51.08	13.44	2.38	$BH_{2(6\ saat\ gec.)}$
	12	100%	1	56.26	16.58	3.14	$BH_{4\ (8\ saat\ gec.)}$
18 Saat	2	11%	0.44	26.95	2.23	2.23	BH_2
	4	22%	0.63	38.09	6.56	4.33	$BH_{2\ (2\ saat\ gec.)}$
	6	33%	0.72	44.05	9.52	2.95	$BH_{2\ (4\ saat\ gec.)}$
	8	44%	0.80	48.56	11.98	2.47	$BH_{2\ (6\ saat\ gec.)}$
	12	67%	0.91	55.19	15.91	3.93	$BH_{4\ (8\ saat\ gec.)}$
	18	100%	1	60.79	19.48	3.56	$BH_{6\ (12\ saat\ gec.)}$
24 Saat	2	8%	0.36	23.91	1.39	1.39	BH_2
	4	17%	0.56	37.30	6.20	4.81	$BH_{2\ (2\ saat\ gec.)}$
	6	25%	0.66	43.73	9.35	3.15	$BH_{2\ (4\ saat\ gec.)}$
	8	33%	0.72	48.18	11.77	2.42	$BH_{2\ (6\ saat\ gec.)}$
	12	50%	0.83	55.43	16.06	4.30	$BH_{4\ (8\ saat\ gec.)}$
	18	75%	0.93	62.06	20.31	4.25	$BH_{6\ (12\ saat\ gec.)}$
	24	100%	1	66.49	23.29	2.98	$BH_{6\ (18\ saat\ gec.)}$
S(mm)	Havzanın Depolama Miktarı					67.52	

Çizelge 5.18.'de çeşitli yağış sürelerine karşılık gelen proje taşkın debileri verilmiştir.

Çizelge 5.18. Çeşitli yağış sürelerine karşılık gelen taşkın debileri (m^3/s)

	Taşkın Tekerrür Süresi (yıl)					
Yağış Süresi (saat)	2	5	10	25	50	100
2	0.52	9.43	20.69	40.13	57.93	78.28
4	5.10	24.27	43.70	74.54	101.43	131.29
6	9.45	34.58	58.31	94.93	126.24	160.59
8	12.57	40.92	66.59	105.71	138.77	174.76
12	18.24	50.61	78.66	120.15	154.85	192.65
18	21.64	54.88	82.20	121.84	154.51	189.87
24	22.65	54.66	81.93	122.12	155.63	191.87

Bu çalışma kapsamında baz akım hesaplaması yapılmamış olup Çizelge 5.18'deki değerlere baz akım eklendiğinde elde edilecek taşkın debileri miktarı Çizelge 5.19.'da verilmiştir. Baz akım değeri DSİ'nin 2016 yılında yaptırmış olduğu "*Çankırı Merkez Tatlıçay ve Yankolları Mühendislik Hidroloji Raporu"*ndan 5,59 m^3/s olarak alınmıştır (DSİ, 2016).

Çizelge 5.19. Çeşitli yağış sürelerine karşılık gelen taşkın debileri (m^3/s)

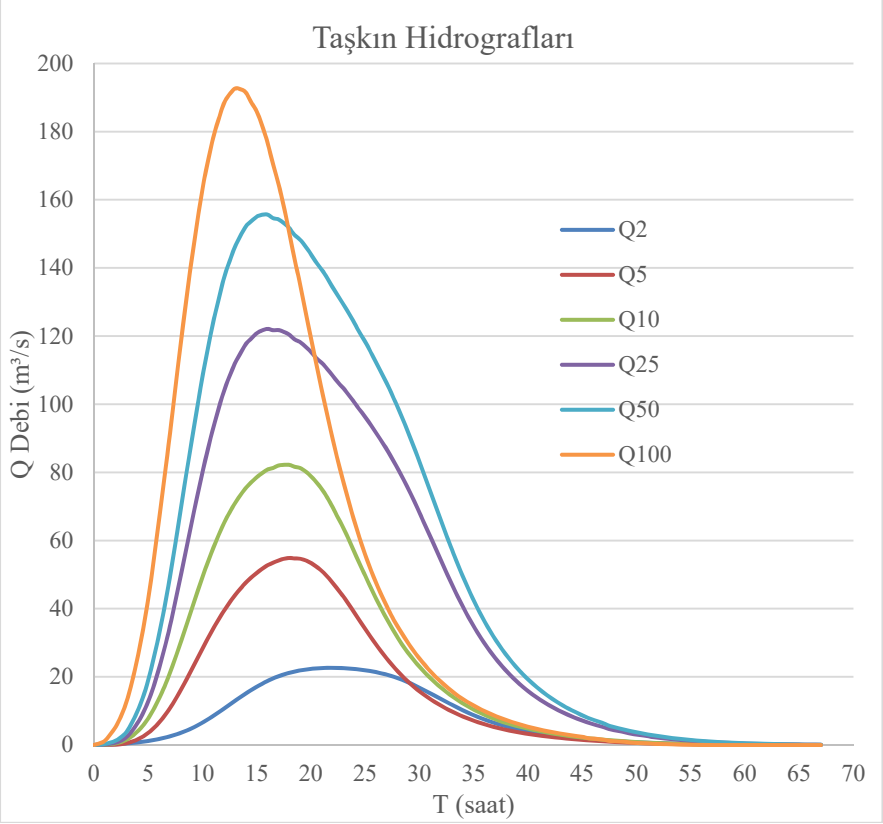
	Taşkın Tekerrür Süresi (yıl)					
Yağış Süresi (saat)	2	5	10	25	50	100
2	6.11	15.02	26.28	45.72	63.52	83.87
4	10.69	29.86	49.29	80.13	107.02	136.88
6	15.04	40.17	63.90	100.52	131.83	166.18
8	18.16	46.51	72.18	111.30	144.36	180.35
12	23.83	56.20	84.25	125.74	160.44	198.24
18	27.23	60.47	87.79	127.43	160.10	195.46
24	28.24	60.25	87.52	127.71	161.22	197.46

Çeşitli tekerrürlere karşılık gelen maksimum debiler Çizelge 5.20.'de verilmiştir.

Çizelge 5.20. DSİ Sentetik Yöntemi ile hesaplanan çeşitli tekerrürlere karşı gelen maksimum taşkın debileri

Taşkın Tekerrür Süresi (yıl)	Yağış Süresi (saat)	Taşkın Debisi (m^3/s)	Baz Akım (m^3/s)	Toplam Akım (m^3/s)
2	24	22.65	5.59	28.24
5	18	54.88	5.59	60.47
10	18	82.20	5.59	87.79
25	24	122.12	5.59	127.71
50	24	155.63	5.59	161.22
100	12	192.65	5.59	198.24

2, 5, 10, 25, 50, 100 yıl tekerrüründeki taşkınlara karşılık gelen hidrograflar Şekil 5.13.'de verilmiştir.



Şekil 5.13. Tatlıçay deresi havza çıkışı için DSİ Sentetik Metodu ile elde edilen hidrograflar

Taşkın hidrografları için elde edilen (baz akım eklenmiş hali ile) sayısal değerler ise Çizelge 5.21.'de verilmiştir. Çizelge 5.21'de her bir hidrografın pik değeri renkli olarak işaretlenmiş ve daire içinde gösterilmiştir. Tüm tekerrürlerdeki pik değerler 12 ile 22 saatleri arasına düşmektedir.

Çizelge 5.21. Baz akım eklemiş haliyle elde edile taşkın hidrografına ait değerler (m^3/s)

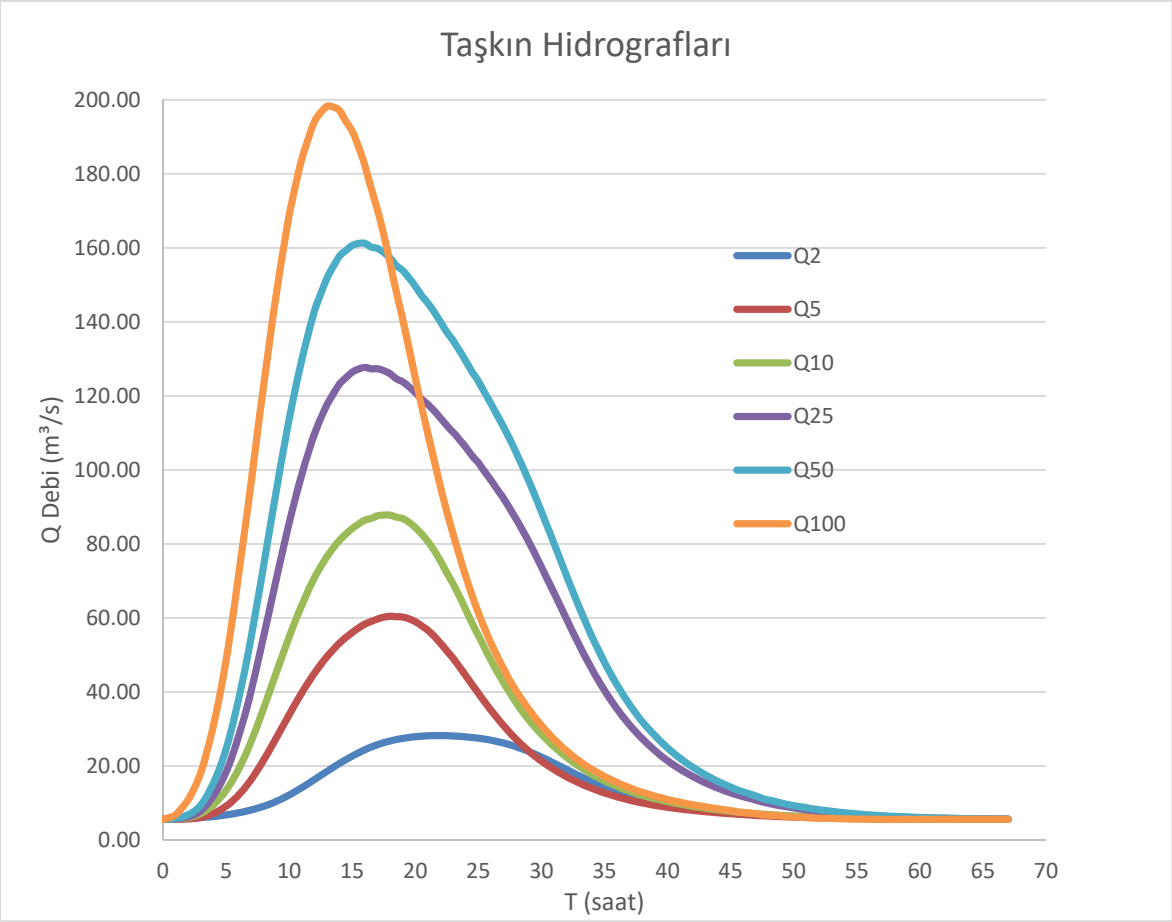
Süre (saat)	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}
0.00	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59
0.50	5.61	5.60	5.63	5.65	5.70	6.07
1.00	5.64	5.61	5.69	5.74	5.87	6.82
1.50	5.72	5.64	5.86	5.97	6.31	8.73
2.00	5.82	5.68	6.05	6.24	6.81	10.94
2.50	5.92	5.84	6.48	6.92	7.90	14.14
3.00	6.05	6.08	7.08	7.89	9.41	18.28
3.50	6.18	6.60	8.21	9.77	12.18	24.11
4.00	6.33	7.21	9.54	11.97	15.42	31.00
4.50	6.52	8.04	11.25	14.81	19.52	39.03
5.00	6.74	9.10	13.38	18.36	24.58	48.58
5.50	7.05	10.53	16.11	22.88	30.90	59.63
6.00	7.37	12.21	19.25	28.11	38.15	71.71
6.50	7.73	14.13	22.75	33.90	46.09	84.20
7.00	8.11	16.39	26.72	40.48	54.97	97.00
7.50	8.60	18.99	31.16	47.75	64.66	110.26
8.00	9.14	21.80	35.89	55.46	74.87	123.74
8.50	9.74	24.71	40.64	63.15	84.92	136.19
9.00	10.46	27.67	45.38	70.72	94.70	148.11
9.50	11.28	30.76	50.16	78.26	104.29	158.66
10.00	12.18	33.92	54.96	85.76	113.77	168.89
10.50	13.12	36.88	59.31	92.45	122.05	176.85
11.00	14.11	39.78	63.51	98.84	129.89	184.02
11.50	15.20	42.48	67.25	104.37	136.51	189.33
12.00	16.33	45.16	70.93	109.76	142.92	194.12
12.50	17.44	47.41	73.85	113.84	147.58	196.53
13.00	18.57	49.57	76.61	117.65	151.87	198.24
13.50	19.66	51.45	78.90	120.55	154.99	198.02
14.00	20.75	53.30	81.09	123.27	157.83	197.07
14.50	21.71	54.72	82.63	124.90	159.28	194.15
15.00	22.68	56.11	84.18	126.41	160.67	191.52
15.50	23.55	57.28	85.38	127.24	161.18	187.33
16.00	24.41	58.36	86.44	127. 71	161.22	182.30
16.50	25.10	59.01	86.88	127.30	160.20	176.04
17.00	25.75	59.79	87.61	127.35	159.83	170.34
17.50	26.29	60.19	87.79	126.81	158.74	163.48
18.00	26.79	60.47	87.79	125.99	157.29	155.93
18.50	27.12	60.32	87.23	124.60	155.18	147.92
19.00	27.49	60.27	86.86	123.82	153.87	140.83
19.50	27.74	59.76	85.85	122.47	151.87	132.96
20.00	27.95	59.01	84.49	120.93	149.64	124.81
20.50	28.03	57.86	82.62	119.08	147.06	116.90
21.00	28.18	56.68	80.73	117.71	145.09	109.82
21.50	28.23	55.04	78.19	115.91	142.61	102.57
22.00	28.24	53.19	75.35	113.97	139.96	95.29
22.50	28.15	51.08	72.19	111.92	137.22	88.69

Çizelge 5.21. (Devamı) Baz akım eklemiş haliyle elde edile taşkın hidrografına ait değerler (m^3/s)

Süre (saat)	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}
23.00	28.14	49.10	69.22	110.24	134.92	82.73
23.50	28.04	46.79	65.76	108.19	132.19	76.76
24.00	27.91	44.38	62.22	106.11	129.44	71.12
24.50	27.69	41.93	58.61	103.82	126.47	66.05
25.00	27.55	39.68	55.29	101.92	123.96	61.53
25.50	27.28	37.34	51.87	99.49	120.83	57.06
26.00	26.98	35.04	48.51	97.21	117.90	53.10
26.50	26.58	32.87	45.35	94.67	114.69	49.58
27.00	26.23	30.94	42.52	92.31	111.69	46.23
27.50	25.73	29.02	39.73	89.50	108.15	43.02
28.00	25.20	27.17	37.04	86.69	104.66	40.26
28.50	24.58	25.48	34.59	83.63	100.86	37.76
29.00	23.95	24.03	32.47	80.61	97.11	35.28
29.50	23.20	22.60	30.40	77.20	92.90	32.94
30.00	22.42	21.30	28.50	73.77	88.69	30.95
30.50	21.57	20.14	26.82	70.17	84.27	29.09
31.00	20.78	19.06	25.24	66.79	80.13	27.24
31.50	19.91	18.02	23.71	63.13	75.64	25.49
32.00	19.04	17.07	22.34	59.56	71.29	24.07
32.50	18.17	16.24	21.12	56.00	66.94	22.71
33.00	17.37	15.41	19.91	52.67	62.88	21.36
33.50	16.56	14.61	18.75	49.32	58.79	20.09
34.00	15.76	13.94	17.76	46.16	54.95	19.08
34.50	15.02	13.33	16.88	43.20	51.35	18.12
35.00	14.34	12.72	15.99	40.49	48.06	17.16
35.50	13.67	12.14	15.15	37.84	44.83	16.26
36.00	13.04	11.67	14.45	35.35	41.79	15.48
36.50	12.47	11.22	13.80	33.07	39.03	14.78
37.00	11.96	10.77	13.14	31.04	36.55	14.10
37.50	11.47	10.34	12.52	29.05	34.14	13.45
38.00	11.02	10.01	12.04	27.25	31.95	12.88
38.50	10.62	9.69	11.58	25.66	30.02	12.37
39.00	10.24	9.38	11.13	24.17	28.19	11.88
39.50	9.87	9.10	10.71	22.71	26.42	11.39
40.00	9.55	8.85	10.35	21.42	24.85	10.93
40.50	9.26	8.62	10.01	20.27	23.45	10.53
41.00	8.98	8.39	9.68	19.15	22.09	10.16
41.50	8.71	8.18	9.38	18.06	20.77	9.80
42.00	8.48	8.00	9.10	17.13	19.63	9.47
42.50	8.27	7.82	8.85	16.28	18.60	9.19
43.00	8.06	7.66	8.60	15.46	17.60	8.94
43.50	7.86	7.49	8.37	14.68	16.65	8.69
44.00	7.69	7.35	8.15	14.01	15.84	8.45
44.50	7.54	7.22	7.96	13.38	15.07	8.22
45.00	7.38	7.09	7.78	12.77	14.33	8.01
45.50	7.23	6.96	7.58	12.17	13.58	7.60

Çizelge 5.21. (Devamı) Baz akım eklemiş haliyle elde edile taşkın hidrografına ait değerler (m^3/s)

Süre (saat)	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}
46.00	7.11	6.86	7.43	11.69	13.00	7.44
46.50	7.00	6.77	7.29	11.24	12.45	7.29
47.00	6.90	6.68	7.17	10.81	11.92	7.15
47.50	6.80	6.55	6.96	10.24	11.21	6.80
48.00	6.72	6.47	6.85	9.91	10.81	6.71
48.50	6.63	6.40	6.75	9.59	10.43	6.61
49.00	6.56	6.34	6.66	9.29	10.06	6.53
49.50	6.47	6.23	6.50	8.89	9.57	6.26
50.00	6.40	6.18	6.43	8.65	9.28	6.21
50.50	6.34	6.13	6.36	8.42	9.00	6.15
51.00	6.29	6.09	6.30	8.20	8.74	6.10
51.50	6.21	6.01	6.18	7.90	8.38	5.92
52.00	6.16	5.98	6.14	7.72	8.16	5.90
52.50	6.12	5.95	6.09	7.56	7.96	5.87
53.00	6.08	5.92	6.05	7.40	7.78	5.84
53.50	6.02	5.85	5.96	7.17	7.49	5.73
54.00	5.99	5.83	5.93	7.05	7.35	5.72
54.50	5.96	5.81	5.90	6.94	7.22	5.70
55.00	5.93	5.79	5.87	6.84	7.10	5.69
55.50	5.89	5.73	5.79	6.66	6.88	5.59
56.00	5.86	5.72	5.78	6.58	6.78	5.59
56.50	5.84	5.71	5.76	6.50	6.68	5.59
57.00	5.82	5.70	5.75	6.43	6.60	5.59
57.50	5.79	5.65	5.68	6.31	6.45	5.59
58.00	5.77	5.65	5.67	6.25	6.38	5.59
58.50	5.76	5.64	5.66	6.20	6.32	5.59
59.00	5.75	5.63	5.65	6.15	6.26	5.59
59.50	5.72	5.83	5.59	6.05	6.14	5.59
60.00	5.71	5.81	5.59	6.02	6.10	5.59
60.50	5.70	5.79	5.59	5.98	6.06	5.59
61.00	5.69	5.77	5.59	5.95	6.02	5.59
61.50	5.67	5.73	5.59	5.86	5.92	5.59
62.00	5.66	5.72	5.59	5.84	5.89	5.59
62.50	5.65	5.71	5.59	5.82	5.86	5.59
63.00	5.65	5.70	5.59	5.80	5.84	5.59
63.50	5.63	5.67	5.59	5.74	5.77	5.59
64.00	5.63	5.66	5.59	5.73	5.76	5.59
64.50	5.63	5.65	5.59	5.72	5.74	5.59
65.00	5.62	5.65	5.59	5.70	5.73	5.59
65.50	5.61	5.62	5.59	5.65	5.67	5.59
66.00	5.61	5.62	5.59	5.65	5.66	5.59
66.50	5.60	5.62	5.59	5.64	5.65	5.59
67.00	5.60	5.61	5.59	5.64	5.64	5.59



Şekil 5.14. Tatlıçay deresi havza çıkışı için DSİ Sentetik Metodu ile elde edilen hidrograflar (Baz akım eklenmiş hali ile)

100 yıl tekerrürlü taşkın debilerine kadar olan debi hesaplamaları DSİ Sentetik Yöntemi ile hesaplanmış olup önceki bölümlerde bu hesaplamalar anlatılmıştır. Çizelge 5.21.'de DSİ Sentetik Metod taşkın hidrografı tablosu ve Şekil 5.14.'te ise taşkın hidrografları verilmiştir. Tatlıçay Deresi Çankırı ili şehir içinden geçtiği için projenin 500 yıl tekerrürlü debisinin de hesap edilmesi ve derenin bu debiyi de mansaba aktarması gerekmektedir.

Aşağıdaki denklem yardımıyla 500 tekerrürlü taşkın debisi hesaplanabilir. Singh (2017) Z_{500} değerini 1,692 olarak alınmasını tavsiye etmiştir.

$$Q_{500} = Q_{10} + Z_{500}\, x\, (Q_{100} - Q_{10}) \tag{5.13}$$

$$Q_{500} = 87.79 + 1.692\, x\, (198.24 - 87.79) \tag{5.14}$$

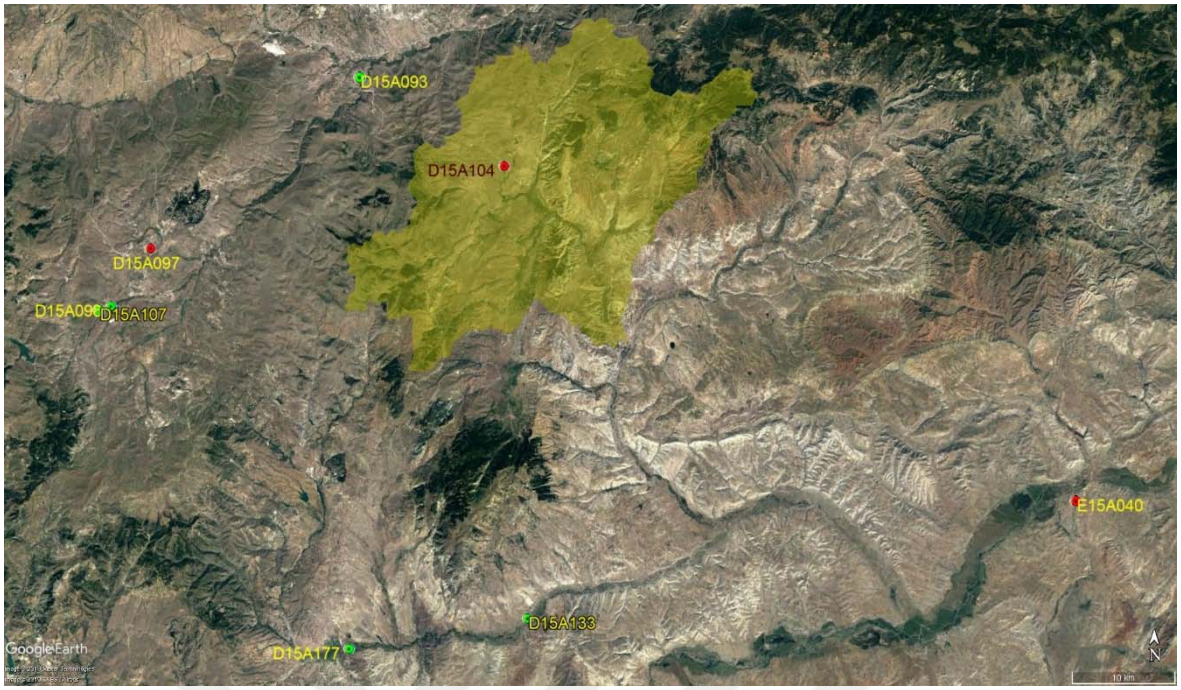
Bu denklemde Z katsayıları, Z_{500} için 1,692 olarak belirlenmiştir. Q_{500} değeri yukarıdaki denklem ile 274.67 m^3/s değeri olarak hesaplanmıştır. Bu değere ait hidrograf değeri de Q_{100} hidrografın maksimum debilerin oranı (274.671 / 198.24 = 1.385) ile orantılanarak elde edilmiştir.

5.7. Bölgesel Taşkın Frekans Analizi (BTFA) Yöntemi ile Taşkın Hesabının Yapılması

BTFA yönteminde kullanılan Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) istatistiki verileri DSİ'nin 2016 yılında yaptırmış olduğu "*Çankırı Merkez Tatlıçay ve Yankolları Mühendislik Hidroloji Raporu"*ndan 5,59 m^3/s olarak alınmıştır (DSİ, 2016).

DSİ Sentetik Yöntemi ile bulunan taşkın değerlerine alternatif olarak bölgede akım gözlem istasyonları (AGİ) varsa bu akım gözlem istasyonlarında ölçülmüş olan yılda anlık maksimum akım (YAMA) değerleri yarımıyla da taşkın analizi yapılmalıdır. Böylece her iki yöntem ile elde edilen değerler karşılaştırılabilir ve yapılan hesaplamaların güvenirliliği artırılabilir. Şekil 5.15.'te proje yerine yakın AGİ'ler gösterilmiştir. Şekil 5.15.'te kırmızı renkli simge ile gösterilen AGİ'ler günümüzde ölçüm yapılmayan kapalı istasyonları, yeşil simge ile gösterilen AGİ'ler ise ölçüm yapılmakta olan açık istasyonları temsil etmektedir.

Bölgesel Taşkın Frekans Analizi (BTFA) yapılırken genel olarak havza çıkış noktasına yakın ve aynı havzada veya benzer karakterdeki havzalarda bulunan AGİ'ler seçilerek analiz yapılır. Nispeten uzakta bulunan veya havza alanı çok küçük ve büyük olan AGİ'ler sonuçların tutarlı olması açısından değerlendirme dışı bırakılabilir (Önöz, 1992).



Şekil 5.15. Tatlıçay havzasının civarındaki akım gözlem istasyonları

Çizelge 5.22.'de ise BTFA analizlerinde kullanılan istasyonların bilgileri verilmiştir.

Çizelge 5.22. Tatlıçay Deresi havzasının civarındaki akım gözlem istasyonları (AGİ) ve bilgileri (DSİ, 2016)

Sıra no	İst. No	İst. Adı	Yağış Alanı (km^2)	N (yıl)	UDF	Q_{max} (m^3/s)
1	D15A093	Çukurca	913.30	42	LN2	380.00
2	D15A097	Kalfat	71.00	14	LN3	30.00
3	D15A098	Yuva	48.50	41	LPT3	125.00
4	D15A104	Buğday	111.60	6	G	62.00
5	D15A107	Yuva	140.70	44	LP3	75.00
6	E15A040	Kula Köprüsü	17228.00	13	PT3	201.00
7	D15A177	Koyunbaba	754.00	34	P3	98.70
8	D15A133	Tüney	1326.90	44	LN3	185.00

Tabloda N sütün başlığının altında gösterilen değerler ilgili istasyondaki ölçüm yılını, UDF sütun başlığının altındaki değerler ise debi değerleri hesaplanırken kullanılan en uygun dağılım fonksiyonu türünü temsil etmektedir.

AGİ'lere ait gözlemlenen maksimum akım ölçümleri istatistiksel olarak analiz edildiğinde 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 yıl tekerrüründeki taşkın debileri de hesaplanabilir. Çizelge 5.23.'te çeşitli tekerrürdeki yıllara karşı hesaplanan taşkın debi değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.23. Bölgede Bulunan AGİ'lere ait çeşitli tekerrürdeki yıllara göre taşkın debi değerleri (m^3/s) (DSİ, 2016)

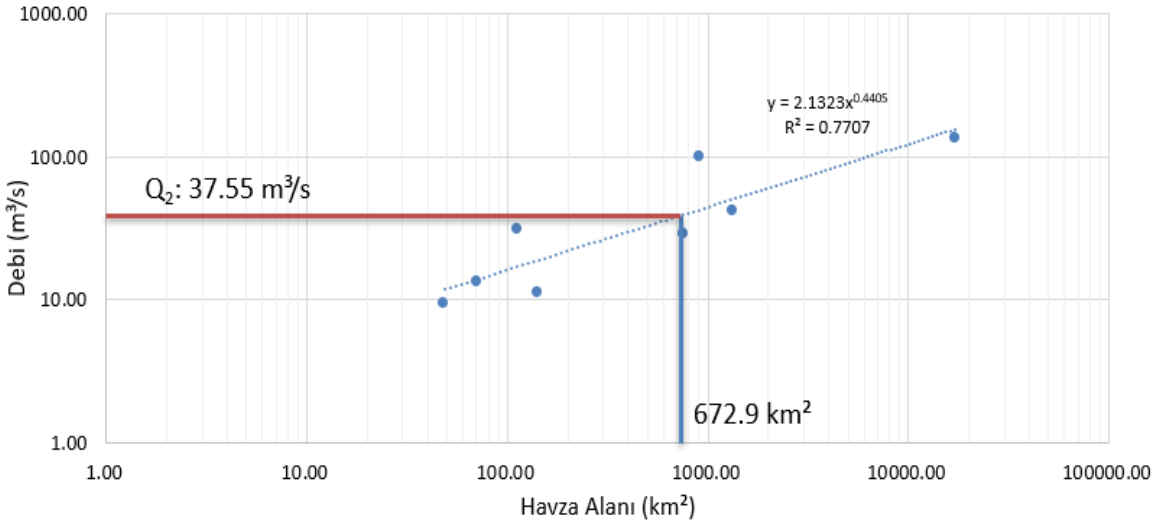
			Yinelenme Yılları					
Sıra no	İst. No	İstasyon Adı	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}
1	D15A 093	Çukurca	98.94	157.40	200.65	259.97	307.22	357.08
2	D15A 097	Kalfat	13.42	20.69	25.09	30.30	33.97	37.50
3	D15A 098	Yuva	9.38	18.36	28.61	49.43	73.41	107.87
4	D15A 104	Buğday	31.29	64.98	87.29	115.48	136.40	157.16
5	D15A 107	Yuva	11.20	25.47	39.62	64.02	87.66	116.77
6	E15A 040	Kula Köprüsü	134.49	175.14	195.15	215.62	228.38	239.49
7	D15A 177	Koyunbaba	28.90	49.53	62.84	79.06	90.67	101.91
8	D15A 133	Tüney	41.75	74.73	97.92	128.56	152.22	176.61

Bölgede bulunan AGİ'ler için taşkın debilerinin istatistiksel olarak tespit edilmesinin ardından AGİ'lere ait havza alanlarına karşı gelen 2 yıllık taşkın debileri logaritmik ölçek kullanılarak grafiksel olarak elde edilmelidir. Şekil 5.16.'da havza alanlarına karşı gelen 2 yıllık taşkın debileri (Q_2) grafiksel olarak gösterilmiştir.

Grafik üzerinde bulunan verileri en iyi şekilde temsil edecek denklemi tespit etmek için çeşitli fonksiyon tipleri denenmiş (doğrusal, polinomsal, logaritmik, üssel) ve korelasyon katsayısı (R^2) en yüksek olan fonksiyon üssel fonksiyon olarak belirlenmiştir (R^2: 0.7707). Bu denklemin formülü aşağıda verilmiştir.

$$Q_2 = 2.1323\ x\ A^{0.4405} \tag{5.15}$$

Burada Q_2, 2 yıllık taşkın debisi (m^3/s) ve A havza alanı (km^2) dır.



Şekil 5.16. Tatlıçay Deresi havza çıkışında 2 yıllık taşkın debisinin (Q_2) BTFA analizi ile belirlenmesi

Tatlıçay Deresi için hesaplanan havza alanı (672,90 km²) denklemde yerine koyulduğunda elde edilen 2 yıllık taşkın debisinin (Q_2) değeri 37,55 m³/s olarak hesaplanmaktadır (Şekil 5.16.).

2 yıllık taşkın debisinin hesaplanmasının ardından 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık taşkın değerlerinin hesaplanması için şu şekilde bir yöntem uygulanmaktadır. İlk olarak analizde kullanılan AGİ'lerin çeşitli tekerrürlerdeki taşkın debilerinin (5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık) 2 yıllık taşkın debileri ile oranlanarak boyutsuz hale getirilir ve hesaplanan tüm değerlerin ortalaması bulunur. Çizelge 5.24.'te bu hesaplama gösterilmiştir.

Çizelge 5.24. Bölgede bulunan AGİ'lere ait taşkın debilerinin 2 yıllık taşkın debisine (Q_2) oranları ve bunların ortalama değerleri

İst. Adı	Q_2/Q_2	Q_5/Q_2	Q_{10}/Q_2	Q_{25}/Q_2	Q_{50}/Q_2	Q_{100}/Q_2
Çukurca	1.00	1.59	2.03	2.63	3.11	3.61
Kalfat	1.00	1.54	1.87	2.26	2.53	2.79
Yuva	1.00	1.96	3.05	5.27	7.83	11.50
Buğday	1.00	2.08	2.79	3.69	4.36	5.02
Yuva	1.00	2.27	3.54	5.71	7.82	10.42
Kula Köprüsü	1.00	1.30	1.45	1.60	1.70	1.78
Koyunbaba	1.00	1.71	2.17	2.74	3.14	3.53
Tüney	1.00	1.79	2.35	3.08	3.65	4.23
Ortalama	1.00	1.78	2.41	3.37	4.27	5.36

Tespit edilen ortalama boyutsuz değerler Tatlıçay Deresi havza çıkışı için elde edilen 2 yıllık taşkın debi değeri ile çarpılarak 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık değerleri elde edilmiştir. Çizelge 5.25.'te havza çıkışı için elde edilen değerler verilmiştir.

Çizelge 5.25. Tatlıçay Deresi havza çıkış noktası için BTFA analizi ile elde edilen taşkın debileri (m^3/s)

İst. Adı	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}
Çukurca	37.55	57.90	70.21	84.78	95.04	104.91
Kalfat	37.55	73.49	114.51	197.86	293.86	431.77
Yuva	37.55	77.99	104.76	138.59	163.69	188.60
Buğday	37.55	85.35	132.76	214.51	293.73	391.28
Yuva	37.55	48.89	54.48	60.19	63.76	66.86
Kula Köprüsü	37.55	64.35	81.65	102.72	117.81	132.41
Koyunbaba	37.55	67.20	88.06	115.62	136.89	158.82
Tüney	37.55	66.86	90.32	126.61	160.17	201.27
Taşkın Değerleri (m^3/s)	37.55	67.75	92.09	130.11	165.62	209.49

10 ve 100 yıllık taşkın debileri bilindiğinde göre 500 yıllık taşkın debisi DSİ Sentetik Yönteminin son kısmında Eş. (5.2.) ile hesaplanırsa Q_{500} taşkın debisi için 290,73 m^3/s değeri elde edilir.

5.8. DSİ Sentetik Yöntemi ve BTFA ile Elde Edilen Taşkın Debilerinin Karşılaştırılması ve Hidrolik Analiz İçin Taşkın Debilerinin Belirlenmesi

Tatlıçay Deresi'nin havza çıkışında DSİ Sentetik ve BTFA Yöntemleriyle çeşitli tekerrürdeki yıllara karşı gelen taşkın debileri hesaplanmış ve Çizelge 5.26.'da özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 5.26. DSİ Sentetik ve BTFA yöntemleriyle elde edilen taşkın debileri

Tekerrür Yılı	DSİ Sentetik Yöntemi ile Elde Edilen Taşkın Debileri (m^3/s)	BTFA Yöntemi ile Elde Edilen Taşkın Debileri (m^3/s)*	% Fark (DSİ ile Elde Edilen Değerin BTFA'ya Göre Kıyaslanması)
2	28.24	*37.55*	24.79%
5	60.47	*67.75*	10.75%
10	87.79	*92.09*	4.67%
25	127.71	*130.11*	1.84%
50	161.22	*165.62*	2.66%
100	198.24	*209.49*	5.37%
500	274.67	*290.73*	5.52%

Sonuçlar incelendiğinde BTFA Yöntemi ile elde edilen değerlerin DSİ Sentetik Yöntemi ile elde edilen değerlere kıyasla biraz daha yüksek olduğu ama nispeten yakın sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen değerlerin farkı yüzdesel olarak incelendiğinde yüksek tekerrürlü yıllar için %5 ve altı değerler elde edildiği, daha kısa sürelerdeki taşkınlarda ise %25'e yakın bir fark oluştuğu görülmüştür.

BTFA Yöntemi ile elde edilen taşkın debisi sonuçlarının, DSİ Sentetik Yöntemiyle elde edilenlere göre daha yüksek olması sebebiyle; yapılacak olan hidrolik analizlerde BTFA Yöntemi ile elde edilen sonuçların kullanılması taşkın hesaplarının daha güvenli tarafta kalarak yapılmasını sağlayacaktır.

BTFA yöntemiyle elde edilen taşkın debisine ait hidrografları elde etmek için DSİ Sentetik Yönteminde elde edilen hidrograflardan yararlanılmıştır. Öncelikle, DSİ Sentetik Yönteminde elde edilen hidrograf değerleri aynı yöntem için hesaplanan maksimum taşkın debisine bölünerek çeşitli tekerrürler için boyutsuz hidrograf değerleri elde edilmiştir. BTFA yöntemi için gerekli olan hidrografı elde etmek için ise, belirlenen baz akım değeri (Q_{baz}: 5,59 m^3/s) çeşitli tekerrürdeki maksimum taşkın debi değerlerinden (Q_{100}: 209,49 m^3/s) çıkartılmış ve baz akım hariç taşkın debi miktarları hesaplanmıştır (Baz akım hariç Q_{100}: 203,90 m^3/s). Daha sonra, DSİ Sentetik yönteminde elde edilen boyutsuz değerler ile maksimum taşkın debi değeri çarpılarak hidrografa ait tüm değerler hesaplanmıştır. Son olarak, baz akım değerleri de eklenerek baz akım dahil hidrograf değerleri de BTFA yöntemi için elde edilmiştir. 100 yıl tekerrürdeki taşkın debisine ait hidrografın elde edilmesi Çizelge 5.27'de gösterilmiştir. Diğer tekerrürdeki süreler için (10, 25, 50, 500 yıl) de hesaplamalar

aynı şekilde yapılmıştır. 500 yıl tekerrürdeki taşkın debisi için 100 yıla ait boyutsuz hidrograf değerleri kullanılmıştır.

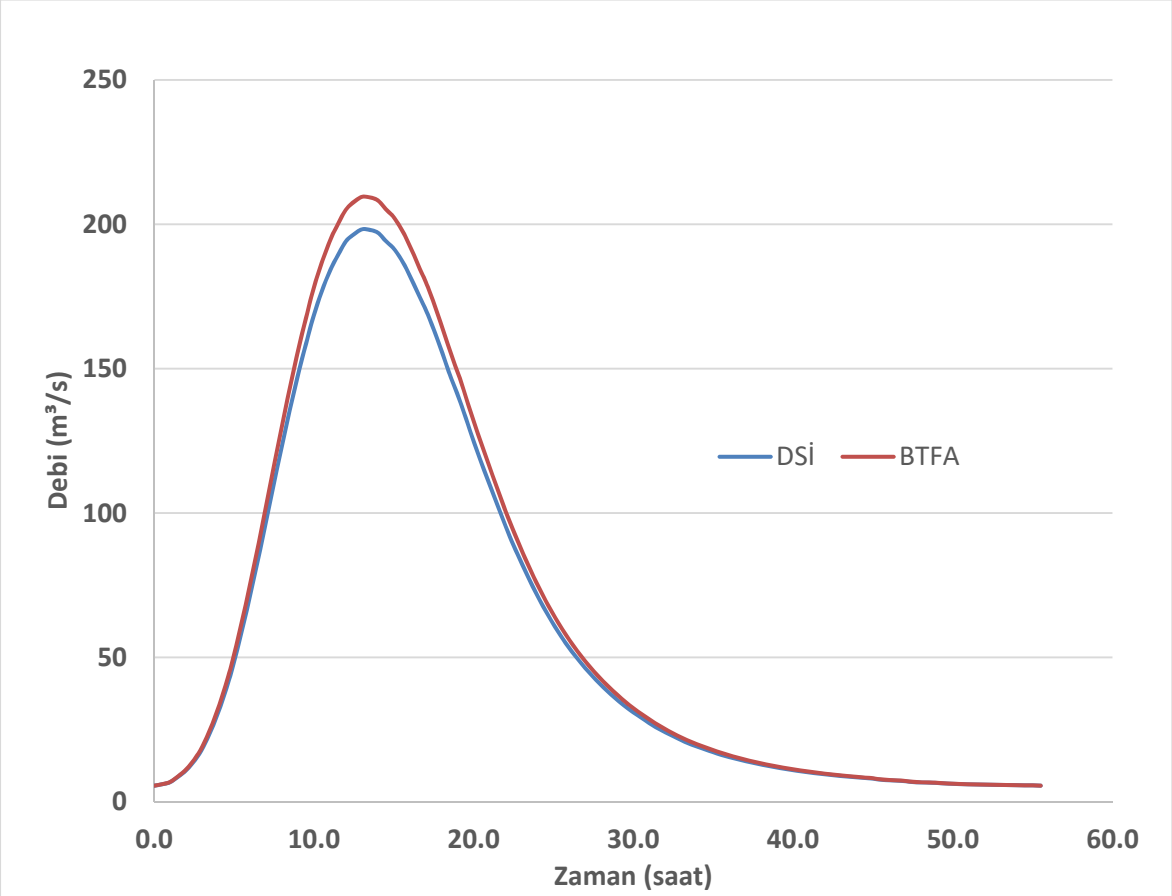
Çizelge 5.27. BTFA analizinde elde edilen 100 yıl tekerrürdeki taşkın debisi için hidrografın elde edilmesi

T (saat)	DSİ - Q_{100} (Baz Hariç) (m^3/s)	DSİ - Boyutsuz Q_{100}	BTFA - Q_{100} (Baz Akım Hariç) (m^3/s)	BTFA - Q_{100} (Baz Akım Dahil) (m^3/s)	T (saat)	DSİ - Q_{100} (Baz Hariç) (m^3/s)	DSİ - Boyutsuz Q_{100}	BTFA - Q_{100} (Baz Akım Hariç) (m^3/s)	BTFA - Q_{100} (Baz Akım Dahil) (m^3/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	5.59	15.00	185.93	0.97	196.79	202.38
0.50	0.48	0.00	0.50	6.09	15.50	181.74	0.94	192.36	197.95
1.00	1.23	0.01	1.30	6.89	16.00	176.71	0.92	187.04	192.63
1.50	3.14	0.02	3.32	8.91	16.50	170.45	0.88	180.40	185.99
2.00	5.35	0.03	5.66	11.25	17.00	164.75	0.86	174.37	179.96
2.50	8.55	0.04	9.05	14.64	17.50	157.89	0.82	167.11	172.70
3.00	12.69	0.07	13.43	19.02	18.00	150.34	0.78	159.12	164.71
3.50	18.52	0.10	19.61	25.20	18.50	142.33	0.74	150.65	156.24
4.00	25.41	0.13	26.90	32.49	19.00	135.24	0.70	143.14	148.73
4.50	33.44	0.17	35.40	40.99	19.50	127.37	0.66	134.81	140.40
5.00	42.99	0.22	45.50	51.09	20.00	119.22	0.62	126.18	131.77
5.50	54.04	0.28	57.20	62.79	20.50	111.31	0.58	117.81	123.40
6.00	66.12	0.34	69.99	75.58	21.00	104.23	0.54	110.32	115.91
6.50	78.61	0.41	83.20	88.79	21.50	96.98	0.50	102.64	108.23
7.00	91.41	0.47	96.75	102.34	22.00	89.70	0.47	94.94	100.53
7.50	104.67	0.54	110.79	116.38	22.50	83.10	0.43	87.96	93.55
8.00	118.15	0.61	125.06	130.65	23.00	77.14	0.40	81.64	87.23
8.50	130.60	0.68	138.23	143.82	23.50	71.17	0.37	75.33	80.92
9.00	142.52	0.74	150.85	156.44	24.00	65.53	0.34	69.35	74.94
9.50	153.07	0.79	162.01	167.60	24.50	60.46	0.31	63.99	69.58
10.00	163.30	0.85	172.84	178.43	25.00	55.94	0.29	59.20	64.79
10.50	171.26	0.89	181.26	186.85	25.50	51.47	0.27	54.47	60.06
11.00	178.43	0.93	188.86	194.45	26.00	47.51	0.25	50.28	55.87
11.50	183.74	0.95	194.48	200.07	26.50	43.99	0.23	46.56	52.15
12.00	188.53	0.98	199.55	205.14	27.00	40.64	0.21	43.01	48.60
12.50	190.94	0.99	202.10	207.69	27.50	37.43	0.19	39.62	45.21
13.00	192.65	1.00	203.90	209.49	28.00	34.67	0.18	36.70	42.29
13.50	192.43	1.00	203.67	209.26	28.50	32.17	0.17	34.05	39.64
14.00	191.48	0.99	202.66	208.25	29.00	29.69	0.15	31.43	37.02
14.50	188.56	0.98	199.58	205.17	29.50	27.35	0.14	28.95	34.54

Çizelge 5.27. (Devamı) BTFA analizinde elde edilen 100 yıl tekerrürdeki taşkın debisi için hidrografın elde edilmesi

T (saat)	DSİ - Q_{100} (Baz Hariç) (m^3/s)	DSİ - Boyutsuz Q_{100}	BTFA - Q_{100} (Baz Akım Hariç) (m^3/s)	BTFA - Q_{100} (Baz Akım Dahil) (m^3/s)	T (saat)	DSİ - Q_{100} (Baz Hariç) (m^3/s)	DSİ - Boyutsuz Q_{100}	BTFA - Q_{100} (Baz Akım Hariç) (m^3/s)	BTFA - Q_{100} (Baz Akım Dahil) (m^3/s)
30.00	25.36	0.13	26.84	32.43	43.00	3.35	0.02	3.54	9.13
30.50	23.50	0.12	24.88	30.47	43.50	3.10	0.02	3.28	8.87
31.00	21.65	0.11	22.91	28.50	44.00	2.86	0.01	3.03	8.62
31.50	19.90	0.10	21.06	26.65	44.50	2.63	0.01	2.79	8.38
32.00	18.48	0.10	19.55	25.14	45.00	2.42	0.01	2.57	8.16
32.50	17.12	0.09	18.12	23.71	45.50	2.01	0.01	2.13	7.72
33.00	15.77	0.08	16.69	22.28	46.00	1.85	0.01	1.96	7.55
33.50	14.50	0.08	15.34	20.93	46.50	1.70	0.01	1.79	7.38
34.00	13.49	0.07	14.28	19.87	47.00	1.56	0.01	1.65	7.24
34.50	12.53	0.07	13.26	18.85	47.50	1.21	0.01	1.28	6.87
35.00	11.57	0.06	12.25	17.84	48.00	1.12	0.01	1.18	6.77
35.50	10.67	0.06	11.29	16.88	48.50	1.02	0.01	1.08	6.67
36.00	9.89	0.05	10.47	16.06	49.00	0.94	0.00	0.99	6.58
36.50	9.19	0.05	9.73	15.32	49.50	0.67	0.00	0.71	6.30
37.00	8.51	0.04	9.01	14.60	50.00	0.62	0.00	0.65	6.24
37.50	7.86	0.04	8.32	13.91	50.50	0.56	0.00	0.59	6.18
38.00	7.29	0.04	7.71	13.30	51.00	0.51	0.00	0.54	6.13
38.50	6.78	0.04	7.17	12.76	51.50	0.33	0.00	0.35	5.94
39.00	6.29	0.03	6.65	12.24	52.00	0.31	0.00	0.32	5.91
39.50	5.80	0.03	6.13	11.72	52.50	0.28	0.00	0.30	5.89
40.00	5.34	0.03	5.66	11.25	53.00	0.25	0.00	0.27	5.86
40.50	4.94	0.03	5.23	10.82	53.50	0.14	0.00	0.15	5.74
41.00	4.57	0.02	4.84	10.43	54.00	0.13	0.00	0.13	5.72
41.50	4.21	0.02	4.45	10.04	54.50	0.11	0.00	0.12	5.71
42.00	3.88	0.02	4.11	9.70	55.00	0.10	0.00	0.11	5.70
42.50	3.60	0.02	3.81	9.40	55.50	0.00	0.00	0.00	5.59

100 yıl tekerrürü için DSİ Sentetik ve BTFA Yöntemleri ile elde edilen baz akım dahil hidrograf değerleri ile oluşturulan grafik Şekil 5.17.'da verilmiştir.



Şekil 5.17. DSİ ve BTFA Yöntemleri ile elde edilen 100 yıl tekerrürdeki taşkın debileri

6. 1 BOYUTLU (1D) VE 2 BOYUTLU (2D) HİDROLİK MODELLEME

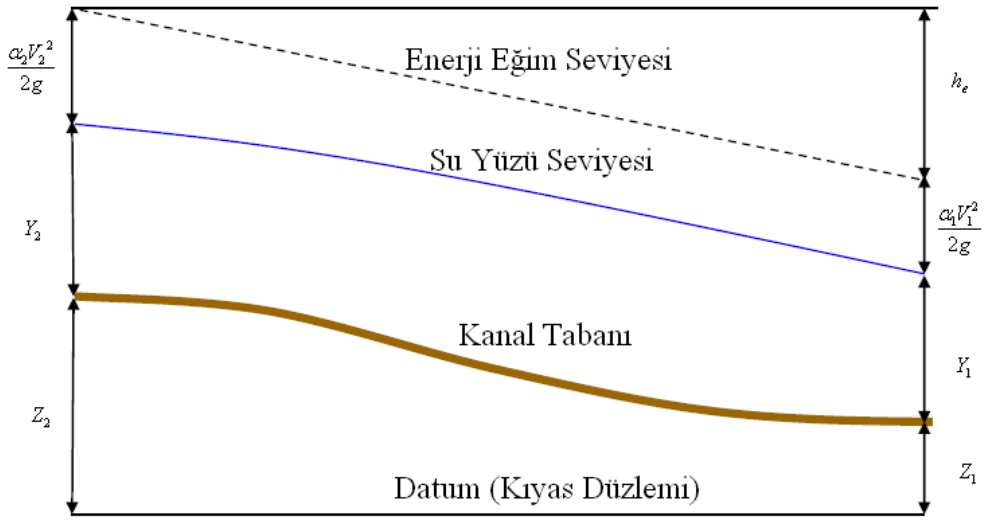
6.1. Teorik Altyapı

Bu bölümde, 1 boyutlu (1D) kararlı (*Steady*) ve kararlı olmayan (*Unsteady*) akımlar ile 2 boyutlu (2D) kararlı olmayan (*Unsteady*) akımların modellenmesinde kullanılan temel denklemlerin sadeleştirilmiş şekli ile gösterimi ve bu denklemlerin sayısal çözümlemelerine ilişkin bilgiler verilmektedir.

6.1.1. Bir boyutlu (1D) kararlı (Steady) akım

Bir boyutlu kararlı akım (*steady flow*) modeli için su yüzü profilleri bulunurken kanal uzunluğu boyunca alınmış en kesitler arasında sırasıyla birinden diğerine enerjinin korunumu yasasına ait denklem uygulanır. Bu metot Standart Adım Metodu olarak bilinmektedir. Standart Adım Metodu sınır koşullarına bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Z_2+Y_2+\frac{\alpha_2 V_2{}^2}{2}=Z_1+Y_1+\frac{\alpha_1 V_1{}^2}{2}+h_e \tag{6.1}$$



Şekil 6.1. Enerji eşitliğinde kullanılan semboller

Burada, Z_1 ve Z_2 kesit kanal tabanlarının deniz seviyesine göre yüksekliği (m), Y_1 ve Y_2 kesitteki su yüksekliği değerleri (m), V_1 ve V_2 kesitteki ortalama akım hızları (m/s), α_1 ve

α_2 hız düzeltme katsayıları, g yerçekimi ivmesi (m/s²), h_e ise iki kesit arasındaki enerji kaybı yüksekliği (m) değeri olarak simgelenmektedir.

HEC-RAS programı arazi modelini en doğru şekilde tanımlayabilmek için, kanal güzergâhını, kanal güzergâhı boyunca belli aralıklarla alınan kesitlerin kilometrelerini, kanalın sağ ve sol sahil noktalarının konumlarını ve kanal yüzeyini temsil eden uygun pürüzlülük katsayılarını veri olarak kullanır.

İki kesit arasında oluşan enerji kaybı yüksekliği değerini (h_e), sürtünme kayıpları ile daralma – genişleme kayıplarının toplamları oluşturmaktadır. Enerji kaybı değerini veren eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$h_e = LS_f + C\left|\frac{\alpha_2 {V_2}^2}{2g} - \frac{\alpha_1 {V_1}^2}{2g}\right| \tag{6.2}$$

Burada, L iki kesit arasında akışın gerçekleştiği mesafe ağırlıklı ortalamadan elde edilen kanal uzunluğu (m), S_f iki kesit arasındaki enerji çizgisi eğimi (m/m), C daralma veya genişleme kaybı katsayı değerlerini temsil etmektedir.

L boyu (m) hesaplanırken kullanılan eşitlik ise aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$L = \frac{L_{LOB}Q_{LOB} + L_{CH}Q_{CH} + L_{ROB}Q_{ROB}}{Q_{LOB} + Q_{CH} + Q_{ROB}} \tag{6.3}$$

Burada, L_{LOB}, L_{CH}, L_{ROB} sırasıyla iki kesit arasındaki sol sahil, ana kanal ve sağ sahil noktaları arasındaki mesafeleri (m) temsil etmektedir. Q_{LOB}, Q_{CH}, Q_{ROB}, ise sırasıyla sol sahil, ana kanal ve sol sahil noktaları arasındaki ortalama akım değerlerini (m³/s) göstermektedir.

İki kesit arasında akışı gerçekleşen toplam debinin belirlenmesi için kesitlerin her biri alt bölümlere ayrılarak her alt bölümün akım iletim kapasitesi ayrı ayrı belirlenir. HEC-RAS programında kesitler alt bölümlere ayrılırken, ana kanal ile sağ-sol sahil noktaları olarak belirlenen kısımları yani pürüzlülük değerinin değiştiği bölgeleri esas alır. Her bir alt bölüm

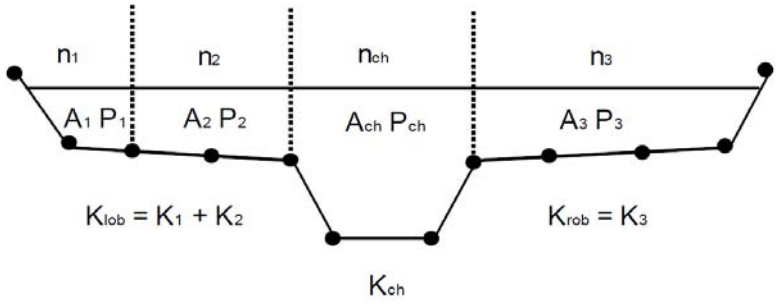
için debi kapasitesi Manning formülünün değiştirilmiş bir şekli olan aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır:

$$Q = KS_f^{1/2} \tag{6.4}$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \tag{6.5}$$

Burada, K her bir alt bölüme ait debi kapasitesi (m^3/s), n her bir alt bölüm için pürüzlülük katsayısı, A her bir bölüme ait kesit alanı (m^2), R her bir bölüm için hidrolik yarıçap değeri (Kesit alanı/Islak çevre) (m), S_f enerji çizgisi eğimidir (m/m).

HEC-RAS programı bir kesitteki debi kapasitesini hesaplarken sağ sahil ve sol sahildeki alt bölümler ile genellikle tek parça olarak alınan ana kanalın debi kapasitelerini toplayarak toplam debi değerini elde eder (Şekil 6.2.)



Şekil 6.2. HEC-RAS programında alt bölümlere ayrılmış kesitin şekli

HEC-RAS programında su yüzü profilleri belirlenirken bir kesitteki bilinmeyen su yüksekliğini bulmak için enerjinin korunumu denklemi (Eş. 6.1) ile enerji kaybı değerini veren denklem (Eş. 6.2) kullanılarak tekrarlı (iterasyonlu) çözümleri yapılır. Hesap adımları şu şekildedir:

1- Akım kritik üstü akım (sel rejimi) ise membadaki kesitte, akım kritik altı akım (nehir rejimi) ise mansaptaki kesitte bir su yüksekliği değeri alınır.

2- Alınan bu su yüksekliği değerine göre toplam debi ve hız yükü değerleri bulunur.

3- Bulunan debi ve hız yükü değerleri kullanılarak S_f değeri hesaplanır ve enerji kaybı değerini (h_e) veren denklem (Eş. 6.2) çözülür.

4- 2. ve 3. adımda bulunan değerler kullanılarak birinci adıma göre seçilen kesit için enerjinin korunumu denklemi çözülür ve su yüksekliği bulunur.

5- Hesaplanan su yüksekliği değeri ile birinci adımda kabul edilen değer mukayese edilir. İki değer arasındaki fark 0,003 m'den fazla ise belirtilen hesap adımları tekrarlanır. Hesaplanan fark değeri 0,003 m'den az ise bir sonraki kesit için hesaplamalara başlanır.

Tekrarlı hesap yapılırken alınan su yüksekliği değeri kıstası denemeden denemeye değişmektedir. İlk denemede alınan su yüksekliği değeri bir önceki kesitteki su yüksekliği değerini yansıtmaktadır. Önceki kesitteki su yüzü derinliği mevcut kesit su yüzü yüksekliği değerinin üstüne eklenir. İkinci denemede kabul edilen su yüksekliği değerine birinci denemede alınan su yüksekliği değerinden dolayı oluşan hata miktarının %70'inin eklenmesi şeklinde belirlenir.

$$SU\ Y\text{ÜZÜ}_{YEN\text{İ}} = SU\ Y\text{ÜZÜ}_{TAHM\text{İN}} + 0.7 \times (SU\ Y\text{ÜZÜ}_{HESAP} - SU\ Y\text{ÜZÜ}_{TAHM\text{İN}}) \qquad (6.6)$$

şeklindedir. Üçüncü ve sonraki denemeler için genellikle "Secant" yöntemi kullanılarak çözüm yapılır. Secant yönteminde kullanılan formül şu şekildedir:

$$WS_I = WS_{I-2} - Err_{I-2}\ x\ Assum_{D'ff}/Err_{D'ff} \qquad (6.7)$$

$$Assum_{D'ff} = WS_{I-2} - WS_{I-I} \qquad (6.8)$$

$$Err_{D'ff} = Err_{I-2} - Err_{I-I} \qquad (6.9)$$

Burada, WS_I yeni kabul edilen su yüzü yüksekliği değerini (m), WS_{I-I} bir önceki adımda kabul edilen su yüzü yüksekliği değerini (m), WS_{I-2} iki adım önceki kabul edilen su yüzü yüksekliği değerini (m), Err_{I-I} mevcut adımda hesaplanan hata değerini, Err_{I-2} İki adım önceki hata (Hesaplanan su yüzü yüksekliğinin 2. adımda hesaplanan su yüzünden farkı) değerini, $Assum_{D'ff}$ kabul edilen su yüzü yüksekliği değerinden önceki iki denemede kabul edilen su yüzü yüksekliği değerlerinin farkını (m), $Err_{D'ff}$ ise iki adım önce hesaplanan hata değerinin mevcut adımda hesaplanan hata değerinden farkını simgelemektedir.

Bir denemedeki maksimum değişim bir önceki denemede kabul edilen değerin yüzde 50'si ile sınırlıdır. Secant metodunda $\boldsymbol{Err_{Diff}}$ değerinin çok küçük olması hataya yol açmaktadır. Eğer hata değeri 0.01 oranından küçük ise Secant metodu kullanılamaz. Böyle durumlarda HEC-RAS programı bir önceki denemede kabul edilen ve hesaplanan su yüzü yüksekliklerinin ortalamasını alarak yeni değeri belirlemektedir (Brunner, 2016).

6.1.2. Bir boyutlu (1D) kararsız akım

Birçok nehir (akım) modelleme uygulamasında, akımın bir boyutlu (1D) olduğu varsayımı yapılır. Daha sonra hidrolik hesaplamalar aşağıda sunulacak olan St. Venant denklemlerinin bir boyutlu (1D) formülü kullanılarak hesaplanır.

Bir boyutlu (1D) süreklilik denklemi

Süreklilik denklemi belirlenen kontrol hacmi içerisinde kütlenin korunumu olarak tanımlanır. Bir başka ifadeyle, kontrol hacmindeki net kütle akışı hacimdeki değişime eşittir. St. Venant süreklilik denkleminin bir boyutlu hali aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + q = 0 \tag{6.10}$$

Yukarıda verilen denklemde, Q akım miktarını (m^3/s), A kesit alanını (m^2), q ise yan akımı (m^2/s) simgelemektedir.

Bir boyutlu (1D) momentum denklemi

Momentum denklemi Newton'un ikinci hareket yasasına dayanır ve bir element üzerinde etki eden kuvvetler toplamının o maddenin momentum değişim miktarını eşit olduğunu belirtir. Momentum denklemi hangi kuvvetlerin dikkate alınmasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Basınç, yer çekimi ve sürtünme direnci hesaba katılarak aşağıdaki bir boyutlu denklem yazılabilir:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + g\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{V^2}{2g} + h\right) = g\left(S_o - S_f\right) \tag{6.11}$$

Yukarıda verilen denklemde, V akım hızını (m/s), g yer çekimi ivmesini (m/s²), h su derinliğini (m), S_o yatak taban eğimini (m/m), S_f ise sürtünme kaybı eğimini (m/m) simgelemektedir.

6.1.3. İki boyutlu (2D) kararsız akım

Karmaşık taşkın yataklarında hidrolik modelleme yapılırken, bir boyutlu (1D) akım varsayımı geçerli değildir. İki boyutlu (2D) kararsız akım modelinde ise zamansal ve mekânsal olarak değişim iki boyutlu olarak dikkate alınmaktadır ve karmaşık taşkın yataklar için akım modellemesi iki boyutlu olarak yapılmalıdır. Yine iki boyutlu (2D) kararsız akıma ait kütlenin korunumu ve momentumun korunumu gibi ana denklemler de bir boyutlu (1D) akım modelindeki denklemlerle aynıdır.

İki boyutlu (2D) süreklilik denklemi

Süreklilik denkleminin iki boyutlu (2D) akım için olan şekli, tıpkı bir boyutlu (1D) akım için olan gibi, kontrol hacmindeki depo değişiminin kontrol hacmine giren net kütle akımına eşit olmasına dayanır. Kütle akımındaki fark şimdi iki boyutlu (2D) olarak hesaplanacaktır. İki boyutlu (2D) süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} + \frac{\partial (hv)}{\partial y} + q = 0 \qquad (6.12)$$

Burada, H su yüzeyi seviyesini (m), h su derinliğini (m) u ve v sırasıyla x ve y yönlerindeki averaj derinlik hızlarını (m/s) ve q yağmur gibi dışardan gelen akımı (m/s) temsil eden kaynak terimini simgelemektedir (Chaudhry, 2008).

İki boyutlu (2D) momentum denklemi

Bir boyutlu (1D) durumda olduğu gibi, momentum dengesi, bir element üzerinde uygulanan toplam kuvvetlerin momentum değişim oranına eşitliği prensibine dayanmaktadır. Yer çekimi kuvveti, girdap viskozitesi (momentum değişimi), sürtünme kuvveti ve koriyolis etkisi dikkate alındığında, iki boyutlu (2D) momentum dengesi eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir.

X Yönündeki Momentum Dengesi:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -g\frac{\partial H}{\partial x} + v_t\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) - c_{fu} + fu \quad (6.13)$$

Y Yönündeki Momentum Dengesi:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = -g\frac{\partial H}{\partial y} + v_t\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) - c_{fu} + fu \quad (6.14)$$

Burada, H su yüzeyi seviyesini (m), v_t girdap etkisini (m²/s), c_f sürtünme katsayısını (m/s²), f koriyolis parametresini (m/s²), v ve u, sırasıyla x ve y yönündeki averaj derinlik hızlarını (m/s) simgelemektedir (Brunner, 2016). Momentum denklemindeki ilk terim, $(\frac{\partial u}{\partial t})$, yerel ivmeyi (m/s²), ikinci terim, $(u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y})$ konvektif ivmeyi (m/s²), geri kalan terimler ise yerçekimi kuvvetini, girdap etkisini, yatak sürtünmesini ve koriyolis kuvvetini (m/s²) simgelemektedir. Manning denklemi kullanarak, sürtünme katsayısı c_f (x yönündeki) aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$c_f = \frac{n^2 g|u|}{R^{4/3}} \quad (6.15)$$

Burada, n Manning katsayısını, g yerçekimi sabitini (m/s²), u x yönündeki akım hızını (m/s) ve R hidrolik çapı (m) simgelemektedir.

6.1.4. Modelleme sadeleştirmesi

Hesaplama zamanını ve sayısal kararsızlığı azaltmak için, momentum denklemindeki farklı terimler ihmal edilerek sığ akım denkleminin tam hali sadeleştirilebilir. Bu basitleştirmeler genelde iki boyutlu (2D) modellerde uygulanmaktadır. Ayrıca bu basitleştirmeler sadece belirli akım durumlarında geçerlidir, yani sadeleştirmeler uygulanacaksa temsili kullanımın ve sınırlandırmaların iyi anlaşılması gerekmektedir (Ball ve ark., 2012). Bu tez sadece difüzif dalga varsayımı ismiyle HEC-RAS'ta kullanılan ana sadeleştirmeleri ve yaklaşımları sunmakta olup, bazı farklı sadeleştirmeler yine mevcuttur. Bu yaklaşım, HEC-RAS'ta iki boyutlu (2D) momentum denkleminin tam hali yerine kullanılabilir.

Difüzif dalga yaklaşımı

Yerçekimi kuvvetinin ve sürtünmenin kontrol hacmine etki eden hâkim kuvvetler olduğu kabul edilirse, momentum denklemi, momentum denkleminin difüzif dalga yaklaşımı ismiyle sadeleştirilebilir. Aşağıda verilen türetme HEC-RAS Hidrolik Referans Manuelinde verilen haliyle uyumludur (Brunner, 2016). Momentum denkleminin, difüzif dalga yaklaşımında ivme terimleri, girdap etkisi ve koriyolis terimleri gibi ihmal edilmiştir ve momentum dengesi yerçekimi ve yatak sürtünme kuvvetleri arasındaki denge olarak yazılmıştır. Momentum denklemi şimdi şu şekilde yazılabilir:

$$g\nabla H = -c_f V \tag{6.16}$$

Burada, V akım hızını (m/s) x ve yönündeki hızlar bağlı ve vektörel olarak ($V = (u, v)$) ifade etmektedir.
Eğer taban sürtünmesi Manning formülü kullanılarak değerlendirmeye alınırsa, yukarıdaki denklem şu şekilde yazılabilir:

$$V = \frac{-(R(H))^{2/3}}{n} \frac{\nabla H}{|\nabla H|^{1/2}} \tag{6.17}$$

Burada, $R(H)$, H su yüzey seviyesindeki hidrolik derinliği (m), ∇ diferansiyel işleci, n ise Manning sürtünme katsayısını simgelemektedir.

Yukarıdaki denklem süreklilik denklemiyle birlikte değerlendirilirse ve vektörel olarak yazılırsa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \nabla * \beta \nabla H + q = 0 \tag{6.18}$$

Burada β aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$\beta = \frac{-(R(H))^{2/3}}{n} \tag{6.19}$$

İki boyutlu akım için geçerli olan denklemler, sığ akım denklemlerinin difüzif dalga yaklaşımı kullanılarak yukarıdaki denklemlere sadeleştirilebilir. Difüzif dalga yaklaşımı

daha kısa hesaplama sürelerine olanak sağlamakta ve modeldeki kararsızlığı azaltmaktadır. Bu denklem, orta dereceden aşırıya kadar çeşitli akım değerlerinde kullanılabilir. Fakat bu denklemde, akım bölünmesi, momentum transferi ve girdap durumu modellenemez (Ball ve ark., 2012).

6.1.5. Çözüm teknikleri

Sığ akım denklemleri analitik olarak entegre edilemeyen bir dizi diferansiyel denklemi bir araya getirir. Değişkenlerin değerlerinin elde edilebilmesi için, denklemlerin sayısal olarak entegre edilmesi gerekmektedir. Su yüzeyinin seviyesi ve akım hızı hem zamana hem de konuma göre farklılık göstermektedir. Modelin her zaman basamağı için, hesaplama makinesinin alan modeli boyunca bu değişkenlerin değerlerine karar vermesi gerekmektedir. Bu da, denklemlerin zamana ve konuma göre ayrıştırılarak ve bir zaman basamağından diğerine geçerken oluşan denklemlerin çözülmesiyle olmaktadır. Farklı sayısal yöntemler, yönetim denklemlerinin konum ve zamanda ayrıklaştırılma şekline ve ortaya çıkan denklem sistemlerinin nasıl çözüleceğine göre değişir. Sayısal çözüm şeması açık bir şekilde, yani n adımındaki değişken değerlerinin doğrudan bir sonraki adımdaki değişkenler için (n+1) kullanılarak elde edilmesiyle veya içe dönük şekliyle, yani bir sonraki hesap adımı için iterasyon yöntemi kullanılarak olmaktadır. Birçok hidrolik model sonlu fark, sonlu element veya sonlu hacim yöntemlerine dayanmaktadır (Chaudhry, 2008). HEC-RAS'ın bir boyutlu (1D) hesaplama aracı yarı-içe dönük sonlu fark şeması kullanırken, İki boyutlu (2D) hesaplama aracı, ağ sisteminin uyumuna bağlı olarak farklı yaklaşımların yapıldığı birleştirilmiş sonlu fark ve sonlu hacim şeması kullanmaktadır (Brunner, 2016).

Sayısal yöntemler çözümün düzgün ve kararlı olması için genellikle Courant Sayısına bazı kısıtlamalar koyarlar. Courant sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$C = \frac{v\ x\ \Delta t}{\Delta x} \tag{6.20}$$

Burada, v akım hızını (m/s), Δt hesap zaman aralığını (s), ve Δx ise mekânsal adımı yani bir boyutlu (1D) modellerde kesit aralığını (m), iki boyutlu (2D) modellerde ise hücre aralığını (m) simgelemektedir. Birçok model uygulamasında, Courant sayısı 1'den küçük değerlerde olmalı, yani su iki hücre arasında veya iki kesit arasında bir zaman aralığı süresince

akmamalıdır. Bir boyutlu (1D) HEC-RAS modellemesinde, Courant sayısının daha yüksek değerleri için daha düzgün sonuçlar elde edilmesine rağmen, Courant sayısının birden küçük olması ($C < 1$) önerilmektedir (Brunner, 2016a). İki boyutlu (2D) modeller için ise, Courant sayısının birden küçük olması ($C < 1$) tercih edilmelidir ve momentum denkleminin tam halinin kullanılması durumunda 3'ten büyük olmaması gerekmektedir. Difüzif dalga sadeleştirilmesinin kullanıldığı durumda ikiden küçük bir değer olmalı ($C < 2$) ve beşten büyük bir değer seçilmemelidir (USACE Hydrologic Engineering Center, 2016).

6.2. HEC-RAS Programı

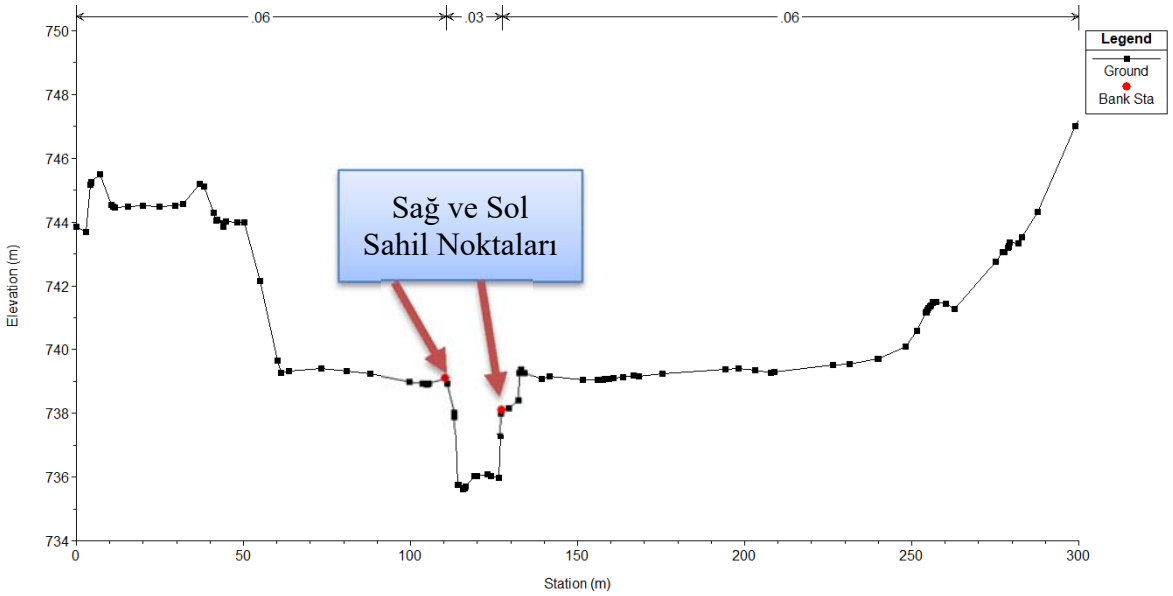
HEC-RAS (*Hydraulic Engineering Centre River Analysis System*), ABD Ordusu Mühendisler Birliği tarafından geliştirilmiş olan bir hidrolik modelleme aracıdır. Yazılım 1 boyutlu (1D) kararlı (steady) akımların su yüzü profillerinin hesaplamalarını, kararsız (unsteady) 1 ve 2 boyutlu akımların simülasyonlarını, su kalitesi ve sediment taşınımı modellemelerini yapabilmektedir. Bu bölümde, HEC-RAS programında yapılan 1D ve 2D modellemelerin tanıtımı yapılmış ve oluşturulma adımları anlatılmıştır. Bu tez kapsamında HEC-RAS 5.0.6 versiyonu kullanılmıştır.

6.2.1. 1D HEC-RAS modellemesi

HEC-RAS programı Bölüm 6.1.1.'de anlatıldığı üzere 1D kararlı akımların çözümlemesini yaparken enerjinin korunumu denklemi ile enerji kaybını veren denklemi kullanır. 1D kararsız (unsteady) akım için hesaplama yapılırken ise 1D süreklilik ve momentum denklemlerini yarı-kapalı sonlu fark çözüm şeması kullanarak çözümler. Bu bölümde HEC-RAS 1D programının dayandığı temeller, 1D kararlı ve kararsız akımlar için bir model oluşturulması ve bu modelin çalıştırılması için gerekli olan verilerin programa aktarılması anlatılmıştır. 1D HEC-RAS modeli çalışılan alanın topoğrafyasını yansıtan geometrik verilerden ve akımın sınır koşullarını tanımlayan verilerden oluşur.

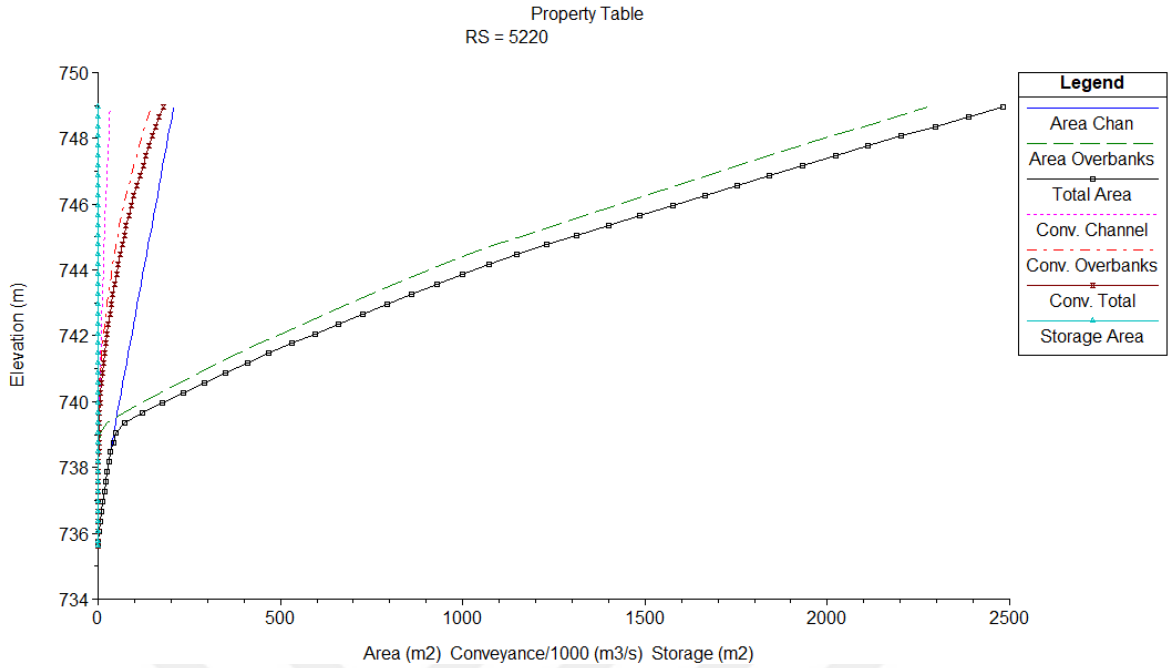
6.2.2. Geometrik veri

HEC-RAS programında çalışılan bir hidrolik modelin tanımlanabilmesi için ilgili akım veya akımlara ait geometrik verilerin programa girdisinin yapılması gerekir. Bunun için gerekli olan geometrik veriler; akımlara ait güzergâh hatları ve bu hatlar üzerinde bulunan enine alınmış kesitlerdir. En kesitler sistemin hidrolik özelliklerini yansıttığından modellemelerde kilit rol oynayan unsurlardır. En kesitler akış yönüne dik olarak güzergâh boyunca belirli aralıklarla alınmış olan, X yönünde kesit uzunluğunu, Y yönünde ise yükseklik bilgilerini gösteren verilerdir (Şekil 6.3.).



Şekil 6.3. Tipik bir HEC-RAS enkesit geometrisi (Kırmızı renkli olarak gösterilen noktalar arasında kalan kısım ana kanalı temsil eder.)

Tüm en kesitler akım yönünü dik kesecek şekilde oluşturulmaktadır. En kesitler her biri kendi pürüzlülük katsayısına sahip ana kanal ile sağ ve sol sahil noktaları olarak belirlenmiş kısımların dışında kalan kısımlar olarak alt bölgelere ayrılmıştır. Program tarafından nehrin arazi profili belirlenirken her en kesitin ana kanal olarak belirlenen kesimindeki en düşük kot değeri (talveg) alınır. Program, en kesitlerdeki su yüksekliklerine bağlı olarak meydana gelen hidrolik özellikler tablosunu kendisi oluşturmaktadır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Örnek bir enkesit özellikler tablosu (Grafikte kesit alan ve taşıma kapasitesinin yükseklikle değişimi görülmektedir.)

Köprü ve hidrolik yapılar

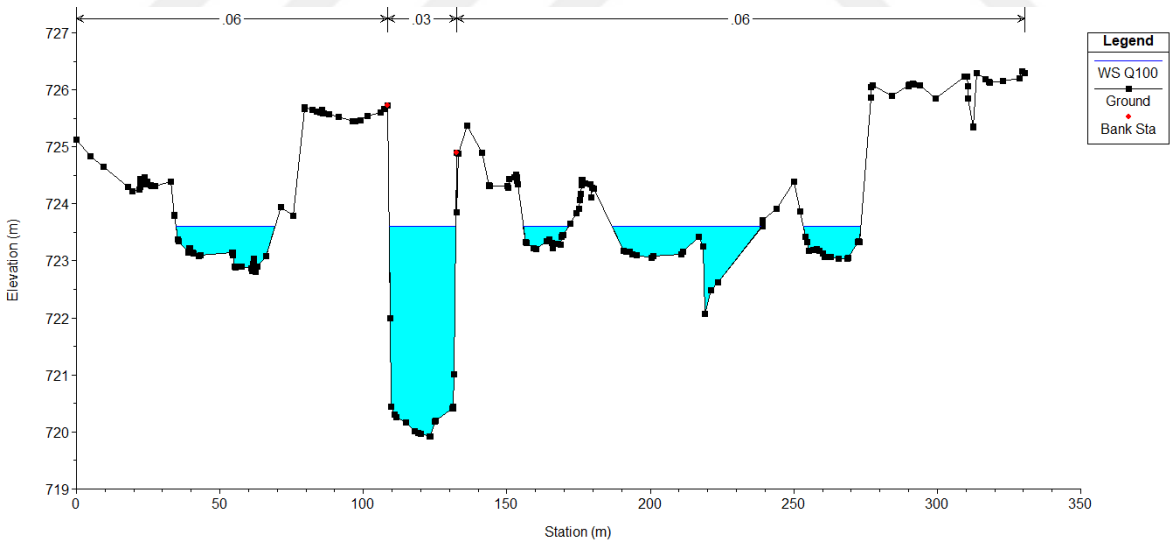
1D HEC-RAS programı nehirler üzerinde bulunan köprü ve menfezlerin akışını modelleme kapasitesine sahiptir. Bu türdeki hidrolik yapılar, yapı giriş-çıkışlarındaki akışın genişleme ve daralması durumlarına bağlı olarak akım dinamikleri üzerinde büyük etkiye sahip olabilmektedir. Program akımda meydana gelen daralma-genişleme ve yapının batık çalışmasından dolayı meydana gelen enerji kayıplarını hesaplayabilmektedir. Köprü ve menfezleri basınçlı akım altında modellemek de mümkündür (Brunner, 2016).

HEC-RAS 1D'de, köprüden geçen akım hesabı yapının memba ve mansabındaki ikişer kesit olmaz üzere toplamda dört en kesit ve köprü yapısının kendi geometrik şekline dayanmaktadır. Yapının en memba ve en mansabında bulunan kesitler genişleme ve/veya daralmanın bittiği kısımlarda bulunmalıdır. Yapıya yakın memba ve mansap kısmında bulunan iki kesit ise genişleme ve/veya daralmadan kaynaklanan enerji kayıplarının hesaplanabilmesi için yapının başladığı ve bittiği kısımlara çok yakın şekilde yerleştirilmiş olmalıdır.

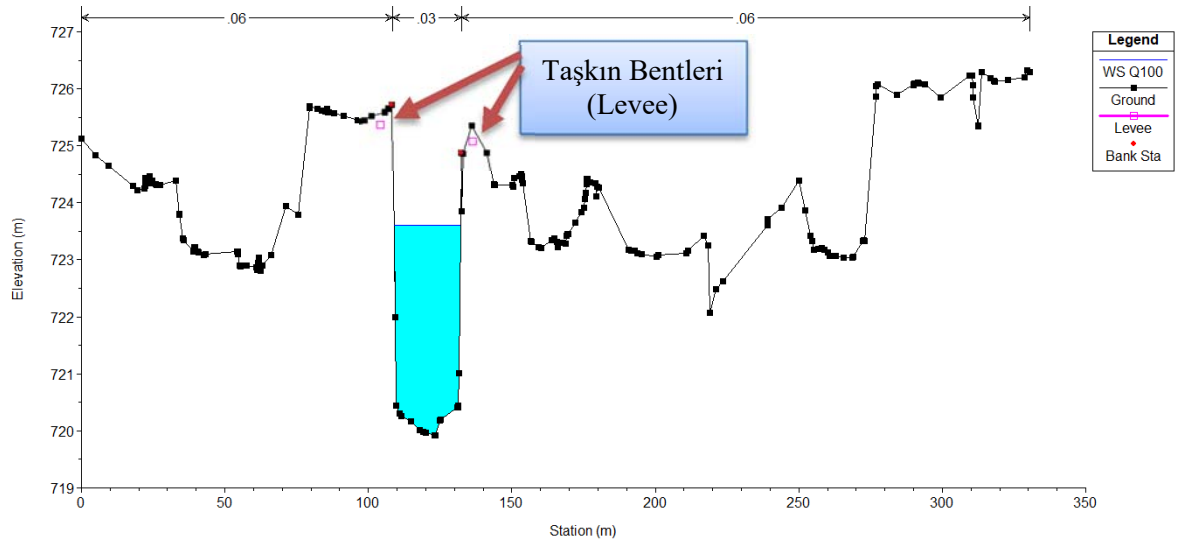
Köprü yapısı programa tanımlanırken köprü alt kotu (akar kot), köprü tabliyesi alt kotu, köprü tabliyesi üzerindeki dolgu kotu ve köprü genişliği girilir. HEC-RAS programında köprü hesabı yaparken kullanılabilecek çeşitli metotlar vardır (Brunner, 2016). Bu projede toplamda 8 adet köprü projelendirilmiş olup enerji eşitliği denklemi kullanılacaktır. HEC-RAS çalışmasında modellenmiş olan bu köprülerden bir tanesinin görüntüleri, rölevesi ve model geometrisi Bölüm 7'de "7.1.2 Köprülerin Modellenmesi" adlı başlık altında, diğer tüm köprülerin görüntü ve röleveleri ise Ekler'de verilmiştir.

En kesitlerde taşkın seddelerinin (levee) uygun yerlere konulması

1D HEC-RAS programı çözümleme yaparken her kesit için bir su yüzü kotu hesaplar ve bu su yüksekliği değerini tüm kesit boyunca homojen olarak dağıtır. Ancak bu durum akış için fiziksel olarak doğru bir durumu yansıtmayabilir (Şekil 6.5.). Bir kesitin uygun bölgelerine taşkın sedde (*levee*) veya seddelerinin eklenmesi durumunda kesitte akışın olmadığı kısımlar belirlenerek su seviyesi ana kanalı aşmadığı sürece bu kısımlarda akışın gerçekleşmemesi sağlanabilmektedir. (Şekil 6.6.)



Şekil 6.5. Taşkın bendi (levee) olmayan bir kesitteki akış durumu. Akım ana kanal olarak belirlenen analı aşmadığı halde tüm kesit alanı akışa izin verilebilir şekilde olduğundan eşit kotta yayılmıştır.



Şekil 6.6. Taşkın bendi eklenmiş şekliyle kesitteki akış durumu. Akım ana kanal olarak belirlenen alanı aşmamaktadır.

Sınır şartları

HEC-RAS programında hazırlanan model üzerinde hidrolik hesaplamalar yapabilmek için HEC-RAS programının ihtiyaç duyduğu sınır şartlarının belirlenmesi gerekir. Akımın rejimine, kararlı veya kararsız olması durumlarına bağlı olarak memba ve mansabın her ikisinde ya da sadece birinde sınır koşulu tanımlamak gerekebilir. Kararsız akış için hesaplama yapılırken hem memba hem de mansap için sınır koşulları tanımlanır. Akımın membası için sınır şartı girilirken bir akış hidrografı (*flow hydrograph*), kademeli hidrograf (*stage hydrograph*) veya bu ikisinin birleşimi (*stage/flow hydrograph*) şeklinde veri girişi yapılabilir. Mansap kısmı için sınır şartları ise memba sınır şartlarına ek olarak akım anahtar eğrisi (*rating curve*) ve normal derinlik (*normal depth*) seçenekleridir. Sınır şartı girilirken normal derinlik değeri seçilirse program tarafından su derinliği hesaplanırken Manning eşitliği kullanılır. Belirtilen sınır şartı seçeneklerine ek olarak yanal akış hidrografları (*lateral hydrograph*) bir veya birden fazla enine kesite eşit şekilde dağılmış olarak tanımlanabilmektedir (Brunner, 2016).

1D hidrolik hesaplamalar

Program, kararsız akım için hesaplama yaparken süreklilik ve momentum denklemlerini doğrusallaştırılmış sonlu farklar yaklaşımını kullanır. Kesitlerin her bir alt bölümü için (ana kanal ve taşan kısım) bir su yüzü yüksekliği ve akım hızı hesaplanır. N adet bölümden oluşan

bir nehir için, süreklilik ve momentum denklemleri 2N-2 denklem sistemini geliştirir. Çözülmesi gereken 2N bilinmeyen, yani ΔQ ve Δh olduğundan denklem sistemini çözmek için iki denkleme daha ihtiyaç vardır. Bu iki denklem de memba ve mansap sınır şartlarından elde edilir. Denklem sistemi, tüm kesitler için uygun bir çözüm elde edinceye veya maksimum tekrarlı çözüm sayısına ulaşana kadar yinelemeli olarak çözülür.

Ayrıca kullanıcının simülasyon zaman adımı Δt ve hesaplama parametresi θ değerlerini belirlemesi gerekir. Varsayılan değer 1 olup 0,6 ila 1 arasındaki değerler tanımlanabilir. θ değerinin seçimi modelin kararlılığını ve doğruluğunu doğrudan etkiler. θ değerinin 1 seçilmesi modelin kararlılığını artırırken sayısal çözümün doğruluğunu azaltır. Bu durumun tersi θ değerinin düşük değerleri için geçerlidir.

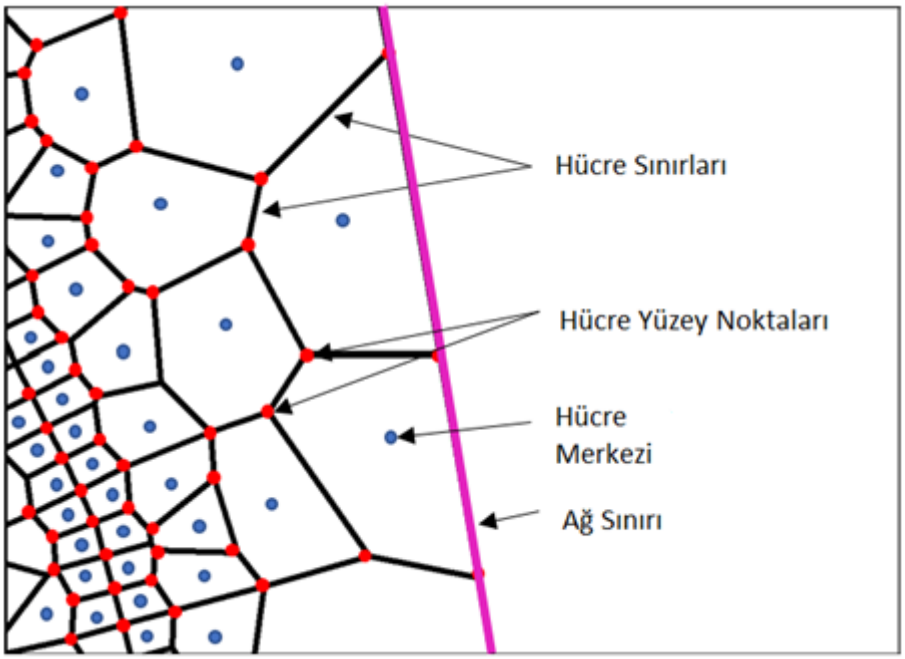
Kesitsel özellikler, ani eğim değişimleri, taşkın dalgası karakteristikleri ve karmaşık hidrolik yapılar model simülasyon kararlılığını en çok etkileyen faktörlerdir. Bu nedenle sadece θ faktörü değiştirilerek kararlı bir model elde edilmesi mümkün olmamaktadır (Rubiu, 2018).

6.2.3. 2D HEC-RAS Modellemesi

2014 yılında piyasaya sürülen 2D modelleme aracı HEC-RAS' ta nispeten yeni bir özelliktir. Kullanıcıların akışı 1D-2D kombinasyonu şeklinde modellemesinin yanı sıra sadece 2D olarak modellenmesi de mümkündür. Bu bölümde kısaca HEC-RAS 5.0.6 sürümündeki 2D modellemenin özellikleri tanıtılmıştır.

<u>Ağ (Mesh) yapısı ve özellikleri</u>

2D geometrisi Şekil 6.7.'te gösterilen bir hesaplama ağı (ya da hesaplama şebekesi) tarafından oluşturulmaktadır. Her bir ağ boyut ve şekilleri birbirinden farklı, 8 ya da daha az kenardan oluşan ve birbirine bağlı hücrelerden meydana gelir. Hücre yüzeyleri bir boyutlu en kesitlere benzer ve ağın en dış sınırı hariç (mor), hücreler arasındaki akışın hesaplanması için kullanılır. Hücre yüzeyleri arasında bulunan hücre yüzey noktaları, ağın 1D hidrolik yapılar ve 2D sınır koşulları ile bağlantısını kurmaya yarar. Hücre merkezleri, her bir hücrenin su yüzü yüksekliği değerinin hesaplandığı ve hücrenin ağırlık merkezini temsil etmeyen noktalardır.



Şekil 6.7. Bir hesaplama ağının/şebekesinin gösterimi (Betsholtz and Nordlöf, 2017)

Hidrolik yapılar

HEC-RAS 2D programında yapıların modellenmesi bir boyutlu analizlerdeki kadar iyi araştırılıp geliştirilememiştir. 2D geometrisini oluşturan ağ yapısına savaklar, menfezler ve hidrolik kapaklar eklenebilmekte olup, program bu yapıları 1D analizlerinde kullandığı aynı denklemlerden yararlanarak bir boyutlu olarak modellemektedir. 2D analizinde kullanılan eşitlikler, tüm momentum denklemleri kullanıldığı sürece akımın birleşim ve ayrışımını analiz eder. Akımın olmadığı etkisiz kısımlarda ise hücre yüzeyleri köprü ve benzer yapıların üst kotları ile aynı düzlemde olduğu sürece dikkate alınır (Brunner, 2016).

Köprü yapıları 1D'deki gibi modellenememektedir. Köprünün modellenebilmesi için yapının bulunduğu kısımlarda arazi modelinin değiştirilerek batimetrinin ve köprünün oturduğu sahil noktalarının yakalanabilmesi gerekir. Bununla birlikte bu seçenek köprü üstü yol katmanı dolgusunun tanımlanmasını içermemektedir. Bu da programın, su yüksekliği köprü tabliye alt kotuna ulaştığında akışın önünde bir engel teşkil etmiyor gibi davranmasına neden olacaktır. Programda köprülerin yerine, menfez veya hidrolik kapaklar modellenerek köprüyü temsil etmesini sağlamak mümkündür. Ancak bu da modelin kalibrasyonu sırasında ek çalışmalar yapılmasını gerektirecektir. Ayrıca köprü geometrisinin menfezler ve hidrolik kapaklar kullanılarak temsil edilmesi genellikle zordur (USACE Hydrologic Engineering

Center, 2016). Sonuç olarak diğer hidrolik yapıların modelinde kullanılan denklemleri köprüler için kullanmak yanlış sonuçlar doğuracaktır.

Sınır şartları

HEC-RAS 1D'de kullanılan sınır şartları (akış hidrografı, kademeli hidrograf, akım anahtar eğrisi ve normal derinlik), 2D için de kullanılabilmektir. Buna ek olarak içsel sınır şartı tanımlama seçeneği de vardır.

HEC-RAS 2D'de içsel sınır şartları, bir hücre yüzeyinden bir veya daha fazla hücreye bağlanan sınır şartı (*Boundary Condition*) çizgileri olarak tanımlanır. Sınır koşulları oluşturulan ağın içerisine değil çevresine yerleştirilebilir. Bu nedenle bir nehire yanal akım girişi tanımlamak, sızma ve yağmur suyu drenajı vb, 1D'de olduğundan daha karmaşıktır.

2D hidrolik hesaplamalar

HEC-RAS 2D çözücüsü tam momentum denklemlerini (Eş 6.13 ve Eş 6.14) veya difüzif dalga yaklaşımını (Eş 6.18) kullanarak su yüzü yüksekliklerini, akımları ve akım hızlarını hesaplayabilmektedir. Ağdaki her hücre, su yüzü yüksekliklerinin ve yüzeyler boyunca akımın çözüleceği bir kontrol hacmi oluşturur. Süreklilik denklemini (Eş 6.12) bütünleştirerek ve Gauss ayrılma teoremini kullanarak süreklilik denklemi yeniden yazılırsa aşağıdaki integral formunu vermektedir:

$$\frac{\partial}{\partial t}\iiint_{\Omega} d\Omega + \iint_{S} V \,.\, n dS + Q = 0 \qquad (6.21)$$

Burada Ω olarak verilen simge akımın hücredeki işgal ettiği hacmi, S hücre sınır yüzeyini, n sınır yüzeylerinin normalini ve Q harici kaynaklardan gelen akış hacmidir (m^3/s). Bu denklem mevcut alt hücre bilgisini içerecek şekilde aşağıdaki gibi ayrılabilir:

$$\frac{\Omega(H^{n+1}) - \Omega(H^n)}{\Delta t} + \sum_{k} V_K . n_k A_k(H) + Q = 0 \qquad (6.22)$$

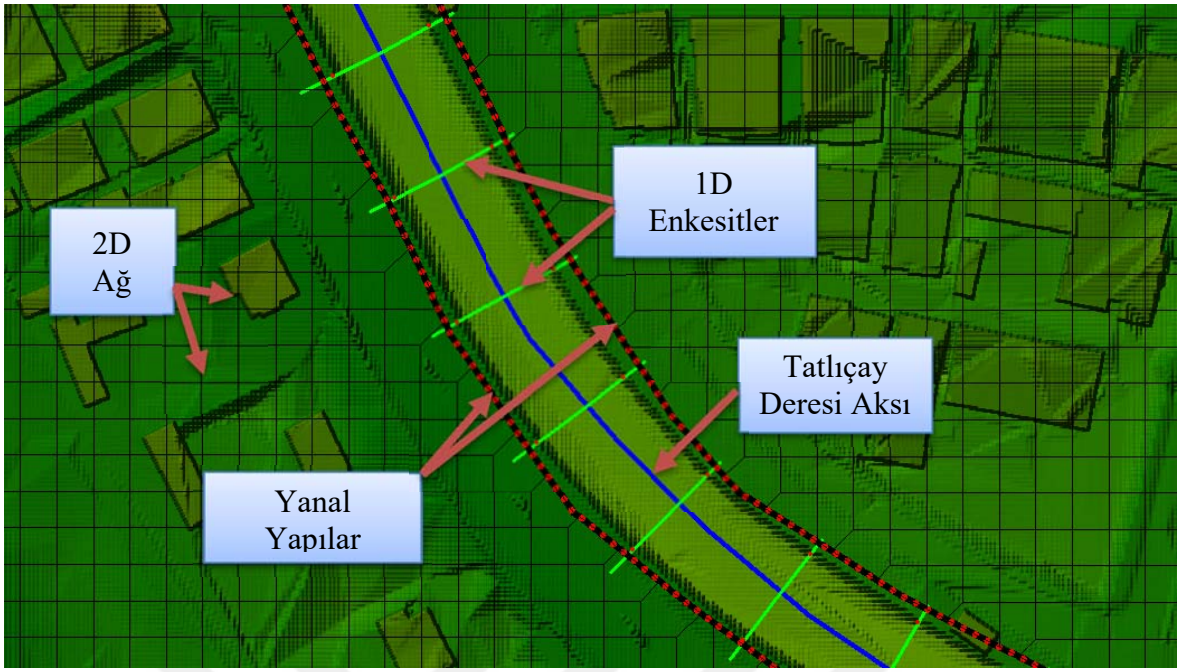
Burada ΩH hücredeki hacim değerini su yüzü kotunun yüksekliğine bağlı olarak tanımlayan bir fonksiyon, $A_k(H)$ ise k. (k nıncı) hücre yüzeyi bölgesini temsil etmek üzere, su yüzü kotunun değişimiyle k nın değişimini gösteren bir fonksiyonudur. (Eş 7.2) denkleminde ikinci terimdeki toplam, tüm hücreleri kapsar. Difüzif dalga denkleminin yeni bir formülasyonunu elde etmek için süreklilik denkleminin bu formu momentum denkleminin basitleştirilmiş formu ile birleştirilebilir veya tam momentum denklemleriyle birlikte çözülebilir (Betsholtz and Nordlöf, 2017).

6.2.4. 1D-2D HEC-RAS Birleşiminin Modellemesi

HEC-RAS programı analiz yapılacak alanları 1D ve 2D olarak ayrı ayrı modelleyebileceği gibi 1D ve 2D modelleri birleştirerek modellenme yapma kapasitesine de sahiptir. Birleştirilmiş 1D-2D modeli oluşturulurken gerekli olan veriler, sadece 2D model oluşturulurken gerekli olanlar ile aynıdır. Modelin geometrisini oluşturabilmek için çalışılan nehre ait batimetrik ölçümleri de içeren, amacına uygun oluşturulmuş bir Dijital Yükseklik Modeli, sınır koşullarını belirleyebilmek için ise hidrolojik veriler gereklidir. Birleştirilmiş 1D-2D modellemesi için iki seçenek vardır. Birinci seçenek, oluşturulan 2 boyutlu akım alanlarının, yanal yapılar kullanılarak 1D modelin içerdiği en kesitlerle bağlantısını kurmaktır. İkinci seçenek ise nehrin memba (veya mansap) kısmını 1D olarak modellemek ve en membada (veya mansapta) bulunan en kesitini 2D için oluşturulmuş akım alanına bağlamaktır. Bu tez kapsamında birinci seçenek kullanılarak 1D-2D modellemesi yapılmıştır.

<u>Yanal yapılar kullanılarak 1D-2D modellenmesi</u>

Yanal yapılar kullanılarak oluşturulan 1D-2D birleşiminde; nehrin ana kanal kısmı 1D modellemesindeki gibi en kesitleri içerecek şekilde bir boyutlu olarak, taşkın yatakları ise 2D modellemesinde olduğu gibi akım alanları oluşturularak modellenir. Bu yöntemde, 1D olarak modellenen kısımdaki taşan akımın yanal yapılar vasıtasıyla 2D akım alanı olarak belirlenen tarafa geçmesi şeklinde hesap yapılır. 1D olarak modellenen kısımdaki en kesitlerin, 2D modeli içeren alanlara fazla geçmeyecek biçimde uzunluklarının ayarlanması gereklidir. Şekil 6.8.'da bu tez kapsamında çalışılan Tatlıçay Deresi'nin ana kanalının sağ ve sol taşkın alanları ile bağlantısının yanal yapılarla sağlandığı şekli görülmektedir.



Şekil 6.8. Yanal yapı kullanılarak 1D-2D bağlantısının modellendiği Tatlıçay Deresi'ne ait gösterim

İki modeli birbirine bağlamada kullanılan yanal yapılar, sahip olduğu kot değerini oluşturulmuş arazi modelinden alır. 1D kesitteki veya 2D hücredeki su seviyesi bulunduğu yerdeki yanal yapı kotunu aştığında, akım yapı üzerinden aşar ve kesit-hücre arasında geçiş yapar. Yanal yapı üzerindeki akım değeri savak üstünden geçen akım denklemleri veya 2D akış denklemleri kullanılarak hesaplanabilir (Brunner, 2016). 2D akım denklemleri kullanıldığında, 1D modelinden elde edilen su yüzü kotları 2D hücreler için sınır şartı oluşturur (USACE Hydrologic Engineering Center, 2016). Savak üstünden geçen akım denkleminde kullanılan kabarma yüksekliği, yanal yapı ile su yüzü kotu arasındaki fark bulunarak hesaplanır. Yanal bir savak üzerindeki akımı hesaplamak için kullanılan standart savak denklemi aşağıdaki şekildedir:

$$dQ = C(y_{ws} - y_w)^{\frac{3}{2}}dx \tag{6.23}$$

Burada dQ (m^3/s) yanal yapıda dx uzunluktaki yapı elemanı üzerindeki akımı, y_{ws} (m) su yüksekliğini, y_w (m) yapının yüksekliğini ve C savak katsayısını temsil eder. Su yüzü profili ve yanal yapı paralel olmadığında HEC-RAS bu denklemin değiştirilmiş bir versiyonunu kullanır (Brunner, 2016).

1D nehir modelinin 2D akım alanına doğrudan bağlanması

Bu bağlantı seçeneği, 1D olarak modellenmiş nehrin enkesitinin, 2D model içerisinde oluşturulmuş akım alanlarına doğrudan bağlantısına olanak verir. 1D modelden gelen debi, bağlantısı yapılan en kesitteki iletim dağılımına bağlı olarak 2D modeline dağıtılır. Bundan sonrasında standart 2D denklemleri kullanılarak akışın yayılımı modellenir. Bu bağlantı türünün, akımın 1D koşullarını yansıttığı yerlerde kullanılması uygundur (USACE Hydrologic Engineering Center, 2016).

7. MODELLEME ve SONUÇLAR

Tatlıçay Deresi'nin şehir merkezi kısmı için gerekli tüm verilerin (topoğrafik haritalar, hidrolojik verileri v.b.) elde edilmesinin ardından olası taşkınlar için hidrolik analizler bir boyutlu (1D) ve bir ve iki boyutlu birleştirilmiş (1D-2D) modeller oluşturularak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları (taşkın alanları, su profilleri) bu bölümde sunulmuş ve bölüm sonunda her iki modellemenin (1D ve 1D-2D) karşılaştırılması yapılmıştır.

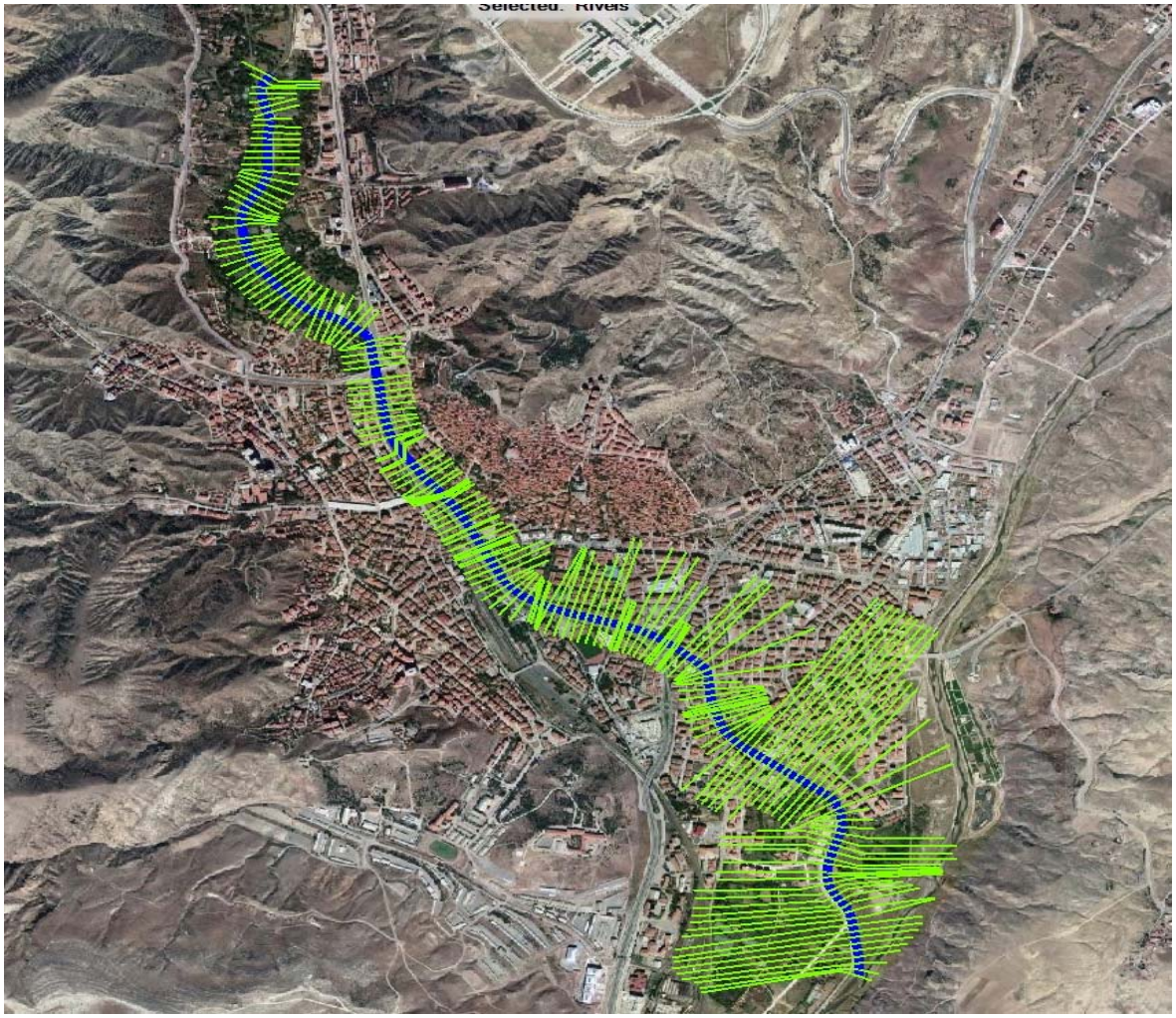
Tatlıçay Deresi'nin üzerinde bulunan köprülerin taşkına olan etkisini incelemek üzere 4 farklı senaryo oluşturulmuş ve 4 farklı taşkın debisi için analizler gerçekleştirilmiştir. Böylelikle 16 farklı model bir boyutlu (1D) olarak ve 16 farklı model de bir ve iki boyutlu birleştirilmiş (1D-2D) olmak üzere toplam 32 farklı uygulamayla modeller üzerinde analizler yapılmış ve sonuçlar plan ve profil olarak verilmiştir.

7.1. Bir Boyutlu (1D) Model Oluşturulması

Bu bölümde Tatlıçay Deresi'nin HEC-RAS programında 1D modelinin oluşturulması için gerekli olan geometrik verilerin, debilerin ve sınır şartlarının nasıl tanımlandığı anlatılmıştır.

7.1.1. Geometri verileri

Şekil 7.1.'de Çankırı merkezinden geçen Tatlıçay Deresi'nin 1D geometrisinin modellendiği kesimi bütünüyle görülmektedir. Burada kanal güzergâhı mavi renkle, dereden alınmış kesitler ise yeşil renkle gösterilmiştir.

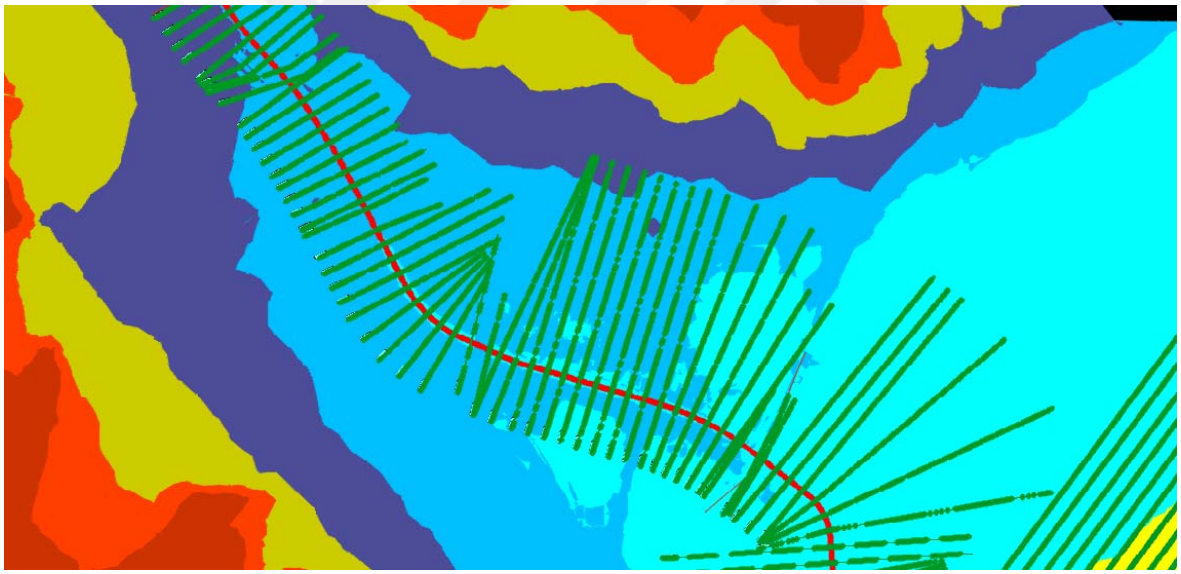


Şekil 7.1. HEC-RAS 1D modelinin genel plan görüntüsü

Geometrik veriler, Netsu Proje'nin Çankırı Tatlıçay Deresi Taşkın ve Rusubat Kontrolü çalışması kapsamında aldırmış olduğu 1/1000 ölçekteki hâlihazır haritasının, Autodesk Civil 3D programında işlenerek 3 boyutlu arazi modelinin (TIN) oluşturulmasıyla elde edilmiştir (Netsu, 2016). Hâlihazır harita aynı zamanda Tatlıçay Deresi'nin batimetrik kotlarını da içermektedir. Civil 3D programında arazi modeli oluşturulurken hâlihazır haritanın içerdiği üçgen modellemesinden yararlanılarak, dere yatağının ve çevre kotlarının (karayolu, tren yolu, yerleşim birimleri vb.) uygun şekilde modele aktarılması sağlanmıştır.

Arazi modelinin oluşturulmasının ardından Tatlıçay Deresi'nin güzergâhını temsil eden aks hattı ana kanalın ortasından geçirilmek suretiyle Civil 3D programında *alignment* adı altında veri olarak oluşturulmuştur. Dere aks hattı; derenin uzunluğunun belirlenmesi, alınacak en kesitlerin konumlandırılması ve enkesitler arasındaki mesafenin hesaplanması için kullanılır. Bu çalışma kapsamında Tatlıçay Deresi için Civil 3D programında oluşturulan

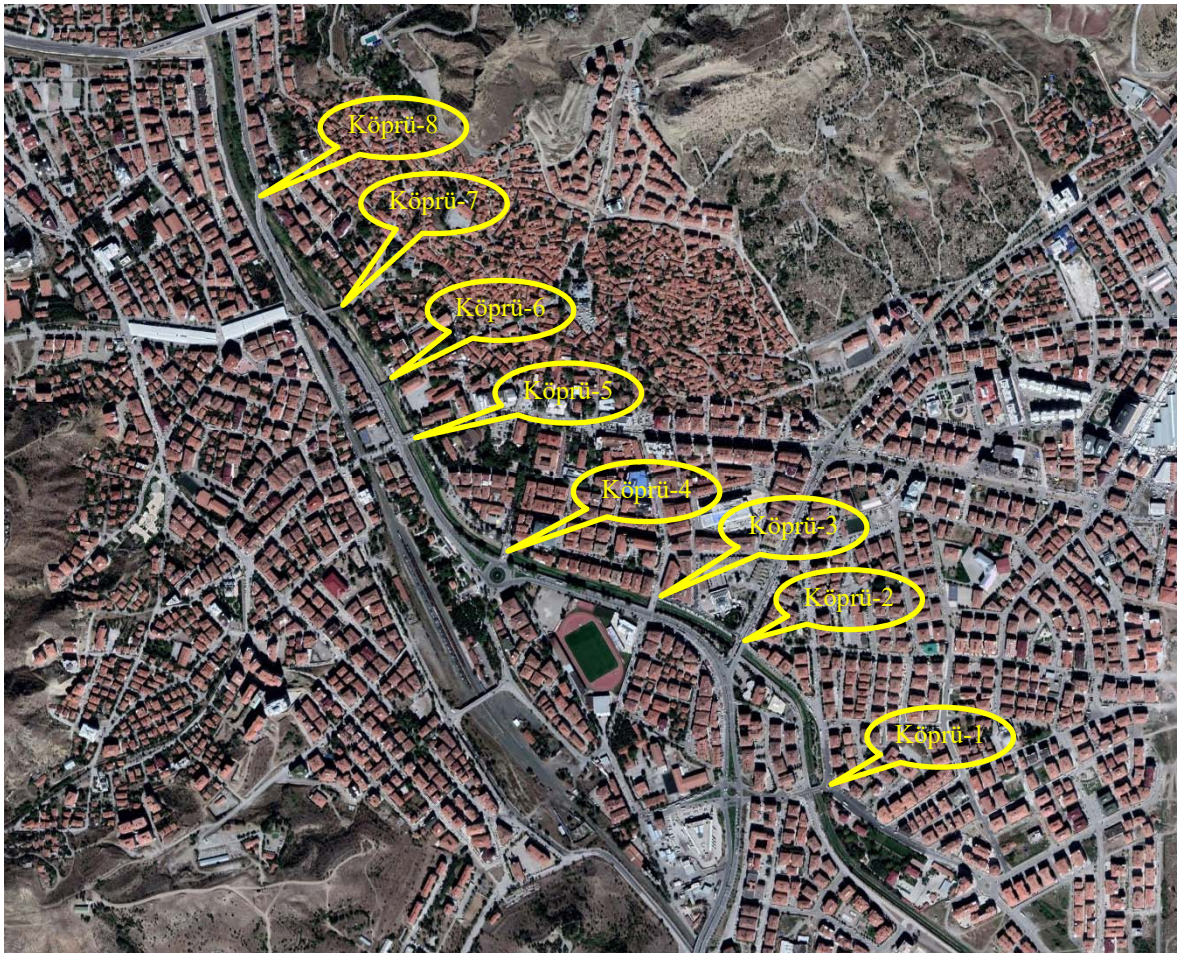
güzergâh uzunluğu 5232 m dir. Enine kesit çizgileri üzerinde bulunduğu arazi modelinin topoğrafyasını yansıtan çizgilerdir. Hidrolik hesaplamalar bir boyutlu olduğundan, derenin hidrolik özelliklerinin doğru şekilde hesaplanabilmesi için en kesitlerin akış yönüne dik şekilde alınması gerekir. Enine kesit çizgileri Civil 3D programında istenilen kilometre aralıklarında ve uzunluklarında alınarak program içerisinde "*Sample line*" adı altında veri olarak kaydedilir. Tatlıçay Deresi'nin HEC-RAS'ta 1D modellemesi için Civil 3D programında 196 adet enkesit oluşturulmuştur. Civil 3D programı içerisinde dere aksının ve en kesitlerinin doğrudan HEC-RAS yazılımı verisi olarak kullanılmasını sağlayan "*Export to HEC-RAS*" seçeneği mevcuttur. Bu seçenek sayesinde, arazi modelinde sonradan yapılacak bir değişiklik olması durumunda, HEC-RAS programı içerisinde ekleme ve çıkarmalar kolayca yapılabilir. Şekil 7.2.'de Civil 3D programında yapılmış olan 1D modeli bulunmaktadır. Arazi modeli üzerinde koyu yeşil renkli olan çizgiler en kesitleri, kırmızı çizgi ise dere aksını göstermektedir.



Şekil 7.2. Civil 3D programında oluşturulmuş arazi modeli, aks hattı ve en kesitler

7.1.2. Köprülerin modellenmesi

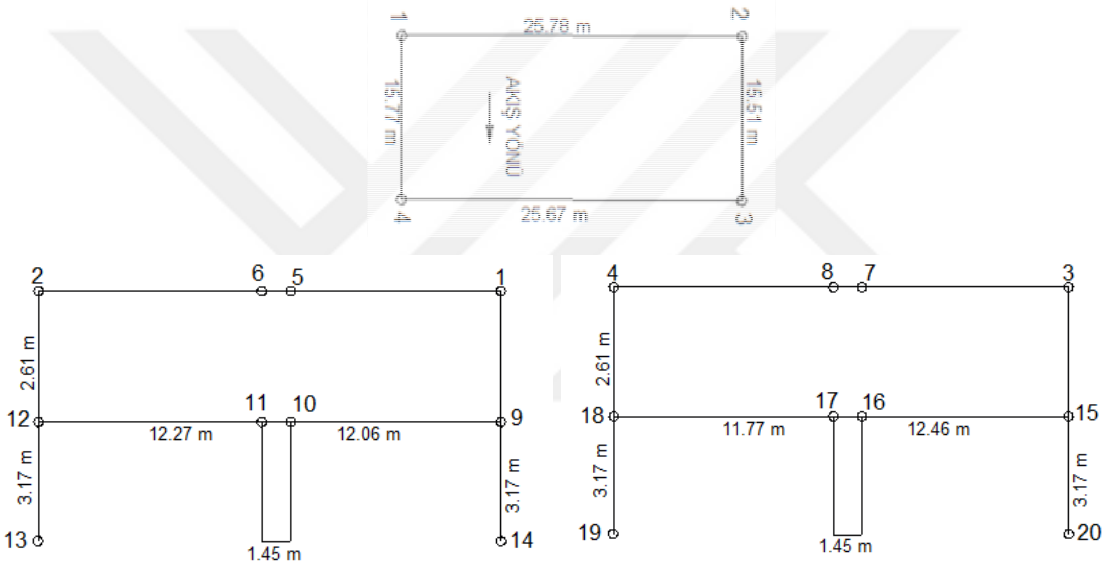
Tatlıçay Deresi'nin analizinin yapıldığı kısımda dereyi kesen yol geçişleri için inşa edilmiş 8 adet köprü bulunmaktadır (Şekil 7.3.). Köprülere ait röleveler Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün Kızılırmak Havzası Taşkın Yönetim Planının Hazırlanması Projesi işi kapsamında yüklenici firma olan NFB Mühendislik'ten temin edilmiştir.



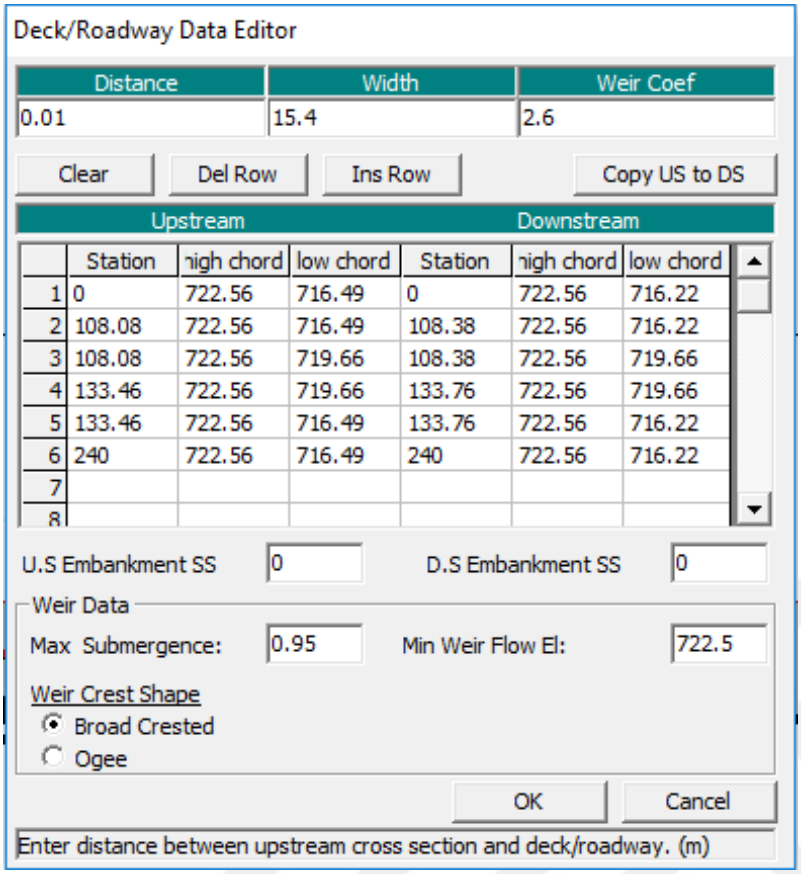
Şekil 7.3. Tatlıçay Deresi üzerinde bulunan köprüler

Tatlıçay Deresi üzerinde bulunan köprülerin bulunduğu kilometreler Civil 3D programında belirlendikten sonra köprü yapılarının başladığı ve bittiği yerlere çok yakın olacak şekilde en kesitler tanımlanmıştır. Köprü yapısının HEC-RAS programına geometrik özellikleri tanımlanırken köprü alt kotu (akar kot), köprü tabliyesi alt kotu, köprü üzeri dolgu yüksekliği ve köprü genişliği değerleri temin edilmiş olan röleve değerlerine göre girilmiştir. Resim 7.1.'de gösterilen Köprü-3 olarak belirtilen yapıya ait röleve ve HEC-RAS programındaki modellemesi örnek olarak verilmiştir (Şekil 7.4., Şekil 7.5. ve Şekil 7.6.). Diğer köprülere ait röleveler Ekler kısmında verilmiştir.

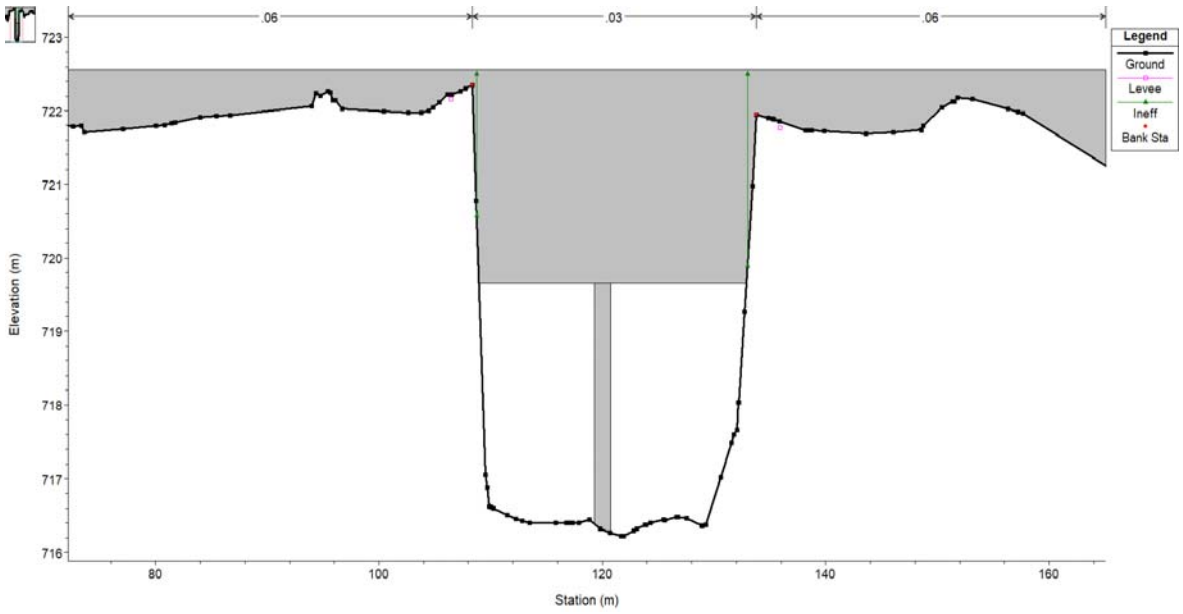
Resim 7.1. Köprü-3 memba ve mansap görüntüsü



Şekil 7.4. Köprü-1 boyutlarının şematik plan ve kesit görüntüsü



Şekil 7.5. Köprü rölevelerinin HEC-RAS'ta tanımlanması

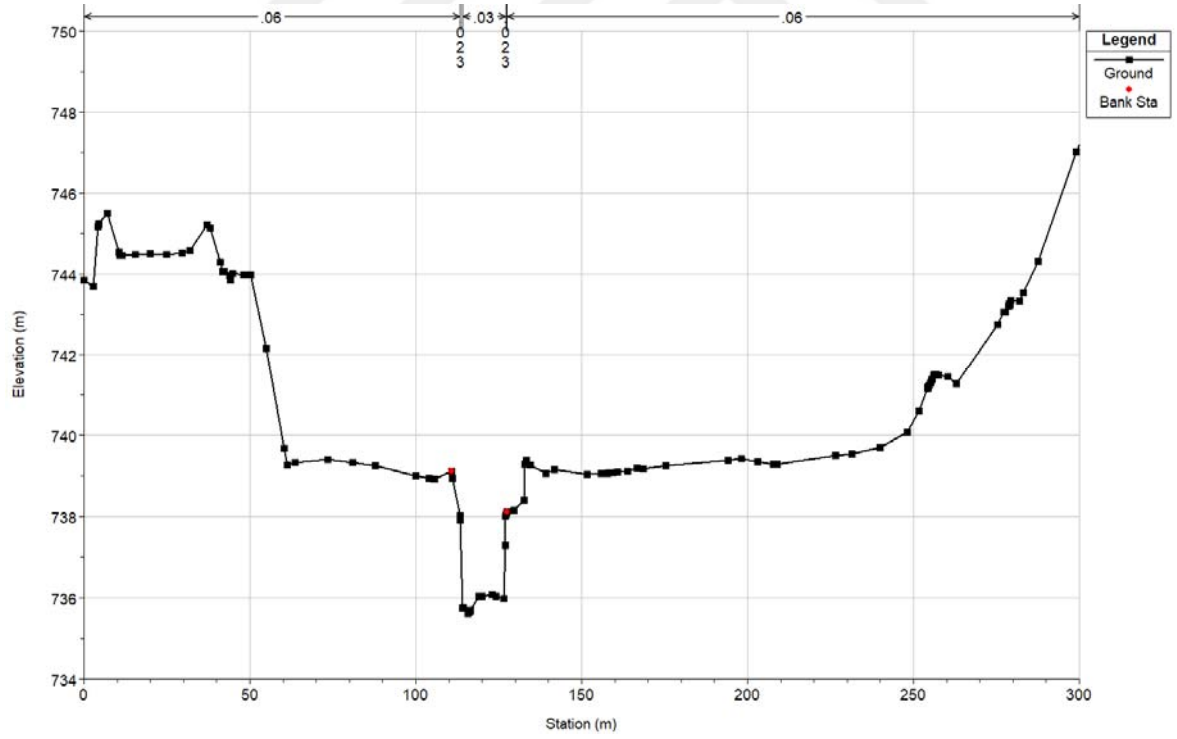


Şekil 7.6. Köprü-3' ün HEC-RAS programındaki kesit modeli görüntüsü

7.1.3. Pürüzlülük katsayısının belirlenmesi

HEC-RAS' ta modelleme yaparken analiz sonuçlarını en fazla etkileyen parametrelerden biri olan Manning pürüzlülük katsayıları, Ven Te Chow tarafından belirlenen tablolar yardımıyla en uygun şekilde belirlenmiştir (Chow, 2006). Dere yatağının tabanı, yan duvar kısımları ve ana kanal dışında kalan taşkın yatağı için ayrı pürüzlülük katsayıları tanımlanmış ve gerçeğe daha uyumlu model oluşturulmuştur.

Dere yatağının sediment taşımasından ve Chow 'un Manning tablosuna göre ana kanal için otlak sınıfına girmesinden dolayı dere tabanında pürüzlülük katsayısı n= 0,030 olarak alınmıştır. Dere yatağının beton ve taş duvarlı olduğu kısımlarda pürüzlülük katsayısı n= 0,023 alınarak kesitin bu bölümleri için ayrıca Manning katsayısı tanımlanmıştır (Şekil 7.7). Tatlıçay Deresi'nin ana yatağının dışında kalan taşkın yatağını temsil eden ve yerleşimin bulunduğu kısımlarda ise n=0,060 değeri alınmıştır.



Şekil 7.7. Manning pürüzlülük katsayılarının temsil ettiği kısımları gösteren Tatlıçay Deresi'ne ait bir enkesit örneği

7.1.4. Sınır şartlarının belirlenmesi ve kararlı akım değerlerinin girilmesi

Tatlıçay Deresi'nin 1D olarak HEC-RAS'ta modellenmesinde memba ve mansap için sınır şartları belirlenirken üniform akım koşullarının oluştuğu varsayımı yapılmıştır. Dolayısıyla akım yüksekliğinin belirlemesi için "normal derinlik" seçeneği kullanılmıştır. Normal derinlik değerinin hesabı için derenin memba ve mansaptaki kanal eğimleri belirlenmiştir. Memba kısmı için normal derinlik değerinin hesabı için üniform taban eğimi 0,0062 m/m, mansap kısmı için ise 0,0051 m/m değeri girilmiştir.

HEC-RAS 1D kararlı akım için girilen Q_{25}, Q_{50}, Q_{100} ve Q_{500} debileri, Bölüm 5'te anlatılan hidrolojik çalışmalardan, her bir tekerrür yılı için elde edilen maksimum değerler alınarak elde edilmiştir. Buna göre Q_{25} = 130,11 m^3/s, Q_{50} = 165,62 m^3/s, Q_{100} = 209,49 m^3/s, Q_{500} = 290,73 m^3/s ve olarak alınarak, dört ayrı debi için çalışma yapılmıştır.

7.2. 1D Model İçin Elde Edilen Analiz Sonuçları

Tatlıçay Deresi'nin taşkın analizi için yapılan HEC-RAS 1D modellemesinin sonuçları alınırken, zamanla değişmeyen (kararlı) akım seçeneği kullanılmıştır. Burada seçenek olarak sunulan akım rejimlerinden karma (*mixed*) seçilerek çözümleme yapılmıştır.

Tatlıçay Deresi'nin HEC-RAS 1D analizleri yapılırken 4 farklı senaryo ve 4 farklı taşkın debisi için geometri dosyaları oluşturulmak üzere toplam 16 model çalışılmıştır. Aynı senaryo ve taşkın debileri bir ve iki boyutlu modelin birleşimi (1D-2D) olarak da analiz edilmiş ve toplamda 32 farklı model için analizler yapılmıştır (Çizelge 7.1). Aşağıdaki maddelerde oluşturulan senaryolar tariflenmiştir.

1- Senaryo 1'de hâlihazır durum için, herhangi bir değişiklik yapılmadan derenin modellenmesidir.

2- Senaryo 2'de ise Bölüm 3' te bahsedilmiş olan, akımı olumsuz etkileyecek şekilde kaplanan köprü kaplamalarının kaldırılarak, köprülerin imal edildiği haliyle sahip olduğu tabliye kotlarına göre modellenen geometriye göre çözümleme yapılmasıdır. Sorunlu olarak kabul edilen köprüler 2, 3, 4 ve 5 numaralı köprülerdir. Köprülerin numaralandırılması, plandaki yerleşimleri ve röleveleri Ek-1' de verilmiştir.

3- Senaryo 3 sadece sorunlu köprülerin modelden kaldırılması durumudur. Burada sorunlu köprülerin kaldırılmasından kasıt yıkılıp tekrar akımı engellemeyecek şekilde inşa edilmesidir.

4- Senaryo 4 tüm köprülerin modelden kaldırılması durumudur.

Çizelge 7.1. 1D ve 1D-2D olarak analiz edilecek olan 32 farklı model

1D Modeller				1D-2D Modeller			
Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{500}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{500}
Senaryo 1	*Senaryo 1*	*Senaryo 1*	*Senaryo 1*	*Senaryo 1*	*Senaryo 1*	*Senaryo 1*	*Senaryo 1*
Senaryo 2	*Senaryo 2*	*Senaryo 2*	*Senaryo 2*	*Senaryo 2*	*Senaryo 2*	*Senaryo 2*	*Senaryo 2*
Senaryo 3	*Senaryo 3*	*Senaryo 3*	*Senaryo 3*	*Senaryo 3*	*Senaryo 3*	*Senaryo 3*	*Senaryo 3*
Senaryo 4	*Senaryo 4*	*Senaryo 4*	*Senaryo 4*	*Senaryo 4*	*Senaryo 4*	*Senaryo 4*	*Senaryo 4*

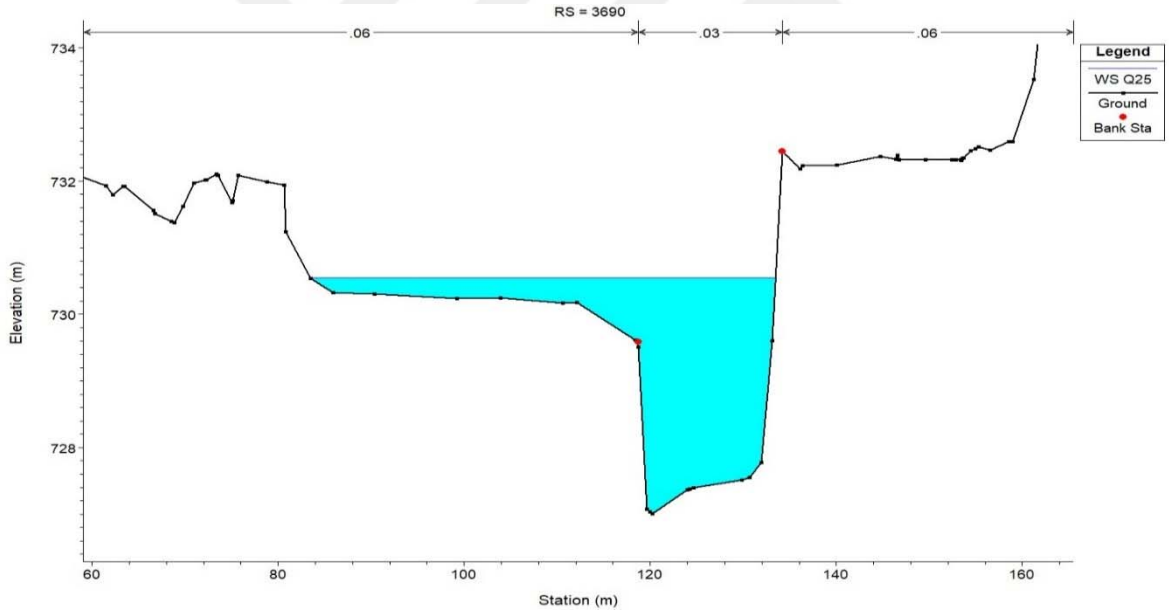
Analiz sonuçları 4 farklı senaryo ve Q_{25}, Q_{50}, Q_{100}, Q_{500} taşkın debileri için plan ve profil görüntüleri olarak sunulmuştur.

Yapılan analizler sonucu oluşan su yüzü profilleri gösterilirken, Senaryo-1, 2 ve 3 te köprülerin olduğu kısımlarda su yüzü profili sadece köprülerin olduğu kesimi gösterecek şekilde yakınlaşılarak görüntü alınmıştır. Tüm köprülerin kaldırıldığı Senaryo-4'te ise 5232 m'lik tüm güzergah için su yüzü profili gösterilmiştir.

7.2.1. 25 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{25}) için 1D analiz sonuçları

25 yıl tekerrürlü taşkın durumlarında bütün senaryolar için ana kanalda can ve mal kaybına yol açabilecek ciddi bir taşma gözlemlenmemiştir. Tüm senaryolarda yalnızca Merkez Mahallesi'nin üst kısmında bulunan kırsal bölgede ve Tatlıçay Deresi'nin Acıçay Deresi ile birleştiği kısma yakın bölgede (mahalleleri gösteren harita için bknz Harita 3.1) , ana yatağın sağ veya sol banket noktalarını 30~40 cm aşacak şekilde yerel taşkınlar görülmüştür (Şekil 7.8 ve Şekil 7.9). Senaryo-1'de 4 nolu köprüden kaynaklı kabarma (Şekil 7.10 ve Şekil 7.11) gelmekte olup, herhangi bir zarara yol açmamaktadır.

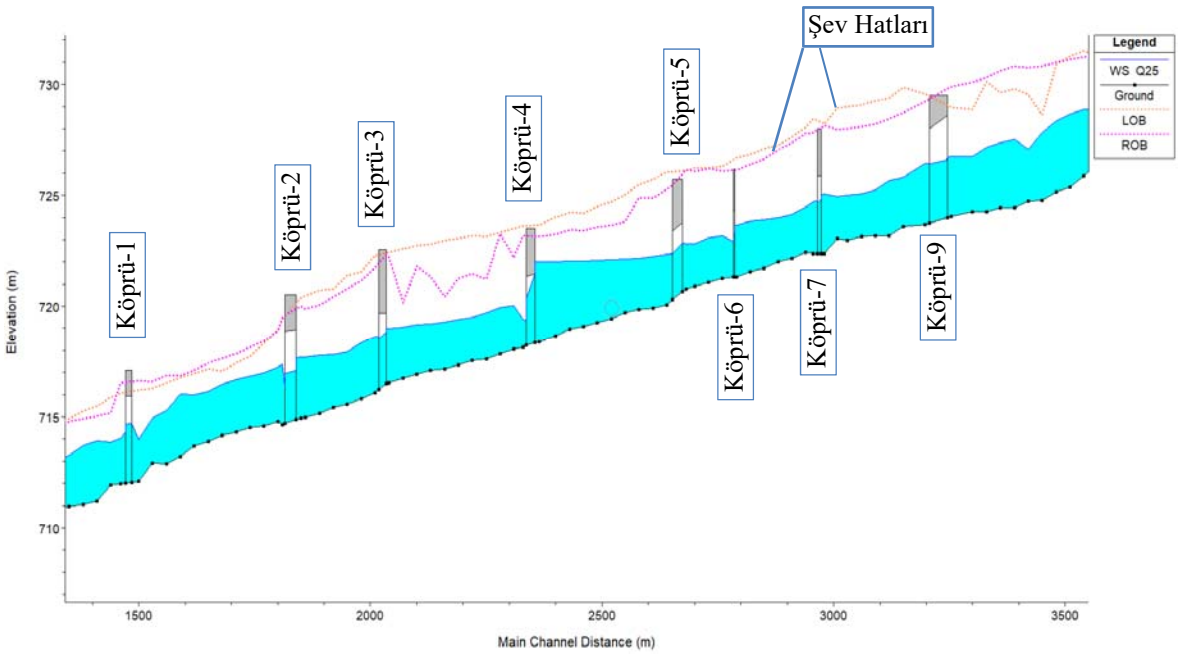
Şekil 7.8. HEC-RAS 1D'de 25 yıl tekerrürlü debisinin oluşturduğu taşmalar



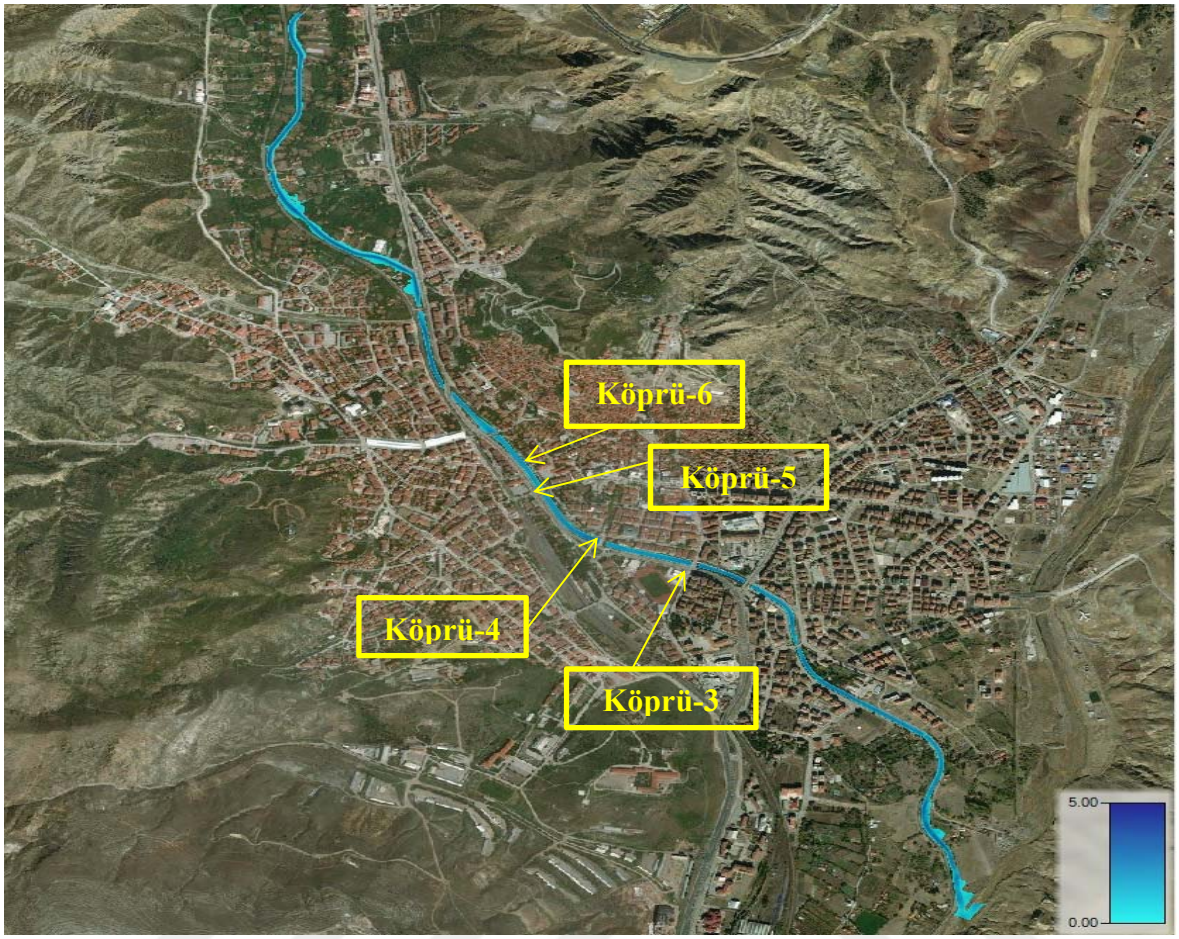
Şekil 7.9. Q_{25} taşkın debisi için Merkez Mah. üst kısmındaki kırsal bölgede taşma gözlemlenen kanal kesiti (Km:3+690.00)

25 yıl tekerrürlü taşkın debisi için tüm senaryolarda, Tatlıçay Deresi'nin çalışılan bölümünde şehir merkezinin yoğun olduğu Km: 0+750.00 ile Km: 3+750.00 arasında kalan bölgede herhangi bir taşkın gözlemlenmemiştir. Meydana gelen kısmi taşmalar bütün senaryolar (Senaryo 1-2-3-4) için aynı olduğundan dolayı, kısmi taşmaların sebebinin köprüler olmadığı da 25 yıl tekerrürlü taşkın debisi için elde edilen bir diğer sonuçtur (Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15, Şekil 7.16 ve Şekil 7.17).

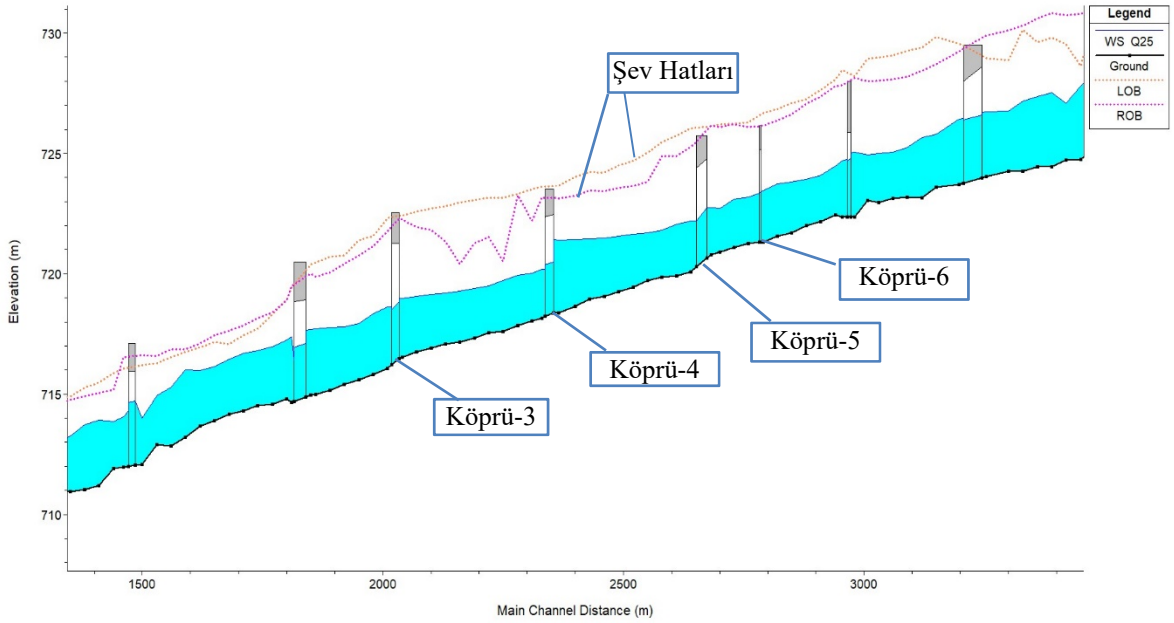
Şekil 7.10. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{25})



Şekil 7.11. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{25} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{25})

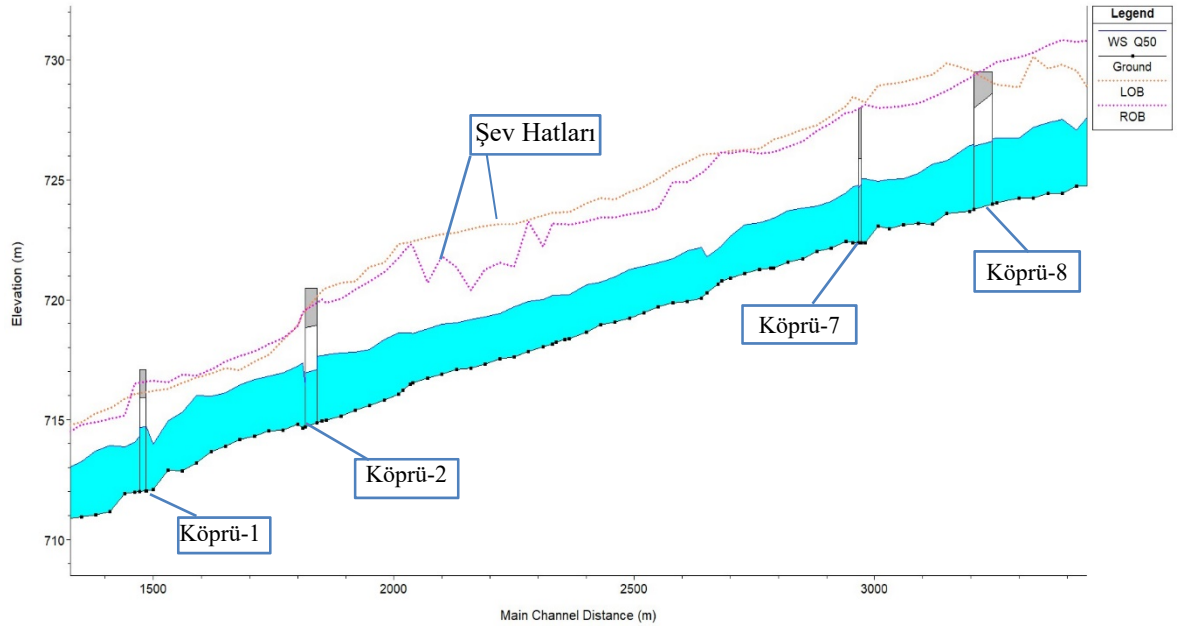


Şekil 7.12. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{25})



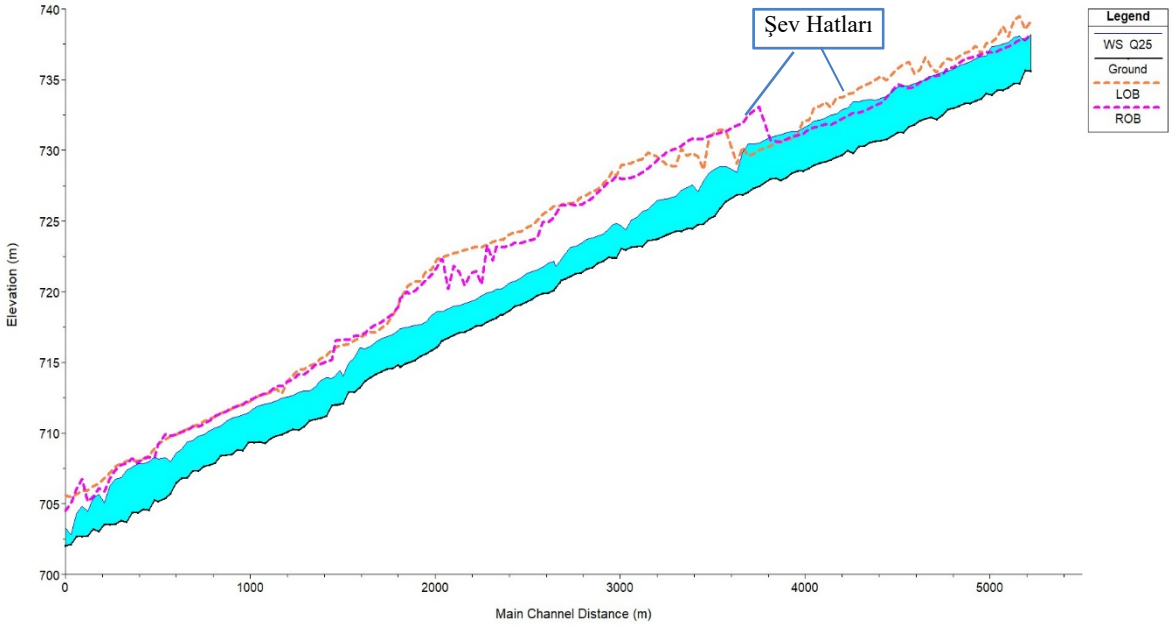
Şekil 7.13. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{25} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{25})

Şekil 7.14. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{25})



Şekil 7.15. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, köprü olan kısımlarda Q_{25} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{25})

Şekil 7.16. HEC-RAS 1D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{25})



Şekil 7.17. HEC-RAS 1D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{25} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{25})

HEC-RAS 1D'de Q_{25} debisinin gelmesi durumunda taşkına maruz kalan alanlar ile taşkından etkilenen yapı sayısı Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.2. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{25} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{25}	6 618,4	6 618,4	6 618,4	6 618,4

Çizelge 7.3. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{25} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Etkilenen Yapı Sayısı	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Etkilenen Yapı Sayısı	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Etkilenen Yapı Sayısı	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Etkilenen Yapı Sayısı
Q_{25}	-	-	-	-

Senaryolar incelendiğinde 25 yıl tekerrürlü taşkın debisi için yer yer bazı küçük taşmalar haricinde kanal kapasitesinin yeterli olduğu sonucu elde edilmiştir. Taşma olan kesitler incelendiğinde ise burada çevre kotlarının düşük olduğu, duvarların bir miktar yükseltilmesiyle de bu taşmaların önüne geçilebileceği gözlemlenmiştir. Mevcut durumda (Senaryo 1) sorunlu köprülerdeki konstrüktif olmayan çelik kaplamalardan dolayı bazı noktalarda köprü altında basınçlı akım oluştuğu su profilleri incelenerek belirlenmiştir (Şekil 7.10 ve Şekil 7.11 Köprü-4). Köprülerde basınçlı akım oluşmasına rağmen memba ve mansap yönünde konstrüktif amaçlı olmayan çelik kaplamalı köprülerin bulunduğu kısımlarda su seviyesi hava payı sınırlar içerisinde kalmış ve herhangi bir taşma gözlemlenmemiştir. 25 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{25}) için bazı noktalarda taşmaların gözlemlenmesi ve çelik kaplamalı köprülerde akımın basınçlı hale geçmesi gibi durumlar, daha büyük tekerrürlü taşkın debileri için daha kritik sonuçların elde edileceği ve daha geniş alanlara yayılımların oluşabileceği sonucunu göstermektedir.

Q_{25} taşkın debisine karşı ana kanalın yeterli kapasitede olması derenin ıslah edilmesinin geciktirilebileceği anlamına gelmemelidir. Çünkü önümüzdeki yıllarda daha büyük tekerrürlü (Q_{100}, Q_{500} gibi) taşkın debilerinin yaşanmayacağının garantisi yoktur. Nitekim 2015 yılı Mart ayında Tatlıçay Deresi'nde bir taşkın yaşanmış bazı noktalarda ana kanaldan taşmalar gözlemlenirken, bazı noktalarda su seviyesi duvarın en üst kısımlarına kadar gelmiştir (Resim 7.2). Bu yüzden daha yüksek değerdeki taşkın debileri için de gerekli analizlerin yapılması gerekmektedir.

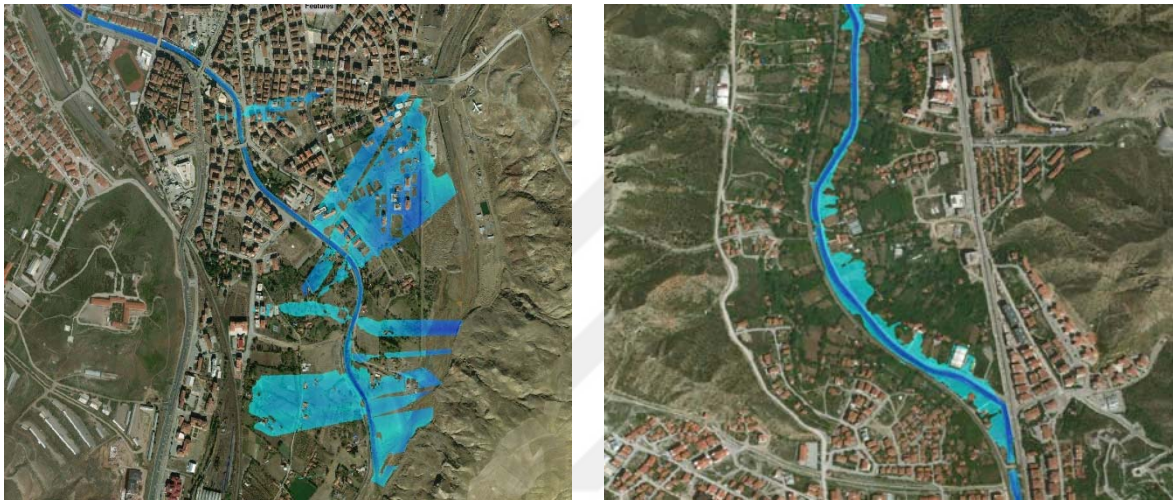
Resim 7.2. Mart 2015 tarihinde Çankırı Tatlıçay Deresi'nde meydana gelen taşkın (Çankırı Postası, 2015)

7.2.2. 50 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{50}) için 1D analiz sonuçları

25 yıl tekerrürlü taşkın debisi için ana yatağın yeterli olduğu ve belirli yerlerdeki kanal şev üst kotunda revizyon yapılması halinde Q_{25} debisi için ciddi bir riskin olmadığı sonucu elde edildikten sonra, daha büyük debiler için de hidrolik analizler yapılmıştır. 50 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{50}) ve senaryolar için elde edilen plan ve profil sonuçları verilmiştir (Şekil 7.20, Şekil 7.21, Şekil 7.22, Şekil 7.23, Şekil 7.24, Şekil 7.25, Şekil 7.26 ve Şekil 7.27). Senaryo-1'de ve köprülerdeki konstrüktif olmayan çelik kaplamaların iptal edilerek tabliye alt kotunun yükseltilmesine rağmen Senaryo-2'de 4 nolu köprüden kaynaklı kabarma

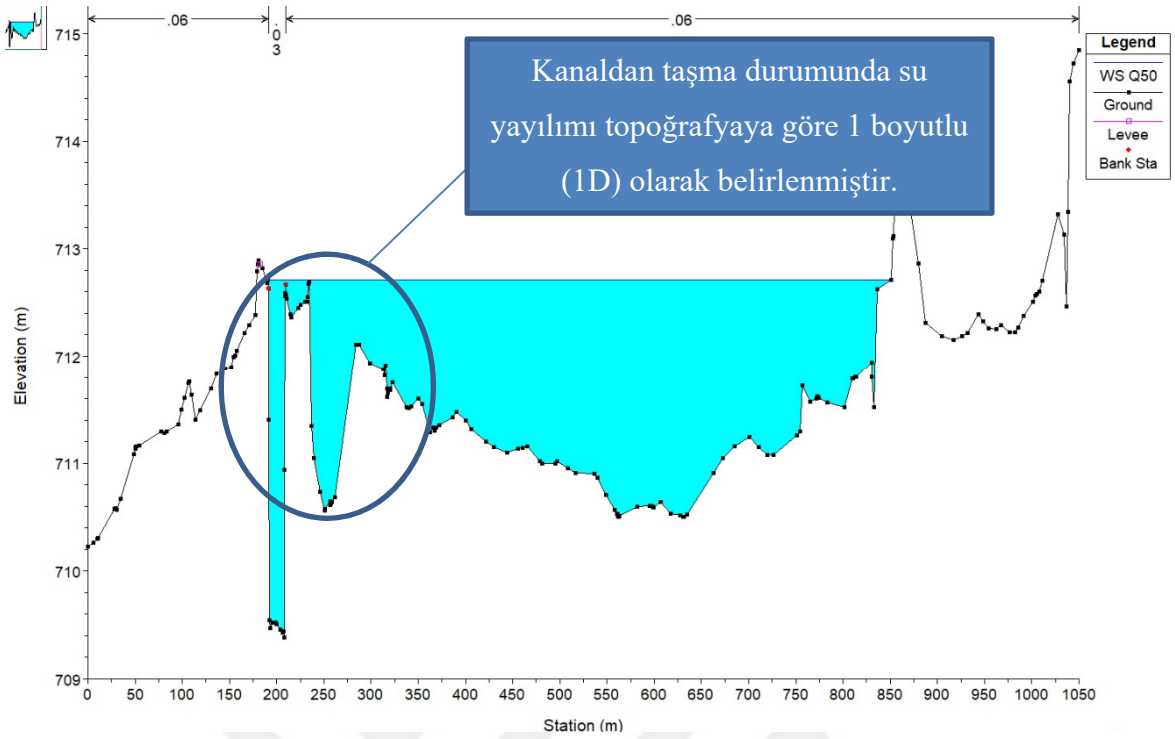
(Şekil 7.20, Şekil 7.21, Şekil 7.22 ve Şekil 7.23) oluşmakta ancak, herhangi bir zarara yol açmamaktadır.

Tüm senaryolarda yalnızca Merkez Mahallesi'nin üst kısmında bulunan kırsal bölgede ve Tatlıçay Deresi'nin Acıçay Deresi ile birleştiği kısımdan yukarı doğru 1200 m lik kısımda, ana kanal kapasitesinin akımı taşıma açısından yetersiz boyutta olduğu görülmüştür (Şekil 7.18).

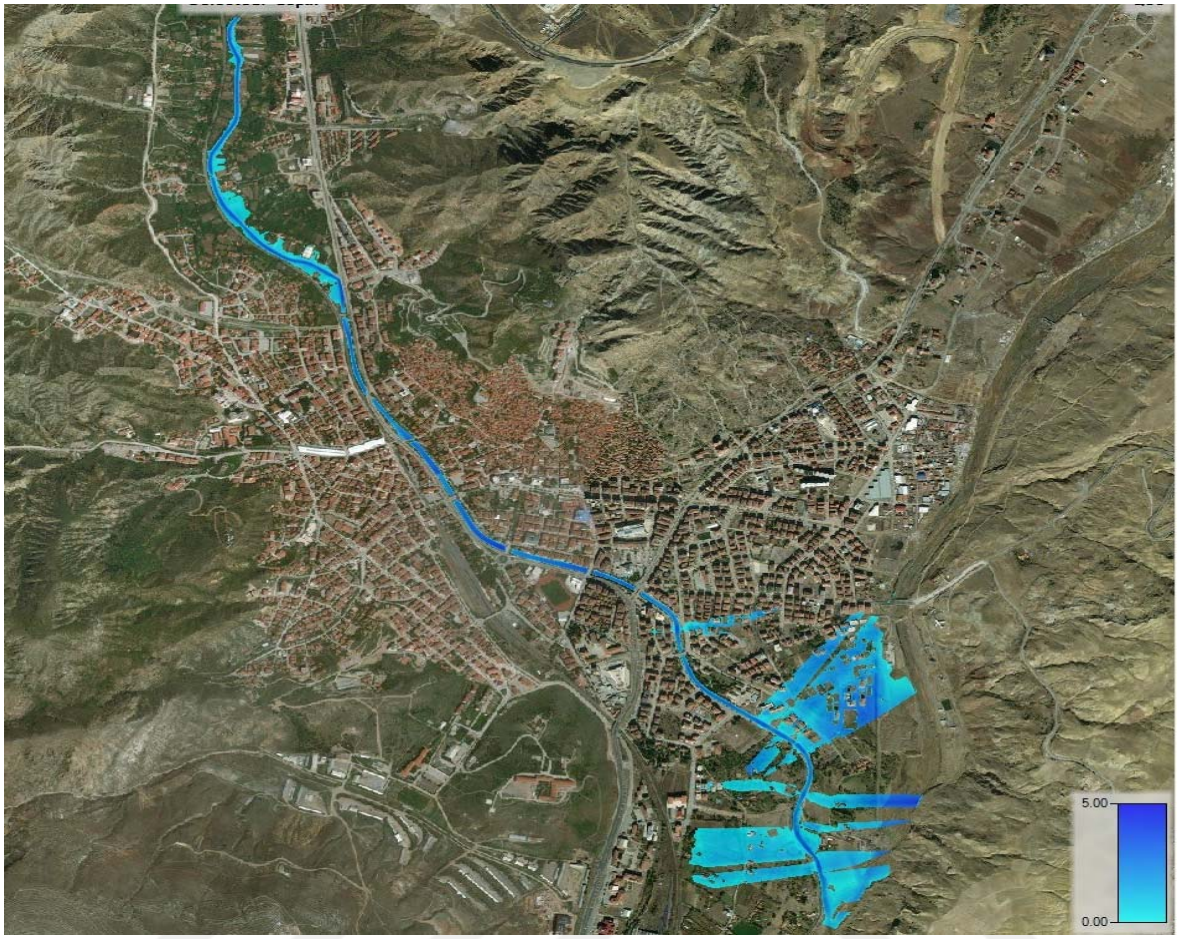


Şekil 7.18. HEC-RAS 1D'de 50 yıl tekerrürlü debinin oluşturduğu taşmalar

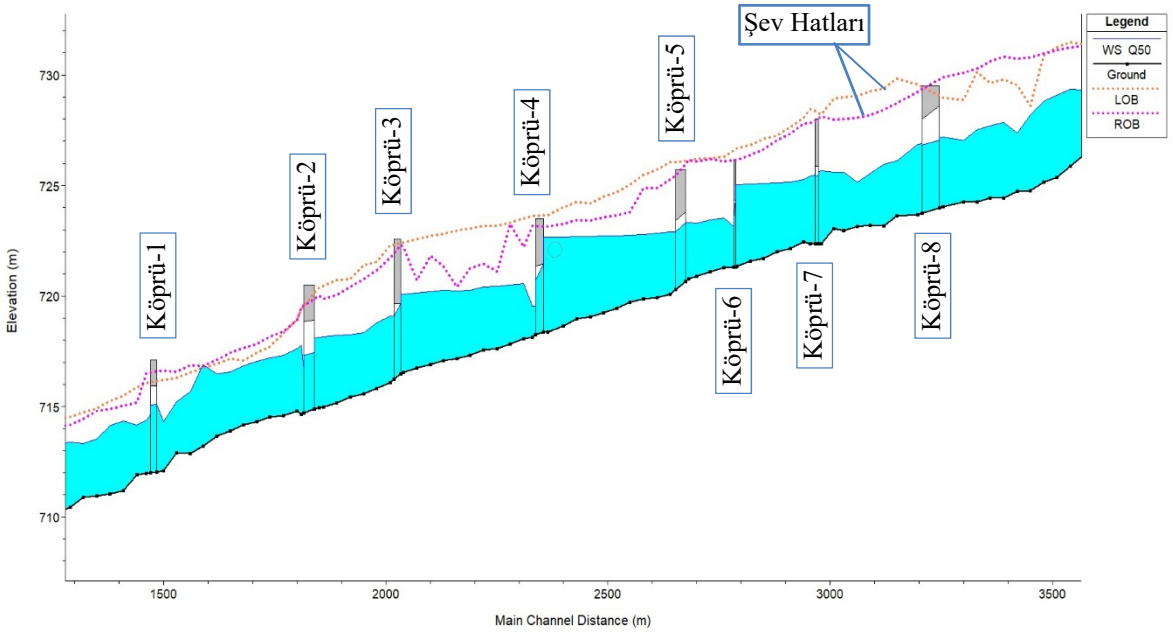
Derenin belirtilen kısımlarından kanal şev üst kotlarını aşan su yükseklikleri çok farklı olmamasına karşın taşkın alanlarında büyük farklılıklar gözlenmiştir. Bunun sebebi bir boyutlu akımda ana yatak olarak belirlenen kanalın sağ ve sol şev kotlarını aş an su derinliklerinin, bu kotları aştıktan sonra bulunduğu kesitte sağ ve sol sahillerindeki aynı kotu yakalayana kadar yayılım göstermesinden kaynaklıdır (Şekil 7.19). Analiz sonuçlarına göre, 25 yıl tekerrüründe oluşacak olan taşkında (Q_{25}: 130,11 m^3/s) ana kanaldan ciddi miktarda taşma yaşanmaz iken, 50 yıl tekerrüründe oluşacak taşkında (Q_{50}: 165,62 m^3/s) geniş alanlarda derin suların oluşması da dikkatle incelenmesi gereken bir konudur. Debinin yaklaşık olarak %27 artması ile analiz sonuçlarına göre Abdülhalikrenda Mahallesi'nin neredeyse tamamına yakın sular altında kalmış, taşkın altında kalan alan miktarı Q_{25} taşkın debisine kıyasla yaklaşık olarak 55 kat artmıştır.



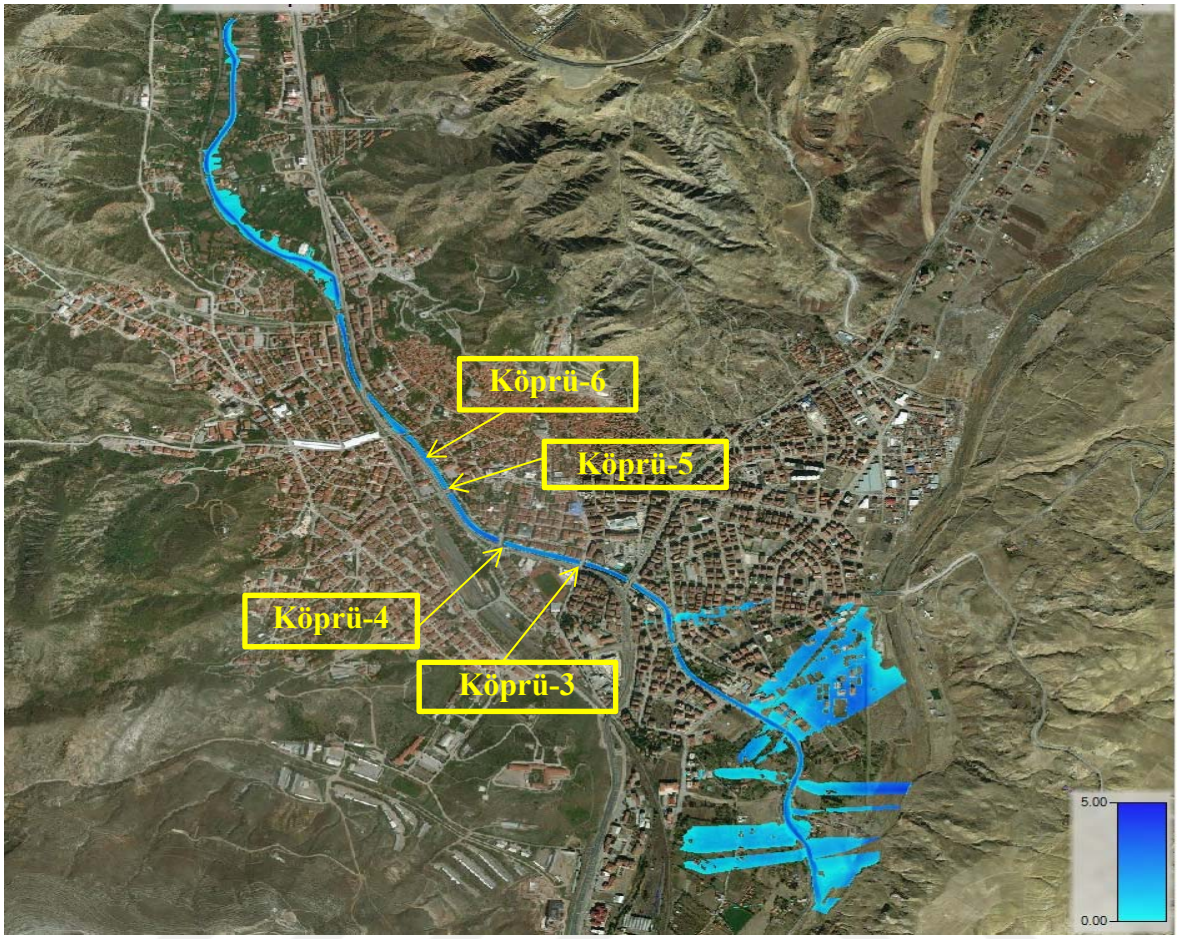
Şekil 7.19. Ana kanalda taşma yaşanan kesitlerden bir örnek



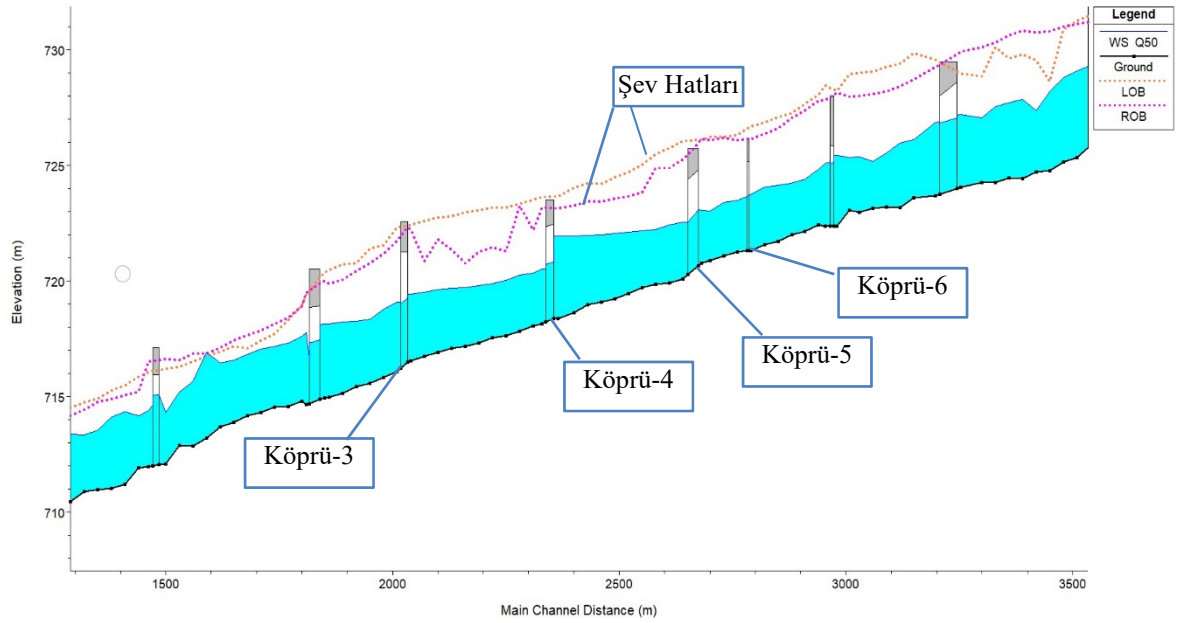
Şekil 7.20. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{50})



Şekil 7.21. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{50} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{50})

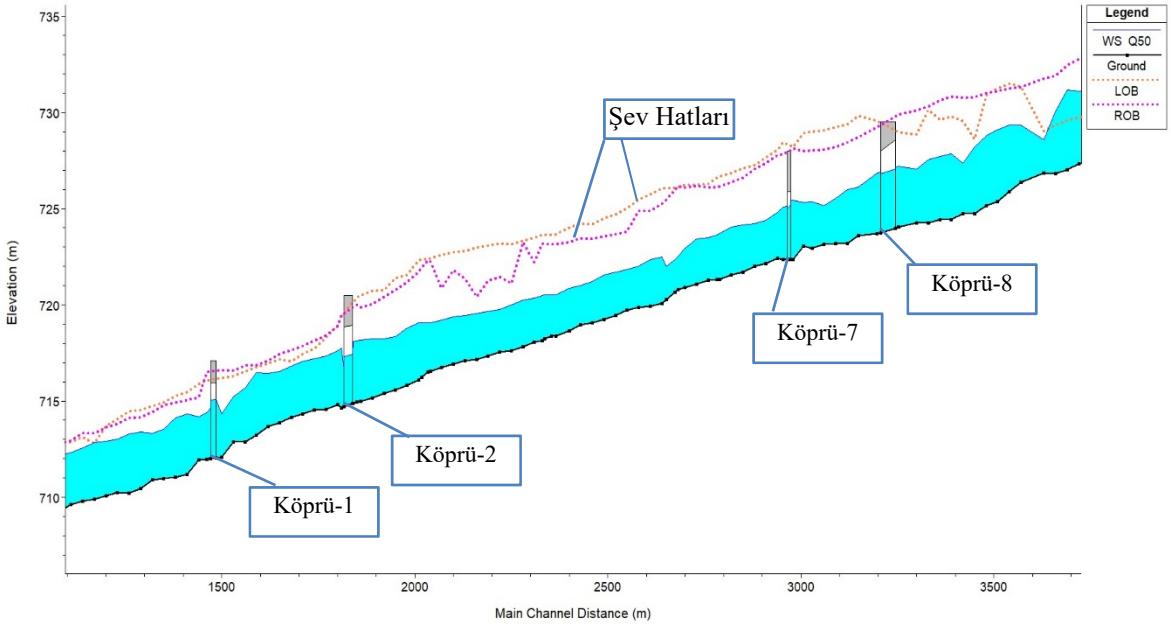


Şekil 7.22. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{50})



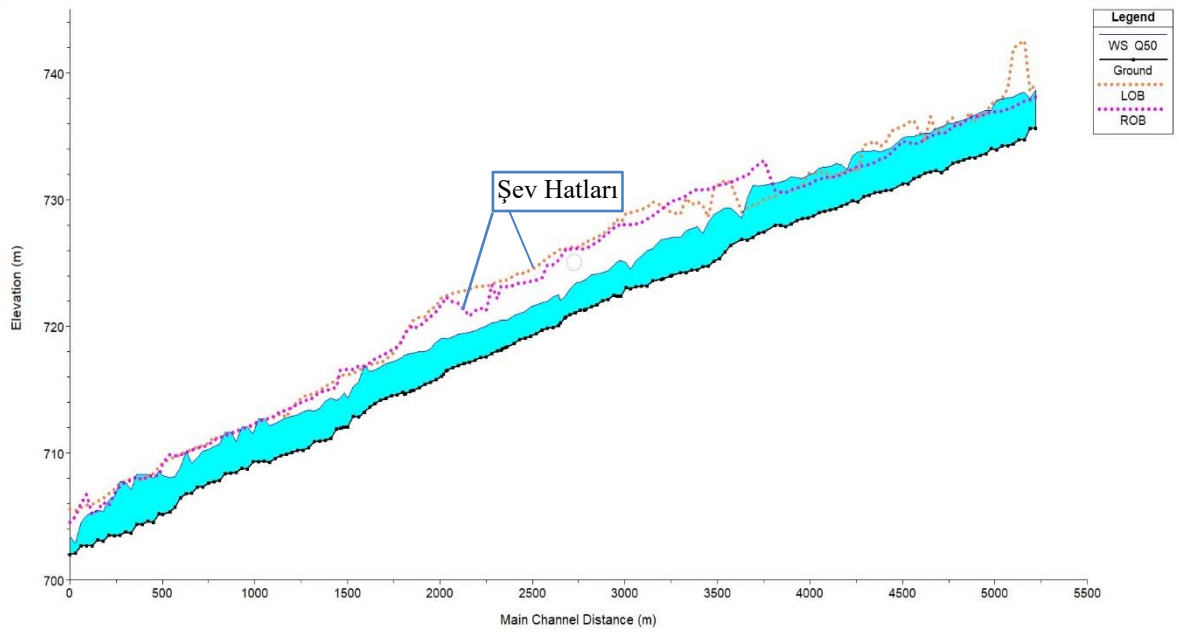
Şekil 7.23. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{50} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{50})

Şekil 7.24. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{50})



Şekil 7.25. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, köprü olan kısımlarda Q_{50} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{50})

Şekil 7.26. HEC-RAS 1D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{50})



Şekil 7.27. HEC-RAS 1D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{50} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{50})

HEC-RAS 1D'de Q_{50} debisinin gelmesi durumunda taşkına maruz kalan alanlar ile taşkından etkilenen yapı sayısı Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.4. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{50} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{50}	365 686,0	365 217,2	364 664,9	360 398,4

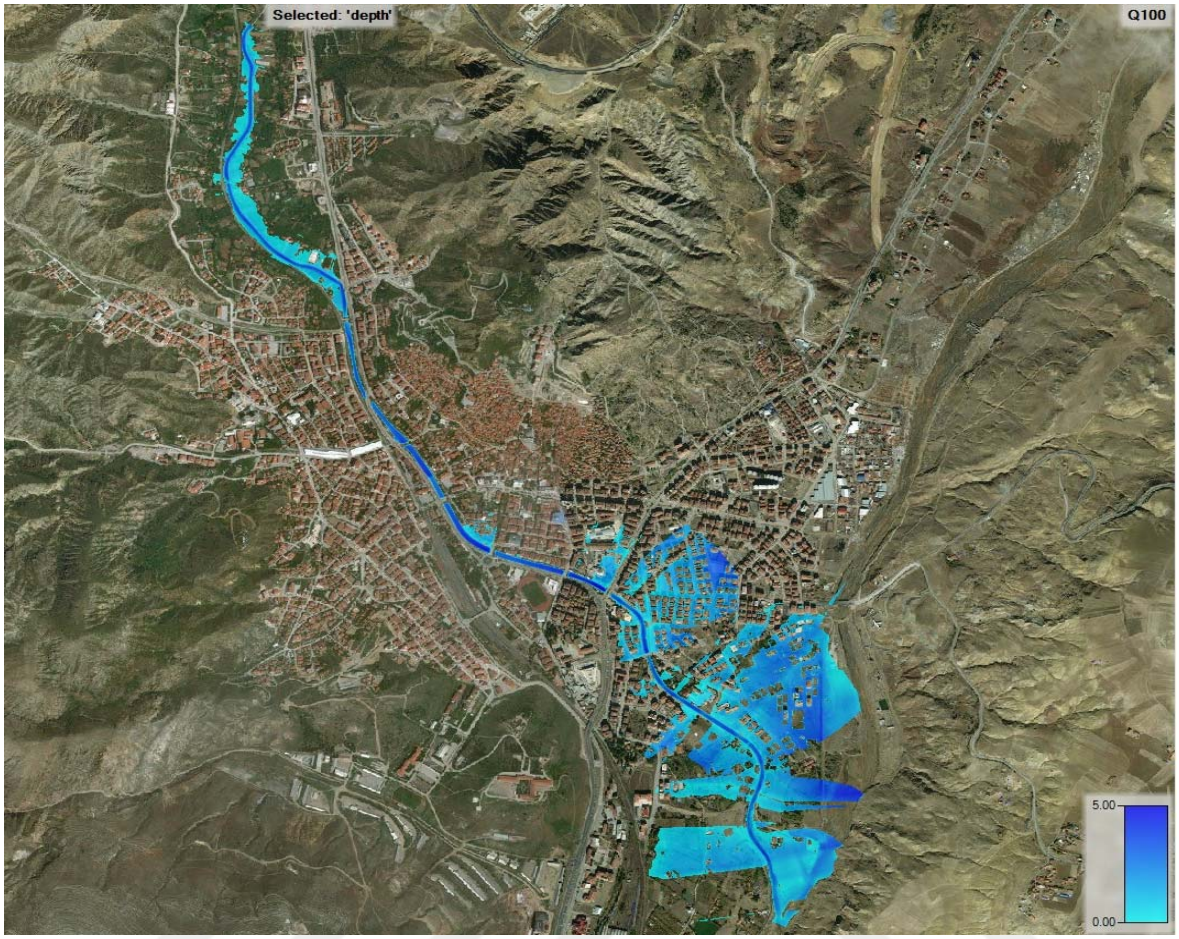
Çizelge 7.5. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{50} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Etkilenen Yapı Sayısı	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Etkilenen Yapı Sayısı	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Etkilenen Yapı Sayısı	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Etkilenen Yapı Sayısı
Q_{50}	291	249	244	244

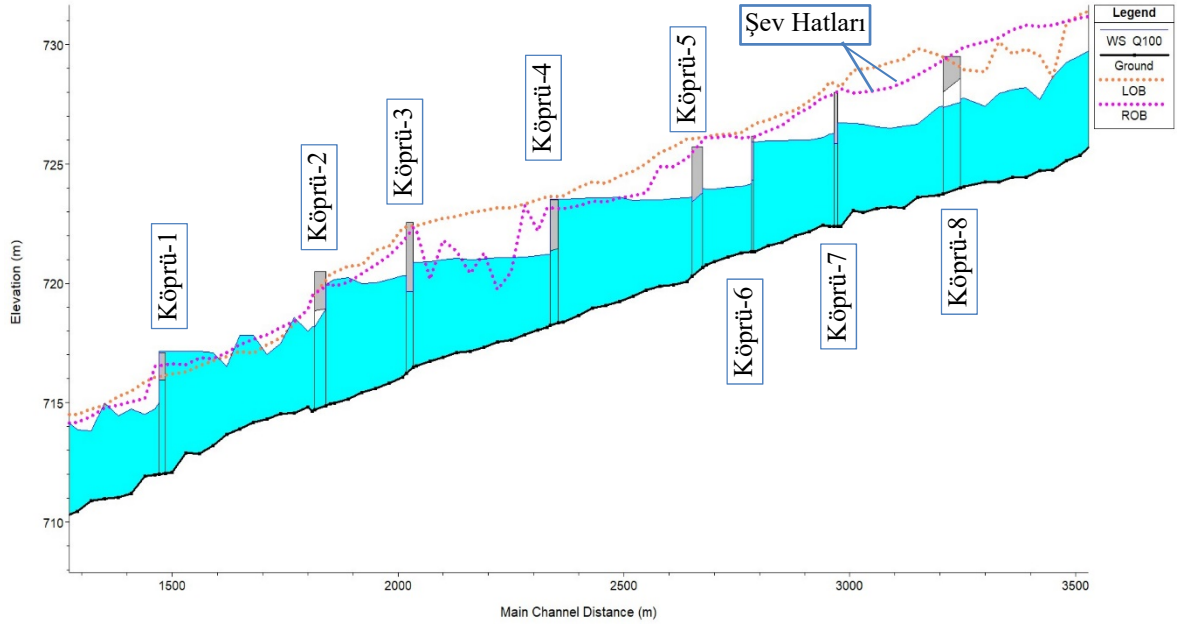
50 yıllık tekerrürlü debi için yapılan senaryolara göre taşma alanları incelendiğinde, köprülerde yapılan kademeli düzenlemenin taşkın alanlarında ve taşkından etkilenen yapı sayısında çok önemli bir farklılık yaratmadığı görülmüştür (Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5). Gerçek durumda köprülerin bulunduğu kesitlerde oluşan kabarmaların geriye doğru taşmalar meydana getirmesi beklenmektedir. Bir boyutlu (1D) olarak hidrolik analizler yapılırken ana kanalın taşkın debisini taşıdığı yerlerde akımın ana kanal dışına çıkmadığı, taşıyamadığı yerlerde ise su seviyeleri Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de gösterilen kesit uzunlukları (yeşil çizgiler) boyunca topoğrafyayı kesene kadar yanal olarak uzatılarak taşkın alanı belirlendiği bilinmektedir. Bu durum analiz sonuçlarında, köprü kısımlarında gerçekte geriye doğru şişmeler olsa dahi, ana kanalın taşkın debisi için yeterli kapasitede olmasından dolayı köprü öncesinde taşkın yaşanmayacağı gibi bir sonucun elde edilmesine yol açmaktadır. Bu sebepten köprülerin olumsuz etkisi 1D analizlerinde yeterli miktarda gözlemlenememektedir. Akımın ana kanal dışında iki boyutlu olarak irdelenmesi bu sorunu ortadan kaldıracaktır.

7.2.3. 100 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{100}) için 1D analiz sonuçları

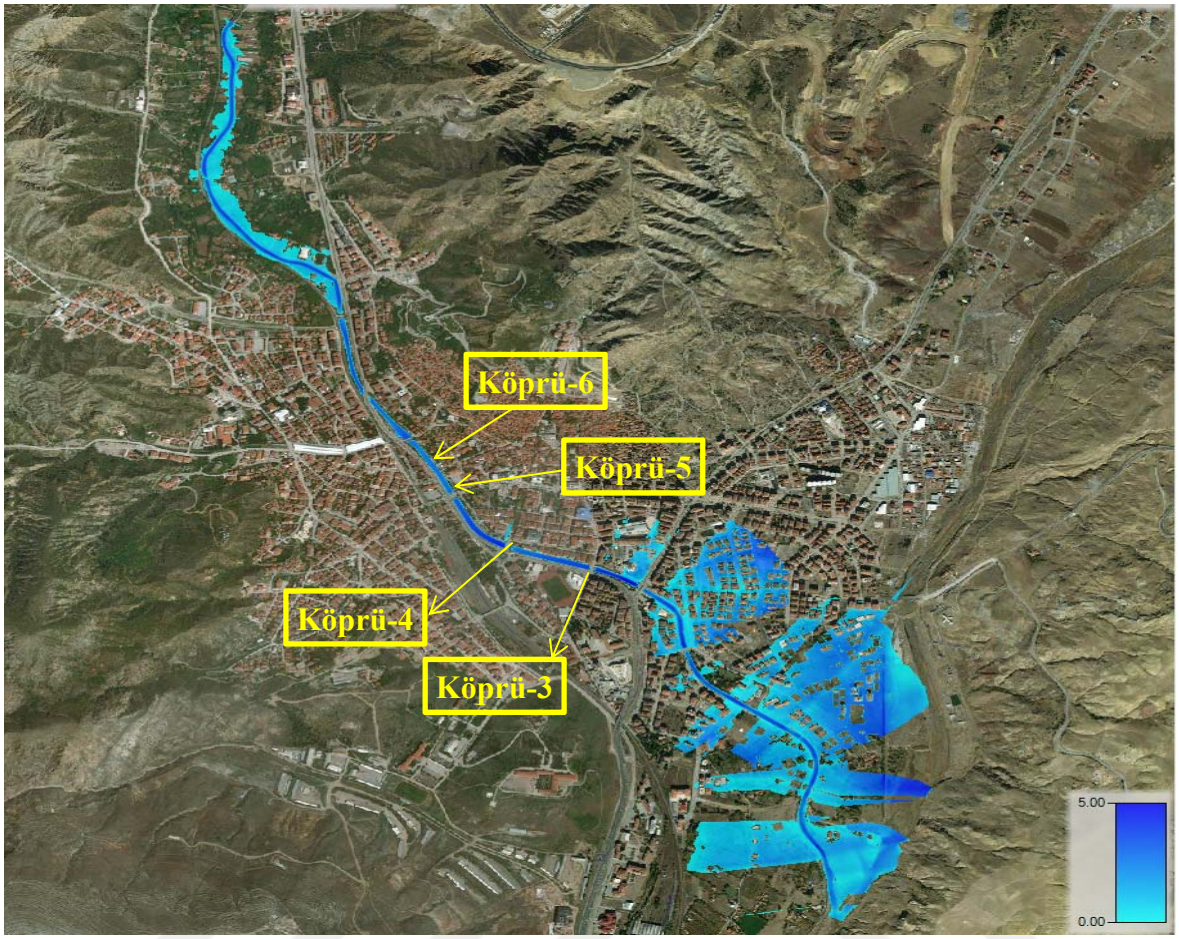
Aşağıda 100 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{100}) ve senaryolar için elde edilen plan ve profil sonuçları verilmiştir (Şekil 7.28, Şekil 7.29, Şekil 7.30, Şekil 7.31, Şekil 7.32, Şekil 7.33, Şekil 7.34 ve Şekil 7.35). Analiz sonuçlarında 50 yıl tekerrüründeki taşkın debisi için tespit edilen suyun ana kanaldan taşması durumunda topoğrafyayı kesene kadar yanal olarak uzatılması gibi teknik sıkıntılar Q_{100} debisi için de aynı şekilde gözlemlenmiştir. Dolayısıyla Q_{100} taşkın debisi için elde edilen analiz sonuçları da Q_{50} taşkın debisi için elde edilen sonuçlar gibi gerçekçi olmamaktadır. Senaryo-1 için yapılan analizlerde 8 numaralı köprü haricindeki tüm köprülerin gelen akımı geçirmede yetersiz kaldıkları görülmüştür (Şekil 7.29). Senaryo-2 de sorunlu köprülerdeki konstrüktif olmayan çelik kaplamaların kaldırılması durumunda 3, 5 ve 6 numaralı köprülerde gelen akım arkasında kabarma yapmadan geçebilmekte iken, 4 numaralı köprü hidrolik açıdan yine yetersiz kalmaktadır (Şekil 7.31). Senayo-3 ve Senaryo-4 durumlarının analizlerinde ise Merkez Mahallesi'nin bir bölümünde su seviyelerinin taşkına yol açmayacak duruma geldiği, ancak diğer kısımlarda bir değişiklik olmadığı sonucuna varılmıştır.



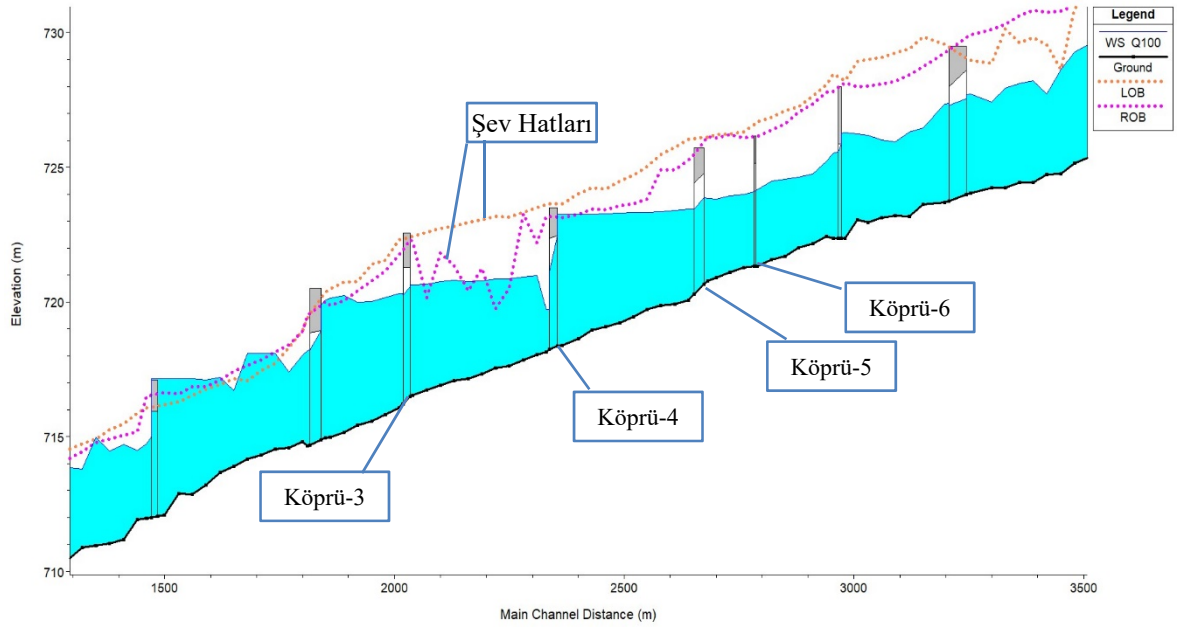
Şekil 7.28. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{100})



Şekil 7.29. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{100} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{100})

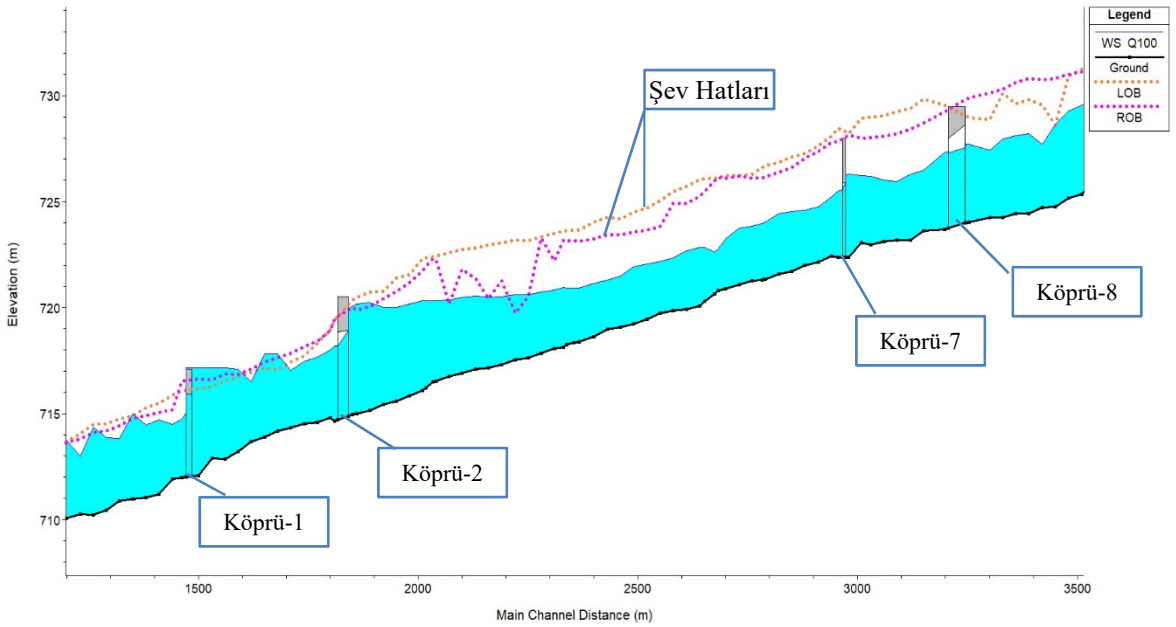


Şekil 7.30. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{100})

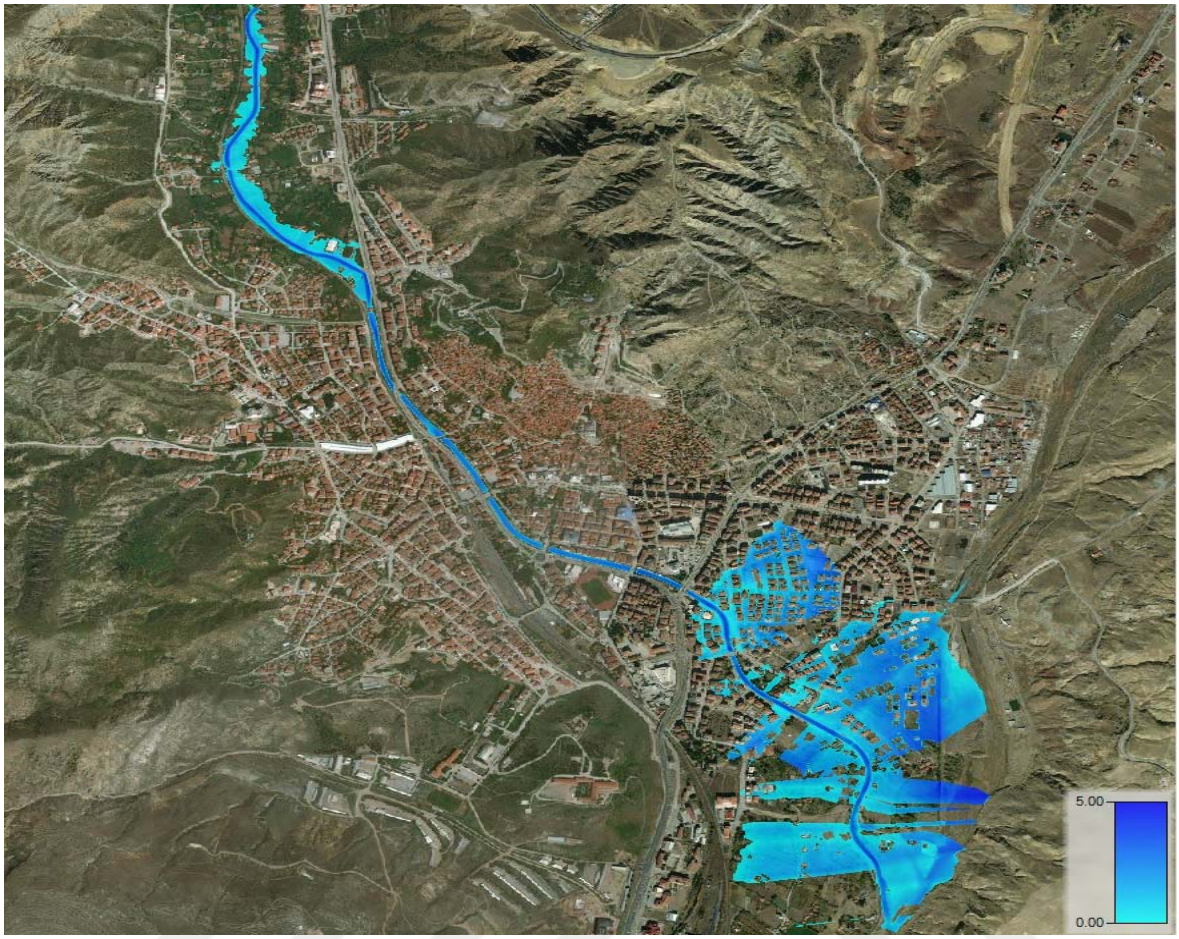


Şekil 7.31. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{100} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{100})

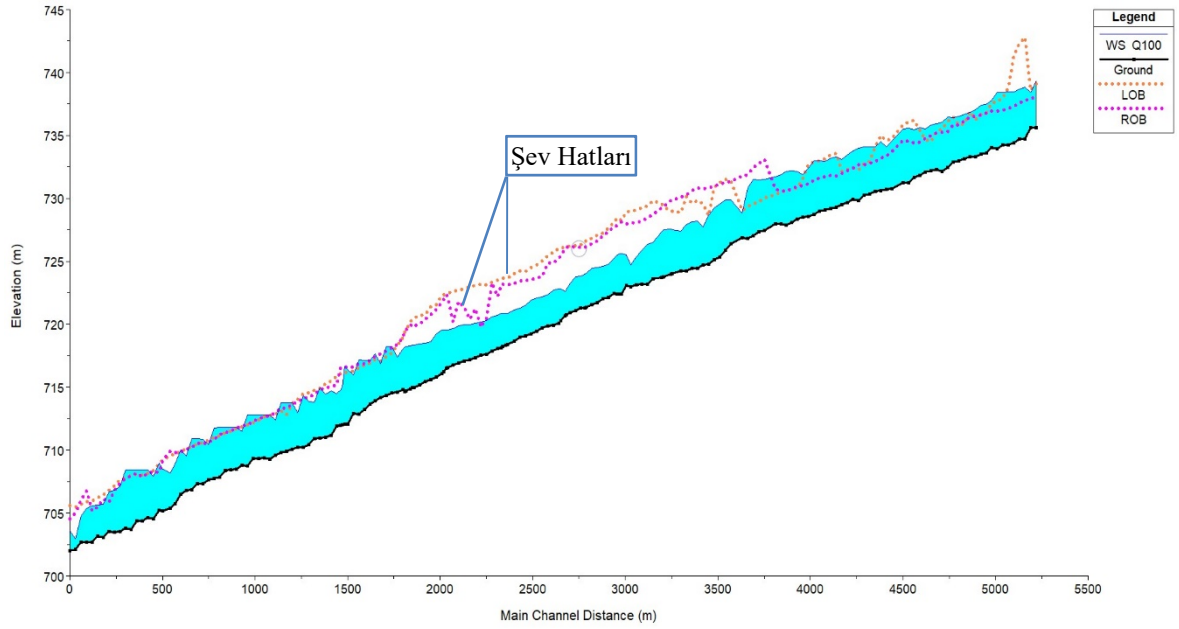
Şekil 7.32. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{100})



Şekil 7.33. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, köprü olan kısımlarda Q_{100} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{100})



Şekil 7.34. HEC-RAS 1D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{100})



Şekil 7.35. HEC-RAS 1D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{100} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{100})

HEC-RAS 1D'de Q_{100} debisinin gelmesi durumunda taşkına maruz kalan alanlar ile taşkından etkilenen yapı sayısı Çizelge 7.6 ve Çizelge 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.6. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{100} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{100}	790 895,1	784 630,9	776 518,8	776 149,3

Çizelge 7.7. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{100} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları

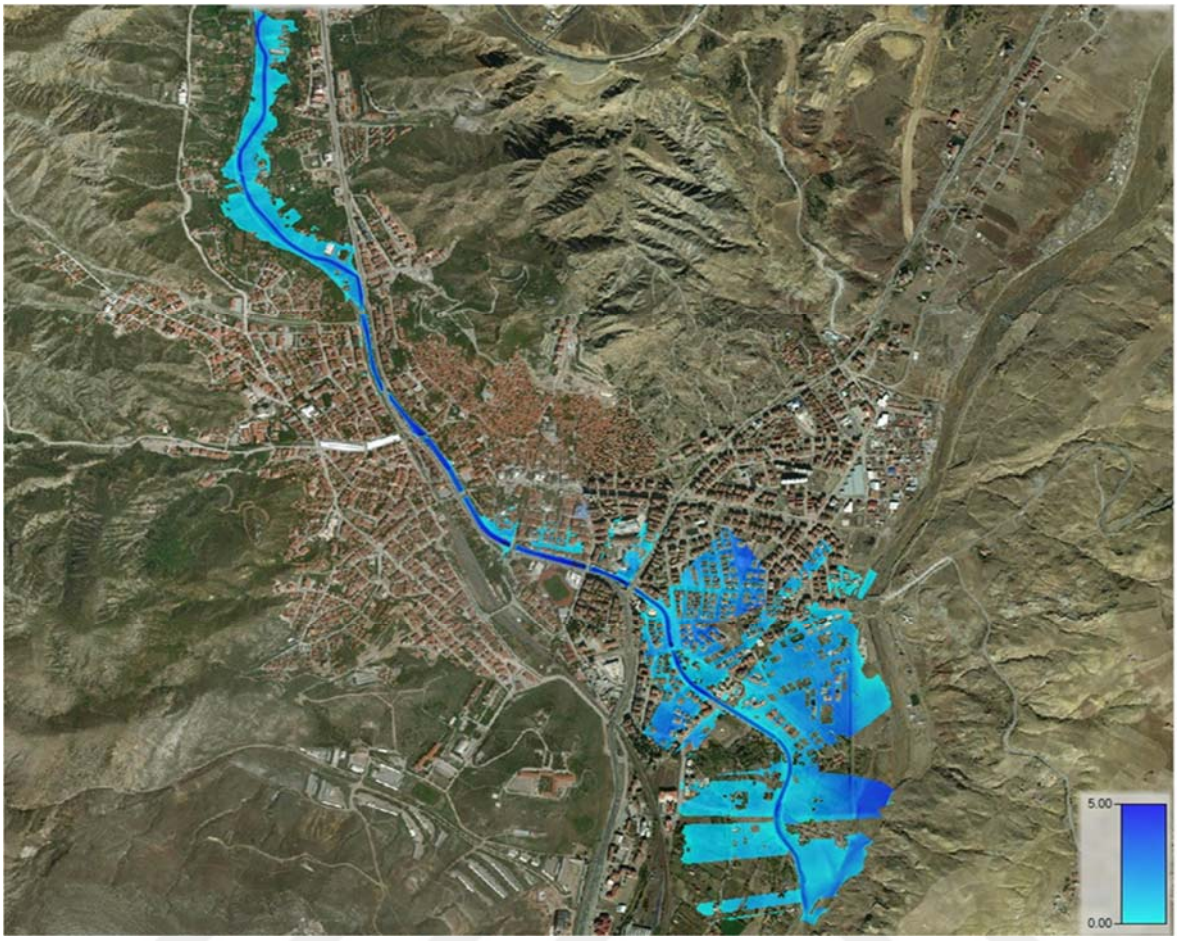
Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Etkilenen Yapı Sayısı	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Etkilenen Yapı Sayısı	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Etkilenen Yapı Sayısı	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Etkilenen Yapı Sayısı
Q_{100}	757	650	595	559

Sonuçlar ve yayılım alanları bütün senaryolar için incelendiğinde 100 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{100}: 209.49 m^3/s) için 50 yıl tekerrürlü taşkın debisine (Q_{50}: 165,62 m^3/s) oranla yayılmaların alansal olarak yaklaşık iki katına çıktığı (Senaryo 1 için 2.16 katı), ve analiz sonuçlarına göre daha önce ana kanaldan taşmaların gözlemlenmediği Merkez Mahallesi'nde yer yer taşmaların olduğu gözlemlenmiştir. Yine 50 yıl tekerrüründeki taşkında sular altında kalan Abdülhalikrenda Mahallesi'nde ise taşkın yayılım alanlarının Q_{100} debisi için de ciddi oranda arttığı sonucu da elde edilmiştir.

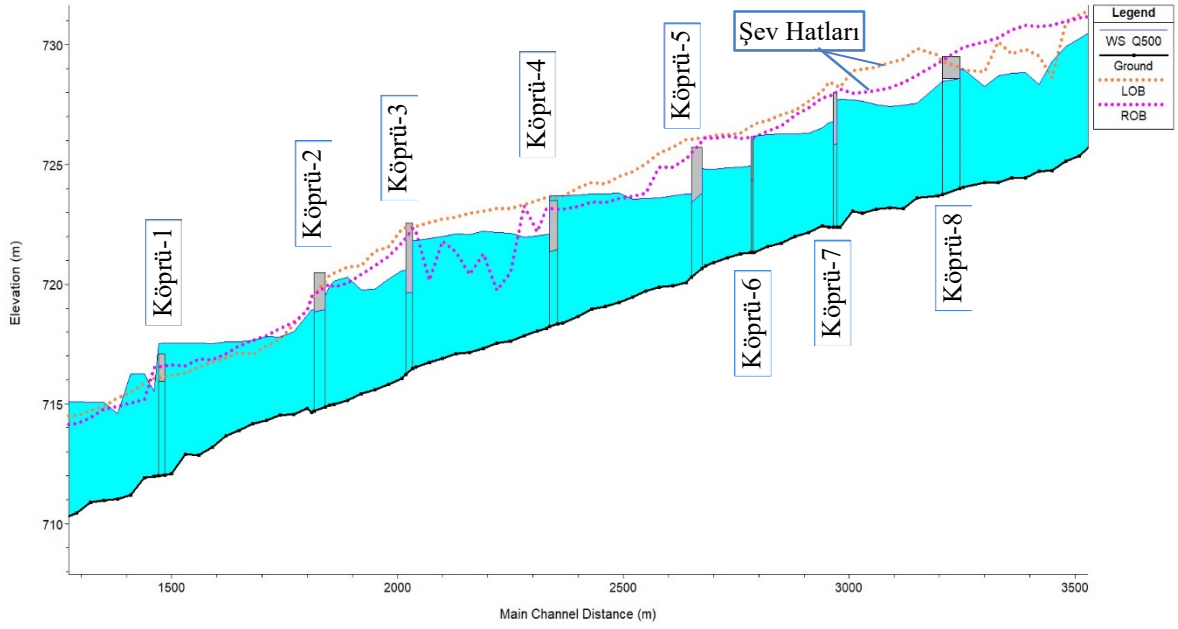
7.2.4. 500 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{500}) için 1D analiz sonuçları

Aşağıda 500 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{500}) ve senaryolar için elde edilen plan ve profil sonuçları verilmiştir (Şekil 7.36, Şekil 7.37, Şekil 7.38, Şekil 7.39, Şekil 7.40, Şekil 7.41, Şekil 7.42 ve Şekil 7.43). Mevcut durumun analiz edildiği Senaryo-1'e göre tüm köprüler akımı geçirmede yetersiz kalmaktadır (Şekil 7.37). 3, 4, 5 ve 6 numaraları köprülerde konstrüktif olmayan çelik kaplamaların kaldırıldığı Senaryo-2 durumunda da herhangi bir

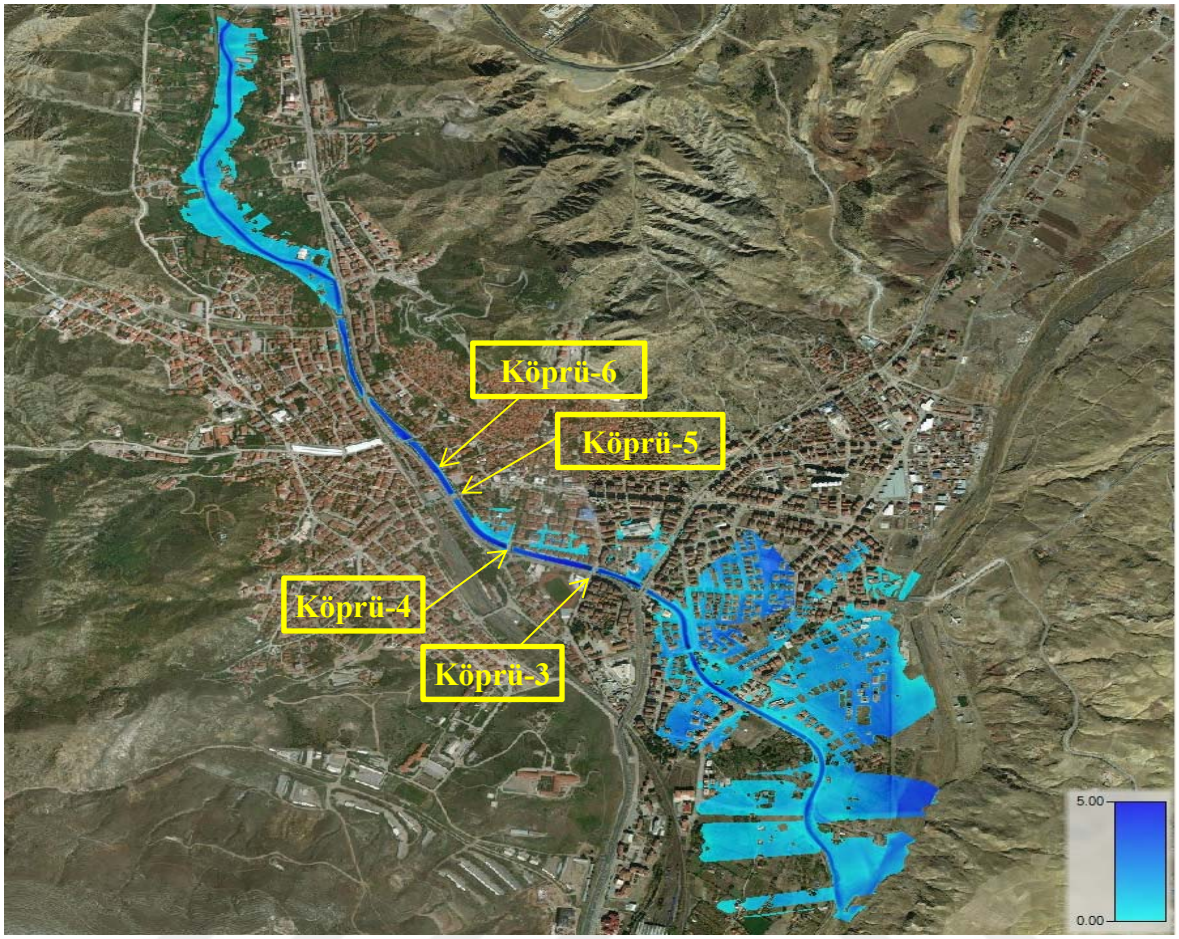
iyileşme olmamakta olup, bu köprülerin kaldırıldığı durum olan Senaryo-3'te ise Merkez Mahallesi'ndeki taşmaların önlendiği sonucu elde edilmiştir.



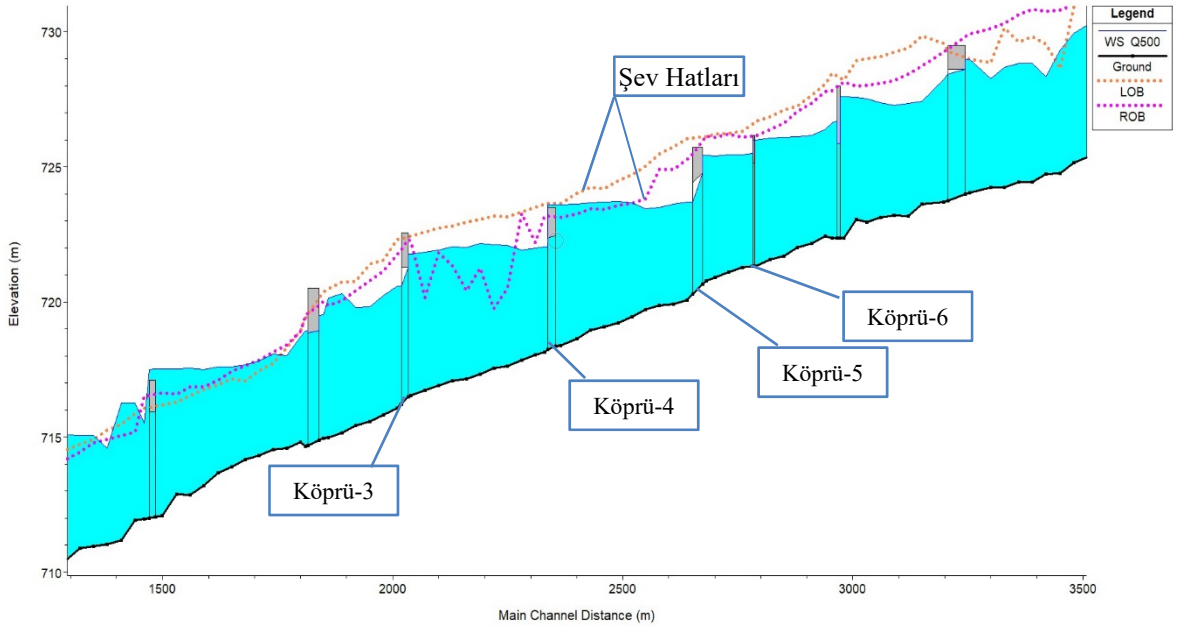
Şekil 7.36. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{500})



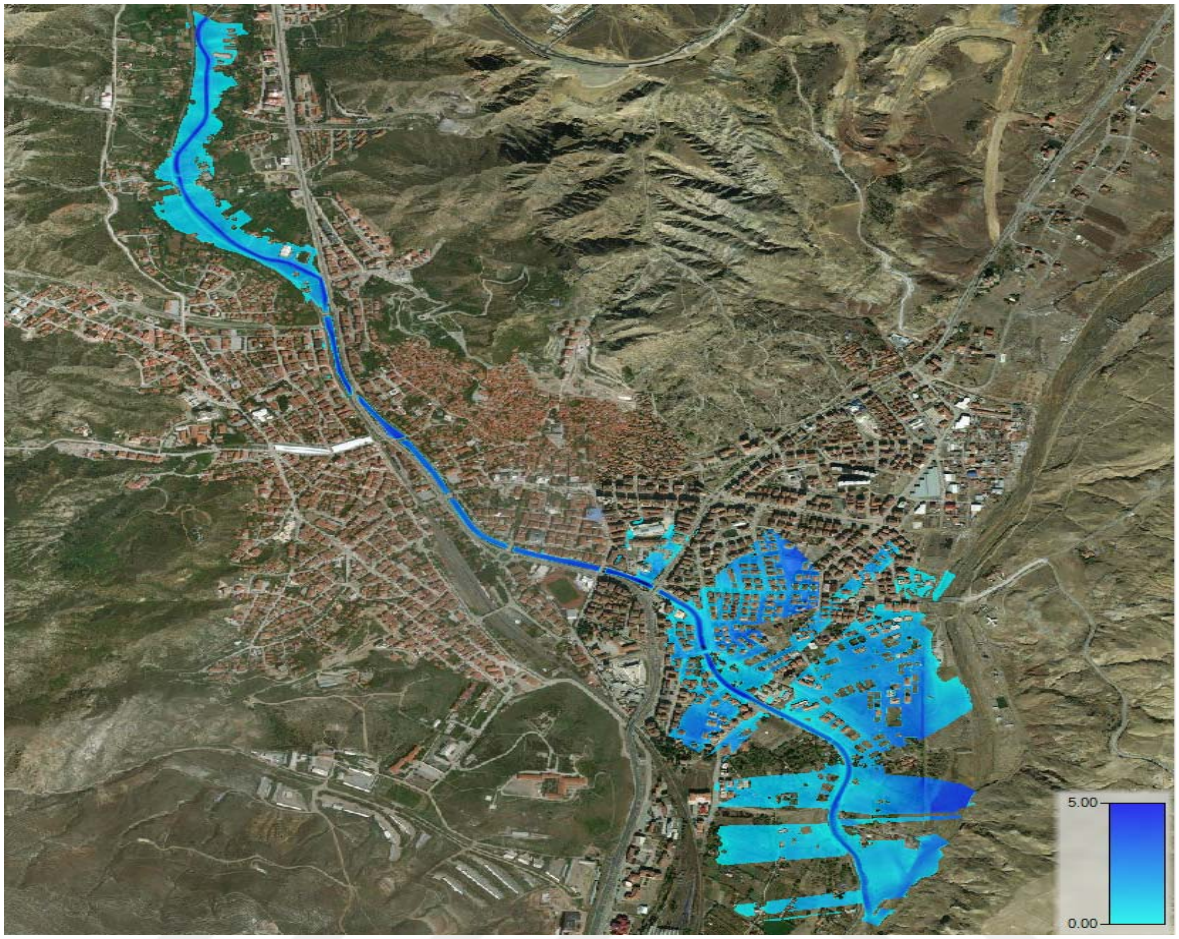
Şekil 7.37. HEC-RAS 1D modellemesinde mevcut durumda Q_{500} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{500})



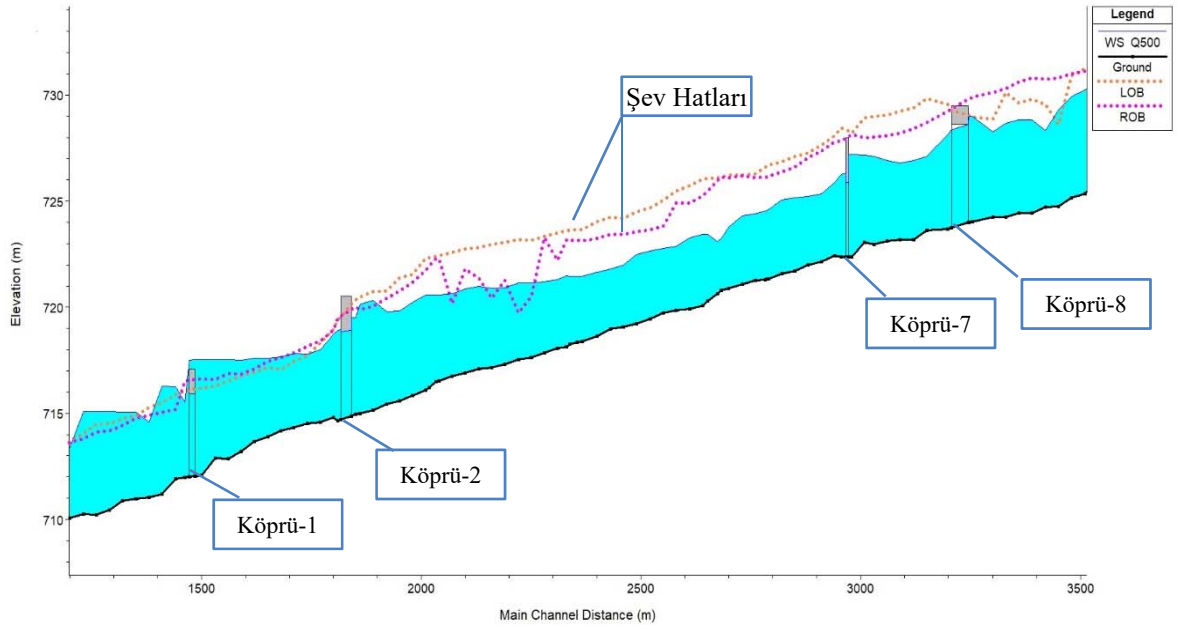
Şekil 7.38. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{500})



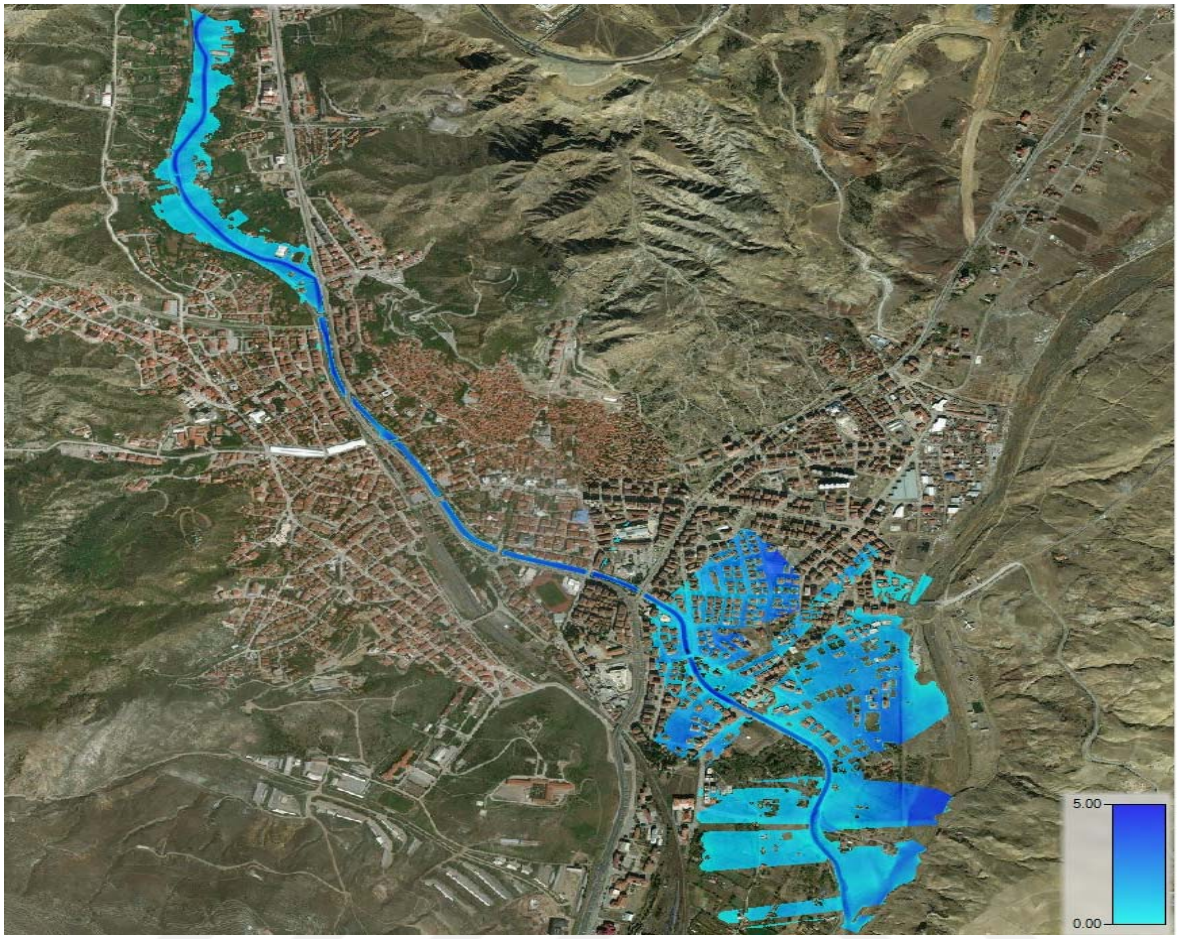
Şekil 7.39. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{500} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{500})



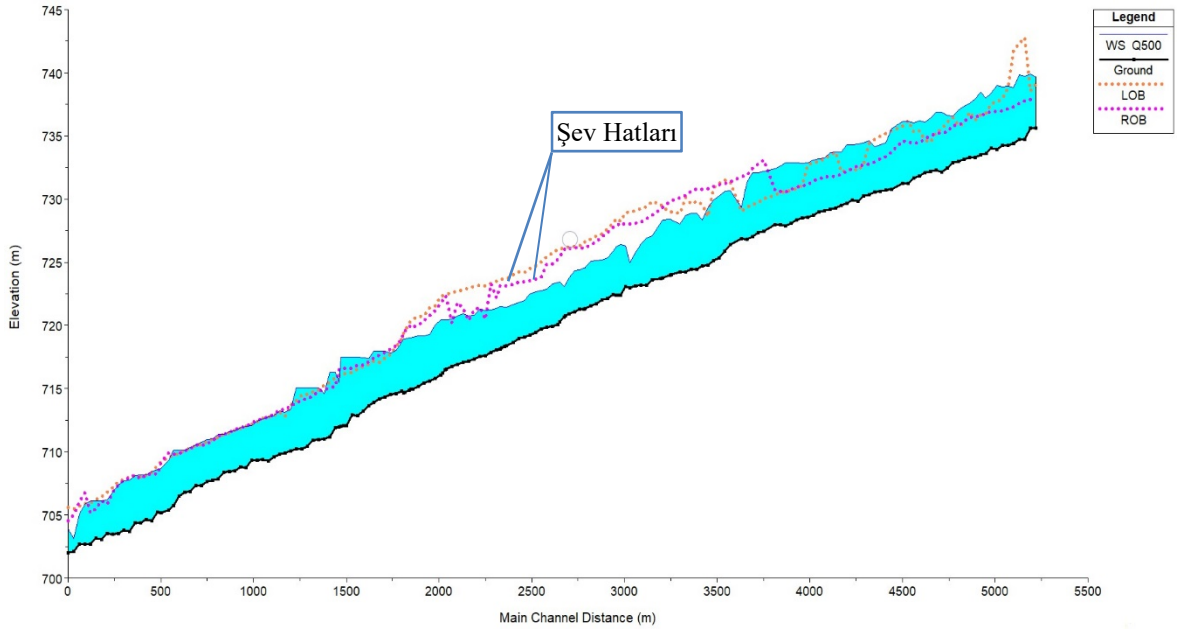
Şekil 7.40. HEC-RAS 1D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{500})



Şekil 7.41. HEC-RAS 1D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, köprü olan kısımlarda Q_{500} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{500})



Şekil 7.42. HEC-RAS 1D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{500})



Şekil 7.43. HEC-RAS 1D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{500} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{500})

HEC-RAS 1D'de Q_{100} debisinin gelmesi durumunda taşkına maruz kalan alanlar ile taşkından etkilenen yapı sayısı Çizelge 7.8 ve Çizelge 7.9'da verilmiştir.

Çizelge 7.8. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{500} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{500}	956 588,9	954 731,8	916 639,3	907 589,3

Çizelge 7.9. Çizelge 8.7. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D modellemesinin Q_{500} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Etkilenen Yapı Sayısı	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Etkilenen Yapı Sayısı	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Etkilenen Yapı Sayısı	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Etkilenen Yapı Sayısı
Q_{500}	851	796	727	699

500 yıl tekerrüründeki taşkın debisi (Q_{500}: 290.73 m^3/s) için plan ve profiller incelendiğinde, taşkın yayılım alanlarının arttığı ve 1 milyon m^2'ye yakın bir alanın taşkın suları altında kaldığı sonucuna varılmıştır. 100 yıl tekerrüründeki taşkın debisine (Q_{100}) kıyasla Q_{500} debisi için yayılım alanının yaklaşık olarak %21 oranında arttığı ve daha derin ve hızlı akımların şehir içinde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Mevcut durum (Senaryo 1) için Merkez Mahallesi'nin bir kısmı hariç hemen hemen bütün dere boyunca taşmaların meydana gelmesi ana yatağının 500 yıl tekerrüründeki bir debi için kapasitesinin düşük olduğu sonucunu ortaya çıkartmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre, diğer senaryolar için yayılım alanı çok fazla değişmemiş, bütün köprüler kaldırılsa dahi (Senaryo 4) yayılım alanında yaklaşık olarak %5-6 civarında bir azalma belirlemiştir. Bu durum önceki debilerde olduğu gibi (Q_{25}, Q_{50}, Q_{100} taşkın debileri) taşkının ana sebebinin köprüler olmadığı, ana derenin yatak kapasitesinin yetersiz olduğu sonucunu meydana çıkartmıştır. Fakat 50 yıl tekerrürlü taşkın debisi için elde edilen analiz

sonuçlarında bahsedildiği gibi, köprülerin olumsuz etkileri Q_{500} debisi için de yeteri kadar gözlemlenememekte, köprüden önceki şişmeler iki boyutlu olarak incelenemediği için yanıltıcı sonuçlar yine Q_{500} taşkın debisi için de elde edilmektedir. Bu sorunu çözmek için yine akımın ana kanal dışında iki boyutlu olarak incelenmesi gerekmektedir.

Bir boyutlu (1D) analiz sonuçlarına göre, Merkez Mahallesi'nin üst kısmında meydana gelen taşkınlarda yine daha düşük taşkın debilerinde (Q_{25}, Q_{50}, Q_{100} taşkın debileri) olduğu gibi can kaybı beklenmemektedir. Bu kısımda yapılaşma henüz gerçekleşmemiş olup genel olarak tarım arazileri mevcuttur. Bu alanlarda yüksek tekerrürlü taşkın debileri için oluşacak mal kaybı ise normal karşılanmalıdır. Bu alanlardan elde edilen yıllık tarım faydası dikkate alındığında, buraların taşkın sebebiyle tarıma kapatılması mantıklı olmayacaktır.

Bir boyutlu (1D) ve kararlı (steady) akım modeli için yürütülen analizlerin sonuçları incelendiğinde akımın ana kanal dışında kesik kesik alanlara sahip olması ve gerçek durumda yatak dışında bir boyutlu değil 2 boyutlu akımın oluşması 1D modellerindeki belirsizlikler olarak değerlendirilebilir (Şekil 7.44.)

Şekil 7.44. 1D Modelinde elde edilen taşkın yayılım alanları

Yayılım alanlarının kesik kesik olması akımın bir boyutlu (1D) olarak incelenmesiyle alakalı bir durumdur. Çünkü 1D modelinde akım ara kesitte yeterli yatak kapasitesine sahipse, önceki ve sonraki kesitlerde taşma olup olmamasına bakılmaksızın, o kesitin olduğu taşkın yatağı su altında kalmamış gibi değerlendirilmektedir. Hâlbuki gerçek durumda bu kesitten önce meydana gelen taşmalar ana kanalın yeterli olduğu kesiti de etkileyecek ve ana kanalın dışında kalan taşkın yatağında iki boyutlu olarak devamlı bir akım gözlemlenecektir. Bu sebeplerden ötürü akımın 2 boyutlu (2D) olarak da incelenmesi gerekmektedir. Bu tez kapsamında bir ve iki boyutlu akım (1D-2D birleştirilmiş) modellemesi yapılarak 1D modelde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

Kesitler incelediğinde akımın taşkın anında ana kanaldan çıkmasından sonra, su seviyesinin topoğrafyayı kestiği yere kadar yanal olarak uzatılması gerçekçi bir yaklaşım olarak değerlendirilmemiştir (Şekil 7.19.). Çünkü taşkın anında ana kanaldan çıkan su iki boyutlu olarak hareket edecektir. Bu da taşkının ana kanal dışında iki boyutlu olarak irdelenmesi gerektiği sonucunu doğurmaktadır.

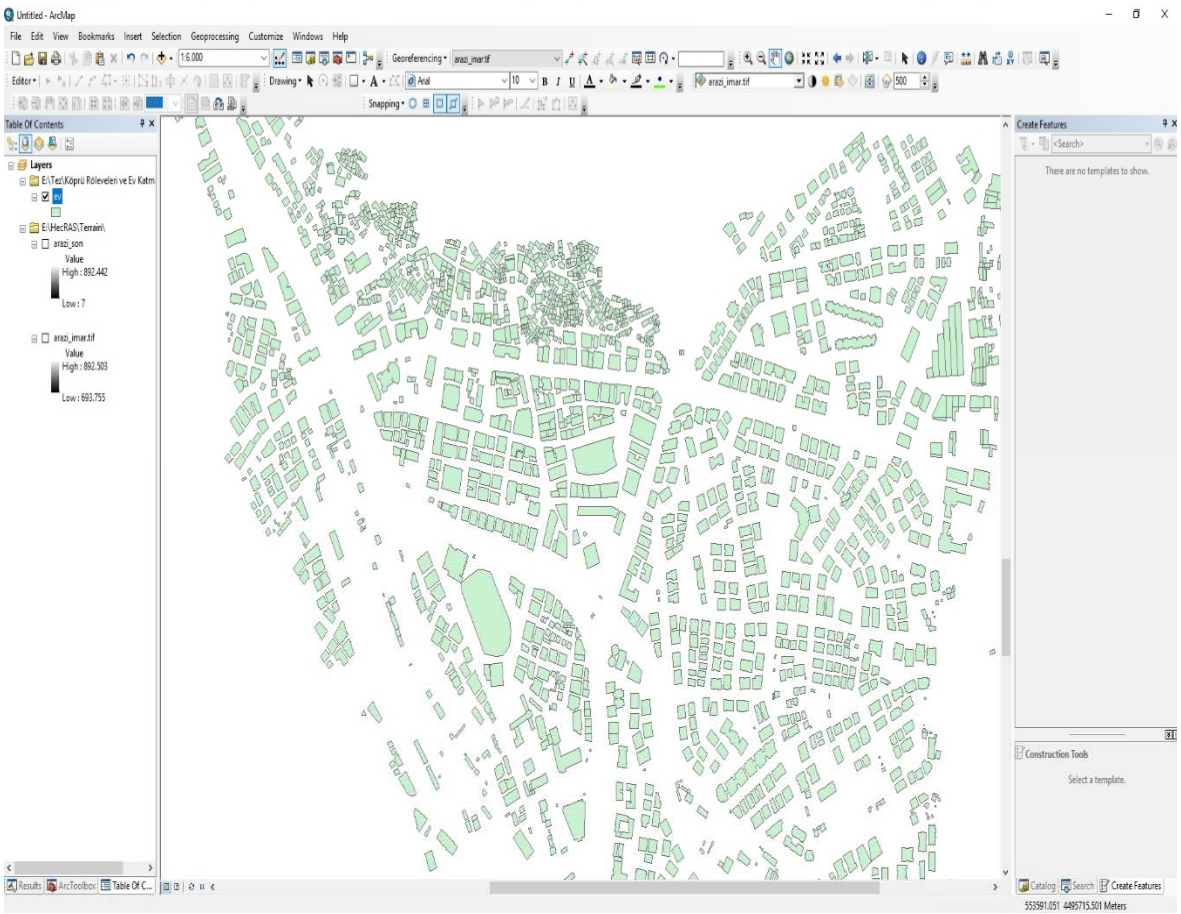
7.3. 2D Model Oluşturulması

Bu bölümde HEC-RAS 2D modelinin oluşturulmasının safhaları anlatılmıştır. Bu tez kapsamında sadece 2D model olarak bir analiz yapılmayıp 1D-2D birleşimi şeklinde modelleme yapılacağından (gerekçesi "6. Bölüm'deki Hidrolik yapılar" başlığı altında anlatılmıştır), bu kısımda yalnızca 2D modellemeye ait geometrik kurulum ve arazi kullanımı sınıflandırılmasının programa veri olarak girişi anlatılacaktır.

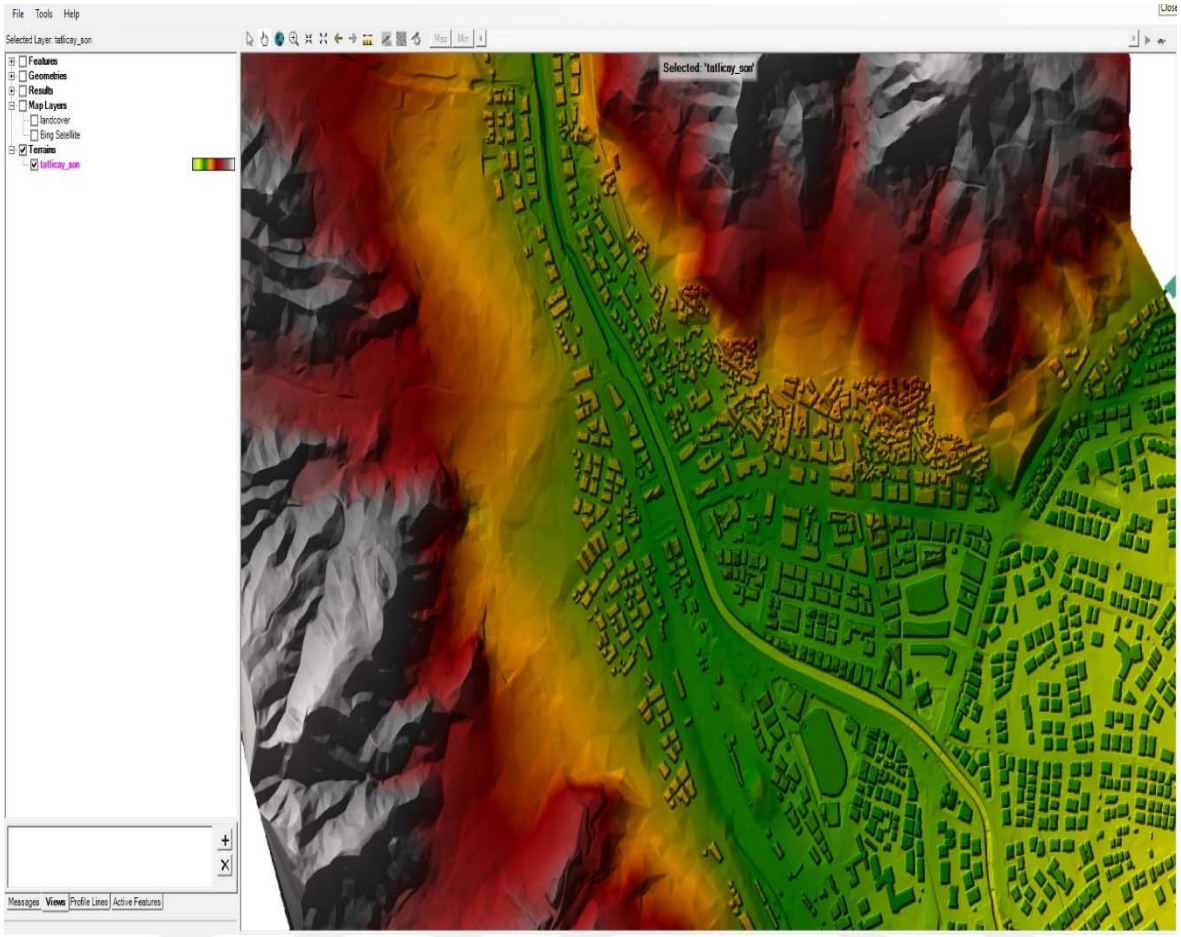
7.3.1. 2D geometrisinin ayarlanması

2D modelinin oluşturulması 1D modeline kıyasla bazı ek işlemler gerektirmektedir. HEC-RAS 2D modeli için, programın menülerinden *RAS Mapper* kullanılır. Öncelikle *RAS Mapper* menüsü içerisine arazi yükseklik modelinin tanımlanması gerekir. Arazi yükseklik modeli olarak GeoTIFF (*.tif) uzantılı *raster* formatındaki veriler kullanılabilmektedir (Brunner, 2016). Bu tez çalışması kapsamında Bölüm 7.1.1.'de anlatıldığı şekliyle, batimetrik kotlar içeren 1/1000 ölçekli hâlihazır harita, Civil 3D programında arazi modeli (TIN) haline getirilmiştir. Civil 3D programında elde edilen arazi modeli (TIN), Geotiff (*.tif) uzantılı *raster* formatında veri olarak dışarı alınmıştır.

Bu aşamadan sonra, elde edilen arazi modeli üzerinde taşkın neticesinde akımın yayılma analizlerinin daha doğru sonuçlar vermesi için çalışılan alanda bulunan yerleşim birimlerinin ve diğer yapıların, arazi modeli üzerine yükseklik değerleri verilerek işlenmesi gerekmektedir. Hâlihazır harita üzerinde bulunan yapıları gösteren çizgiler, Arc-GIS programına alınarak *polygon* formatında *shape* verisi olarak elde edilir (Şekil 7.45.). Elde edilen verinin özellikler tablosundan her bir yapıya ait yükseklik değerleri girilir. Polygon formatındaki yapı katmanı raster veriye çevrilir ve önceden elde edilmiş arazi modeli ile Arc-GIS programındaki "mosaic to new raster" komutu ile birleştirilerek RAS Mapper' da kullanılacak nihai arazi modeli elde edilmiş olur (Şekil 7.46.).



Şekil 7.45. Polygon formatındaki yapı tabakasının Arc-GIS programında oluşturulması



Şekil 7.46. Arazi tabakası üzerine yapıların işlenmesiyle oluşturulmuş arazi modelinin RAS Mapper menüsündeki görüntüsü

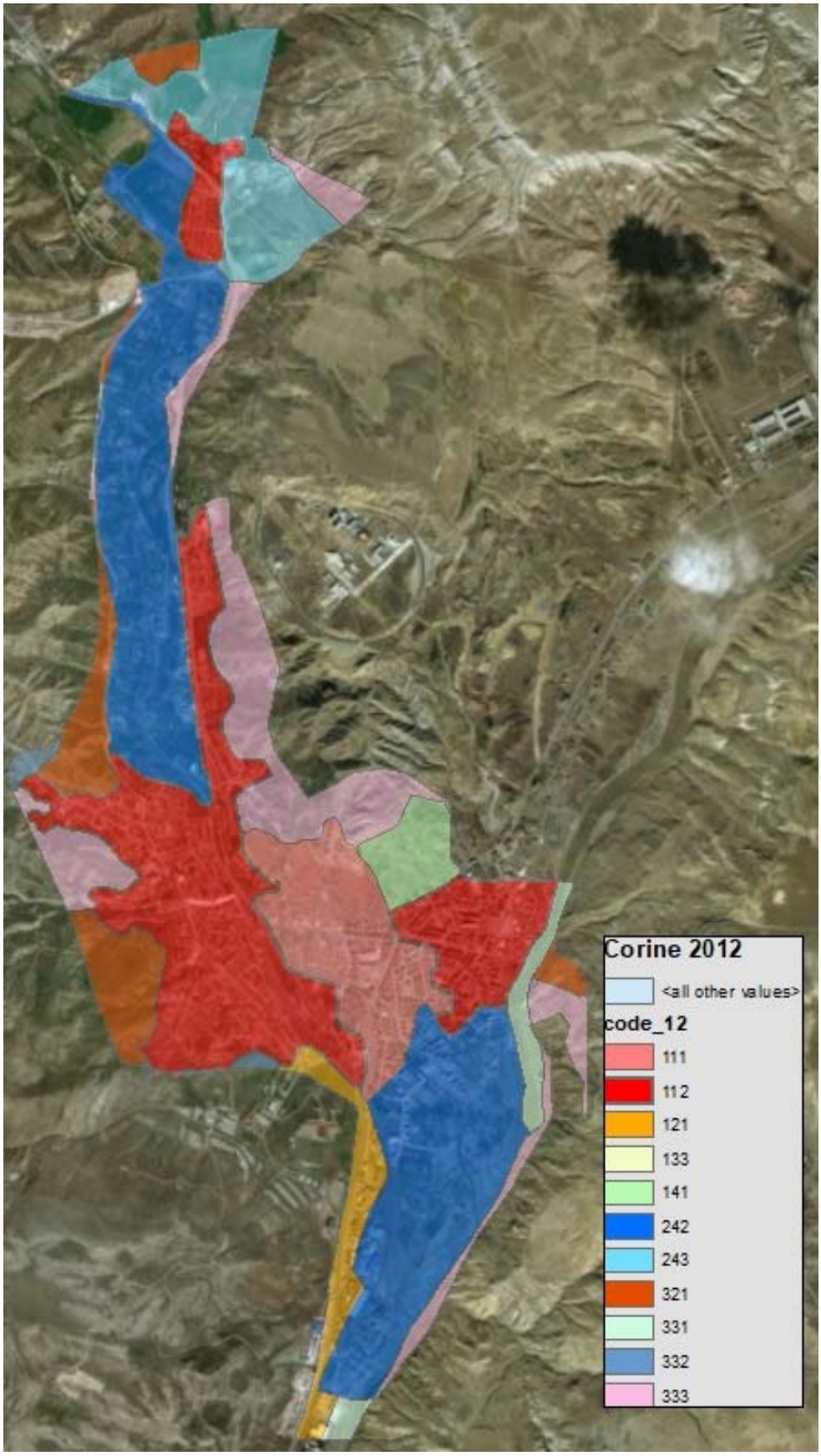
7.3.2. Arazi kullanımı sınıflandırılması

Taşkın yatağı olarak belirlenen alanlardaki Manning pürüzlülük katsayılarının belirlenebilmesi için, arazi örtüsü sınıflandırılmasını poligon sınırlar şeklinde temsil eden CORINE veri tabanından, *shape* uzantılı dosya olarak indirilmiştir. İndirilen poligon dosyası Arc-GIS programında çalışılan arazi yükseklik modelini kapsayacak şekilde kırpılarak, *Ras Mapper* menüsünden Hec-RAS programına eklenir. CORINE veri tabanından edinilmiş olan veriler 100 m*100 m çözünürlükte olup, 2012 yılında elde edilen verilerden oluşturulmuştur.

CORİNE veri tabanından alınan veriye göre çalışılan alan içerisinde kalan bölümlerdeki sınıflandırmalar ve pürüzlülük katsayıları aşağıda Çizelge 7.10. ve Şekil 7.47.'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.10. Corine 2012 arazi sınıflandırılması verisine göre Tatlıçay Deresi için oluşturulan arazi yükseklik modelindeki alanları temsil eden pürüzlülük katsayıları

KOD	Arazi Sınıflandırması	n Pürüzlülük Katsayısı
111	Sürekli kentsel yerleşim	0,230
112	Sürekli olmayan kentsel yerleşim	0,115
121	Endüstriyel veya ticari birimler	0,230
133	Şantiye sahaları	0,115
242	Karışık ekim alanları	0,023
243	Doğal bitki örtüsü	0,058
321	Doğal çayırlar	0,039
331	Kumlu araziler	0,138
332	Çıplak kayalar	0,104
333	Seyrek bitkisel alanlar	0,104



Şekil 7.47. Corine 2012 arazi sınıflandırılması verisine göre Tatlıçay Deresi için oluşturulan arazi yükseklik modelini temsil eden pürüzlülük alanları

7.4. 1D-2D Birleştirilmiş Modelinin Oluşturulması

Bu bölümde HEC-RAS 1D-2D birleştirilmiş modelinin kurulum aşamaları ve çalışması anlatılmıştır.

7.4.1. 1D-2D birleştirilmiş model geometrisinin ayarlanması

HEC-RAS 1D-2D birleşiminin modellenmesinde öncelikli olarak *RAS Mapper* menüsü içerisinde arazi yükseklik modelinin oluşturulması gereklidir. Burada oluşturulan model, Bölüm 7.3.1' de 2D modeli için oluşturulan model ile aynıdır. Birleşim modellemesinde 1D kısmında, HEC-RAS 1D modeli için önceden oluşturulan geometriden faydalanılmıştır. Burada, 1D modelinden alınan en kesitler, derenin sadece ana yatak olarak belirlenen kısımları kadar genişlikte olacak şekilde değiştirilerek 1D-2D modeline aktarılmıştır. Tatlıçay Deresi'nin çalışılan bölümünün bütünü göz önünde bulundurularak, derenin ana yatağının sağında ve solunda kalan kısımları 2D alanlar olarak modellenmiştir (Şekil 7.48.).

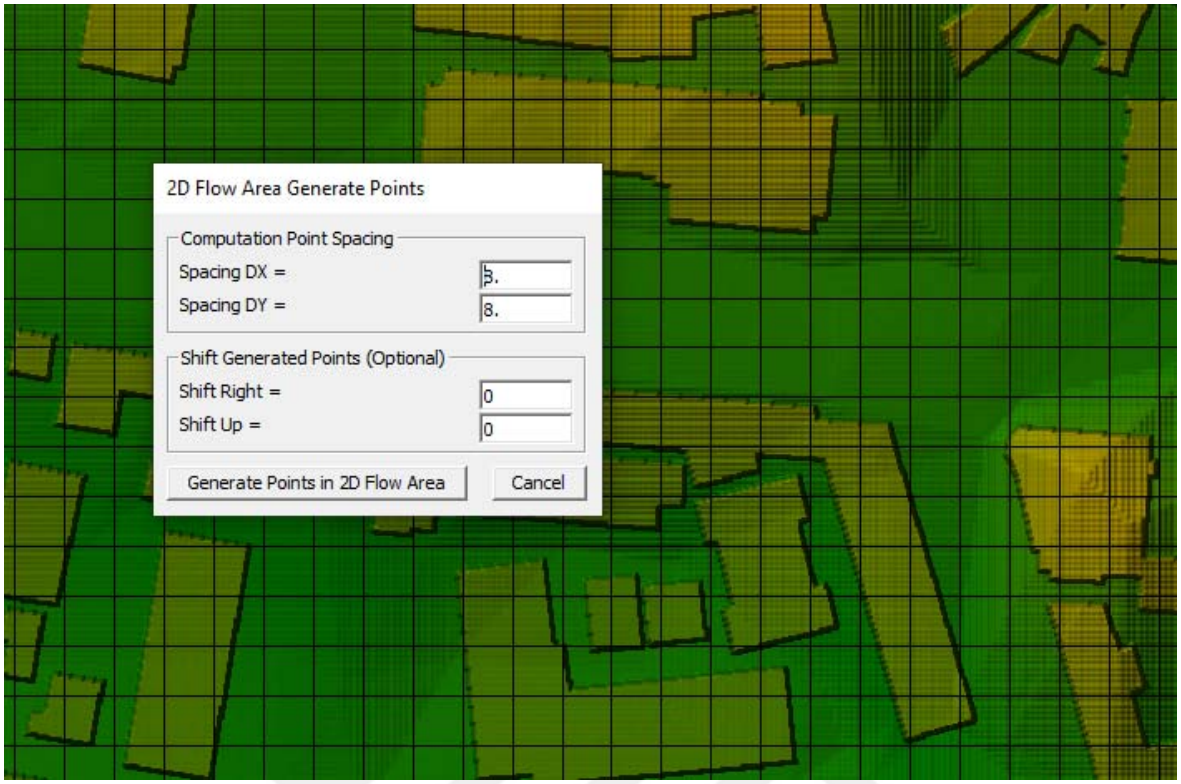
Şekil 7.48. HEC-RAS 1D-2D modellemesi için belirlenmiş Tatlıçay Deresi'nin sağ ve sol kısmındaki 2D alanlar

2D alan olarak çizilen alanların çoğunluğunu yerleşim birimleri, az miktarda da zirai alanlar oluşturmaktadır. 2D alanlar geometri editöründeki özel fonksiyon kullanılarak çizilmiştir. Bu aşamadan sonra 2D alanlar içerisindeki ağ yapısının oluşturulması gelir. Bu çalışmada her iki 2D alan, 8m x 8m büyüklükteki hücrelere bölünerek ağ yapısı oluşturulmuştur (Şekil 7.49).

1D-2D modellemesi kapsamında oluşturulan 2D area alanları meydana getiren hücre yapısı boyutlarının optimum bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Hücrelerin boyutlarına karar verilirken 2D alanların büyüklüğü göz önüne alınmalıdır. Hücre boyutları gereğinden büyük seçildiğinde çözüm süresi kısa olurken, analiz sonucu oluşan su derinlikleri, yayılım alanları, su hızları vb. parametre sonuçları yanlış değerler almakta ve kararlılık (stabilite) problemleri ortaya çıkmaktadır. Hücre boyutlarının çok küçük değerler olarak seçilmesi ise progam analiz sonuçlarının uzun saatler alması anlamına gelir (Brunner, 2016). Tez kapsamında 1D-2D modellemesi yapılırken seçilen hücre büyüklükleri ve elde edilen sonuçlar Çizelge 7.11'de verilmiştir.

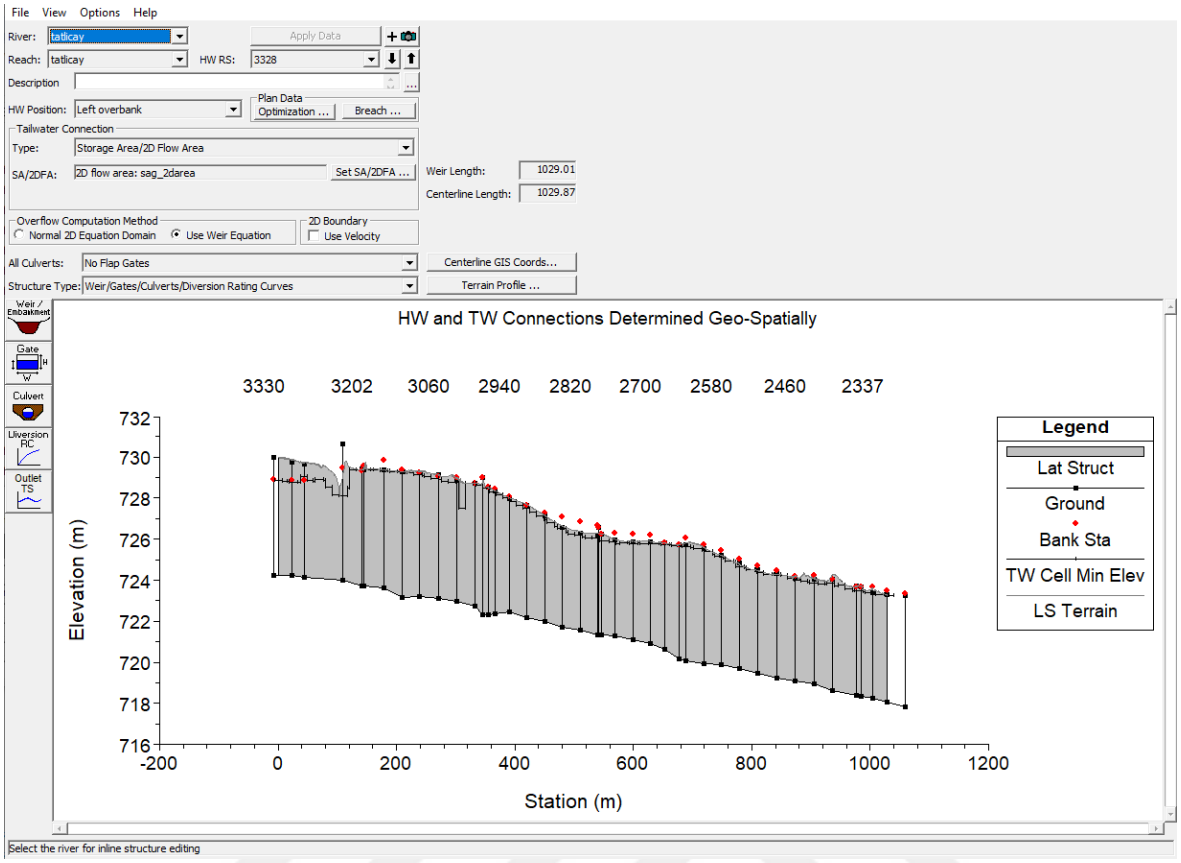
Çizelge 7.11. Seçilen hücre boyutlarına göre elde edilen sonuçlar

Hücre Yapısı Boyutları (m)	Çözüm Süresi	Analiz Sonuçları	Kararlılık (Stabilite) Problemleri
5m x 5m	Çok Uzun	DOĞRU	Yok
8m x 8m	Uzun	DOĞRU	Yok
15m x 15m	Kısa	YANLIŞ	Var



Şekil 7.49. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde oluşturulmuş ağ yapısı

Sağ ve sol sahilde oluşturulan 2D alanlar, dereyi taşkın yatağından ayıran yanal yapılar (Lateral structure) vasıtasıyla 1D modeline bağlanmaktadır (Şekil 7.50. ve Şekil 7.51.). Ana yatak sınırını oluşturan sağ ve sol sahiller, Arc-GIS programında *polyline* formatında oluşturulup *shape* uzantılı dosya olarak kaydedilerek HEC-RAS programına çağırılır ve yanal yapı olarak tanımlanır. Yanal yapı olarak belirlenen hattın, 2D alan olarak belirlenen alan dış çizgileri ile örtüşmesi gerekmektedir. Yanal yapıların yükseklik verileri, arazi yükseklik modelinden alınmaktadır. Yanal yapıların konumu, ana yataktan savaklanan suyun yayılmasının doğru olarak modellenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında yanal yapılar, tüm güzergâh boyunca üç parça şeklinde ve arada boşluk olmaksızın oluşturulmuştur. Yanal yapıların uzun boyutta tek parça halinde oluşturulması halinde HEC-RAS 1D-2D modellemelerinde kararlılık (stabilite) problemlerinin ortaya çıkmakta ve analizler tamamlanamamaktadır.



Şekil 7.50. HEC-RAS 1D-2D için oluşturulmuş yanal yapının profili

Şekil 7.51. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde kullanılmış yanal yapıların yerleşimi (Tümüyle gösterilmemiştir.)

7.4.2. Köprülerin modellenmesi

Tatlıçay Deresi'nin çalışılan bölümünde bulunan 8 adet köprünün HEC-RAS 1D-2D birleşimi üzerinde modellemesi HEC-RAS 1D 'deki ile aynıdır. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere HEC-RAS 2D için köprülerin modellemesi henüz yeterince geliştirilememiş olup, köprüler; menfezler ve hidrolik kapaklarla temsil edilebilmektedir.

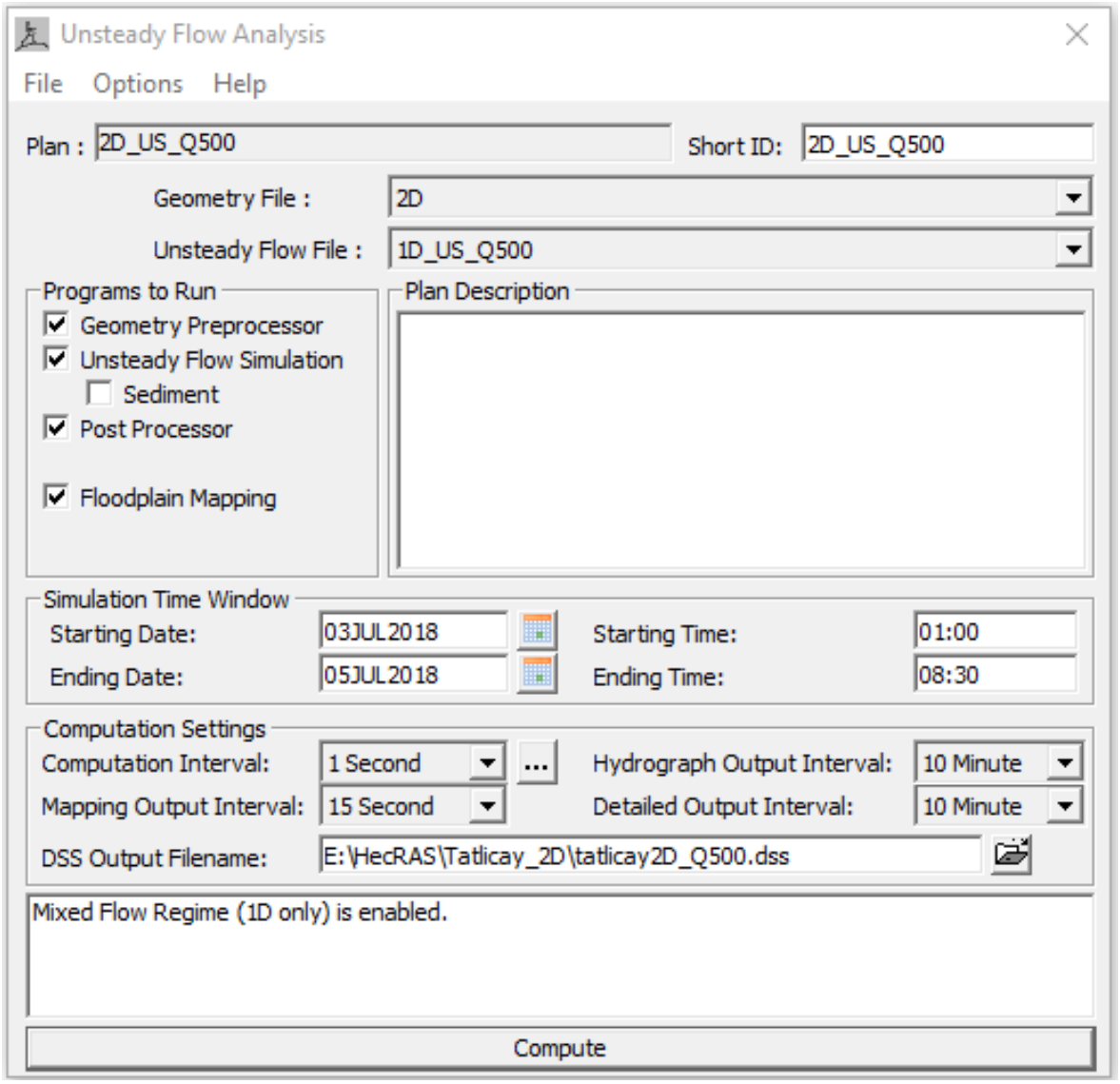
7.4.3. Sınır şartlarının belirlenmesi

HEC-RAS 1D-2D birleşimi modellemesinde, sınır şartları HEC-RAS 1D kararsız akım, yani zamanla değişen akıma (*unsteady flow*) göre belirlenmiştir. Zamanla değişen akımlarda memba ve mansabın her ikisi için de sınır şartı tanımlamak gerekmektedir. Akımın membası için Bölüm 5' te Tatlıçay Deresi'nde çeşitli tekerrür yılları (Q_{25}, Q_{50}, Q_{100}, Q_{500}) için elde edilmiş olan akım hidrografları girilmiştir. Mansap için ise normal derinlik değeri olan 0.0051 değeri alınmıştır.

7.5. 1D-2D Birleştirilmiş Model Sonuçları

HEC-RAS 1D-2D birleşimi modellemesinin sonuçları zamanla değişen (kararsız) akım verileri ile oluşturulmaktadır. Programda 2D için zamanla değişen (kararsız) akım hesaplama modülü, doğrudan zamanla değişen (kararsız) akım modülünün içerisine yerleştirilmiştir ve ayrı bir program değildir. Böylece 1D ve 2D hesaplamaları aynı zaman adımlarında doğrudan birleştirilir ve yinelemeli bir şekilde çözülürler. Böylelikle her zaman adımı için 1D elemanlardan 2D elamanlara, 2D elamanlardan da 1D elemanlara bilgi aktarımı sağlanır. Bunun sonucunda 1D-2D bağlantısı, bir yanal yapı aracılığıyla, 1D ve 2D elemanlar arasındaki hidrolik bağlantıyı oldukça doğru sonuçlar verecek şekilde oluşturulmuş olur (Brunner, 2016a).

HEC-RAS 1D-2D modeli için seçilen çözüm zaman aralığı *(computational interval, ΔT)*, alınacak analiz sonuçlarının doğruluğu açısından büyük önem teşkil etmektedir. Çözüm zaman aralığı için seçilecek yüksek bir değer modelin stabilitesini olumsuz yönde etkilerken, küçük değerler seçilmesi durumunda analiz sonuçlarının alınması uzun zamanlar almaktadır. (Brunner, 2016a). Bu çalışma kapsamında çözüm zaman aralığı, analiz sonuçlarının hassasiyeti göz önünde bulundurularak 1 saniye olarak belirlenmiştir (Şekil 7.52.).

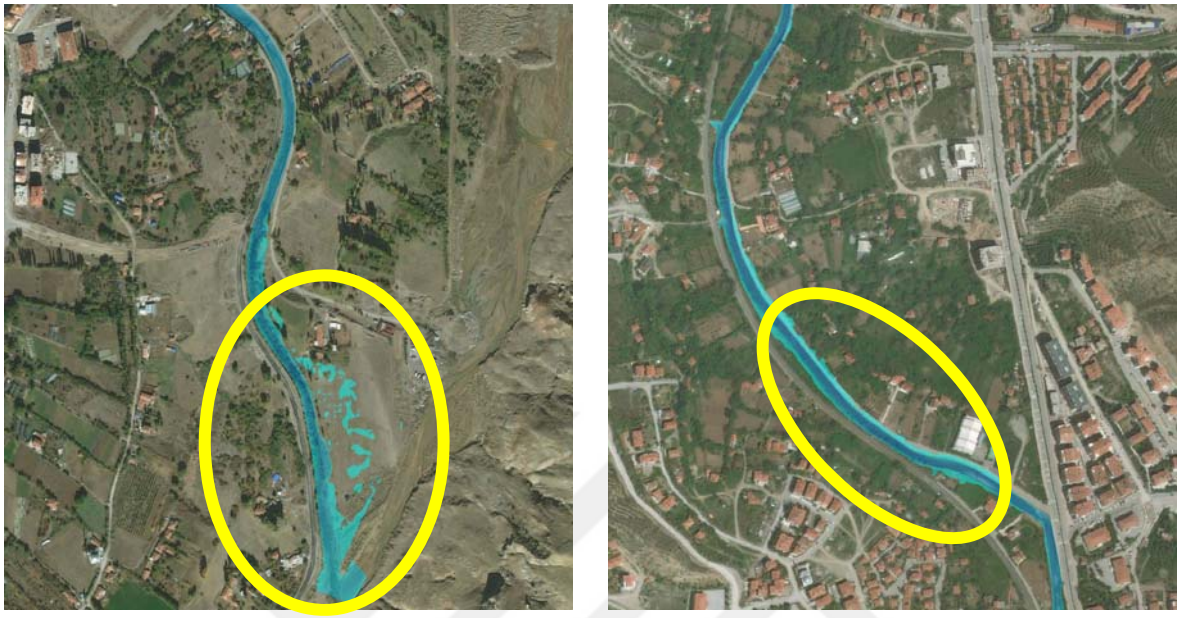


Şekil 7.52. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde kullanılmış çözüm parametrelerinin kararsız (unsteady) akım analiz penceresindeki görüntüsü

7.5.1. 25 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{25}) için 1D-2D analiz sonuçları

Aşağıda 25 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{25}) ve senaryolar için HEC-RAS 1D-2D model analizinde elde edilen plan ve profil sonuçları verilmiştir (Şekil 7.54, Şekil 7.55, Şekil 7.56, Şekil 7.57, Şekil 7.58, Şekil 7.59, Şekil 7.60 ve Şekil 7.61). Yapılan analizler sonucunda tüm senaryolarda ortak olarak taşma yaşanan yerler Merkez Mahallesi'nin kuzeyinde kalan kırsal kesim (Şekil 7.53b) ve Acıçay Deresi'ne bağlanılan mansap kısmı (Şekil 7.53a) olarak belirlenmiştir. Acıçay Deresi'ne bağlanmadan önceki kısımda akışa göre sağ sahilde, Merkez Mahallesi'nin üstünde kalan kırsal kesimde ise sağ ve sol sahillerde ufak çaplı

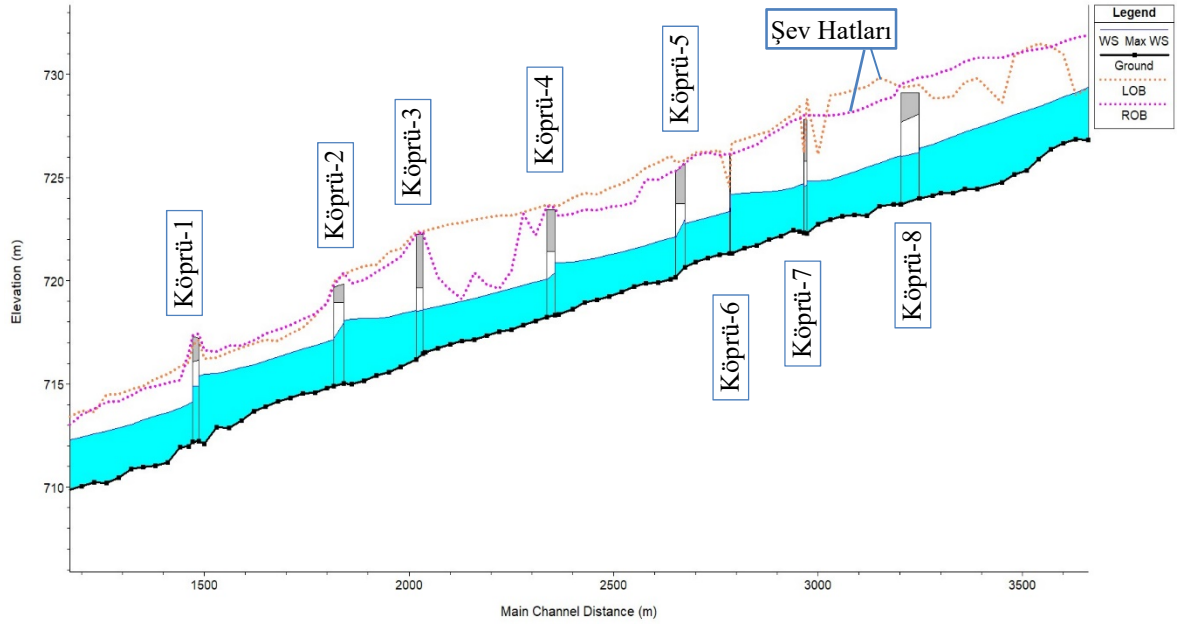
yayılmalar görülmüştür. Taşma yaşanan kısımlarda duvar yüksekliklerinin bir miktar artırılması ile akım tamamen ana kanal içerisinde taşınabilir.



(a) (b)

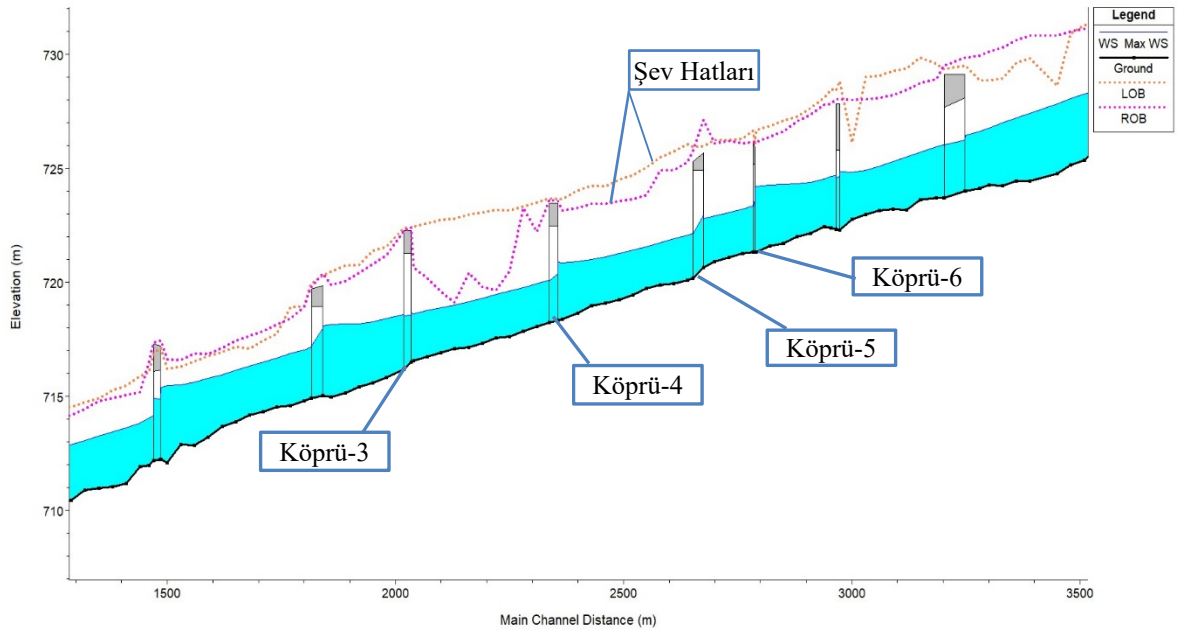
Şekil 7.53. HEC-RAS 1D-2D'de 25 yıl tekerrürlü debisinin oluşturduğu taşmalar

Şekil 7.54. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{25})



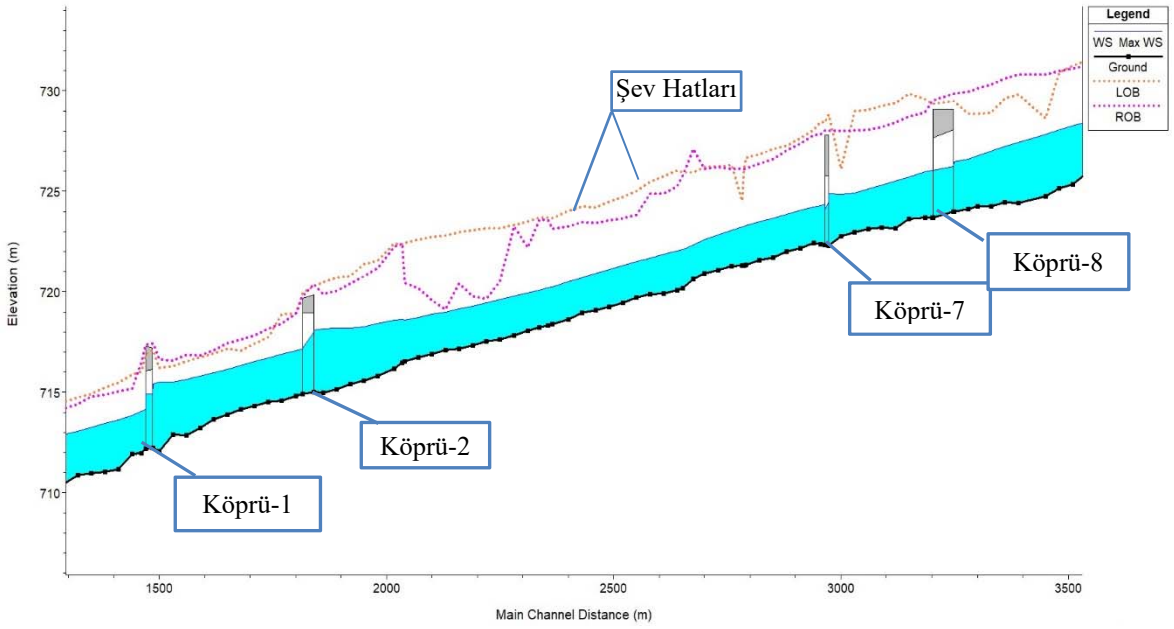
Şekil 7.55. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{25} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{25})

Şekil 7.56. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{25})



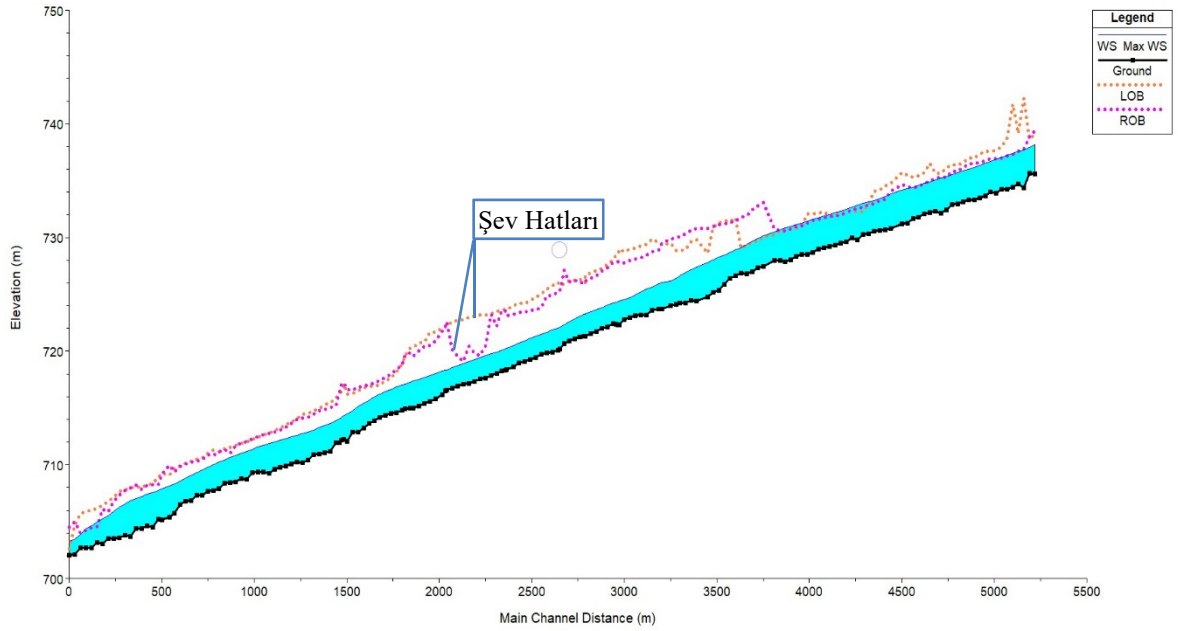
Şekil 7.57. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{25} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{25})

Şekil 7.58. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{25})



Şekil 7.59. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{25} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{25})

Şekil 7.60. HEC-RAS 1D-2D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{25} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{25})



Şekil 7.61. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{25} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{25})

Birleştirilmiş HEC-RAS 1D-2D modelinde Q_{25} debisinin gelmesi durumunda taşkına maruz kalan alanlar ile taşkından etkilenen yapı sayısı Çizelge 7.12 ve Çizelge 7.13'te verilmiştir. 1D-2D model sonuçları 25 yıl tekerrürlü taşkın debisinin (Q_{25}) can ve mal kaybına neden olmadan çalışılan alanın büyük bölümünde ana kanalda taşınabileceğini göstermiştir.

Çizelge 7.12. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{25} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{25}	5 250,5	5 250,5	5 250,5	5 250,5

Çizelge 7.13. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{25} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{25}	-	-		-

25 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{25}) için 1D-2D modeline ait analiz sonuçları incelendiğinde bir boyutlu akım modellemesindeki gibi ciddi miktarlarda taşmalar gözlemlenmemiş ve taşma miktarları birbirine yakın değerler olarak (1D (Senaryo 1): 6 618.4 m² ve 1D-2D (Senaryo 1): 5 250.5 m²) elde edilmiştir (Şekil 7.62.).

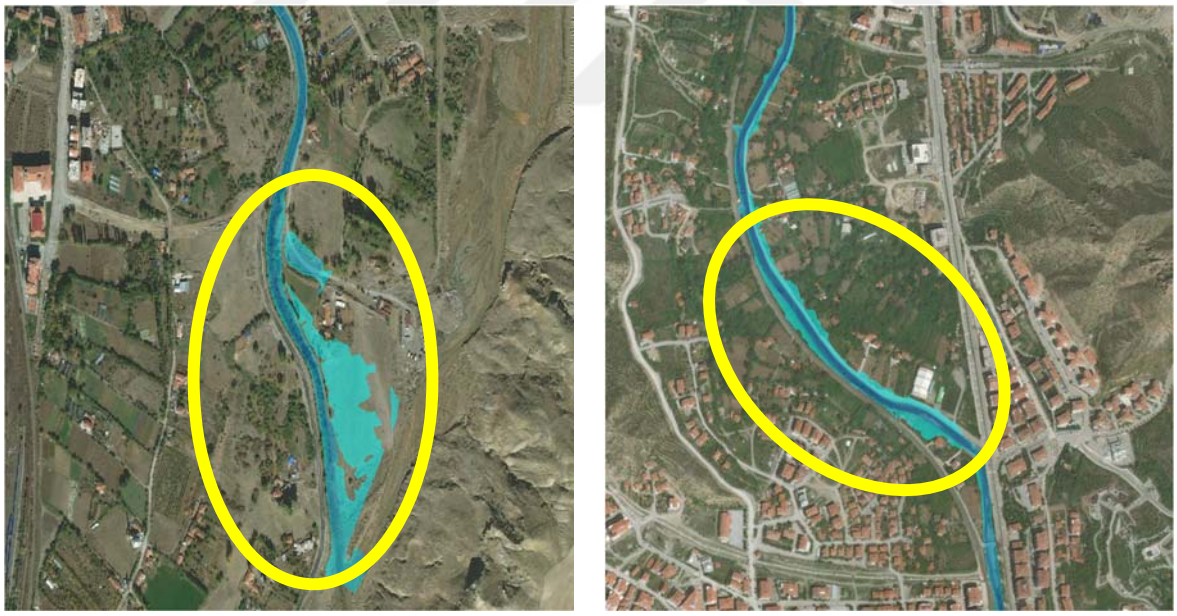
Şekil 7.62. 1D ve 1D-2D analizde Q_{25} debisi için taşkın yayılım alanları (Senaryo-1)

HEC-RAS programında 1D ve birleştirilmiş 1D-2D modelleri için belirtilen senaryolara göre yapılan sonuçların birbirine yakın çıkması, Q_{25} debisi için 1D modellemesinin 1D-2D modeli yerine de kullanılabileceğini göstermektedir. 1D modeli, analiz süresinin kısa olması, modellemenin çok daha basit olması ve 1D-2D modelline çok yakın sonuçlar vermesi (Q_{25} debisi için) gibi sebeplerden ötürü kullanılabilir bir model olarak değerlendirilmiştir. Burada 1D modelinde akımın kanal dışına çok çıkmaması ve ana kanal boyunca taşınabilir olması 1D-2D modelinin sonuçlarına yakın sonuçların elde edilmesini sağlamıştır. Çünkü 1D-2D modeli de tıpkı 1D modeli gibi ana kanal içerisinde akımı bir boyutlu (1D) olarak analiz etmekte, ana kanal dışında ise akımı iki boyutlu (2D) olarak analiz etmektedir. Bu da, ana kanaldan taşma olmayan durumlarda 1D ve 1D-2D modellerinin birbirine yakın sonuçlar vermesini sağlamaktadır.

7.5.2. 50 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{50}) için 1D-2D analiz sonuçları

50 yıl tekerrüründeki debi (Q_{50}) için 1D olarak yapılan analizlerde akımın ana kanaldan çıktığı ve yayıldığı gözlemlenmişti. Aşağıda 25 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{25}) ve senaryolar için HEC-RAS 1D-2D model analizinde elde edilen plan ve profil sonuçları verilmiştir (Şekil 7.64, Şekil 7.65, Şekil 7.66, Şekil 7.67, Şekil 7.68, Şekil 7.69, Şekil 7.70 ve Şekil 7.71).

Yapılan analizler sonucunda tüm senaryolarda ortak olarak taşma yaşanan yerler 25 yıl tekerrürlü debinin gelmesi neticesinde olduğu gibi Merkez Mahallesi'nin kuzeyinde kalan kırsal kesim (Şekil 7.63b) ve Acıçay Deresi'ne bağlanılan mansap kısmı (Şekil 7.63a) olarak belirlenmiştir. Ancak belirtilen bu iki kesim arasındaki topoğrafik farklar sebebi ile yayılma alanlarında farklılık gözlenmektedir. Bunun sebebi, memba kısmında ana kanalın sağ ve sol kısmında yer alan arazinin dik bir yapıda iken mansap kısmında yayvan şekilde olmasıdır.

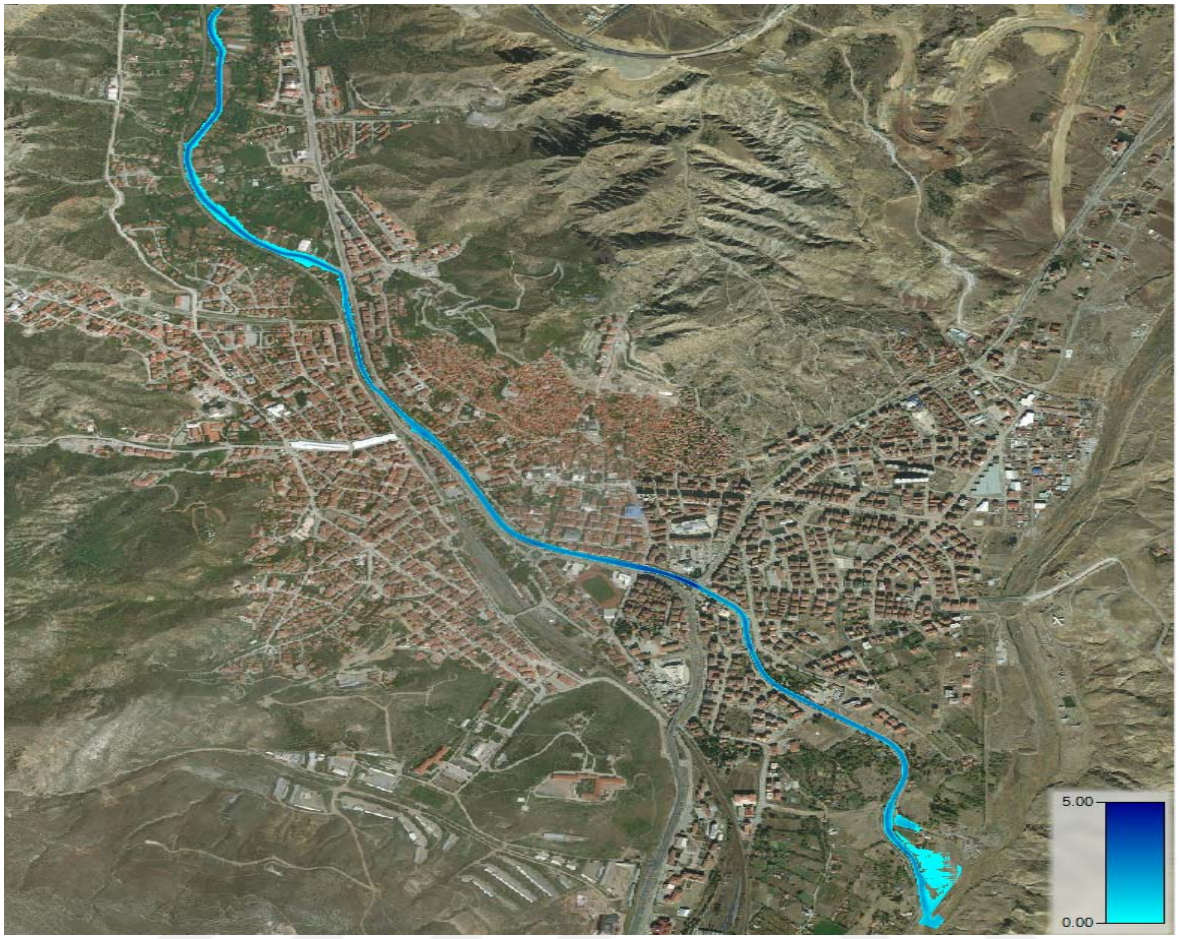


(a) (b)

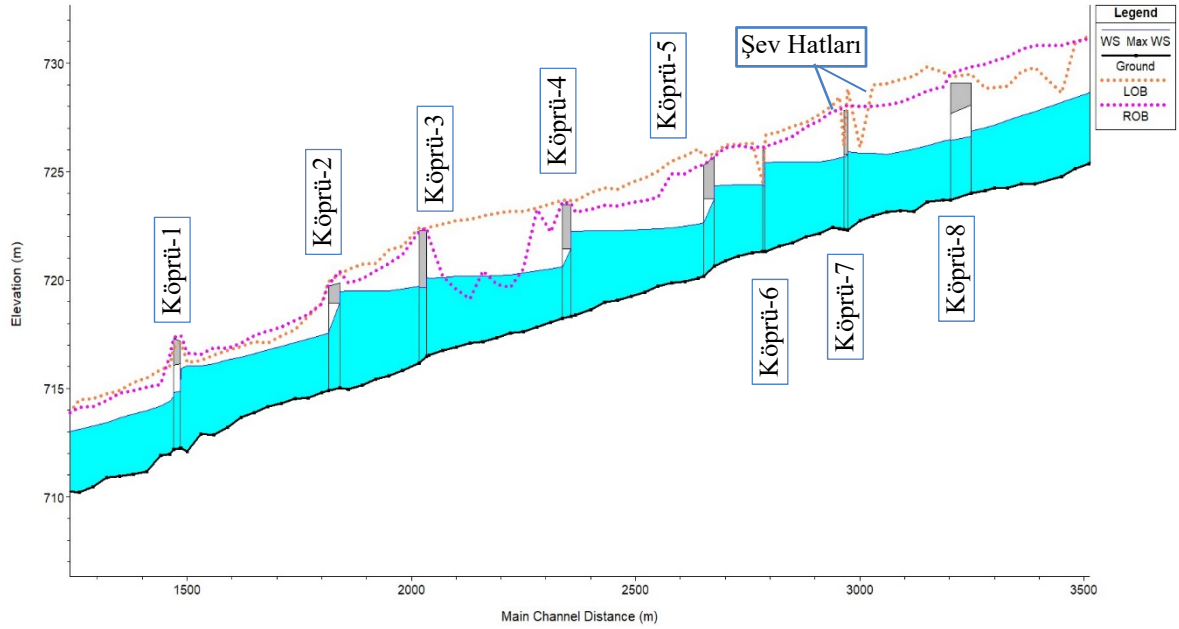
Şekil 7.63. HEC-RAS 1D-2D'de 50 yıl tekerrürlü debisinin oluşturduğu taşmalar

Senaryo-1 sonuçlarına göre arkasında kabarma oluşan 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı köprülerden, sorunlu köprülerdeki konstrüktif olmayan çelik kaplamaların kaldırılması ile oluşturulmuş Senaryo-2 analizi neticesinde 3, 4, 5 ve 6 numaralı köprülerin arkasında oluşan kabarmaların azaldığı görülmüştür (Şekil 7.65 ve Şekil 7.67). Köprü 8 hiçbir senaryoda taşkın için tehlike

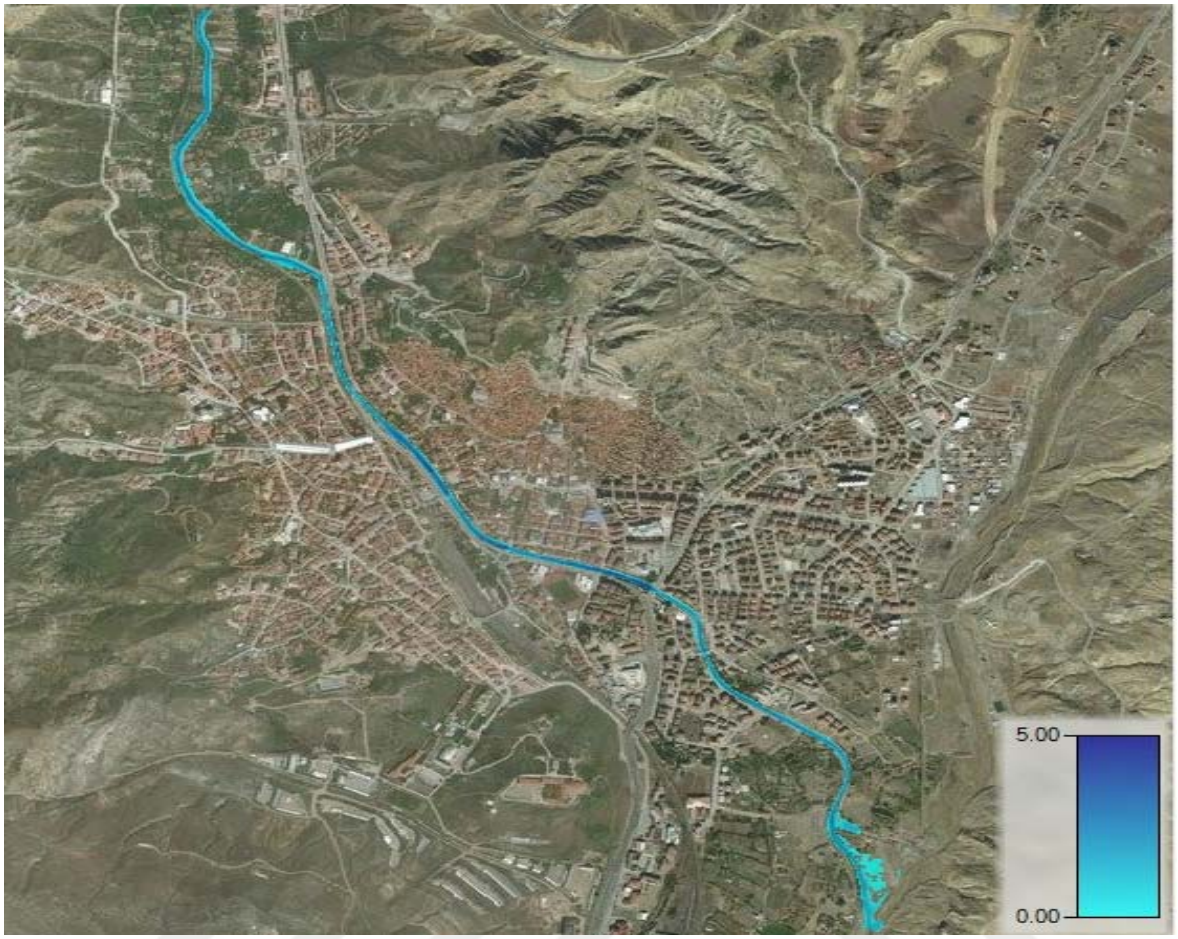
arz etmez iken, kaplamalı olmamasına rağmen 1, 2 ve 7 numaralı köprülerin gelen akımı tam kapasite ile geçirdikleri görülmüştür (Şekil 7.65, Şekil 7.67 ve Şekil 7.69).



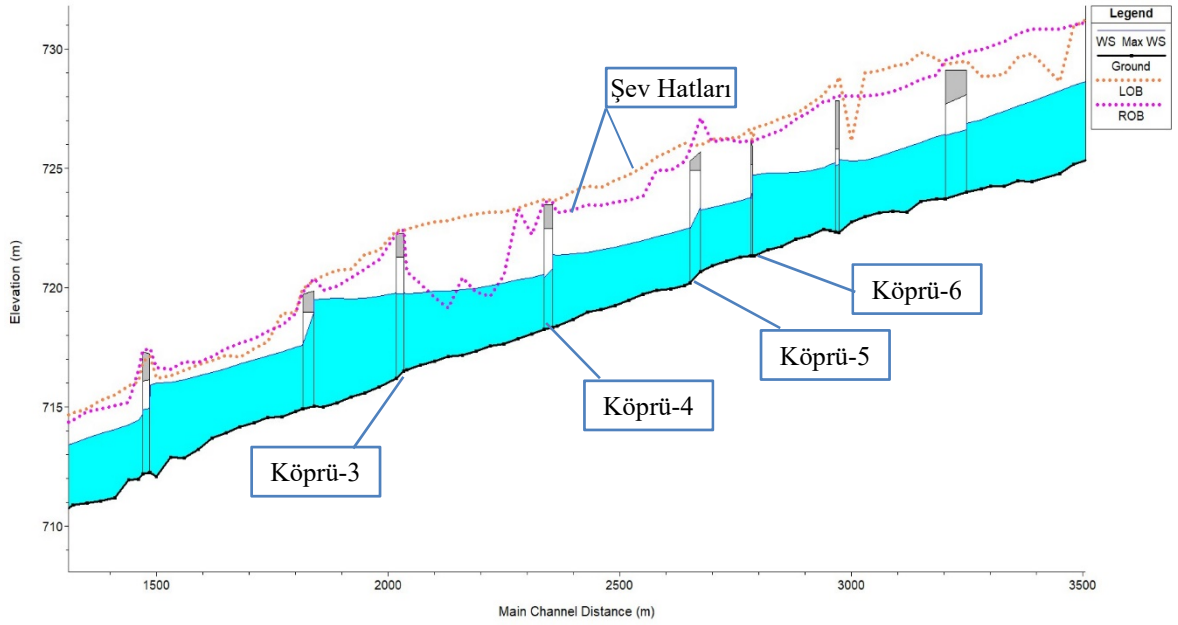
Şekil 7.64. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{50})



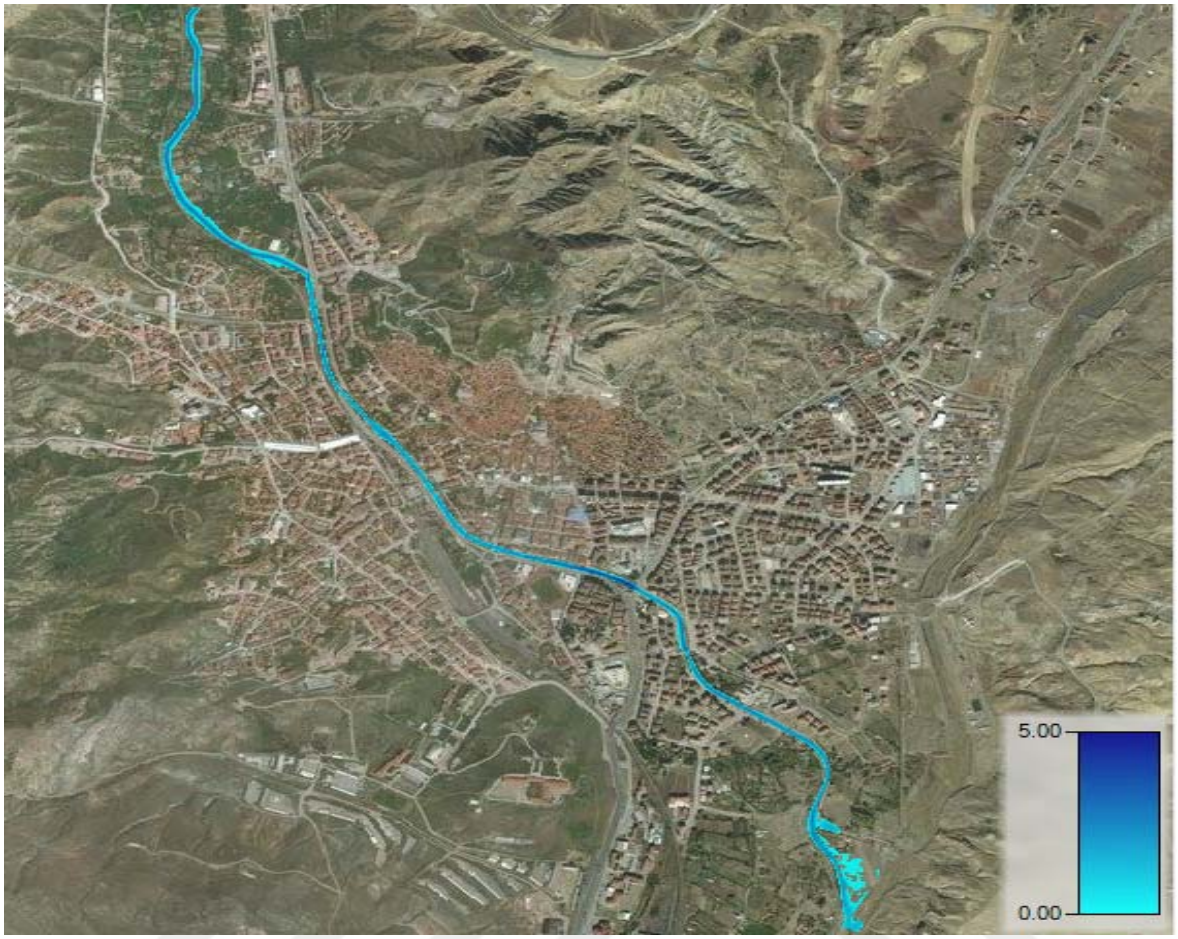
Şekil 7.65. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{50} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{50})



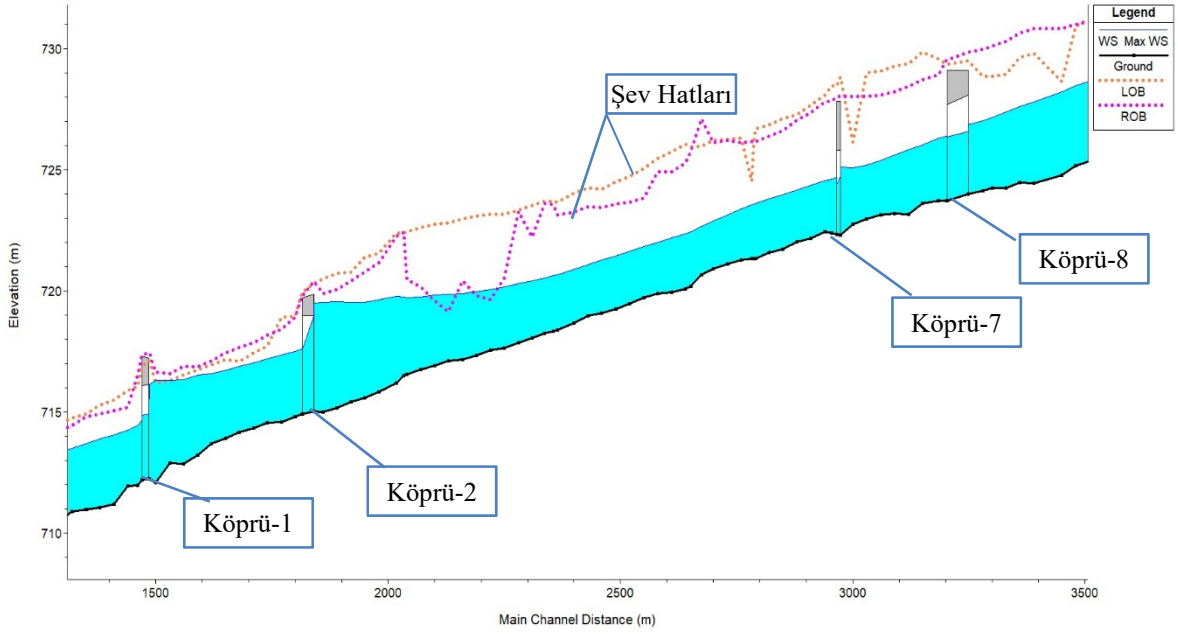
Şekil 7.66. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{50})



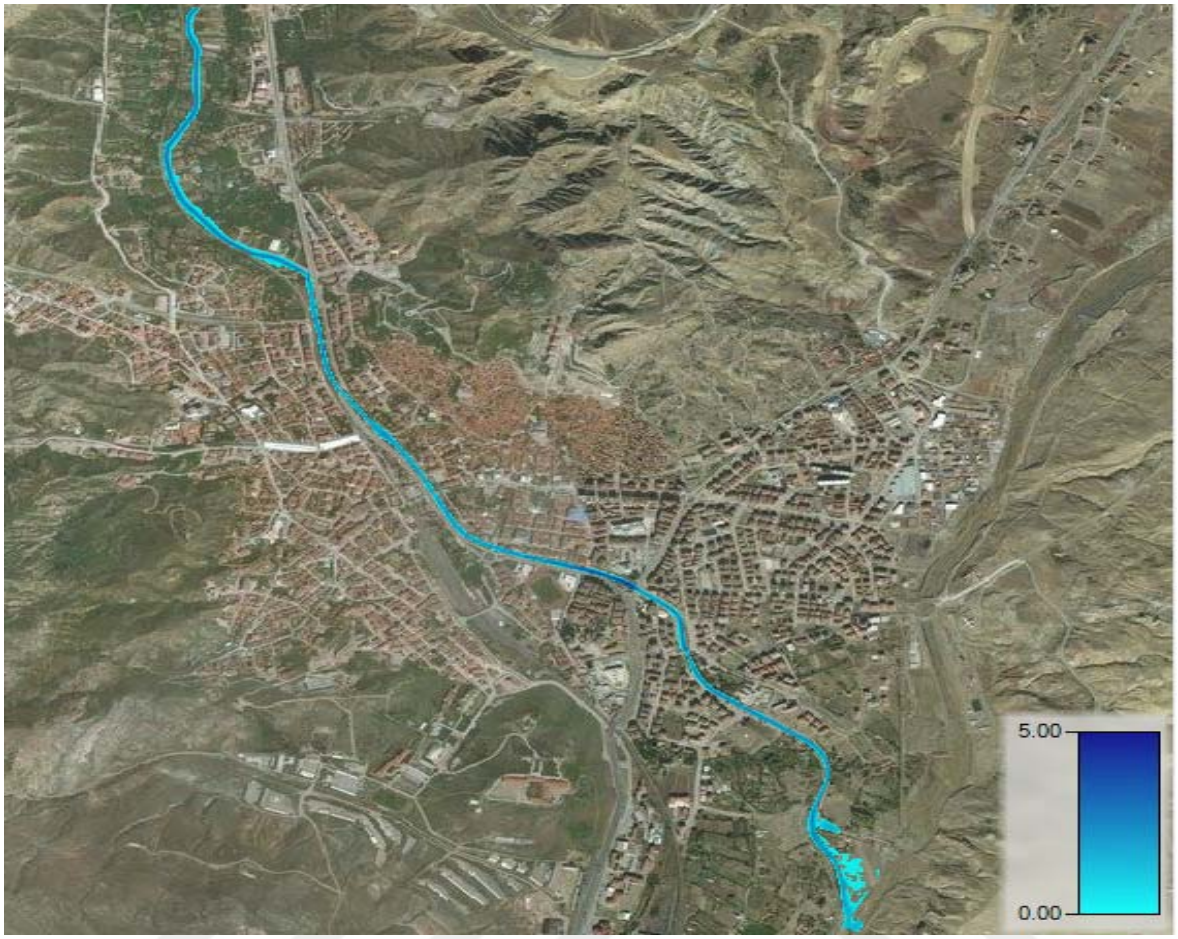
Şekil 7.67. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{50} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo2-Q_{50})



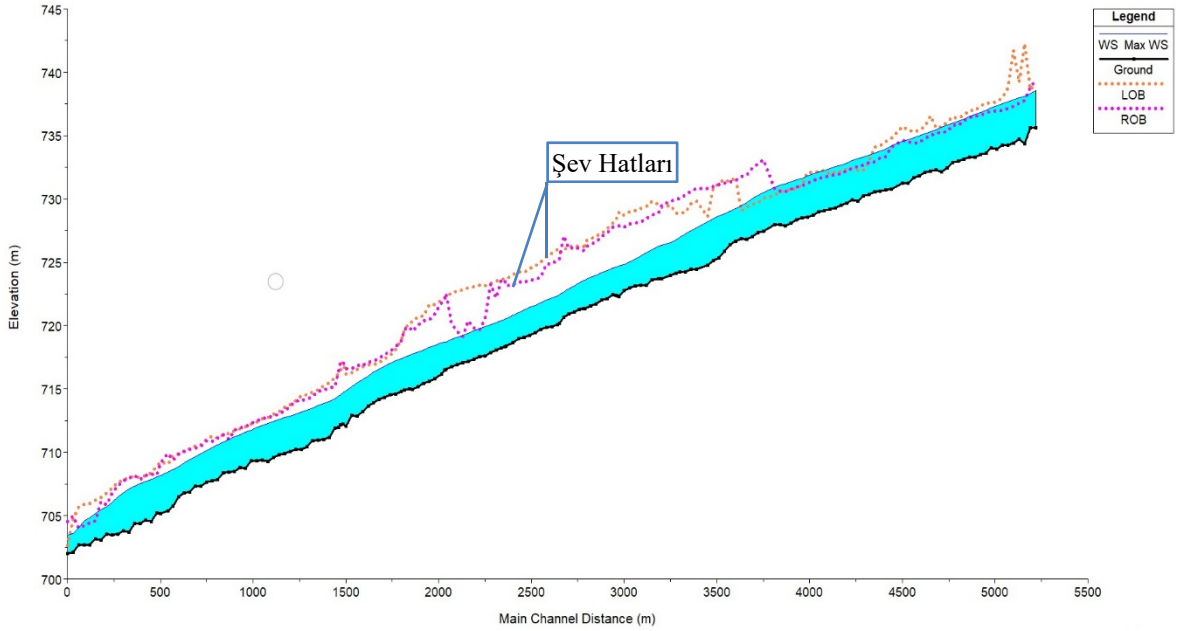
Şekil 7.68. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{50})



Şekil 7.69. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{50} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{50})



Şekil 7.70. HEC-RAS 1D-2D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{50})



Şekil 7.71. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{50} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{50})

Birleştirilmiş HEC-RAS 1D-2D modelinde Q_{50} debisinin gelmesi durumunda taşkına maruz kalan alanlar ile taşkından etkilenen yapı sayısı Çizelge 7.14 ve Çizelge 7.15'te verilmiştir.

Çizelge 7.14. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{50} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{50}	36 839,5	35 801,1	35 801,1	35 801,1

Çizelge 7.15. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{50} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{50}	12	12	12	12

Q_{50} taşkın debisi için kritik kısımlar genelde derenin sahilinde yer alan yollar, park ve bahçeler olarak elde edildiği için erken uyarı sistemleri ile vatandaşların buralardan uzak tutulması olası can kayıplarının önüne geçebilir.

Taşkın yayılım alanları incelendiğinde, 1D ve 1D-2D modelleri arasında 10 kat gibi ciddi farklılıkların olduğu tespit edilmiştir (1D: 365 686 m² ve 1D-2D: 36 839 m² (Senaryo 1)). Şekil 7.72.'de mevcut durumda (Senaryo 1) 1D ve 1D-2D modelleri için Q_{50} taşkın debisi için elde edilen yayılım alanları çakıştırılarak verilmiştir.

Şekil 7.72. 1D ve 1D-2D analizde Q_{50} debisi için taşkın yayılım alanları (Senaryo-1)

1D modelinden farklı olarak, 1D-2D modelinde akım ana kanaldan dışarı çıktığında topoğrafyayı takip ederek bir akış güzergâhı ve depolama alanları oluştururken 1D modelde taşkın kotu enine kesit boyunca otomatik yayıldığı varsayılmaktadır. Bu da yayılım alanlarının farklı çıkmasına sebep olmaktadır. 1D modeli analiz sonuçların göre, Q_{50} debisi için Abdülhalikrenda Mahallesi'nin neredeyse yarısına yakını sular altında kalırken, aynı bölgede 1D-2D modelinde çok daha az bir kısım taşkın suları altında kalmıştır.

7.5.3. 100 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{100}) için 1D-2D analiz sonuçları

1D-2D modelinde 25 yıl ve 50 yıl tekerrürlerindeki taşkın debileri için (Q_{25} ve Q_{50}) elde edilen analiz sonuçlarına göre ciddi miktarlarda taşmalar gözlemlenmemişti. Aşağıda 100 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{100}) ve senaryolar için elde edilen plan ve profil sonuçları verilmiştir (Şekil 7.75, Şekil 7.76, Şekil 7.77, Şekil 7.78, Şekil 7.79, Şekil 7.80, Şekil 7.81 ve Şekil 7.82).

Mevcut durumda (Senaryo 1) 100 yıl tekerrürlü taşkın debisi için ana kanalda taşmaların meydana geldiği ve şehir içine doğru yayılmalar olduğu gözlemlenmiştir. Profiller incelendiğinde de kesiti dar olan (özellikle konstrüktif olmayan çelik kaplamaların) köprülerde akımın mevcut kesit alanından geçemediği ve basınçlı olarak köprü altından geçtiği, hatta bazı köprülerde tabliye üzeri akımın mevcut olduğu sonucuna varılmıştır. Basınçlı akımlar köprülere olumsuz şekilde ilave kaldırma yükleri getirebilmekte ve çatlamalara sebep olabilmektedir (Yanmaz, 2002). Hatta daha büyük taşkın debileri köprü tabliyesinin tamamen kalkmasına ve köprünün yıkılmasına da sebep olabilir. Örneğin, 1998 yılının mayıs ayında Zonguldak'a bağlı Devrek İlçesinde yaşanan taşkın olayında köprüler hidrolik sebeplerden dolayı yıkılmıştır (Resim 7.3.).

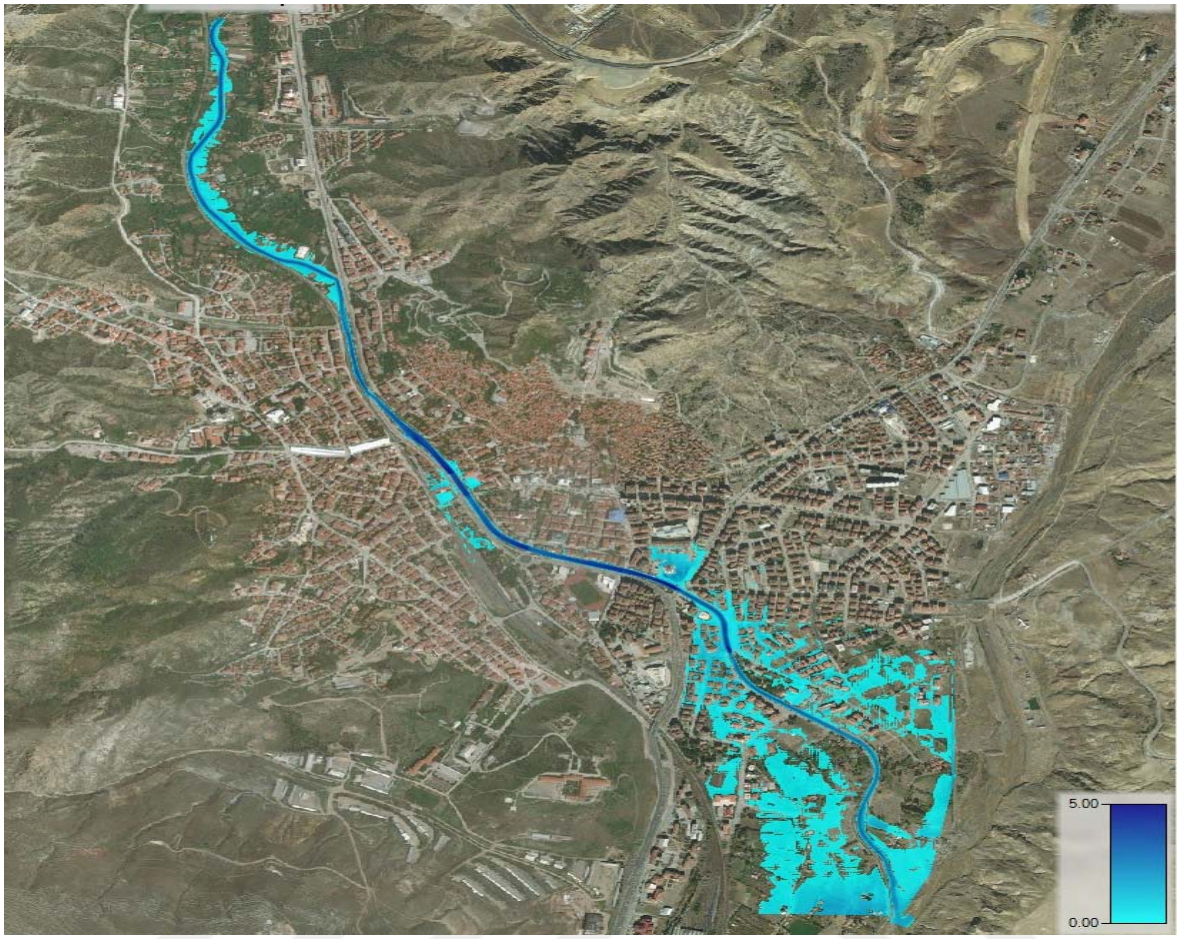
Resim 7.3. Mayıs 1998 taşkınında yıkılan bir köprü (Tempo Gazetesi, 2017)

Nitekim senaryo 1, 2 ve 3'e göre yapılan analizler sonucunda 100 yıl tekerrürlü taşkın debisi gelmesi neticesinde elde edilen yayılım alanına sebep olan en büyük fakötürün similasyonlar vasıtası ile 1 ve 2 numaralı köprüler olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 7.73). Özellikle Köprü 1 arkasında kabaran su Abdülhalikrenda Mahallesi'nin büyük bölümüne yayılarak sular altında kaldığını göstermektedir (Şekil 7.74). Senaryo 1'den elde edilen su yüzü profiline

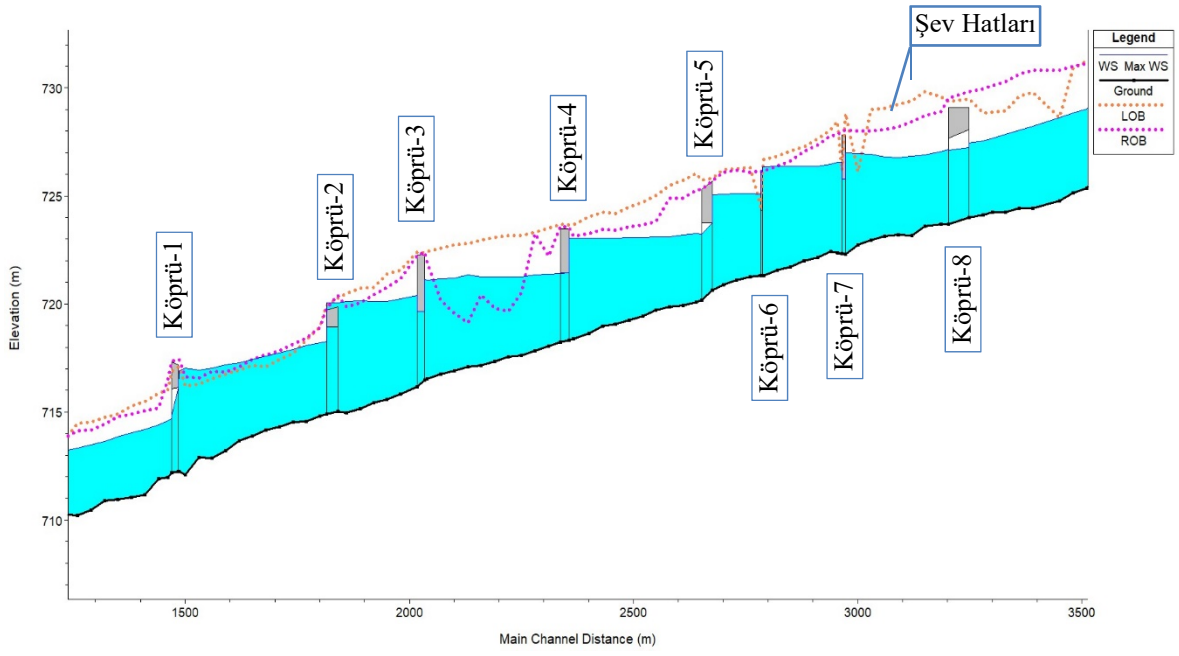
göre mevcut durumdaki köprülerin birçoğu arkasında kabarma oluşmakta ve taşkın anında olumsuz etkiler doğurmaktadır (Şekil 7.76).

Şekil 7.73. Senaryo 1-2 ve 3'e göre 100 yıl tekerrürlü debi gelmesi neticesinde suyun yayılmaya başladığı bölge

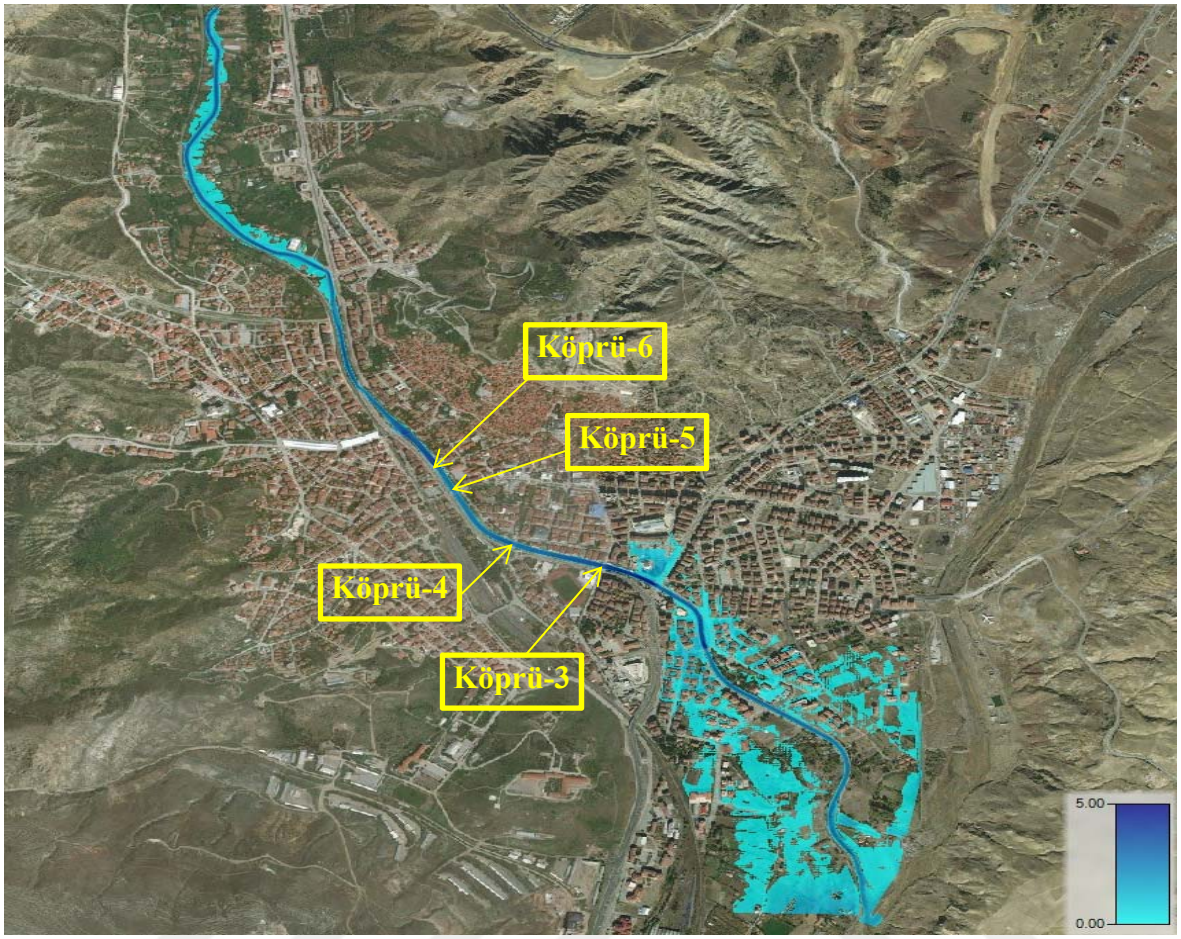
Şekil 7.74. Q_{100} debisi gelmesi durumunda Abdülhalikrenda Mahallesi'ndeki taşkın yayılımı



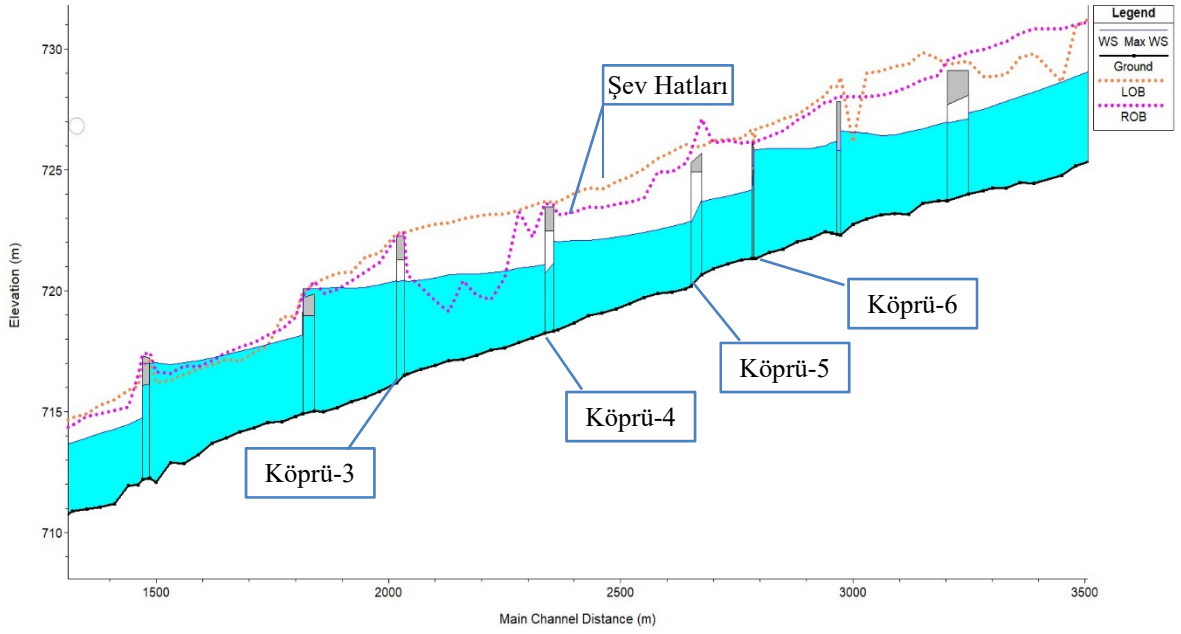
Şekil 7.75. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{100})



Şekil 7.76. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{100} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{100})

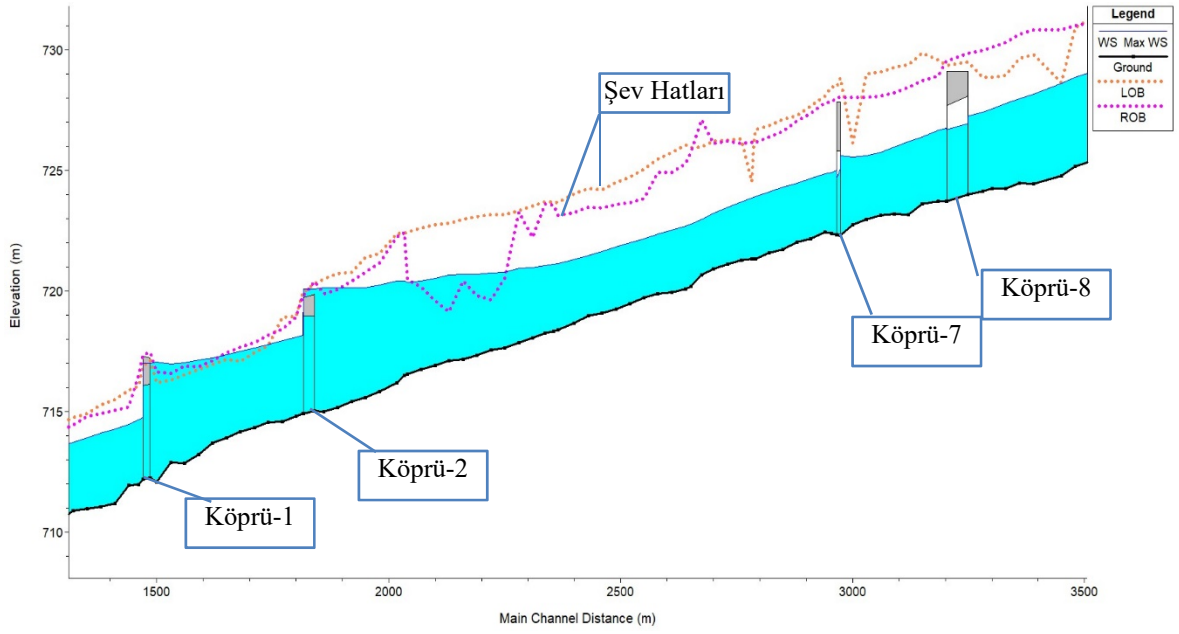


Şekil 7.77. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 2-Q_{100})



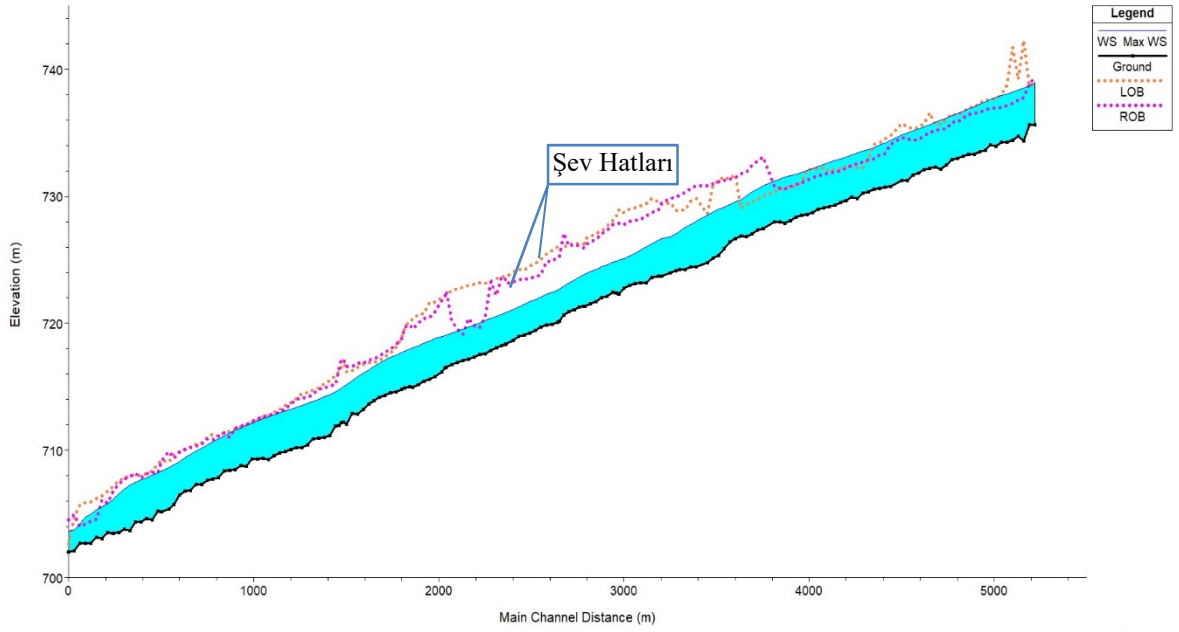
Şekil 7.78. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{100} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{100})

Şekil 7.79. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{100})



Şekil 7.80. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{100} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{100})

Şekil 7.81. HEC-RAS 1D-2D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{100} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{100})



Şekil 7.82. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{100} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{100})

Birleştirilmiş HEC-RAS 1D-2D modelinde Q_{100} debisinin gelmesi durumunda taşkına maruz kalan alanlar ile taşkından etkilenen yapı sayısı Çizelge 7.16 ve Çizelge 7.17'de verilmiştir.

Çizelge 7.16. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{100} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{100}	606 360,40	559 365,50	559 365,50	109 958,70

Çizelge 7.17. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{100} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{100}	598	475	475	117

1D-2D modelinin analiz sonuçlarına göre, Q_{50} taşkın debisine kıyasla Q_{100} taşkın debisinde çok daha fazla taşmalar (Senaryo 1 için yaklaşık 16 kat) meydana gelmiştir. Merkez Mahallesinde Q_{100} taşkın debisinde ciddi miktarlarda taşma gözlemlenmezken, özellikle mansap kısmına yakın mevkide bulunan Abdülhalikrenda Mahallesi'nde (mahallelerin konumlarını görmek için Bölüm 1'te verilen Harita 3.1.'e bakınız.) Q_{100} taşkın debisi için ciddi yayılımların olduğu ve ortalama 1.00-1.50 m aralığında su derinlikleri gözlemlenmiştir. Bu durum mevcut durumun Q_{100} taşkın debisi için ne kadar kritik olduğunu ve tespit edilen sorunların çözülmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Aksi durumda taşkın anında meydana gelebilecek yayılmalar Abdülhalikrenda Mahallesi'nde can ve mal kaybına yol açabilir.

Memba kısmındaki kırsal bölgelerde (Merkez Mahallesi'nin üst kısımları) de Q_{100} taşkın debisi için ana kanaldan taşmalar gözlemlenmiştir. Buradaki taşmalara dere yatağının tren yolu için daraltıldığı yerdeki kesitin sebep olduğu, bu kesitte derenin 12-13 m'ye kadar düşürüldüğü, bunun da geriye doğru suyun kabarmasına (*Choking*) ve ana kanaldan taşmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Ayrıca karayolu ile derenin kesiştiği kesimde keskin bir dönüş olması da suyun ana kanaldan çıkmasına yol açmaktadır (Resim 7.4).

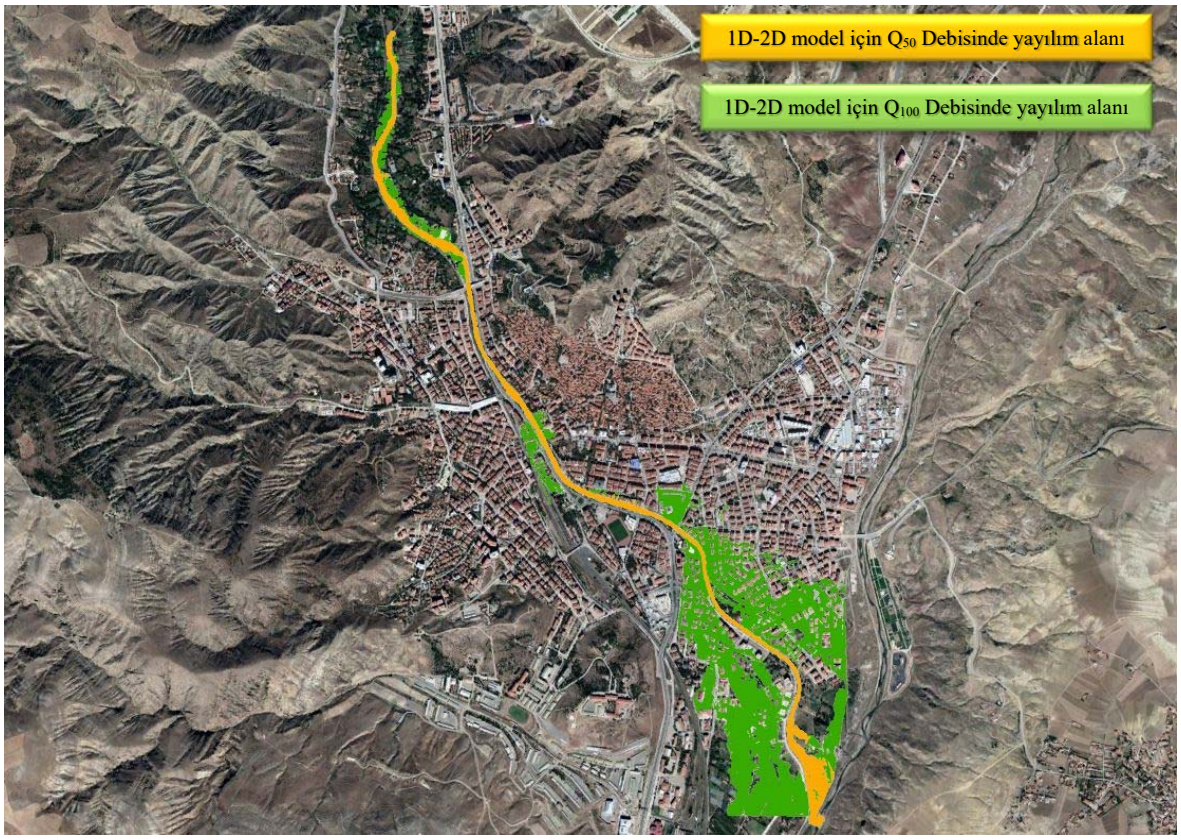
Resim 7.4. Tatlıçay Deresi üzerindeki keskin dönüş

Kırsal kısımda yapıların az olması ve yayılmaların çok büyük alanlarda oluşmamasından dolayı buradaki zararların sadece mal kaybı şeklinde oluşması beklenmektedir.

Mevcut durumda (Senaryo 1) yaşanan problemlerin kaynağını tespit etmek amaçlı olarak Senaryo 2, 3 ve 4'te kademeli olarak köprülerle alakalı olarak düzenlemeler yapılmıştır. Köprülerdeki konstrüktif olmayan çelik kaplamaların kaldırılması durumunda (Senaryo 2),

Merkez Mahallesi'nde yaşanan taşmaların önüne geçilmiş ve taşkın yayılım alanlarının buralarda ciddi miktarda azaldığı tespit edilmiştir.

1D-2D modelinin analiz sonuçlarına göre mevcut durumda (Senaryo 1) 50 yıl tekerrüründe oluşacak olan taşkında (Q_{25}: 165.62 m^3/s) fazla bir taşma yaşanmaz iken, 100 yıl tekerrüründe oluşacak taşkında (Q_{50}: 209.49 m^3/s) geniş alanlarda derin suların oluşması da dikkatle incelenmesi gereken bir diğer konudur (Şekil 7.83.). Debinin yaklaşık olarak %27 artması ile Abdülhalikrenda Mahallesi'nin neredeyse yarısına yakını sular altında kalmıştır.

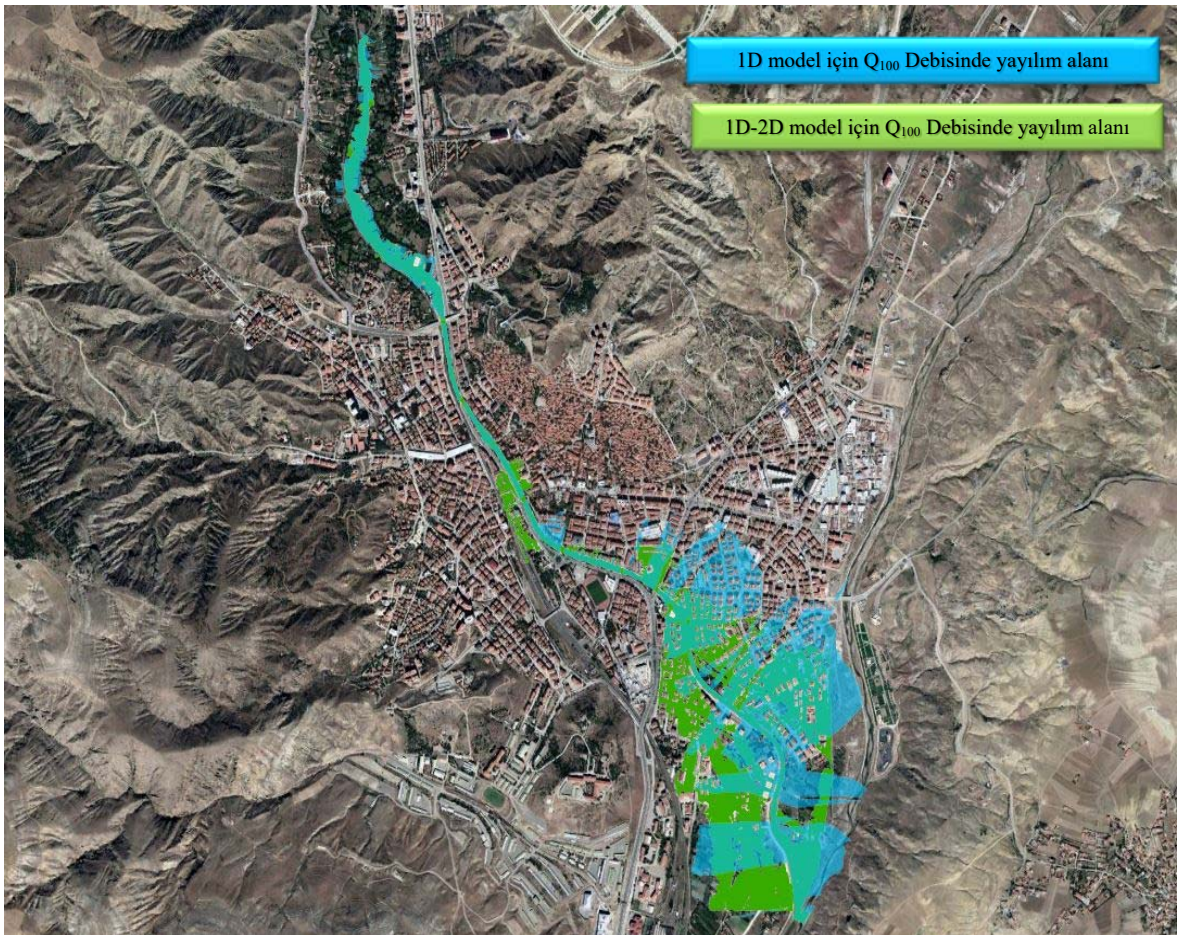


Şekil 7.83. 1D-2D model için Q_{50} ve Q_{100} debileri için taşkın yayılım alanları (Senaryo-1)

Sorunlu köprülerin tamamının kaldırılması (Senaryo 4) ile yapılan analizde ise taşkın alanları yaklaşık 5'te birine düşmüştür. Bu durum köprülerde meydana gelen şişmelerin akımın kanal dışına çıkmasına ve şehir içinde yayılmalara neden olduğu sonucunu bir kez daha ortaya koymaktadır.

1D analizlerinde mevcut durumda (Senaryo 1) için elde edilen yayılım alanı miktarı (790 895 m^2) 1D-2D ile kıyaslanınca (606 360 m^2) her ne kadar birbirine yakın değerler elde

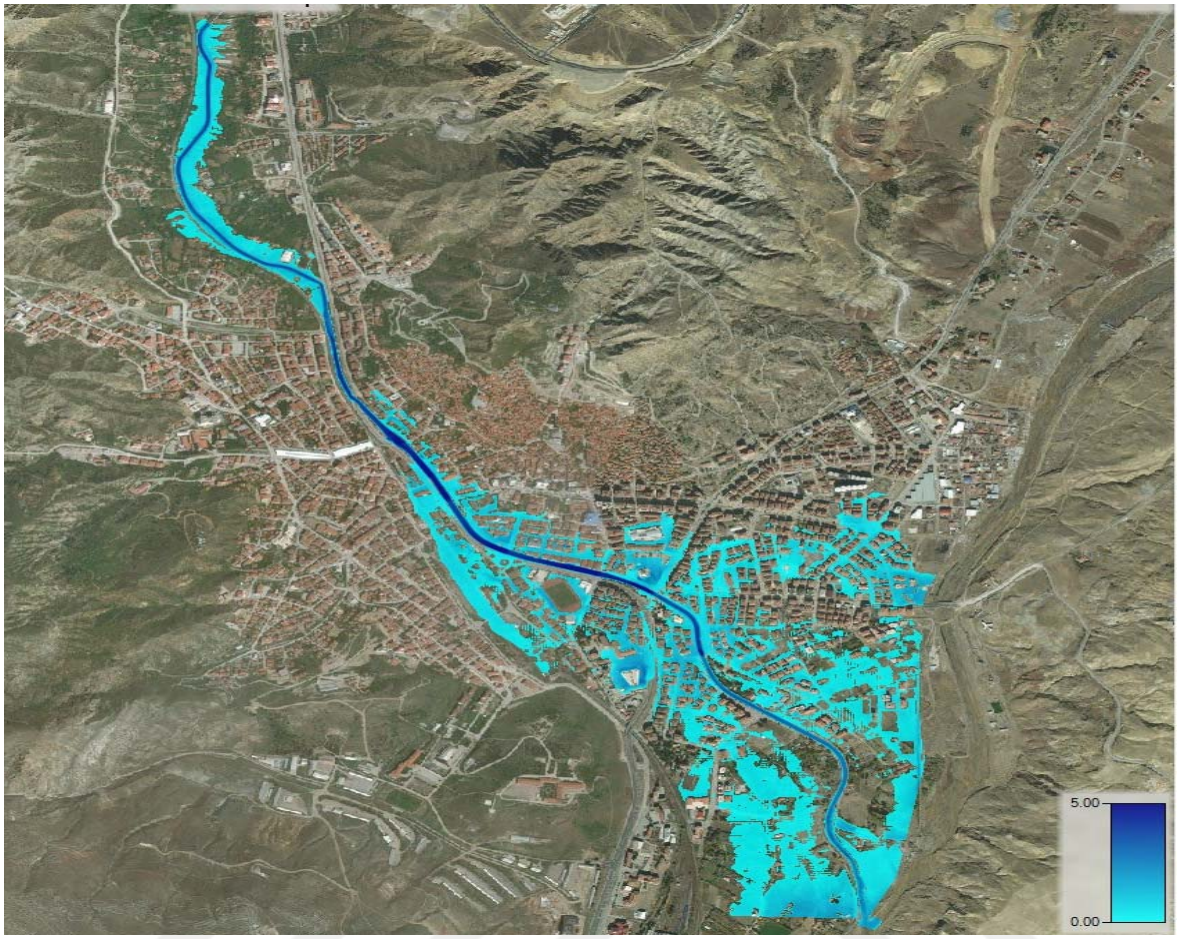
edildiği ve 1D modelin 1D-2D modele alternatif olarak kullanılabileceği sonucu edilebiliyor olsa da yayılım alanları çakıştırılarak incelendiğinde, bazı kısımlarda çok farklı alanların sular altında kaldığı ve 1D modelin 1D-2D modelle uyumsuz olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 7.84.).



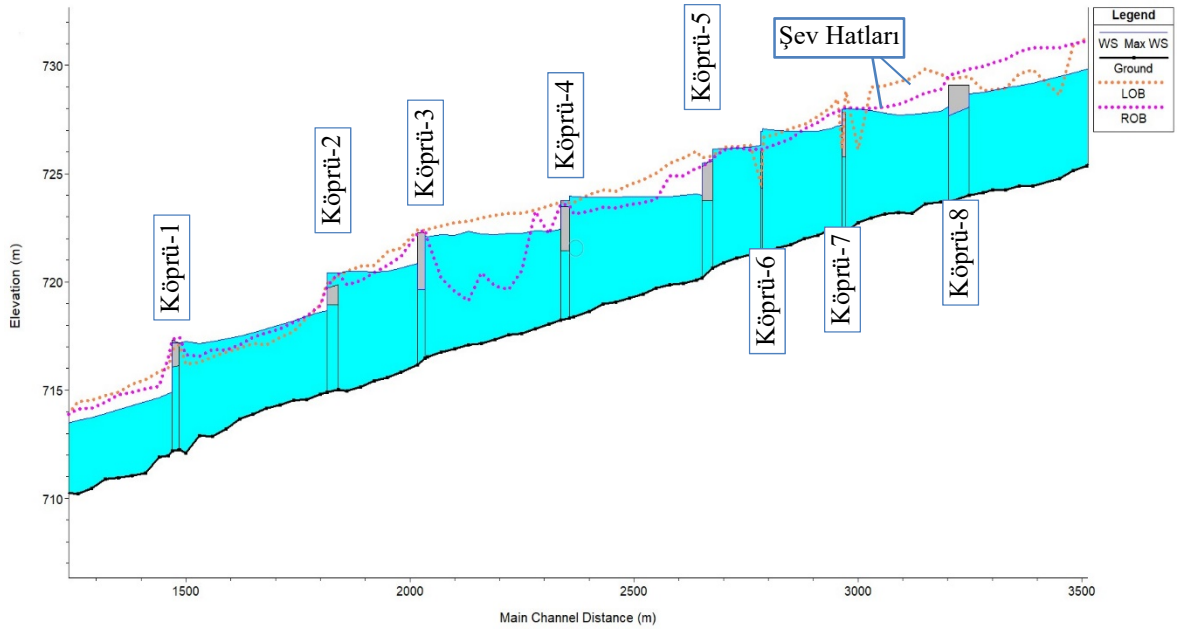
Şekil 7.84. 1D ve 1D-2D modelleri için Q_{100} debisi taşkın yayılım alanları (Senaryo 1)

7.5.4. 500 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{500}) için 1D-2D analiz sonuçları

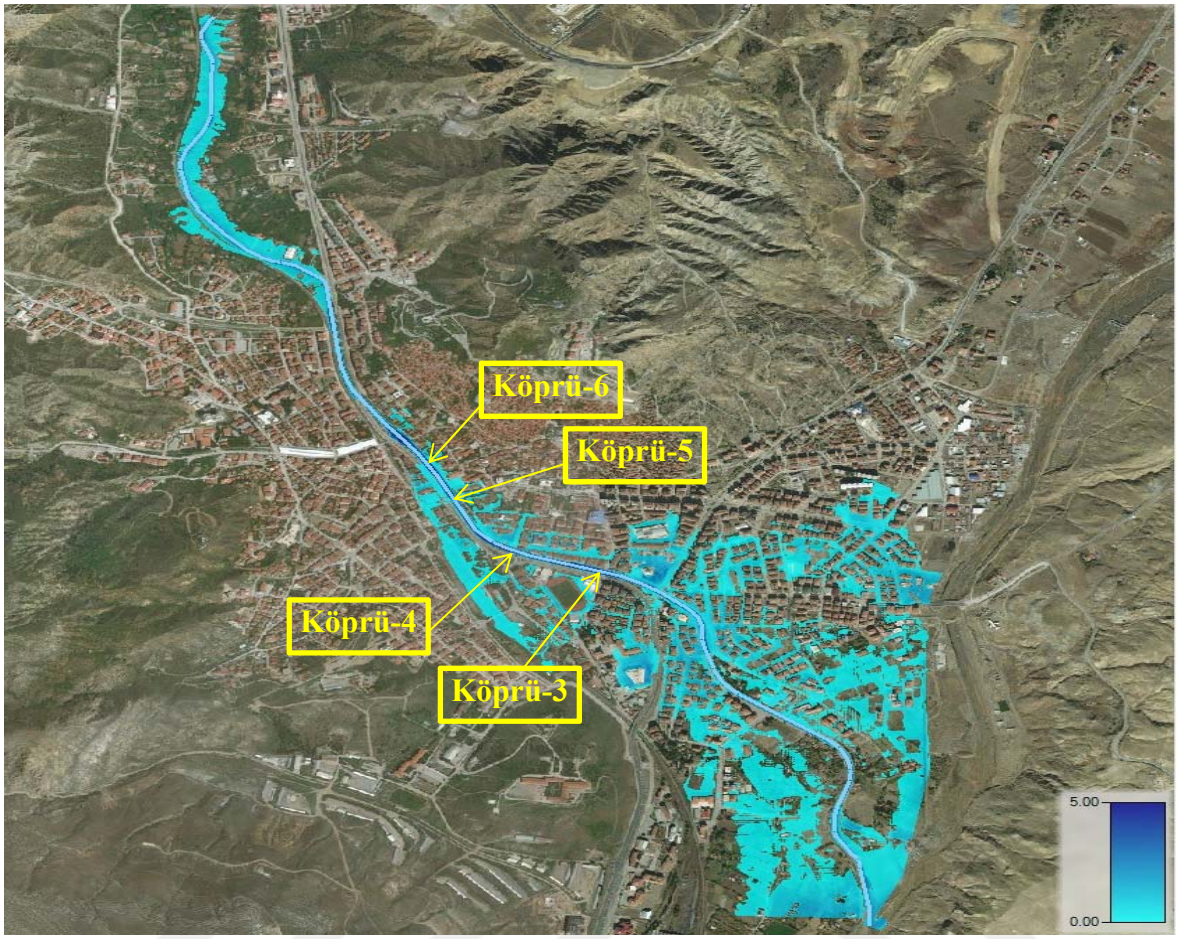
Q_{100} taşkın debisinde derenin bazı kısımlarında ciddi miktarlarda taşmalar ve yayılmalar olmuş (membadaki kırsal kesimde ve Abdülhalikrenda Mahallesi'nde), Merkez Mahallesi'nde ise su seviyeleri kesitlerde epey yükselmiş ama ana kanalın dışına taşmamıştır. Bu durum daha yüksek tekerrürlü debilerde (Q_{500} ve üstü gibi) daha geniş taşkın yayılımların olabileceğini göstermiştir. Aşağıda 500 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{500}) ve senaryolar için elde edilen plan ve profil sonuçları verilmiştir (Şekil 7.85, Şekil 7.86, Şekil 7.87, Şekil 7.88, Şekil 7.89, Şekil 7.90, Şekil 7.91 ve Şekil 7.92).



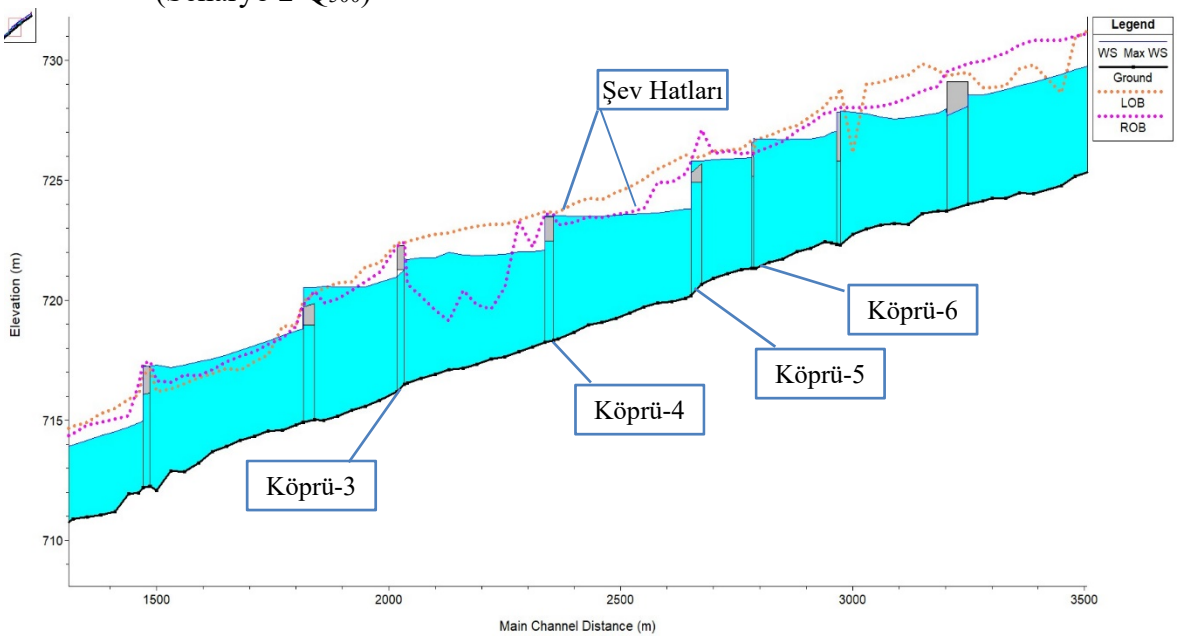
Şekil 7.85. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 1-Q_{500})



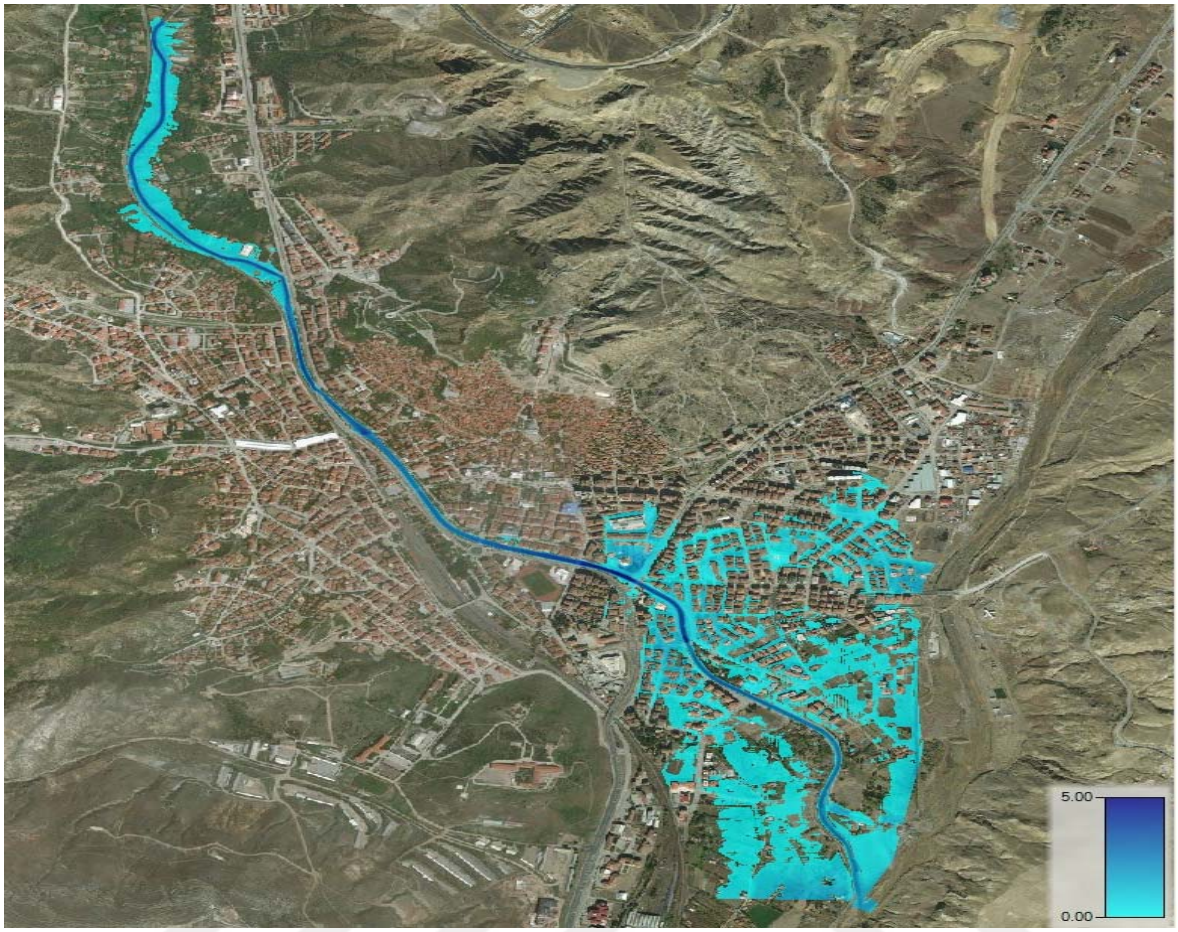
Şekil 7.86. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde mevcut durumda Q_{500} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 1-Q_{500})



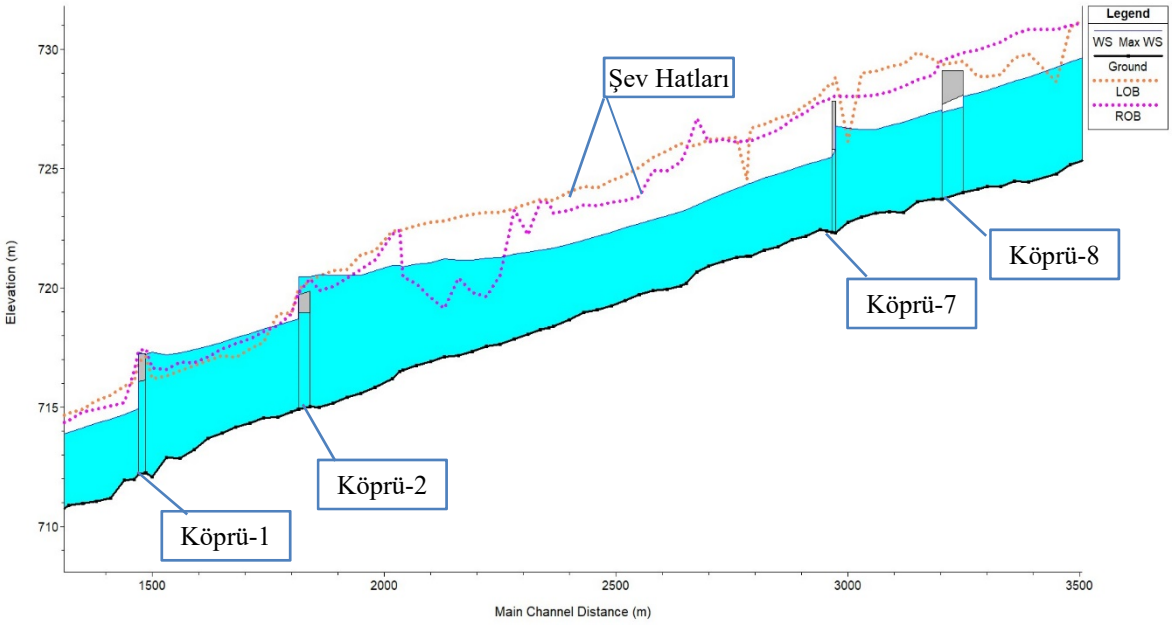
Şekil 7.87. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin düzenlenmesi ile Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre derecelendirilmesi (Senaryo 2-Q_{500})



Şekil 7.88. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin düzenlenmesi neticesinde Q_{500} taşkın debisi için köprü olan kısımlarda elde edilen su yüzü profili (Senaryo 2-Q_{500})

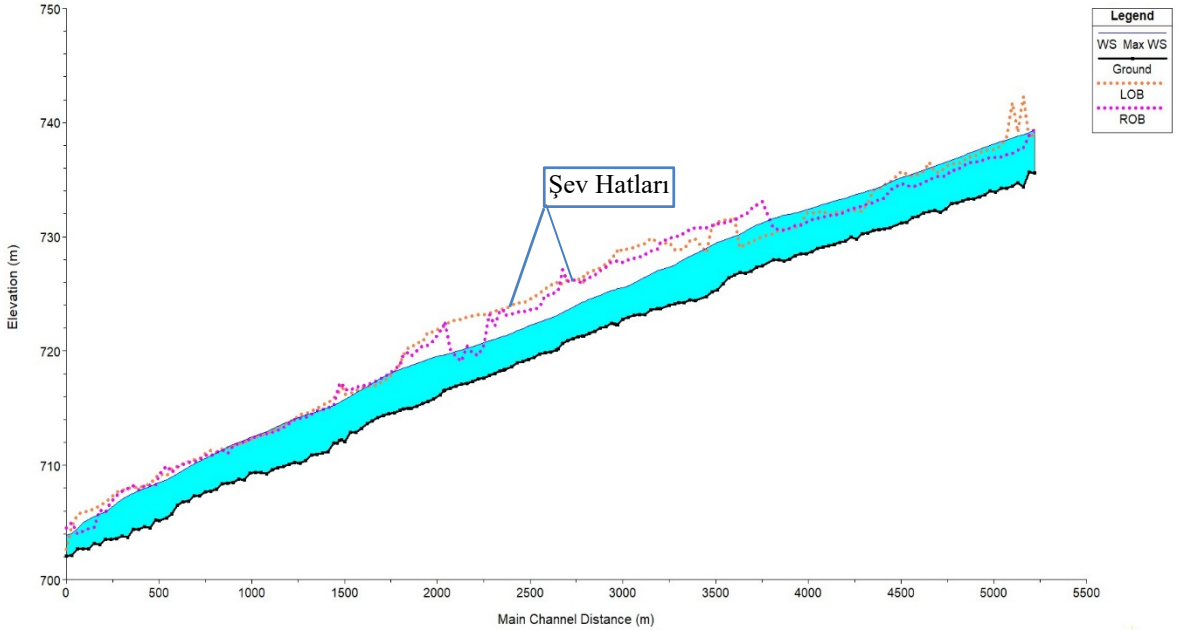


Şekil 7.89. HEC-RAS 1D-2D'de sorunlu köprülerin kaldırılması ile Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 3-Q_{500})



Şekil 7.90. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde sorunlu köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{500} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 3-Q_{500})

Şekil 7.91. HEC-RAS 1D-2D'de mevcut köprülerin tümünün kaldırılması ile Q_{500} taşkın debisi için elde edilen yayılım planının su derinliğine göre görüntüsü (Senaryo 4-Q_{500})



Şekil 7.92. HEC-RAS 1D-2D modellemesinde tüm köprülerin kaldırılması neticesinde, Q_{500} taşkın debisi için elde edilen su yüzü profili (Senaryo 4-Q_{500})

Birleştirilmiş HEC-RAS 1D-2D modelinde Q_{500} debisinin gelmesi durumunda taşkına maruz kalan alanlar ile taşkından etkilenen yapı sayısı Çizelge 7.18 ve Çizelge 7.19'da verilmiştir.

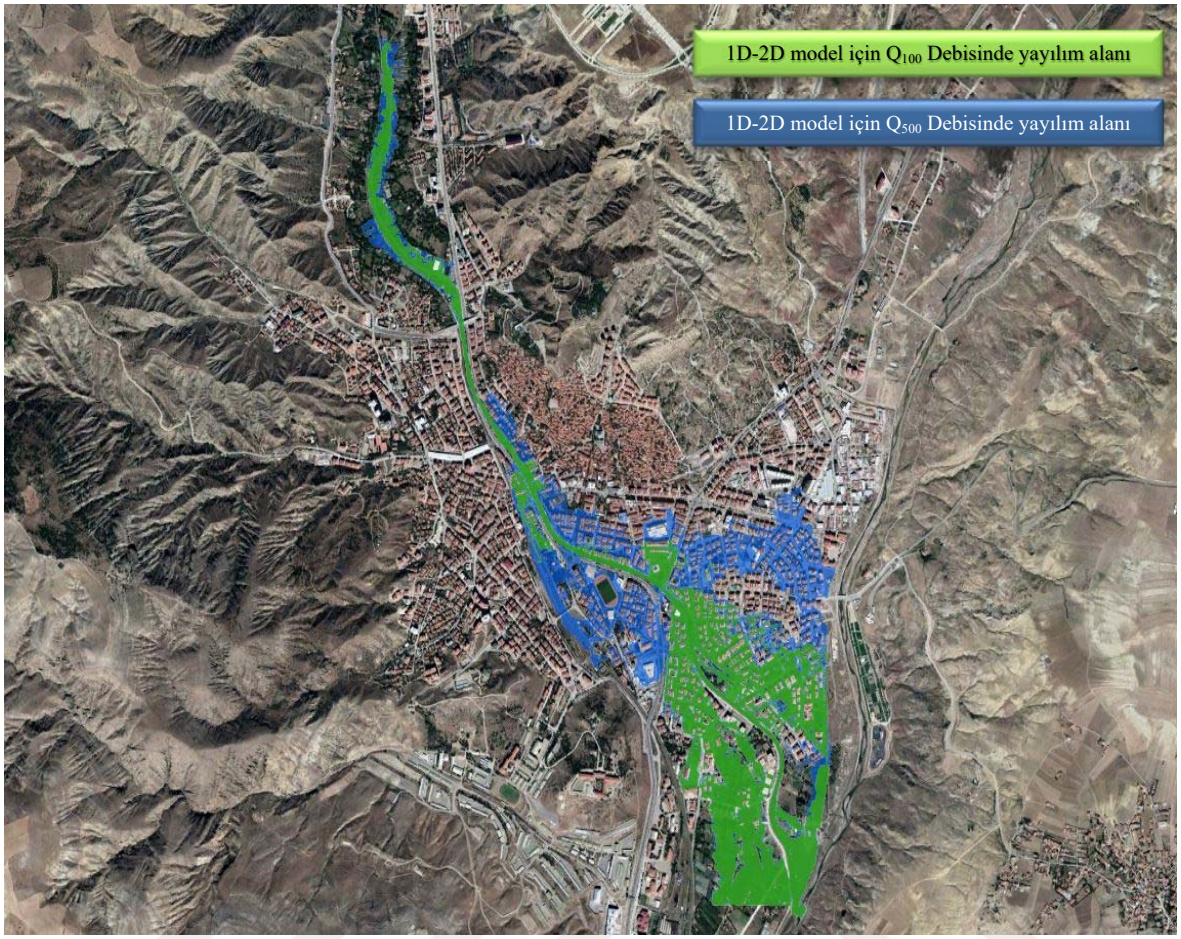
Çizelge 7.18. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{500} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{500}	1 176 280,7	1 138 922,1	947 279,2	520 675,2

Çizelge 7.19. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesinin Q_{500} debisi için yapılan analizleri sonucu Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları

Tekerrür Yılı	Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{500}	1187	1140	856	409

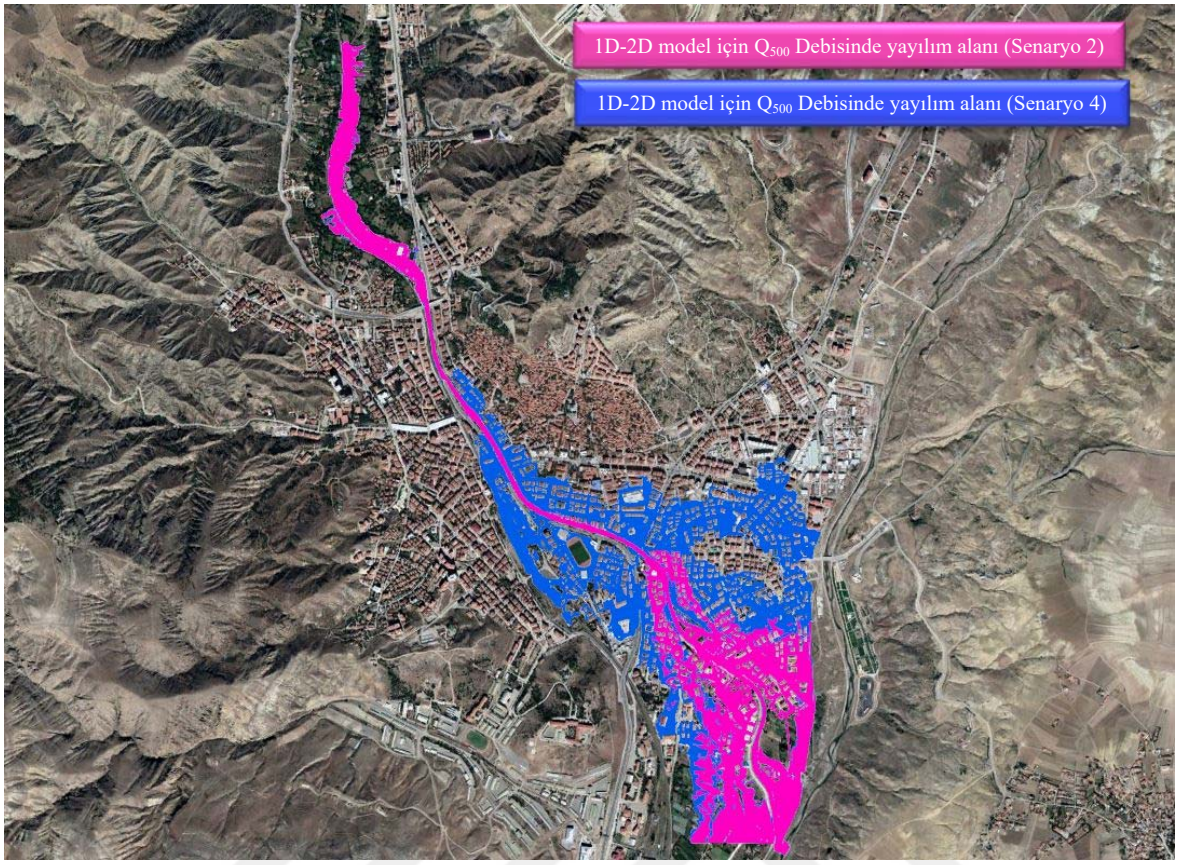
1D-2D modelinin analiz sonuçlarına göre mevcut durumda (Senaryo 1) 500 yıl tekerrürlü taşkın debisi (Q_{500}:290.73 m^3/s) yayılım alanı (1 176 280. 70 m^2) 100 yıllık taşkın debisi (Q_{100}: 209.49 m^3/s) ile oluşan yayılım alanına (606 360,40 m^2) kıyasla neredeyse yaklaşık iki kat (Senaryo 1 için 1.94 kat) artmıştır. Debinin %39 artmasıyla taşkın yayılım alanının iki katına çıkmasından dolayı yerleşim yerlerinin büyük bir kısmı sular altında kalmıştır. 100 ve 500 yıl tekerrürleri için elde edilen çakıştırılmış yayılım alanları Şekil 7.93.'da verilmiştir.



Şekil 7.93. 1D-2D modelinde Q_{100} ve Q_{500} debileri için taşkın yayılım alanları (Senaryo-1)

Burada yayılım alanların artmasının yanı sıra analiz sonuçlarında elde edilen su derinlikleri de Q_{100} debisinde elde edilen derinliklere göre artmış, 1.50 m'yi geçen su derinlikleri tespit edilmiştir. Bu durum olası bir taşkında (500 ve üzeri tekerrüründeki taşkın debileri için) birçok yapının bodrum ve ilk katlarının sular altında kalacağını göstermektedir.

Merkez Mahallesi'ndeki taşmalar incelendiğinde, köprülerdeki konstrüktif olmayan çelik kaplamaların kaldırıldığı senaryoda (Senaryo 2) ana kanaldan taşmaların engellenemese de sorunlu köprülerin tamamen kaldırılması (Senaryo 4) ile birlikte büyük oranda taşmaların önüne geçilmiştir (Şekil 7.94). Merkez Mahallesi'nin üst kısımlarında kalan kırsal bölgelerde ise taşmanın nedeni ana kanal kapasitesinin yetersiz oluşu ve dere güzergâhındaki ani dönüş olarak belirlendiği için bu kısımlarda köprülerin kaldırılması taşkını engellememiştir.



Şekil 7.94. 1D-2D modellinde Q_{500} debisi için taşkın yayılım alanları (Senaryo-2/Senaryo 4)

Abdülhalikrenda Mahallesi'nde ise köprülerin tamamen kaldırılması ile taşkın yayılım miktarı bu bölge için yarı yarıya düşse (1 176 280,70 m^2'den 520 675,20 m^2'ye) de yine bu mahallenin önemli bir kısmı su altında kalmıştır. Öte yandan, 500 yıl tekerrüründeki taşkın debisi (Q_{500}) için de bütün köprülerin kaldırılması ile taşkın alanlarında kayda değer bir azalma tespit edilmesine rağmen yayılımın tamamen engellenmemesi, ana kanaldan taşma sebebinin (özellikle membadaki kırsal kesim ve Abdülhalikrenda Mahallesi için) sadece köprüler olmadığı ve hiçbir köprü olmasa dahi taşkının ana yataktan çıkarak şehre doğru yayıldığı sonucu elde edilmiştir. Buna ek olarak, bu modeller yapılırken, köprülerde akım alanının hiçbir şekilde tıkanmadığı varsayımı yapılmaktadır. Bu durum köprülerin çok gözlü olduğu zamanlarda gerçek durumu yansıtmayabilir (Şekil 7.95.).

Şekil 7.95. Kırklareli ilinde bulunan taşkın için büyük risk oluşturabilecek çok gözlü bir köprü (Milliyet, 2017)

Köprü gözleri hızlı gelen akımla birlikte gelen katı malzemelerle dolabilir ve çok daha vahim tablolarla da karşılaşmak mümkündür (Şekil 7.96.). Nitekim birçok deredeki taşmaların sebebinin köprü gözlerinin tıkanması olduğu da bilinen bir gerçektir. Bu sebeplerden ötürü her ne kadar yapılan hidrolik analizlerde köprülerin tıkanmadığı varsayımı yapılsa da taşkın anında köprülerin tıkanma riskinin olduğu iyi bilinmeli, mümkün olduğunca akıma müdahale etmeyecek şekilde köprü tasarımları yapılmalıdır.

Şekil 7.96. Taşkın anında akıma büyük bir engel oluşturabilecek gözleri tıkanmış bir köprü (Kasalak, 2010)

Köprü tıkanmalarının önüne geçmek için alınabilecek bütün tedbirler alınmalıdır. Yukarı havza çalışmaları kapsamında rüsubat tutucu bent, gölet ve baraj yapılarının yapılması, dereye hiçbir şekilde çöp atılmaması, düzenli periyodlarla derede gözlem ve ıslah çalışmalarının yapılması ve biriken rusubatların temizlenmesi, alınabilecek belli başlı tedbirlerdir. Olası bir taşkında yıkılması beklenen köprüler de büyük taşkınlara yol açabilir. Çünkü köprüler yıkıldıktan sonra tamamen akıma set oluşturacak ve mansaba doğru ana kanalda ilerleyemeyen akım şehre yayılarak büyük risklerin oluşmasına yol açacaktır. Bu tarz riskli bir köprü tespit edilirse, hemen yıkılmalı ve ihtiyaç durumuna göre yerine daha güvenli olan ve mümkünse tek açıklıkla geçilen bir köprü inşa edilmelidir.

7.6. Senaryolara Göre Analizi Yapılan HEC-RAS 1D ve 1D-2D Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Daha önce anlatılan senaryolar dâhilinde yapılan HEC-RAS 1D ve birleştirilmiş 1D-2D model sonuçları karşılaştırıldığında oldukça farklı sonuçlar elde edilmiştir. Çankırı Tatlıçay Deresi'nde senaryolara göre yapılan HEC-RAS 1D ve birleştirilmiş 1D-2D HEC-RAS modellemelerinin analizleri sonucunda Q_{25}, Q_{50}, Q_{100} ve Q_{500} debileri için elde edilen taşkın

alanları ve taşkından etkilenen yerleşimlere ait değerler karşılaştırmalı olarak Çizelge 7.20 ve Çizelge 7.21'de verilmiştir.

Çizelge 7.20. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesi sonucunda Çankırı ilinde taşkın altında kalan alanlar

Tekerrür Yılı ve Analiz Türü		Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{25}	1D-2D 1D	5 250,5 6 618,4	5 250,5 6 618,4	5 250,5 6 618,4	5 250,5 6 618,4
Q_{50}	1D-2D 1D	36 839,5 365 686,0	35 801,1 365 217,2	35 801,1 364 664,9	35 801,1 360 398,4
Q_{100}	1D-2D 1D	606 360,4 790 895,1	559 365,5 784 630,9	559 365,5 776 518,8	109 958,7 776 149,3
Q_{500}	1D-2D 1D	1 176 280,7 956 588,9	1 138 922,1 954 731,8	947 279,2 916 639,3	520 675,2 907 589,3

Çizelge 7.21. Çalışılan senaryolara göre oluşturulan HEC-RAS 1D-2D modellemesi sonucunda Çankırı ilinde taşkından etkilenen yerleşim birimi sayıları

Tekerrür Yılı ve Analiz Türü		Senaryo 1: Mevcut Durumda Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 2: Sorunlu Köprüler Düzenlendiğinde Taşkın Alan (m^2)	Senaryo 3: Sorunlu Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)	Senaryo 4: Tüm Köprüler Kaldırıldığında Taşkın Alanı (m^2)
Q_{25}	1D-2D 1D	- -	- -	- -	-
Q_{50}	1D-2D 1D	12 291	12 249	12 244	12 244
Q_{100}	1D-2D 1D	598 757	475 650	475 595	117 559
Q_{500}	1D-2D 1D	1187 851	1140 796	856 727	409 699

Çizelge 7.20'de ortaya konan sonuçlar incelendiğinde 1D modelinde Q_{100} debisi için Senaryo-1'e göre elde edilen taşkın alan değeri 790 895,10 m^2, tüm köprülerin kaldırılması (Senaryo-4) durumunda yaklaşık %2 azalarak 776 149,30 m^2 olmuştur. Aynı şekilde 1D modelinde Q_{500} debisi için ise Senaryo-1'e göre elde edilen taşkın alan değeri 955 588,90 m^2, Senaryo-4 durumunda yaklaşık %6 azalarak 776 149,30 m^2 olmuştur. 1D-2D modeli

analizleri incelendiğinde ise Q_{100} debisi için Senaryo-1'e göre elde edilen taşkın alan değeri 606 360,40 m^2, Senaryo-4 durumunda yaklaşık %82 azalarak 109 958,70 m^2 olmuştur. Yine 1D-2D modeline göre Q_{500} debisi için ise Senaryo-1'e göre elde edilen taşkın alan değeri 1 176 280,7 m^2, Senaryo-4 durumunda yaklaşık %55 azalarak 520 675,2 m^2 olmuştur.

Taşkının etkilediği yerleşim birimleri için Çizelge 7.21 incelendiğinde 1D modelinde Q_{100} debisi için Senaryo-1'e göre taşkından etkilenen yapı sayısı 757 iken, tüm köprülerin kaldırılması (Senaryo-4) durumunda yaklaşık %26 azalarak 559 olmuştur. Aynı şekilde 1D modelinde Q_{500} debisi için taşkından etkilenen yapı sayısı 851 iken, Senaryo-4 için bu değer %18 azalarak 699 olmuştur. 1D-2D modeli analizleri incelendiğinde ise Q_{100} debisi için Senaryo-1'e göre taşkından etkilenen yapı sayısı 598 iken, tüm köprülerin kaldırılması (Senaryo-4) durumunda yaklaşık %80 azalarak 117 olmuştur. Yine 1D-2D modeline göre Q_{500} debisi için ise Senaryo-1'e göre 1187 olan taşkından etkilenen yapı sayısı, (Senaryo-4) durumunda yaklaşık %65 azalarak 409 olmuştur.

Çizelge 7.20 ve Çizelge 7.21'de verilen Senaryo-1 ve Senaryo-4 sonuçlarına göre taşkın alanı-taşkından etkilenen yerleşim sayısı değişimleri incelendiğinde 1D model için tutarsız sonuçlar elde edilirken, 1D-2D model için birbirine oldukça yakın oranda sonuçlar bulunmuştur. HEC-RAS programı 1D model için yaptığı analizlerde kesitler arasında enerjinin korunumu esasına dayalı bir çalışma ile hesaplama yapmakta ve ana kanal içerisinde kalan akımın yayılımını göstermektedir. Ana yatak dışarısına çıkan akımın yayılımı ise tek yönlü irdelendiğinden elde edilen yayılım alanları süreklilik göstermemektedir. 2D modeller ise piksel bazında çalışarak bütün araziyi hesap dâhilinde incelemektedir. Bu sebeple mevcut durumun analiz edildiği Senaryo -1 ile dere üzerindeki tüm köprülerin kaldırıldığı durum olan Senaryo-4 sonuçları kıyaslandığında taşkın alanı ve taşkından etkilenen yerleşim birimleri sayısında 1D modelde önemli bir azalma gözlemlenmezken (Q_{500} için taşkın alanında %6, taşkından etkilenen yerleşim sayısında %18), 1D-2D modelde taşkının azalması adına önemli bir fark görülmüştür (Q_{500} için taşkın alanında %55, taşkından etkilenen yerleşim sayısında %65). Her iki model için bulunan sonuçlar incelenirken Tatlıçay Deresi etrafında bulunan yerleşim birimlerinin konum açısından her yerde aynı oranda ve aynı sıklıkta dağılım göstermediği unutulmamalıdır.

Bir boyutlu modellemeler derenin ana yatağının hidrolik açıdan yeterliliğini belirlemede uygun bir yaklaşım olmasına rağmen, akımın ana yatak dışına çıkması durumunda doğru

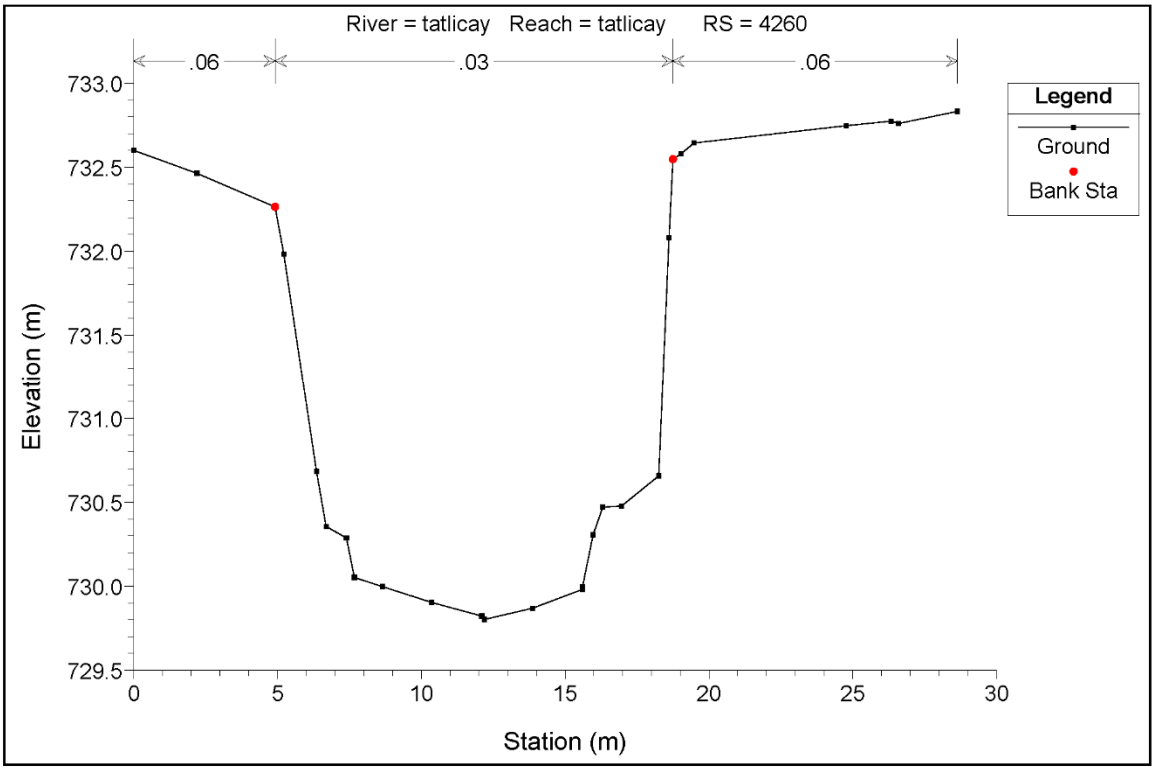
sonuçlar vermemektedir. Bir boyutlu modeller kesitler arası çalışarak olmayan kısımları enterpole ederken, iki boyutlu modeller hücre bazında çalışarak modellenen arazinin tümünü hesaba katar (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017).

Sonuç olarak 1D ve 1D-2D analizlerinde elde edilen yayılım alanlarını, asgari taşkın yayılım alanları olarak değerlendirilmeli ve olası taşkınlar için buna göre tedbirler alınmalıdır.

7.7. Model Kalibrasyonu

Yapılan analiz çalışmalarının kalibrasyonu için " ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI" bölümünde 2015 yılında gelen taşkına ait olan Resim 3.2'den faydalanılmıştır. Resim 3.2 olarak verilen görüntü Merkez Mahallesi'nin üst kısmında bulunan kırsal bölgeden alınmış olup, tez kapsamında belirlenen güzergâhın yaklaşık olarak Km: 4+260.00 en kesitine karşılık geldiği görülmüştür. Bu resim incelendiğinde 2015 yılında gerçekleşen taşkında Km: 4+260.00'daki kesitin taşkını ana yatak şev üst kotlarından yaklaşık 30 cm aşağıda kısmen dolu şekilde geçirdiği görülmüştür.

2015 yılında gelen taşkın debisinin bu tez kapsamında hesaplanmış olan debilerden hangi tekerrürdeki yıla karşılık geldiği ya da hangi iki tekerrürlü debi arasında kaldığının belirlenmesi ve su kotu hesabı bu bölümde yapılmıştır. Bu hesabın yapılabilmesi için HEC-RAS Km: 4+260.00'daki kesit (Şekil 7.97) alınarak AutoCAD programına aktarılmıştır. AutoCAD programına alınan kesitte, derenin ana yatak kısmı 2015 yılında gelen taşkının oluşturduğu su yüksekliği ile dolu olacak şekilde taranmıştır. Taranan alan değeri A= 28,75 m^2 ve ıslak çevre değeri P= 16,11 m olarak elde edilmiştir. Kesitin bulunduğu kesimdeki kanal eğimi J= 0.0048 m/m dir. Bu kısımda pürüzlülük katsayısı, Ven Te Chow'un kanal pürüzlülüğü için oluşturduğu tablodan "sahilleri düz ve sağlam, çok fazla nebat büyümesi olmayan" kanallar için yaptığı tarife uyarak (Chow, 2006) n = 0.030 olarak alınmıştır.

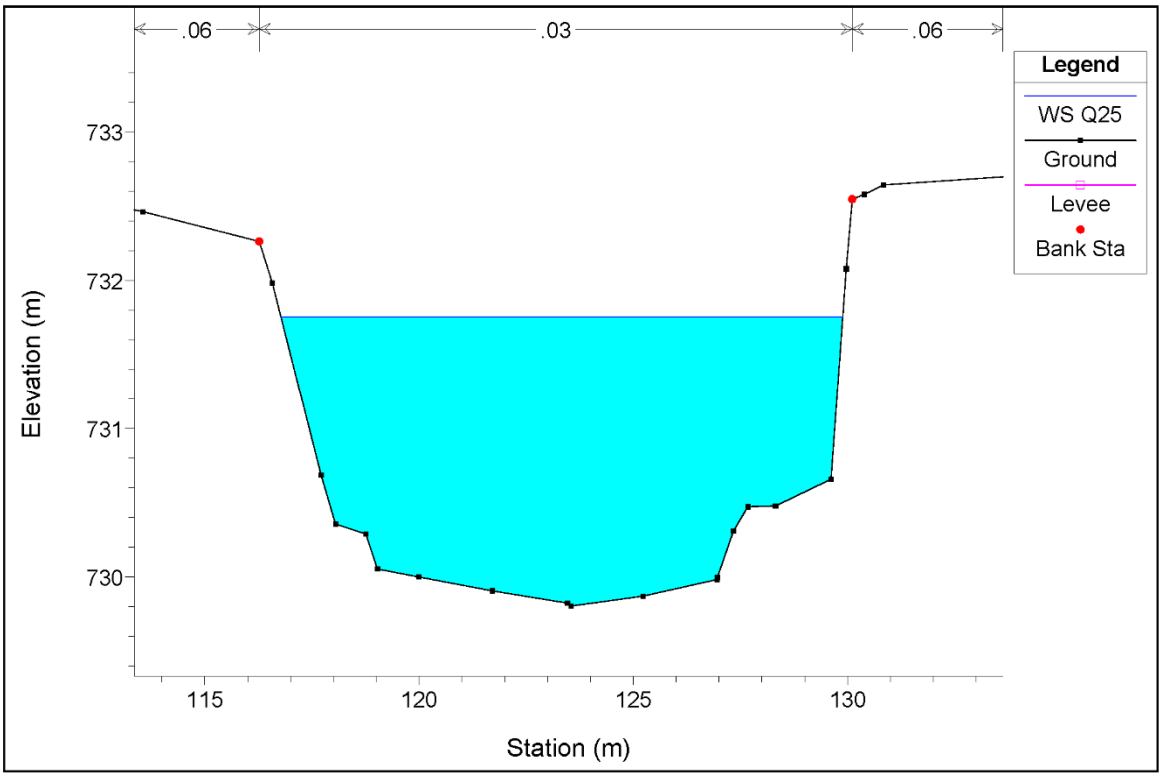


Şekil 7.97. Tatlıçay Deresi'nin HEC-RAS'tan alınmış Km=4+260.00 en kesiti

Kanalın taşıdığı debi miktarını bulabilmek için Denklem 7.1'de gösterilen Manning eşitliğinden faydalanılmıştır.

$$Q = \frac{A}{n}\left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}}\sqrt{J} \tag{7.1}$$

Verilen değerler denklemde yerine konduğunda kanalın taşıdığı debi değeri Q = 97,68 m^3/s olarak elde edilmiştir. Tez çalışmasında DSİ Sentetik Yöntemi ve BTFA için bulunan değerler ile kıyaslandığında bu değerin Q_{25} debisinden daha düşük ~~az yıldaki~~ tekerrürlü bir debi olduğu görülmüştür. Modelin kalibrasyonu için Q = 97.68 m^3/s debi değeri HEC-RAS programına veri olarak girilip 1D model analizi yapıldığında Km:4+260.00'da Şekil 7.98'daki görüntü elde edilmektedir. Şekil 7.98'deki 1D modelden elde edilen su kotları 2015 yılındaki taşkın değeriyle uyumlu bir sonuçtur ve model parametrelerinin doğruluğunu göstermektedir. Tez kapsamında yapılan analiz sonuçlarına göre Q_{25} = 130,11 m^3/s debisinin gelmesi durumunda Merkez Mahallesi'nin üst kısmında bulunan kırsal kesimde (Km: 4+260.00 civarında) 30-40 cm yersel taşmalar gözlemlenmiştir.



Şekil 7.98 HEC-RAS'ta Q=97,68 m^3/s değeri Km=4+260.00 'de bulunan su yüksekliği görünütüsü

8. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında Çankırı ili Merkezinden geçen Tatlıçay Deresi'nin çeşitli tekerrürdeki taşkın debileri (Q_{25}, Q_{50}, Q_{100}, Q_{500}) için hidrolik analizler yapılmıştır. Tezin ilk kısmında, Arc-GIS programı yardımıyla elde edilen havza parametreleri kullanılarak DSİ Sentetik ve Bölgesel Taşkın Frekans Analizi (BTFA) yöntemleri ile taşkın debileri belirlenmiştir. Taşkın debilerinin belirlenmesinin ardından, Civil 3D programında modellenen topoğrafik veriler HEC-RAS programına aktarılmıştır. HEC-RAS programında 16 adet bir boyutlu model (1D) ve 16 adet birleştirilmiş bir ve iki boyutlu (1D-2D) model olmak üzere toplam 32 adet farklı model ve çeşitli tekerrürdeki taşkın debileri için yayılım alanları belirlenmiştir. Tezin son kısmında ise elde edilen yayılım alanları her iki farklı model için (1D ve 1D-2D) karşılaştırılmıştır.

Tez kapsamında elde edilen önemli sonuçlar aşağıda madde madde belirtilmiştir.

- Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile hesaplama zamanı çok kısalmış, havza parametreleri doğru bir şekilde belirlenmiştir.

- Havzaya ait en uygun taşkın debi hesaplama yöntemleri DSİ Sentetik ve Bölgesel Taşkın Frekans Analizi (BTFA) olarak belirlenmiştir. Her iki yöntem için farklı tekerrürlü taşkın debileri arasında %1,84 ile %5.52 arası değişen değerlerde farklılık hesaplanmıştır. Güvenli tarafta kalınarak BTFA yöntemiyle elde edilen sonuçlar analizler için kullanılacak taşkın debileri olarak belirlenmiştir.

- Bu tez kapsamında 1D çözücüsü tüm model alanını 1 dakikadan daha kısa bir sürede analiz ederken, 1D-2D birleşiminin model çözücüsünün her bir senaryodaki her bir debinin analizini gerçekleştirmesi yaklaşık 4-6 saat sürmüştür.

- 1D-2D birleştirilmiş model oluşturabilmek için hem 1D hem de 2D geometrilerin kurulması ve aradaki bağlantının belirlenmesi gereklidir. 1D-2D birleştirilmiş model, saf 1D veya 2D modellerine kıyasla daha fazla parametre gerektirmektedir.

- Akımın ana yatağı terketmeden tam dolu olarak aktığı durumlarda 1D analiz sonuçları ile 1D-2D analiz sonuçları aynı olmaktadır. 1D analizi daha kısa sürede sonuçlandığından, bu tür durumlarda 1D analizinin tercih edilmesi daha uygun olmaktadır.

- Tatlıçay Deresi'nin 1D modelindeki stabilite sorunları genellikle enine kesitler arasındaki mesafeler ile ilgilidir. HEC-RAS 1D modelinin stabilite ve analizi ile alakalı yayınlanmış kapsamlı birçok doküman ve çalışma mevcut olduğundan, 1D ile alakalı sorunların üstesinden gelmek nispeten daha kolay olmuştur.

- 1D-2D modeli analiz edilirken belirlenen zaman adımı daha yüksek bir zaman değeri seçilmesi durumunda daha az süre alabilmesine karşın, stabilite problemine (model kararlılığı) yol açtığından küçük zaman aralığı seçilmiştir.

- Birleştirilmiş 1D-2D modelinde 2D alanları meydana getiren hücre boyutlarının optimum bir şekilde belirlenmesinin önemli olduğu görülmüştür. Tez kapsamında 2D alanı temsil eden hücre boyutları 5m*5m, 8m*8m ve 15m*15m boyutları seçilerek çalışmalar yapılmıştır. 5m*5m seçildiğinde doğru sonuçlar alınmasına karşın analizlerin sonuçlanması uzun zaman almış, 15m*15m seçildiğinde ise modelin kararlılığı sağlanamamıştır. En uygun boyut olarak 8m*8m boyutları seçilmiş ve 5m*5m lik boyutlarda elde edilen sonuçların doğruluğuna daha kısa zamanda ulaşılmıştır.

- Tatlıçay Deresi için yapılan HEC-RAS 1D modellemesi ele alındığında Q_{25} (130,11 m^3/s) debisine göre yapılan analizlerde şehir yerleşiminin yoğun olduğu Km: 0+750.00 ile Km: 3+750.00 arasında kalan bölgede herhangi bir taşma gözlenmemiş olup, yalnızca Merkez Mahallesi'nin üst kısmında bulunan kırsal bölgede ve Tatlıçay Deresi'nin Acıçay Deresi'ne mansaplandığı kısma yakın bölgede banket noktalarını 30~40 cm aşacak şekilde yerel taşkınlar görülmüştür. Genel olarak kanal kapasitesinin Merkez Mahallesi'nde yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

- HEC-RAS 1D modellemesinde Q_{50} (165,62 m^3/s) debisine göre yapılan analizlerde Q_{25} debisine göre hesaplanan akım yükseklikleri çok farklı olmamasına karşın taşkın alanlarında büyük farklılık gözlemlenmiştir (5 250,50 m^2'den 36839.90 m^2'ye). Analizi yapılan tüm senaryolara göre yalnızca Merkez Mahallesi'nin üst kısmında bulunan kırsal

bölgede ve Tatlıçay Deresi'nin Acıçay Deresi'ne mansaplandığı kısımdan yukarı doğru 1200 m lik kısımda kanal kapasitesinin yetersiz olduğu görülmüştür. Bir boyutlu akımda, kanal şevlerini aşan su derinliklerinin bulunduğu kesitte aynı kottaki noktayı yakalamasından kaynaklı olarak Abdülhalikrenda Mahallesi'nin de düz bir topoğrafyaya sahip olması neticesinde gereğinden büyük taşkın alanları gözlemlenmiştir.

- HEC-RAS 1D modellemesinde Q_{100} (209.49 m^3/s) debisine göre yapılan analizlerde taşkın alanlarının Q_{50} debisi için bulunan alanların en az 2 katına ulaştığı ortaya çıkmıştır. Dere üzerinde bulunan 8 numaralı köprü haricindeki tüm köprülerin hidrolik açıdan yetersiz kaldığı ve arkasındaki akımın kabarmasına neden olduğu görülmüştür. Senaryolarda köprüler üzerinde yapılan düzenlemeler ile 3, 5 ve 6 numaralı köprülerin arkalarındaki kabarmaların önlenebildiği ancak 4 numaralı köprünün yine yetersiz kaldığı sonucuna varılmıştır. Senaryo-3 ve Senaryo-4 için yapılan analizlerde Merkez Mahallesi'nin taşkından korunduğu, ancak diğer kısımlarda bir değişiklik olmadığı anlaşılmıştır.

- HEC-RAS 1D modellemesinde Q_{500} (290,73 m^3/s) debisine göre yapılan analizlerde mevcut durumda (Senaryo-1) Merkez Mahallesi'nin büyük bir bölümü de dâhil olmak üzere çalışılan güzergâh boyunca ana kalan kapasitesinin yetersiz olduğu görülmüştür. Bu debi için yapılan modelleme analizinde Q_{100} debisi için bulunan alanın %21 oranında arttığı ve daha derin ve hızlı akımların şehir içinde meydana oluştuğu tespit edilmiştir. Yine Senaryo-1'e göre dere üzerinde bulunan tüm köprüler taşkın anında hidrolik açıdan yetersiz kalmaktadır. Köprülerdeki konstrüktif olmayan çelik kaplamaların kaldırıldığı (Senaryo-2) durumda akımın köprülerden geçişi açısından olumlu bir durum sağlanamamakta olup, köprülerin kaldırıldığı durumlarda (Senaryo-3 ve Senaryo-4) ise Merkez Mahallesi'ndeki taşmalar önlenebilmiştir.

- Birleştirilmiş HEC-RAS 1D-2D modellemesinde Q_{25} (130,11 m^3/s) debisine göre yapılan analizlerde saf 1D model sonuçlarından da elde edildiği gibi ana kanalın gelen akımı taşıyacak yeterli kapasitede olduğu sonucuna varılmıştır. Tüm senaryolarda ortak olarak taşma yaşanan yerler Merkez Mahallesi'nin kuzeyinde kalan kırsal kesim ve Acıçay Deresi'ne bağlanılan mansap kısmı olarak belirlenmiştir. Bu kısımlardaki taşmalar herhangi bir can ve mal kaybına sebep olmayıp mevcut duvar yüksekliklerinin artırılması ile önlenebilir durumdadır.

- Birleştirilmiş HEC-RAS 1D-2D modellemesinde Q_{50} (165,62 m^3/s) debisine göre yapılan analizlerde tüm senaryolarda ortak olarak taşma yaşanan yerler 25 yıl tekerrürlü debinin gelmesi neticesinde olduğu gibi Merkez Mahallesi'nin kuzeyinde kalan kırsal kesim ve Acıçay Deresi'ne bağlanılan mansap kısmı olarak belirlenmiştir. Mansap kısmındaki yayılma membadaki yayılmaya göre daha geniş çaplıdır. Bunun sebebi, memba kısmında ana kanalın sağ ve sol kısmında yer alan arazinin dik bir yapıda iken mansap kısmında yayvan şekilde olmasıdır.

- Birleştirilmiş HEC-RAS 1D-2D modellemesinde Q_{100} (209.49 m^3/s) debisine göre yapılan analizlerde ana kanalda meydana gelen taşmaların şehir içindeki kısımlarda yayıldığı gözlemlenmiştir. Senaryo 1, 2 ve 3 durumların için yapılan analizlerden elde edilen taşkın simülasyonlarına göre taşkına sebep olan fakötörün 1 ve 2 numaralı köprüler olduğu saptanmıştır. Özellikle 1 numaralı köprü arkasında kabaran su Abdülhalikrenda Mahallesi'nin büyük bölümüne yayılarak bu bölgenin sular altında kaldığını göstermektedir. Bu yayılımlar neticesinde ortalama 1,00-1,50 m aralığında su derinlikleri oluşmuştur. Memba kısmındaki kırsal bölgede dere yatağının tren yolu için daraltıldığı bölümde kanal genişliklerinin 12-13 m'ye kadar düşürülmesi ve karayolu ile derenin kesiştiği kesimde keskin bir dönüş olması da suyun ana kanaldan çıkmasına yol açmaktadır. Kırsal kısımda yapılaşmanın az olması ve yayılmaların çok büyük alanlarda oluşmamasından dolayı buradaki zararların sadece mal kaybı şeklinde oluşması beklenmektedir.

- Birleştirilmiş HEC-RAS 1D-2D modellemesinde Q_{500} (290,73 m^3/s) debisine göre mevcut durum (Senaryo-1) için yapılan analizlerde tüm köprülerin taşkın anındaki hidrolik kapasitelerinin yetersiz kaldığı ve arkalarında kabaran suyun Merkez Mahallesi ve Abdülhalikrenda Mahallesi'nin büyük bölümünü sular altında bıraktığı görülmüştür. Köprü kaplamalarının kaldırıldığı (Senaryo 2) ve sorunlu köprülerin tamamen kaldırıldığı (Senaryo-3) analizlerinde ana kanaldaki taşmalar engellenemese de sorunlu köprülerin tamamen kaldırılması (Senaryo 4) ile birlikte büyük oranda Merkez Mahallesi'ndeki taşmaların önüne geçilmiştir. Tüm köprülerin kaldırılması ile taşkın alanlarında önemli miktarda bir azalma tespit edilmesine rağmen yayılımın tamamen engellenmemesi, ana kanaldan taşma sebebinin (özellikle membadaki kırsal kesim ve Abdülhalikrenda Mahallesi için) sadece köprüler olmadığı ve hiçbir köprü olmasa dahi taşkının ana yataktan çıkarak şehre doğru yayıldığı sonucunu göstermektedir.

- Analizlerde elde edilen sonuçlara göre, 25 yıl tekerrürdeki taşkın debisi için 1D ve 1D-2D modellerinde benzer taşkın yayılım alanları elde edilirken, 50, 100, ve 500 yıl tekerrürdeki taşkın debileri için yayılım alanlarında ciddi farklılıklar tespit edilmiştir.

- 1D model ve 1D-2D modelinin kıyaslanması sonucu elde edilen bir diğer önemli bulgu da akımın devamlılığı ve yayılımı 1D modelde sağlanamazken, 1D-2D modelde daha tutarlı yayılım alanlarının elde edilmesidir.

- Model kalibrasyonu yapılırken Çankırı'da 2015 yılında meydana gelmiş taşkındaki görüntülerden faydalanılmıştır. Taşkın anında Merkez Mahallesi'nin üst kısmında bulunan kırsal bölgede çekilmiş olan fotoğraf, tam kapasitenin biraz altında gelen akımı geçirdiği gözlemlenmiştir. Manning eşitliğinden faydalanılarak 2015 yılında gelen taşkının debi değeri Q = 97.68 m^3/s olarak bulunmuştur. Bu sonuç HECRAS 1D analizinden elde edilen sonuçla uyumludur.

- Mevcut durumun analiz edildiği Senaryo -1 ile dere üzerindeki tüm köprülerin kaldırıldığı durum olan Senaryo-4 için taşkın alanı ve taşkından etkilenen yerleşim birimleri sayısındaki değişim sonuçları kıyaslandığında, 1D modelde önemli bir azalma gözlemlenmezken (Q_{500} için taşkın alanında %6, taşkından etkilenen yerleşim sayısında %18), 1D-2D modelde taşkının azalması adına önemli bir fark görülmüştür (Q_{500} için taşkın alanında %55, taşkından etkilenen yerleşim sayısında %65).

- Ana yatakta oluşan bitki örtüsü periyodik olarak temizlenmeli ve ana yatak akışa açık tutulmalıdır

- Tezde bahsedilen 3, 4, 5 ve 6 numaralı köprülerdeki konstrüktif olmayan çelik kaplamalar öncelikli olarak sökülmeli ve akış alanı genişletilmelidir.

- Tatlıçay Deresi üzerinde bulunan özellikle orta ayaklara sahip köprüler yeniden ve orta ayaksız olacak şekilde inşa edilmelidir.

- Tatlıçay Deresi'ne, Çankırı il merkezine gelebilecek taşkınlar için erken uyarı sistemi kurularak taşkın tehlikesi olan bölgelerin taşkından önce tahliyesi sağlanmalıdır.

- Tatlıçay Deresi membaına gelen taşkın akımını öteleyecek kontrol yapısı veya yapıları yapılması yüksek tekerrürlü taşkın debilerinin pik değerlerini ve vereceği zararı azaltmada faydalı olacaktır.

- Analiz sonuçlarına göre, 1D-2D modelde köprülerin olumsuz etkisi gözlemlenmekte ve köprüler kademe kademe düzenlendiğinde yayılım alanlarındaki belirgin düşmeler tespit edilebilmektedir. Öte yandan, 1D modelde köprü kesitlerindeki şişmeler ana kanal dışında kalan taşkın yatağında geriye doğru analiz edilememekte ve buralarda meydana gelecek yayılmalar tespit edilememektedir. Bu sonuç da yine akımın ana kanal dışına iki boyutlu olarak incelenmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Gelecek çalışmalar için, Tatlıçay Deresi boyunca tespit edilen sıkıntılı kesitlerin çözümüne yönelik dere ıslahı çalışmalarının alternatifli olarak yapılması ve alternatiflerin ekonomik ve sosyal yönden karşılaştırılarak en uygun çözüm önerilerinin getirilmesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca taşkın risk analizi yapılarak riskli bölgeler tespit edilebilir ve sınıflaması yapılabilir.

KAYNAKLAR

Al Faisal, A., Al Kafy, A. and Roy, S. (2018). Integration of Remote Sensing and GIS Techniques for Flood Monitoring and Damage Assessment: A Case Study of Naogaon District, Bangladesh. *Journal of Remote Sensing & GIS*, 7-236.

Betsholtz, A. and Nordlöf, B. (2017). *Potentials and limitations of 1D, 2D and coupled 1D-2D flood modelling in HEC-RAS*. Master Thesis, Lund University Departmant of Building and Enviromental Technology, 80-97.

Bingöl, Y. (2006). *İstanbul Derelerinin Mevcut Durumu ve Taşkın Hesabı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 75-76.

Brunner, G. W. (2016). *HEC-RAS 5.0 Hydraulic Reference Manual*, US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.

Chow, V. Te. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York, 115-123.

DSİ. (2012). *1. Barajlar Kongresi-Baraj Hidrolik Yapılar Tasarım Rehberi*. Ankara, 42.

DSİ. (2016). *Çankırı Merkez Tatlıçay ve Yankolları Mühendislik Hidroloji Raporu*. Ankara, 10-55.

Gökmen, B. (2007). *Çankırı İli Coğrafyası*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 110.

Günel, M. S. (2005). *Türkiye'de Yağışın Zamanla Dağılımının Belirlenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 15-21.

H. Önder, F. (1998). Taşkın Yatakları Planlamasında HEC-RAS Bilgisayar Programı ile Su Yüzü Profili Hesaplanması-Bartın Nehrinde Bir Uygulama, *Su Mühendisliği Problemleri Semineri (V)*, Muğla, 13.

Hardmeyer, K. and Spencer, M. A. (2007). Using risk-based analysis and geographic information systems to assess flooding problems in an urban watershed in Rhode Island. *Environmental Management*, 17.

İnternet :Chaudhry, M. H. (2008). Open-channel flow: Second Edition. URL: https://doi.org/10.1007/978-0-387-68648-6, Son erişim tarihi : 11 Temmuz 2019.

İnternet: Çankırı Belediyesi (2019). Coğrafi Yapı. URL: http://www.cankiri.bel.tr/sayfa-16/cografi-yapi.php, Son erişim tarihi : 12 Mayıs 2019

İnternet: Çankırı Postası (2015). Çankırı'yı sel aldı. URL: https://www.cankiripostasi.com/manset/cankiriyi-sel-aldi-h7314.html, Son erişim tarihi : 13 Mayıs 2019

İnternet: DSİ (2019). Taşkın ve Rüsubat Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete Sayı:30763, URL: http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190503-1.htm, Son erişim tarihi : 10 Temmuz 2019.

İnternet: Kültür ve Turizm Bakanlığı (2019). Çankırı İli Genel Bilgiler. URL: https://cankiri.ktb.gov.tr/TR-70593/genel-bilgiler.html, Son erişim tarihi : 25 Haziran 2019

İnternet: Milliyet (2017). Köprü ve Menfezler Sel Baskınlarına Karışı İnceleniyor. URL: http://www.milliyet.com.tr/kopru-ve-menfezler-sel-baskinlarina-kirklareli-yerelhaber-1838102/, Son erişim tarihi : 15 Mayıs 2019

İnternet: Yılmaz, M. (2012). 1958 Senesinde Çankırı'yı Vuran Sel. https://www.cankiripostasi.com/1958-senesinde-cankiriyi-vuran-sel-makale,267.html, Son erişim tarihi : 25 Haziran 2019

İnternet: Tempo Gazetesi (2017). Bu Görüntüler Unutulur mu?, URL: http://www.tempogazetesi.com/zonguldak/bu-goruntuler-unutulur-mu-h3968.html, Son erişim tarihi : 10 Mayıs 2019.

İnternet: Wikimapia (2019) .Çankırı ili mahalleleri.,URL: http://wikimapia.org/#lang=tr&lat=40.645741&lon=33.516541&z=10&m=w&show=/9075199/tr/Çankırı&search=çankırı), Son erişim tarihi : 25 Haziran 2019

Jol, A., Füssel, H.-M., Lung, T., Hildén, M., & Marx, A. (2017). In Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 - An indicator-based report. *Europan Environment Agency,* Luxemburg, 12-13

Kasalak, A. F. (2010). *Taşkından Koruma Tesislerine Yapılan Müdahaleler*, II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, Afyon, 1-35.

Keskin, F. (2012). *Quantitative Flood Risk Assessment with application in Turkey*, Master Thesis, The Graduate School Of Natural AND Applıed Sciences of METU, 95-98.

Kılıçer, Ü. ve Özgüler, H. (2002). Türkiye'de Taşkın Durumu. *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri,* Sayı 420-421-422 (4-5-6).

Koca, Y. C. (2014). *Rize İyidere Alt Havzası İkizdere Kesiti için Birim Hidrografın Belirlenmesi*, Uzmanlık Tezi, Ankara, 62-63.

M., B., Ball, J., Barton, C., Bishop, W., Gray, S., Jones, R. H., Retallick, M. (2012). Australian Rainfall & Runoff Revision Project 15: Two dimensional Modelling in Urban and Rural Floodplains. *Stage 1 and 2 Draft Report*, 133-142.

Malkoç, F., Yıldız, M. ve Malkoç, Y. (2008). *Solaklı Deresi Havzası için Taşkın Hidrolojisi Çalışmaları*. Taşkın, Heyelan ve Dere Yataklarının Korunması Konferansı Bildiriler Kitabı, 89–100.

Mosquera-Machado, S., & Ahmad, S. (2007). Flood hazard assessment of Atrato River in Colombia. *Water Resources Management*. 21(3), 591-609.

Netsu. (2016). *Çankırı Tatlıçay Deresi Taşkın ve Rusubat Kontrolü Planlama Raporu*. Ankara, 1-45.

Oi, H., Higaki, D., Yagi, H., Usuki, N., & Yoshino, K. (2014). Report of the investigation of the flood disaster that occurred on May 5, 2012 along the Seti River in Nepal. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 7(4), 11-117.

Oral, V., Koike, K., & Yenigün, O. (2005). *Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Bartın ve Silifke-Göksu Nehri Havzalarında Görülen Taşkınların Analizi için Kullanımı*. I. Ulusal Taşkın Sempozyumu, Ankara, 45–353.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2017). *Taşkın Yönetimi*, Ankara, 24-25.

Önöz, B. (1992). *Bölgesel Taşkın Frekans Analizi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 117-118.

Özis, U. (2002). Historical Water Schemes in Turkey. *International Journal of Water Resources Development*, 12(3), 347-384.

Rubiu, F. (2018). *Flood Risk Assessment In The Vicinity Of Kartena Town Usıng HEC-RAS 1D-2D Models*. Master Thesis, Aleksandras Stulginskis University, 1-10.

Şahin, E., Akıntuğ, B., & Yanmaz, A. M. (2013). Güzelyurt Taşkını Modellemesi ve Çözüm Önerileri. *İMO Teknik Dergi*, 403*,* 6447-6462.

Sargın, A. H., Güreşçi, N. G. ve Seyrek, K. (2012). *Arc Hydro ile Su Toplama Alanlarının Belirlenmesi*. IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012), 1-10.

Singh, V. P. (2017). *In Handbook of Applied Hydrology.* Second Edition, 253.

Solaimani, K., Mohammadi, H., Ahmadi, M. Z., and Habibnejad, M. (2005). Flood forecasting based on geographical information system. *African Journal of Agricultural Research*, 4(10), 950-956

Uçar, İ. (2010). *Trabzon değirmendere havzası'nda coğrafi bilgi sistemleri ve bir hidrolik model yardımıyla taşkın analizi yapılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-4.

UNESCO. (2006). World Water Assesment Programme. In *The United Nations World Water Development Report*. 21-23.

USACE Hydrologic Engineering Center. (2016). HEC-RAS River Analysis System. In *User's Manual, Version 5.0*, Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.

Uşkay, S. ve Aksu, S. (2002). Ülkemizde Taşkınlar, Nedenleri, Zararları ve Alınması Gereken Önlemler. *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri,* 420, 421-422.

Usul, Nurunnisa. (2008). *Çayboğazı Havzasında Hidrolojik-Hidrolik Model ve CBS ile Taşkın Çalışması*. Heyelan ve Dere Yataklarının Korunması Konferansı Bildiriler Kitabı, 147–159.

Usul, N. and Turan, B. (2006). Flood forecasting and analysis within the Ulus Basin, Turkey, using geographic information systems. *Handbook of Environmental Chemistry,* 213-229.

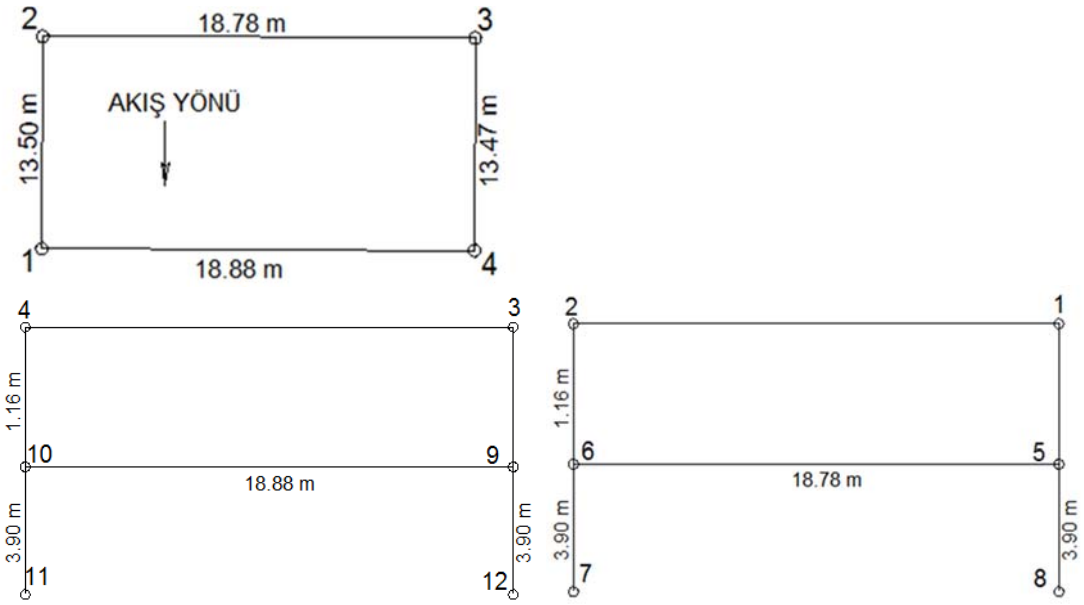
Yalçın, G., and Akyürek, Z. (2004). Analysing Flood Vulnerable Areas With Multicriteria Evaluation. *XX. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress*, 12–23.

Yanmaz, A. M. (2002). Dynamic reliability in bridge pier scouring. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 373.

EKLER

Ek-1. Köprü röleveleri

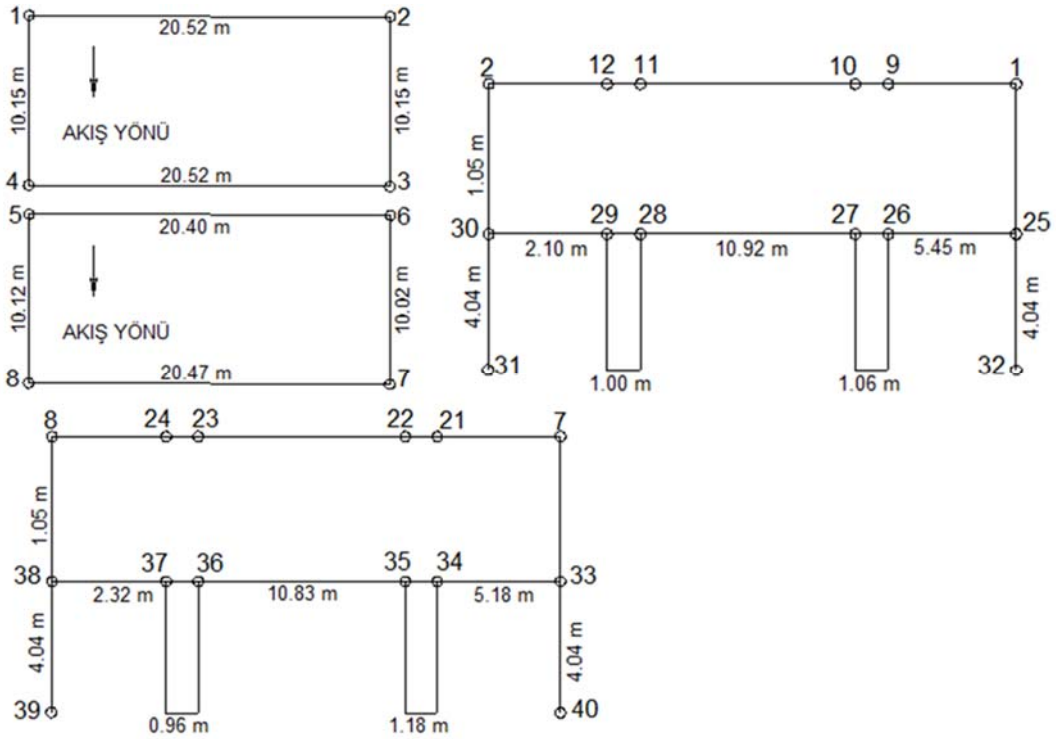
Resim 1.1. Köprü-1 memba ve mansap görüntüsü



Şekil 1.1. Köprü-1 boyutlarının şematik plan ve kesit görüntüsü

Ek-1. (Devam) Köprü röleveleri

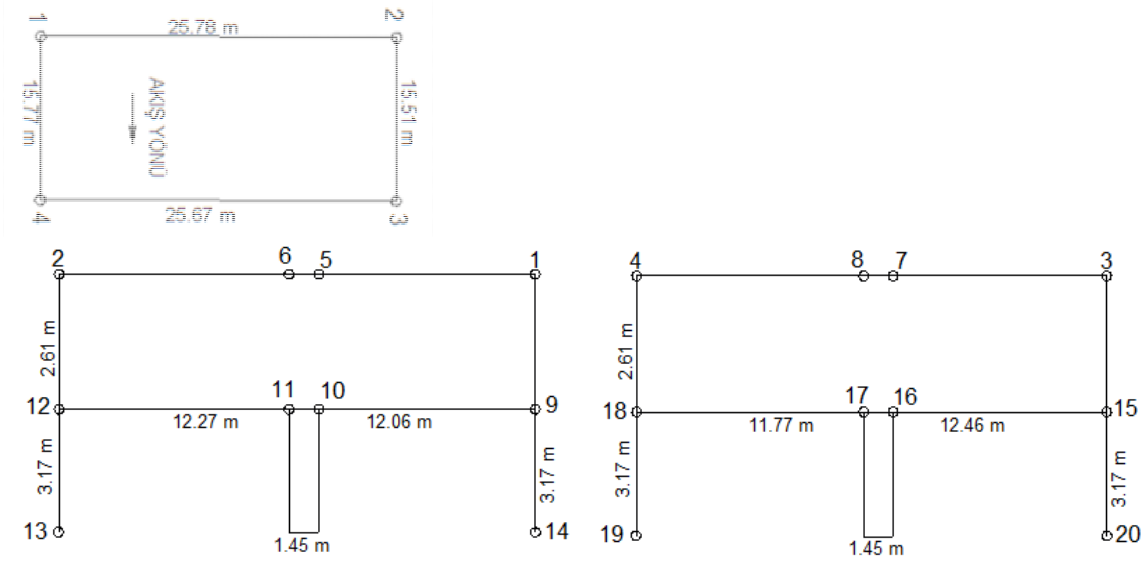
Resim 1.2. Köprü-2 memba ve mansap görüntüsü



Şekil 1.2. Köprü-2 boyutlarının şematik plan ve kesit görüntüsü

Ek-1. (Devam) Köprü röleveleri

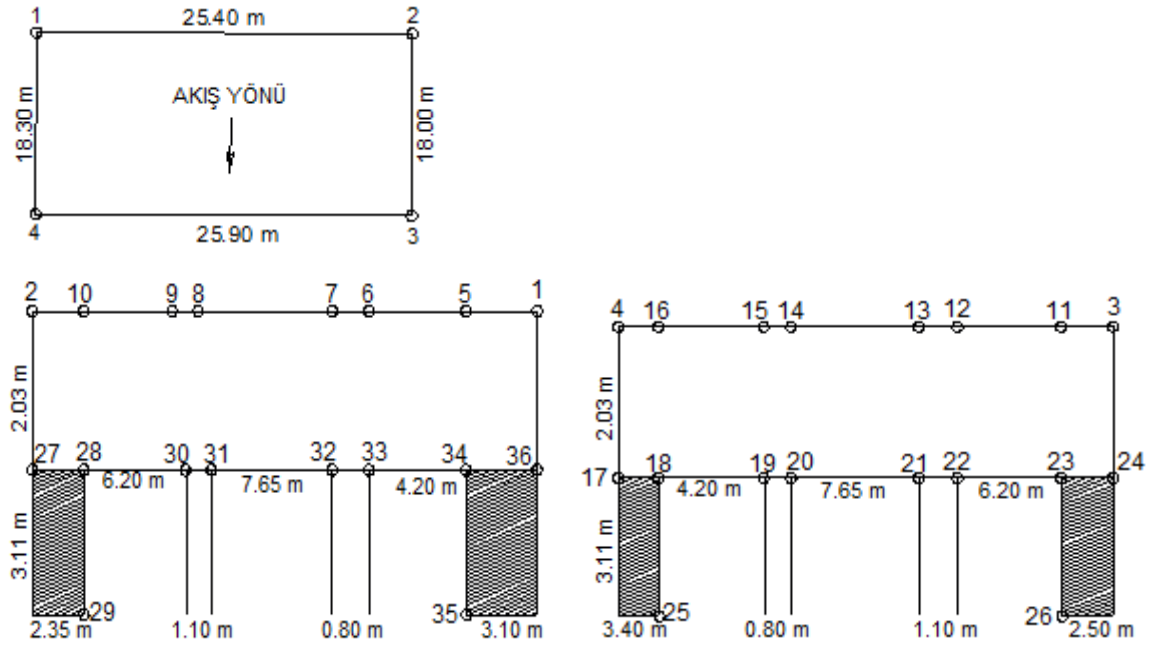
Resim 1.3. Köprü-3 memba ve mansap görüntüsü



Şekil 1.3. Köprü-3 boyutlarının şematik plan ve kesit görüntüsü

Ek-1. (Devam) Köprü röleveleri

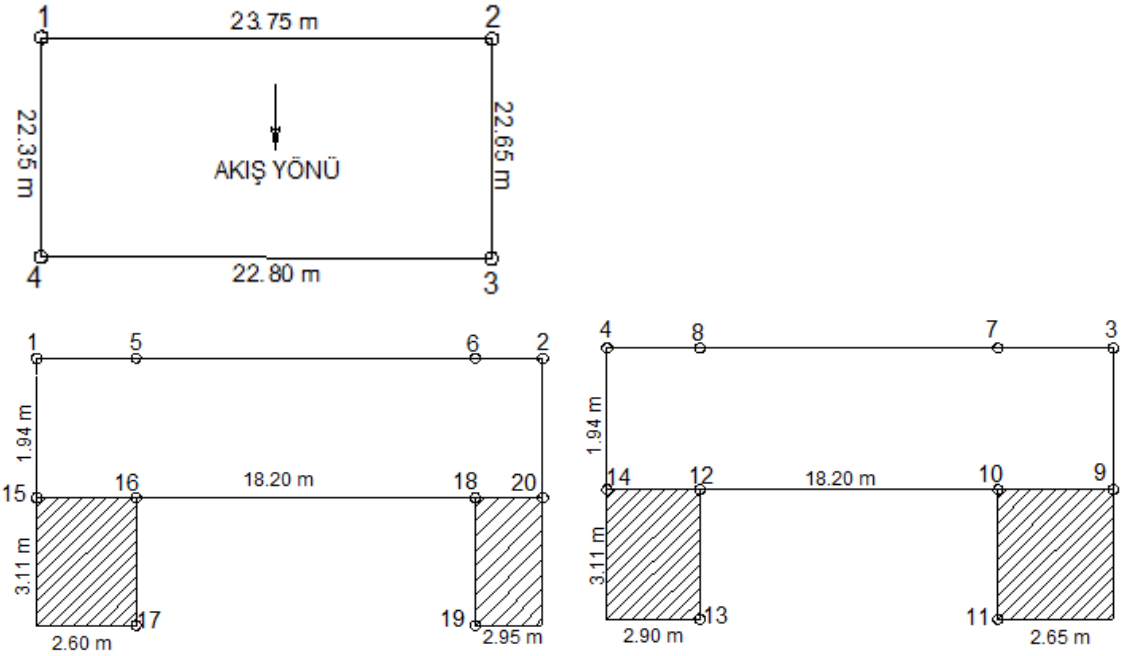
Resim 1.4. Köprü-4 memba ve mansap görüntüsü



Şekil 1.4. Köprü-4 boyutlarının şematik plan ve kesit görüntüsü

Ek-1. (Devam) Köprü röleveleri

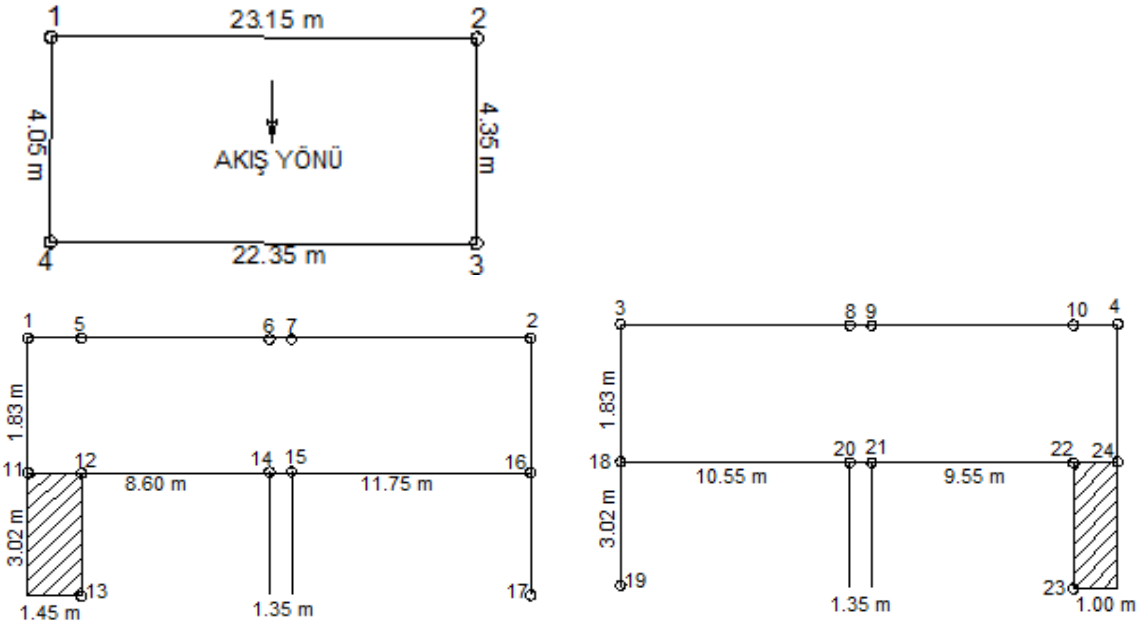
Resim 1.5. Köprü-5 memba ve mansap görüntüsü



Şekil 1.5. Köprü-5 boyutlarının şematik plan ve kesit görüntüsü

Ek-1. (Devam) Köprü röleveleri

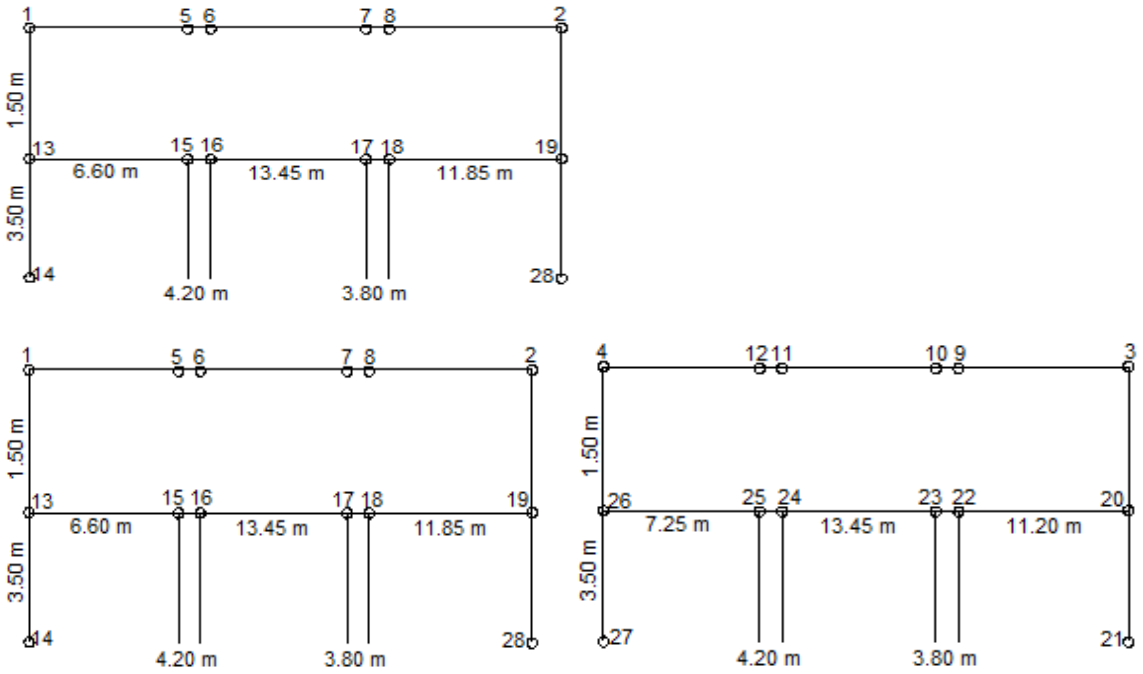
Resim 1.6. Köprü-6 memba ve mansap görüntüsü



Şekil 1.6. Köprü-6 boyutlarının şematik plan ve kesit görüntüsü

Ek-1. (Devam) Köprü röleveleri

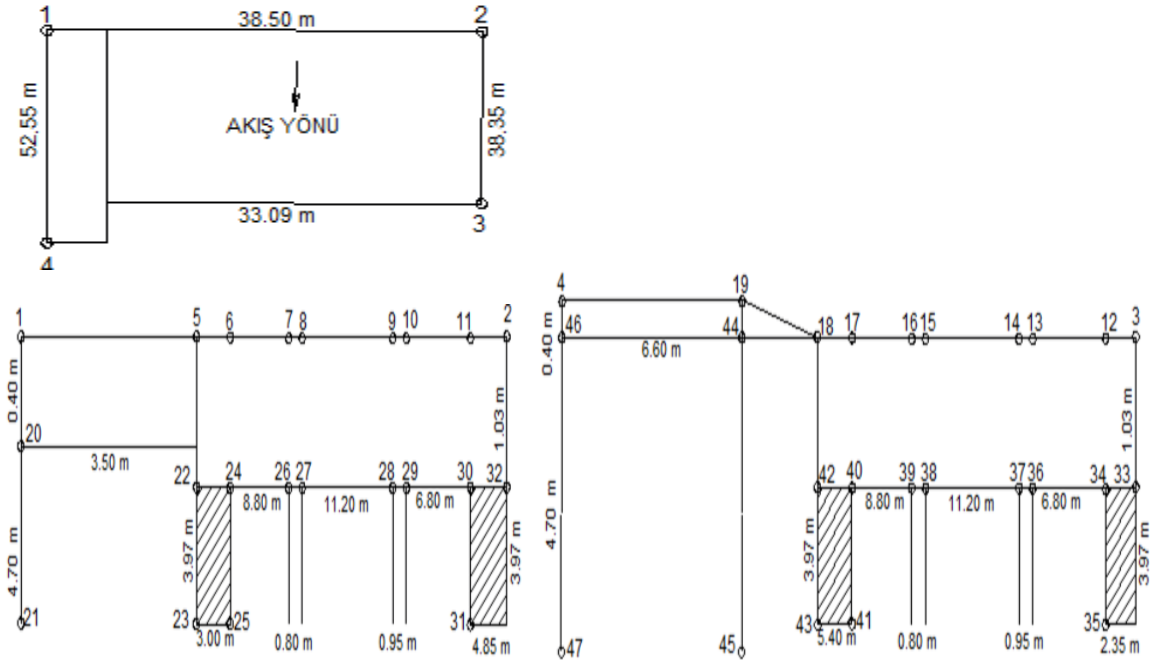
Resim 1.7. Köprü-7 memba ve mansap görüntüsü



Şekil 1.7 Köprü-7 boyutlarının şematik plan ve kesit görüntüsü

Ek-1. (Devam) Köprü röleveleri

Resim 1.8 Köprü-8 memba ve mansap görüntüsü



Resim1.16 Köprü-8 boyutlarının şematik plan ve kesit görüntüsü

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇOLAK, Burak
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.07.1988, Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (506) 289 33 68
e-mail : burak.colak@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Niğde Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2011
Lise	Fatih Sultan Mehmet Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	Netsu Grup Mühendislik	Proje Yöneticisi
2011-2016	Alfar Proje	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Eroğlu, N., Çolak, B. (2018), *Arc-GIS Arc Hydro ile Çankırı Merkez Tatlıçay Deresi'nin Havza Parametrelerinin Belirlenmesi*, International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology, 576-583.

Hobiler

Futbol, Kitap okumak, Bilgisayar Teknolojileri

GAZİ GELECEKTİR...