



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SAYISAL MODELLEME İLE TAŞKIN  
ANALİZİ

Abdulraoof WAHIDI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı

Ocak-2021  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır

## TEZ KABUL VE ONAYI

..... tarafından hazırlanan “.....”  
adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile  
Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
..... Anabilim Dalı’nda YÜKSEK  
LİSANS/DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

.....

#### Üye

Dr. Öğretim Üyesi Ali İhsan MARTI

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve ..... sayılı  
kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Abdulraoof WAHIDI

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

### SAYISAL MODELLEME İLE TAŞKIN ANALİZİ

**Abdulraoof WAHIDI**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU**

**2021, 79**

**Jüri**

**Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN  
Dr. Öğretim Üyesi Ali İhsan MARTI  
Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU**

Taşkın afeti dünya genelinde insanoğlu için her zaman önemli problemler oluşturmuştur. Özellikle iklim değişimi ile atmosferde meydana gelen su döngüsü değişimi, zamansal olarak taşkın afetinin özelliklerini değiştirmektedir. Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin çok hızlı gelişmesi ile taşkın verileri doğruluk oranında, hızlı çözümler üretimi ve taşkın modelleme konusunda önemli başarılar elde edilmiştir. Özellikle son zamanlarda gelişen erken uyarı sistemleri ile bütünlük hidrolojik ve hidrolik modellerin taşkın yönetim planı hazırlama ve önlem alma konularında büyük etkileri olmuştur. Bu çalışmada Yukarı Göksu Havzası çalışma alanı olarak seçilmiş, alanın geometrik sayısal yükseklik modeli coğrafi bilgi sistemi (GIS) programı ortamında işlenerek çalışma için geometrik veriler hazırlanmıştır. Diğer yandan çalışma alanının yağış verileri işlenerek Q2, Q10, Q50, Q100, Q500 ve Q1000 farklı tekerrürlerdeki taşkın debileri farklı yöntemlerle hesaplanmıştır. Elde edilen bu geometrik ve hidrolojik verileri HEC-RAS programına girilerek gerekli düzeltmeler yapılmış ve çalışma alanında yer alan Göksu Nehri'nin ve yan kollarının düzenli akım taşkın analizi HEC-RAS ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, nehrin ana deresinde bazı yerlerde taşkın riski oluşturabilecek yetersiz kesitlere rastlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal Afet, Göksu Nehri, HEC-RAS, Taşkın, Modelleme

## **ABSTRACT**

### **MASTER THESIS**

#### **FLOOD ANALYSIS BASED ON NUMERICAL MODELING SYSTEMS**

**Abdulraoof WAHIDI**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN CIVIL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU**

**2021, 79**

#### **Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU**

**Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN**

**Assist. Prof. Dr. Ali İhsan MARTI**

Flood disaster around the world has always created serious problems for human beings. In particular, the characteristics of flood disaster change in time with the change of water cycle in the atmosphere with climate change. On the other hand, thanks to the developing computer technologies, significant achievements have been achieved in the production of rapid solutions and modeling in the accuracy of flood data. In this study, the Upper Göksu Basin was selected as the study area, and the geometric data of the area was prepared for the study by processing in the environment of the geometric digital elevation model geographical information system (GIS) program. On the other hand, the rainfall data of the study area were processed and the flood flow rates in different repetitions of Q2, Q10, Q50, Q100, Q500 and Q1000 were calculated using different methods. The necessary corrections were made by entering these geometric and hydrological data into the HEC-RAS program, and the regular flow flood analysis of the Göksu River and its tributaries in the study area was carried out in the HEC-RAS environment. As a result of the study, section insufficiencies that may produce flood risk were found in some places in the main stream of the river.

**Keywords:** Natural Disaster, Flood, Göksu River, HEC-RAS, Modeling

## ÖNSÖZ

Lisans, yüksek lisans ve tez çalışmalarının her aşamasında engin bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, güçlü ve zayıf noktalarımı en erken zamanda tespit edip en doğru tavsiyeyi veren, kendimi gurbette hissetmememi sağlamak için desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli danışman hocam, Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU 'ya şükranlarımı sunarım.

Eğitimim boyunca gerek teknik konularda gerekse motivasyon konusunda desteklerini esirgemeyen hocalarıma, dualarını ve desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme, pratik bilgilerimin genişlemesini sağlamak için tüm teknik gezileri ayarlayan ve eşlik eden Cengiz Kutsal arkadaşşıma, çalışmalarım sırasında bana eşlik edip yardımlarını esirgemeyen Özgür Yılmaz arkadaşşıma içten teşekkür ederim.

Abdulraoof WAHIDI  
KONYA-2021

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>

<b>ÖNSÖZ.....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>x</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ.....</b>	<b>xii</b>
<b>TABLolar LİSTESİ.....</b>	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Taşkınlar .....</b>	<b>4</b>
1.1.1. Taşkın Türleri .....	5
1.1.2. Taşkınları Etkileyen Etkenler .....	7
<b>1.2. Taşkın Hidrolojisi.....</b>	<b>13</b>
1.2.1. Drenaj Havzası .....	13
1.2.2. Yağış ve Hiyetograf.....	13
1.2.3. Akış-Hidrograf .....	14
<b>1.3. Taşkın Direktifi .....</b>	<b>21</b>
1.3.1. Taşkın riski ön değerlendirmesi .....	21
1.3.2. Taşkın riski ve taşkın tehlike haritaları .....	24
<b>1.4. Taşkın Modelleme .....</b>	<b>27</b>
1.4.1. Hidrolik modelleme.....	27
1.4.3. Taşkın risk yönetim planı .....	30
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>32</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1. Çalışma Yerinin Tanıtılması .....</b>	<b>37</b>
3.1.1. Coğrafi konumu.....	37
3.1.2. Çalışma yerinin iklimi .....	38
3.1.3. Çalışma yerinin toprak özellikleri ve topografyası .....	39
<b>3.2. Çalışma Modeli.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3. HEC-RAS Yazılımı ve Kullandığı Hesaplama Metotları .....</b>	<b>40</b>

3.3.1. Enerjiye dayanan hesaplama metodu .....	42
3.3.2. Momentuma dayanan hesaplama metodu .....	43
<b>3.4. Geometrik Veri Altlığının Hazırlanması .....</b>	<b>43</b>
<b>3.5. Hidrolojik Verilerin Hesabı .....</b>	<b>48</b>
3.5.1. Bölgesel Taşkın Analizi Yöntemi .....	48
<b>3.6. Akım Verilerinin HEC-RAS Programına Uygulanması .....</b>	<b>51</b>
3.7. Proje Analizi .....	54
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>55</b>
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>75</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>78</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>82</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

A	:	Alan
CBS	:	Coğrafi Bilgi Sistemi
CN	:	Eğri Numaraları
DSİ	:	Devlet Su İşleri
DEM	:	Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modeli)
EM-DAT	:	The International Disaster Database (Uluslararası Afet Veritabanı)
FEMA	:	Federal Emergency Management Agency (Federal Acil Durum Yönetim Ajansı)
GPS	:	Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
GIS	:	Geographical Information System (Coğrafi Bilgi Sistemi)
Ha	:	Hektar
HEC-RAS	:	Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (Hidrolojik Mühendislik Merkezleri Nehir Analiz Sistemi)
LP3	:	Log Pearson Tip 3
MGM	:	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
n	:	Manning Katsayısı
PLV	:	Plüviyograf Katsayısı
S	:	Harmonik Eğim
SYM	:	Sayısal Yükseklik Modeli
TIN	:	Triangular Irregular Networks (Üçgen Düzensiz Ağlar)

Tp	:	Pik Debinin Gerçekleştigi Zaman
UNESCO	:	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü)
Q	:	Debi
Qp	:	Pik Debi
Q50	:	50 Yıllık Tekerrürlü Taşkın Debisi
1D	:	1 Boyutlu
2D	:	2 Boyutlu

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 2001-2017 Döneminde Taşkınların İl Bazında Dağılımı (DSİ) .....	5
Şekil 2. Akarsu Taşkını.....	6
Şekil 3. Konya Cihanbeyli İlçesi İnsuyu Mahallesi Taşkın Koruma Tesisi (Cengiz, 2020).....	10
Şekil 4. Konya Akçalar Mahallesi Taşkın Koruma Tesisinde Rüşubat Birikimi (Cengiz, 2020).....	10
Şekil 5. Konya Kulu Canımana Mahallesi Taşkın Koruma Tesisi (Cengiz, 2020) .....	11
Şekil 6. Konya Kulu Bozan Mahallesi Taşkın Koruma Tesisi (Cengiz, 2020) .....	11
Şekil 7. Konya Kelhasan Mahallesi Taşkın Koruma Tesisi Müdahale Sorunu (Cengiz, 2020) .....	13
Şekil 8. Birim hidrografi.....	15
Şekil 9 Hidrograf.....	16
Şekil 10. Sayısal yükseklik model, akışın yönü ve şeklin oluşumu (SYGM, 2017).....	23
Şekil 11. Binalarda derinlik hasar gösterimi (SYGM, 2017).....	26
Şekil 12. Derinlik-hasar eğrisine bir örnek (SYGM, 2017).....	26
Şekil 13. İki boyutlu hidrolik modelleme örneği (çalışma modelinden örnek) .....	29
Şekil 14. Türkiye Haritası üzerinde çalışma alanının konumu (Google haritası) .....	37
Şekil 15. Çalışma alanında yer alan Göksu Nehri ve yan kolları.....	38
Şekil 16. Türkiye toprak ve jeolojik haritası (ESRİ, 2020) .....	39
Şekil 17. Çalışma modeli ve takip edilen adımlar .....	40
Şekil 18. HEC-RAS programı kullanıcı arayüzü (çalışma modelinden örnek) .....	41
Şekil 19. İki nehir birleşimi noktası (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering , 2019) .....	42
Şekil 20. İki nehrin birleşiminin akıma olan etkisi (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering , 2019).....	43
Şekil 21. DEM veya sayısal yükseklik modelinden TIN modeli oluşturma .....	44
Şekil 22. Nehir çizgisi ve nehir sınırları çizimi .....	45
Şekil 23. Geometrik verinin GIS programından HEC-RAS programına aktarılması .....	45
Şekil 24. HEC-RAS geometrik verisi .....	46
Şekil 25. Cawon metodu, Manning hesap tablosu DSİ formatı.....	47
Şekil 26. 2D çalışma alanı ve yan kolların yağış alanı .....	48
Şekil 27. Bölgesel taşkın frekans analizi (Doğu Akdeniz Havzası Master Plan Raporu).....	49
Şekil 28. Yan kol 5 yağış alanı .....	50
Şekil 29 HEC-RAS programı akım verileri ve düzeltmeleri .....	52
Şekil 30. HEC-RAS programı akım sınır koşulları.....	53

<b>Şekil 31.</b> HEC-RAS programı proje analizi arayüzü .....	54
<b>Şekil 32.</b> Projenin geometrik verisi, nehir çizgileri ve kesitler .....	56
<b>Şekil 33.</b> TIN modeli üzerinde nehir çizgileri ve kesitler .....	56
<b>Şekil 34.</b> TIN modeli üzerine taşkın simülasyonu .....	57
<b>Şekil 35.</b> Ana dere üst-kol 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu .....	59
<b>Şekil 36 .</b> Ana dere üst kol mansap kesiti ve su yüzeyi .....	59
<b>Şekil 37.</b> Ana dere üst kol memba kesiti ve su yüzeyi.....	59
<b>Şekil 38.</b> Ana dere orta kol7, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu.....	60
<b>Şekil 39.</b> Ana dere orta kol7 memba kesiti ve su yüzeyi .....	60
<b>Şekil 40.</b> Ana dere orta kol7 mansap kesiti ve su yüzeyi.....	60
<b>Şekil 41.</b> Ana dere orta kol6, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu.....	61
<b>Şekil 42.</b> Ana dere orta kol6 memba kesiti ve su yüzeyi .....	61
<b>Şekil 43.</b> Ana dere orta kol6 mansap kesiti ve su yüzeyi.....	61
<b>Şekil 44.</b> Ana dere orta kol5, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu.....	62
<b>Şekil 45.</b> Ana dere orta kol5 memba kesiti ve su yüzeyi .....	62
<b>Şekil 46.</b> Ana dere orta kol5 mansap kesiti ve su yüzeyi.....	62
<b>Şekil 47.</b> Ana dere orta kol4, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu.....	63
<b>Şekil 48.</b> Ana dere orta kol4 memba kesiti ve su yüzeyi .....	63
<b>Şekil 49.</b> Ana dere orta kol4 mansap kesiti ve su yüzeyi.....	63
<b>Şekil 50.</b> Ana dere orta kol3, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu.....	64
<b>Şekil 51.</b> Ana dere orta kol3 memba kesiti ve su yüzeyi .....	64
<b>Şekil 52.</b> Ana dere orta kol3 mansap kesiti ve su yüzeyi.....	64
<b>Şekil 53.</b> Ana dere alt kol, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu .....	65
<b>Şekil 54.</b> Ana dere alt kol memba kesiti ve su yüzeyi .....	65
<b>Şekil 55.</b> Ana dere alt kol mansap kesiti ve su yüzeyi.....	65
<b>Şekli 56.</b> Göksu yankol1, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu .....	66
<b>Şekil 57.</b> Yankol1 memba kesiti ve su yüzeyi .....	66
<b>Şekil 58.</b> Yankol1 mansap kesiti ve su yüzey .....	66
<b>Şekil 59.</b> . Göksu yan kol2, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu .....	67
<b>Şekil 60.</b> Yan kol2 memba kesiti ve su yüzeyi .....	67
<b>Şekil 61.</b> Yan kol2 mansap kesiti ve su yüzeyi.....	67
<b>Şekil 62.</b> Göksu yan kol3, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu .....	68
<b>Şekil 63.</b> Yan kol3 memba kesiti ve su yüzeyi .....	68
<b>Şekil 64.</b> Yan kol3 mansap kesiti ve su yüzeyi.....	68

<b>Şekil 65.</b> Göksu yan kol4, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu .....	69
<b>Şekil 66.</b> Yan kol4 memba kesiti ve su yüzeyi .....	69
<b>Şekil 67.</b> Yan kol4 mansap kesiti ve su yüzeyi.....	69
<b>Şekil 68.</b> Göksu yan kol5, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyon .....	70
<b>Şekil 69.</b> Yan kol5 memba kesiti ve su yüzeyi .....	70
<b>Şekil 70.</b> Yan kol5 mansap kesiti ve su yüzeyi.....	70
<b>Şekil 71.</b> Göksu yan kol6, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyon .....	71
<b>Şekil 72.</b> Yan kol6 memba kesiti ve su yüzeyi .....	71
<b>Şekil 73.</b> Yan kol6 mansap kesiti ve su yüzeyi.....	71
<b>Şekil 74.</b> Göksu yan kol7, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyon .....	72
<b>Şekil 75.</b> Yan kol7 memba kesiti ve su yüzeyi .....	72
<b>Şekil 76.</b> Yan kol7 mansap kesiti ve su yüzeyi.....	72
<b>Şekil 77.</b> Göksu yan kol8, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyon .....	73
<b>Şekil 78.</b> Yan kol8 memba kesiti ve su yüzeyi .....	73
<b>Şekil 79.</b> Yan kol8 mansap kesiti ve su yüzeyi.....	73
<b>Şekil 80.</b> Göksu Nehri ve yan kolları, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu .....	74

## TABLÖLAR LİSTESİ

<b>Tablo 1.</b> Bölgesel taşkın frekans analizi (Doğu Akdeniz Havzası Master Plan Raporu) .....	50
<b>Tablo 2.</b> Göksu Nehri Yankol-4 farklı tekerrür debileri hesap tablosu .....	51
<b>Tablo 3.</b> Göksu Nehri tüm ana kol ve yan kollarının bölgesel taşkın frekans analizi debi hesap sonuçları .....	55

## 1. GİRİŞ

Dünyada insan hayatını en olumsuz şekilde etkileyen doğal afet türlerinden biri de taşkınlardır. İklim özelliklerinde yaşanan değişimlere, yaşam alanlarının doğal su kaynaklarının etrafında şekillenmelerine, artan nüfusun yol açtığı çarpık kentleşmelere bağlı olarak bu afet, riski her geçen gün artmakta olup bölgedeki sosyal ve ekonomik hayatı olumsuz yönde etkilenmektedir.

Bir akarsuyun çeşitli sebeplerden dolayı yatağından çıkması veya normal durumlarda kuru olan bir alanın meteorolojik sebepler nedeni ile geçici olarak su altında kalması taşkın olarak ifade edilebilir (Maidment, 1993). Muhtemel ve mevcut olan taşkınların insan sağlığı, çevre, kültürel miras ve ekonomik faaliyetler üzerinde bırakacağı olumsuz etkilerin değerlendirilmesine taşkın riski denir (SYGM, 2017).

Türkiye’de taşkın felaketinin yönetimi çerçevesinde bugüne kadar birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların büyük bir kısmını yapısal projeler, taşkın sırasındaki kurtarma çalışmaları ve acil yardım faaliyetleri gibi eylemler oluşturmuştur. Bu çalışmalara teknoloji gelişimi ile beraber son yıllarda erken uyarı sistemleri de eklenmiştir (SYGM, 2017).

Bazı ülkelerde, otomatik akım ve yağış ölçüm istasyonları, hidro-meteorolojik gözlem ağları, meteorolojik radarlar, hidro-meteorolojik modellerin doğru arazi kullanım politikaları ile beraber doğru ve erken nehir, göl ve deniz su seviye tahminlerinde kullanılmaları taşkın sırasında can ve mal kayıplarını en aza indirmiştir (Eroğlu, 2017).

Türkiye’de de taşkın, sel, dolu, çığ düşmesi ve fırtına gibi doğal felaketlerin hasarlarını en aza indirmek ve gerekli önlem ve tedbirleri alabilmek amacı ile bu tür meteorolojik karakterli afetlere yönelik tahmin yöntemleri ve erken uyarı sistemleri geliştirilmektedir (DSİ, Dere Yatakları İçin Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Kılavuzu, 2015).

Aşırı yağışlar nedeni veya kar erimeleri sonucu olan akarsu taşkınları, göllerdeki dalga etkileri ve su seviye değişikliklerinden kaynaklanan göl taşkın afetleri, çok şiddetli fırtınaların sahil bölgelerinde oluşturduğu dalga hareketlerinden kaynaklanan kıyı taşkınları dünyanın birçok ülkesinde yaşanmakta ve oluşum sıklığı ve şiddeti ile taşkın türleri bazı bölgelerde ön plana çıkmaktadır. Akarsu ve nehir taşkınları Türkiye’de en çok yaşanan taşkın türü olarak ön plana çıkmaktadır (Kadıoğlu, 2007).

Bugüne kadar edinilen tecrübelerle dayanarak, taşkın su hareketleri bakımından büyüklüğünü tayin eden hidrolojik ve meteorolojik oluşumların büyüklüğünden ziyade, mücavir taşkın riski taşıyan sahalarda veya nehir ve akarsu yatakları içinde herhangi bir önlem ve tedbir alınmaksızın gerçekleştirilen kontrolsüz ve düzensiz kentleşme faaliyetlerinin Türkiye’de önemli büyüklükte can ve mal kayıplarına sebep olan nehir taşkınlarına neden olduğu söylenebilmektedir (Eroğlu, 2017).

Taşkın çalışmaları, taşkın sırasında oluşan maddi ve maddi olmayan kayıpları azaltmak amacı ile zaman zaman revize edilmiş, yeni politikalar geliştirilmiş ve yeni çalışma metotları oluşturulmuştur. Eskiden taşkın çalışmaları daha çok taşkından korunma yönünde iken günümüzde daha çok, olası bir taşkın riskini tahmin etme, zarar vereceği yerleri önceden görme ve dolayısıyla gereken tedbirleri ve önlemleri felaketten önce alıp taşkın hasarlarını en aza indirmek yönündedir (SYGM, 2017).

Taşkın riski ön değerlendirmesi, Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü’nün eski tarihi taşkınlarda topladığı gerçek verileri veya bir jeolojik harita yardımı ile daha önce yaşanmış taşkınların sebep olduğu alüvyon birikintisi yardımı ile hızlı bir tarama yaparak bir havzadaki çalışılan bölgenin muhtemel taşkın riski konusunda ön fikir sahibi olmayı amaçlamaktadır (Bayazıt & Bakış , 2015).

Taşkın riski ön değerlendirmesi, eski tarihi taşkınlarda Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü’nün topladığı gerçek verileri veya bir jeolojik haritası yardımı ile daha önce yaşanmış taşkınların sebep olduğu alüvyon birikintisi yardımı ile hızlı bir tarama yaparak bir havzadaki çalışılan bölgenin olabilecek taşkın riski konusunda ön fikir sahibi olmaktır (SYGM, 2017).

Taşkın tehlike haritası, daha önce taşkın risk ön değerlendirmesinde elde edilen verilerle olması muhtemel bir taşkın yayılabileceği alanları uydu görüntüsü üzerinden yerleştirmektedir. Taşkın risk haritaları, taşkın tehlike haritası içinde kalan varlıkları, taşkına maruz kalan ve etkilenen kültürel miras, ekonomik aktiviteler, stratejik tesisler gibi maddi ve maddi olmayan varlıkların belirtilmesi ile oluşturulmaktadır. Taşkın yönetim planı, risk altında kalan varlıkların taşkından önce tespit edilerek, riski azaltma yönünde önemli tedbirler ve önlemlerin alınmasını içeren kapsamlı bir plandan oluşmaktadır (Eroğlu, 2017).

Taşkın riski ön değerlendirmesi, taşkın tehlike ve taşkın risk haritalarının hazırlanmasının, hidrolojik ve hidrolik modellerin temelini oluşturmaktadır. Bir boyutlu, iki boyutlu ve bütünleşik hidrolojik ve hidrolik modeller, taşkında akım hızını, debisini ve taşkın yatağından çıkarak yayıldığı alanı ve zarar verebileceği varlıkların belirlenmesinde kolaylık sağlamakta ve taşkın çalışmalarına zaman kazandırmaktadırlar (SYGM, 2017).

Bir boyutlu hidrolojik ve hidrolik modeller ile taşkın alanlarının belirlenmesi mümkün iken, iki boyutlu modellerle taşkın iki boyutlu davranışı da incelenebilmektedir.

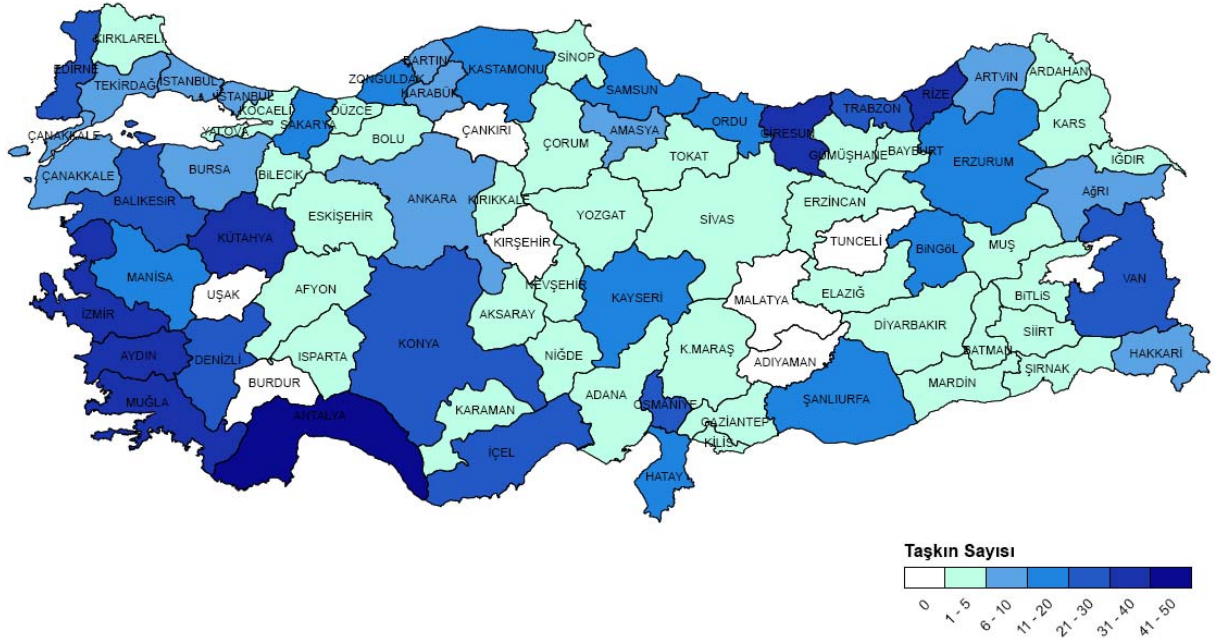
Bu çalışmanın amacı Yukarı Göksu Havzasının, taşkın modellemelerinde en çok kullanılan HEC-RAS paket programı yardımıyla, Yukarı Göksu Havzası taşkın modeli hazırlanmak ve olası muhtemel farklı tekerrürlerdeki taşkınları yatağından çıkacak noktaları (kesitin yetersiz olduğu noktaları) tespit etmek ve sonucunda önlem alınması ve hidrolik çalışma yapılması gereken yerleri önermektir.

## 1.1.Taşkınlar

Doğal bir felaket olan taşkın; bir akarsuyun farklı sebeplerle kendi yatağından çıkarak, çevresindeki alanlara, yerleşim yerlerine, canlılara ve altyapı tesislerine zarar vererek, meydana geldiği bölgede doğal yaşamı, sosyo-ekonomik aktiviteleri, çevreyi, kültürel mirası ve diğer varlıkları risk altına bırakacak bir akış büyüklüğü oluşturması şeklinde ifade edilmektedir. Bu çerçeveye, deniz sahillerinde dalga hareketliklerinden dolayı meydana gelen kıyı taşkınları ve su seviye değişikliği ile dalga etkilerinden kaynaklanan göl taşkınlarını da dâhil etmek mümkündür (Koçaker,2007).

İklim değişimi ile taşkın felaketinin riski artmakta; tekerrür, debi ve hız gibi karakteristikler farklılık göstermektedir. Geçmişten günümüze yeryüzünde insanları ve diğer canlıların hayatını, sosyal ve ekonomik faaliyetleri önemli derecede etkileyen ve en çok zarara uğratan taşkınlar son 200 yıl içerisinde etkilerini arttırmıştır. Birleşmiş Milletler 'in 2019 yılında konu ile ilgili yayınladığı rapora göre, son 30 yılda meteorolojik afetlerin yaklaşık %57'sini taşkınlar oluşturmakta ve bu taşkınlar 163 bin kişinin can kaybına sebep olup, 2,3 milyar insanı zarara uğratmıştır (UNISDR, 2019). Tarihi taşkınlara bakıldığında bu felaketlerin en büyüğü, tarihin en büyük taşkını olarak bilinen 1937 yılında Çin'de bulunan Yangtze Nehrinde meydana gelmiş olup 3,7 milyon kişinin can kaybına sebep olmuştur (UNISDR, United Nations Office for Disaster Risk Re, 2015).

Küresel iklim değişimleri, taşkın ve diğer meteorolojik afetlerle birlikte ülkelerdeki nüfus artışı, sanayi gelişimi, çarpık ve düzensiz kentleşmeler, arazi kullanımı değişimi vs. faktörler taşkınların sıklığını, şiddetini ve riskini her geçtiğimiz gün artırmakta olup bunun yanı sıra taşkın uygulamalarında ve çalışmalarında eksiklikler, hatalar ve yetersizlikler meydana gelen bir taşkında beklenmeyen sonuçlara yol açabilmektedir. Dolayısıyla afet yönetimini ciddiye almayan, taşkın koruma tesislerini geliştirmeyen ve bakımını yapmayan ülkelerde bu risk daha da artmaktadır (Kadioğlu, 2008). 2001-2017 yıllarına ait Türkiye'de meydana gelen taşkınların il bazında değişimini Şekil 1' de görmekteyiz.



Şekil 1-1. 2001-2017 Döneminde Taşkınların İl Bazında Dağılımı (DSİ)

### 1.1.1. Taşkın Türleri

Taşkınların sınıflandırması ile ilgili olarak, taşkın oluşum yerlerine ve şekillerine dayalı çok çeşitli sınıflandırma bulunmaktadır. Taşkın sınıfları aşağıdaki gibi sıralanabilir (SYGM, 2017);

Akarsu (nehir) taşkınları

Kıyı taşkınları

Ani taşkınlar

Şehir taşkınları

Kar erimesinden kaynaklanan taşkınlar

Buzul hareketlerinin meydana getirdiği taşkınlar

#### 1.1.1.1. Akarsu Taşkınları

Dünyada ve Türkiye’de en çok meydana gelen taşkınlardan biri olup şiddetli yağmurlar, havanın ısınması ile meydana gelen kar ve buz erimeleri neticesinde, su kanallarının ve akarsu yataklarının kapasitesinin yetersiz kaldığı durumlarda, akımın taşkın yatağından çıkıp etraftaki arazilere yayılması ve düz araziler üzerinde akışa geçerek söz konusu bölgeleri zarara uğratması olarak ifade edilmektedir (Şekil 2). Nehir taşkınlarının riskini ve şiddetini arttıran ve taşkın sırasında beklenmeyen sonuçlara sebep olan temel nedenler; mühendislik hataları ile imar edilmiş veya daha sonra kapasitelerini düşürecek ve işlevlerini aksatacak şekilde zararlar görmüş (kesitleri daraltılmış, üzeri kapatılmış, vs.) nehir yataklarındaki koruma yapıları, yanlış arazi kullanımı ve çarpık kentleşme sonucu geçirimsiz yüzey oranının yükselmesidir (DSİ, Dere Yatakları İçin Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Kılavuzu, 2015). Dolayısıyla bu alanlarda plansız imarları ve yerleşmeleri azaltarak, ağaçlandırma ve yeşil alanların artırılması yönünde yatırım yapılmalıdır.



**Şekil 1-2.** Akarsu Taşkını

### **1.1.1.2.Kıyı Taşkınları**

Türkiye’de çok yaşanan bir taşkın türü olmasa da denize kıyısı olan pek çok ülkede önemli olan, insan hayatını, ekonomik aktiviteleri ve çevreyi etkileyen meteorolojik afetlerden biri sayılmaktadır. Kıyı taşkınları rüzgâr ve fırtına etkisi sonucu meydana gelen şiddetli dalgaların deniz suyunu kıyıya getirmesi ve normalde kuru olan yerlerin suya maruz kalması şekilde ifade edilebilmekte olup kıyı bölgelerindeki yerleşim yerlerinde bu dalgalanmalar şehir taşkınlarını da meydana getirebilmektedirler. Denizaltındaki tektonik hareketler neticesinde meydana gelen tsunami felaketleri, kıyı taşkınlarının nedenlerinden biridir (Karasu, 2018).

### **1.1.1.3.Ani Taşkınlar**

Baraj ve göletlerin yıkılması, çok şiddetli yağış ve buzulların yer değiştirmesi gibi meteorolojik olaylar ve yüksek eğimli araziler ile vahşi derelerin bulunduğu bölgeler gibi topoğrafik sebepler, ani taşkınları oluşturan nedenler arasındadır. Yüksek eğimli topoğrafik yapısı ve sık sık yaşanan şiddetli yağışlardan dolayı, ülkemizde de özellikle Karadeniz Bölgesinde ani taşkınlara sık sık görülmektedir. Eğimin yüksek olduğu bu tür arazilerde taşkın yanı sıra, eğimin yol açtığı yüksek akım hızı ve beraberindeki rüsubat taşınımı ile heyelan, olayın yıkıcı olma boyutunu artırmaktadır. Bu tür havzalarda taşkın riskinin yönetilmesi ve azaltılması için yerleşim yerlerinin taşkın yataklarından uzak olması önemlidir (Kadıoğlu, 2007).

### **1.1.1.4.Şehir Taşkınları**

Şehir taşkınlarının en büyük sebebi, arazi kullanımı ile birlikte yüzeylerin geçirimsiz hale gelmesi, dolayısı ile meydana gelen yağışın buharlaşmadan sonra büyük bir bölümünün akışa geçmesidir. Şiddetli yağışlarda hızlı akışa geçen bu suların debisi şehir yağmur suyu kanalizasyon ve taşkın koruma yapılarının kapasitelerini geçtiği zaman şehirlerde taşkın felaketi meydana gelmekte ve tüm insanları, ekonomik

aktiviteleri, stratejik tesisleri ve şehirde bulunan kültürel mirasları risk altına bırakabilmektedir (SYGM, 2017).

#### **1.1.1.5.Kar Erimelerinin Neden Olduğu Taşkınlar**

Genellikle kış ayları süresince dağlarda biriken karların havaların ısınması (özellikle ilkbahar aylarında) ile beraber erimeleri nehir su seviyelerini arttırmaktadır. Akışa geçen kar sularının pik yaptığı durumlar birçok arazide taşkınlarla sebep olabilmektedir. Kar erimesinin sonucu olarak (arazinin topografyasına ve eğimine de bağlı olarak) sediment taşınımının akarsu yataklarının dolarak taşkın kapasitesini düşürmesi de mümkün olabilmektedir (DMİ, 2015).

#### **1.1.1.6.Buzul Hareketinin Meydana Getirdiği Taşkınlar**

Buzul ve moloz taşkınları genellikle sarp bölgelerde meydana gelir. Bu tip taşkınlar; buzulların erimesinin yanı sıra kopan buzul kütlelerinin akarsu yataklarını kapatması ile kesit daralması sonucu akım seviyesinin yükselip artarak yatağından çıkıp etrafa yayılması sonucunda da meydana gelebilmektedir (Eroğlu, 2017).

### **1.1.2. Taşkınları Etkileyen Etkenler**

Bir havzada meydana gelen taşkının şiddeti, debisi ve dolayısıyla verdiği zararlar ve riski, havzanın meteorolojik, jeolojik ve jeomorfolojik karakteristik özelliklerine dayanmaktadır (DSİ, 2015).

#### **1.1.2.1.Meteorolojik Etkenler**

Yağış miktarının şiddeti, sıklığı ve süresinin yanı sıra taşkın oluşumları ve yağıştan sonra akışa geçebilecek su miktarı, sıcaklık, rüzgâr, nem ve toprak dolgunluk durumu gibi birçok farklı faktörden etkilenebilmektedir. Havzada yüksek miktarda yağmurun yağması ve neticesinde topraktaki yaşanan su doygunluğu ile beraber geri kalan suyun akışa geçmesi akarsuların su seviyesini yükseltmekte olup yağışın şiddetine ve havzanın şekline bağlı olarak pik yaparak taşkına sebep olabilmektedir (DMİ, 2015).

Havzanın hava sıcaklığı, nem ve rüzgâr doğrudan buharlaşmayı ve bitkilerde terlemeyi etkilediği için önem arz etmektedir. Sıcaklığın buharlaşma konusunda pozitif

bir etken olması ile beraber kar erimelerini hızlandırdığı dolayısıyla akarsuların debisini yükselttiği için negatif bir etken olarak da değerlendirilebilmektedir. Aynı zamanda rüzgâr her ne kadar yağış sırasında ve yağıştan sonra buharlaşmaya sebep olursa da diğer yandan şiddetli rüzgarlar göl ve kıyı taşkınlarına sebep olabilmektedir (DMİ, 2015).

Sızma da yüzeysel akış debisini etkileyen bir diğer etkendir. Sızma doğal bir filtrasyon işlemi olup yavaş bir eylemdir. Dolayısı ile yağış sularının yeraltı sularına geçmesi arazi kullanımı, toprak çeşitleri, arazinin topoğrafik yapısı ve toprağın doygunluğu gibi farklı özelliklere bağlı olmaktadır.

### **1.1.2.2.Havzanın Yapısal Özellikleri**

Havzanın eğimi, havzanın büyüklüğü, havzanın biçimi, zemin cinsi, arazi bitki örtüsü, yeraltı akiferlerinin kapasiteleri, zemin nemi, yapay drenaj ağları ve tipleri, yapay drenaj ağları, yüzeysel biriktirme şekli ve miktarı gibi havzanın yapısal özellikleri taşkınların meydana gelmesini etkileyen en önemli özelliklerdendir (Dere, 2019).

Havzanın eğimi taşkın, çığ düşmesi ve heyelan gibi birçok doğal afete yol açan bir etken olarak bilinmektedir. Havza eğiminin artması ile taşkın hızının artması ve hızlıca yüksek kotlardan düşük kotlara doğru akımın yer değiştirmesi taşkın şiddetini etkilemekte, yüzeysel akışın havza çıkış noktasına varmasını hızlandırarak pik debinin yüksek olmasına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra sediment taşınımı ve erozyon da felaketin ayrı bir boyutunu oluşturmaktadır.

Drenaj alanı, taşkın hidrografının yükselme süresini, pik debisini ve alçalma süresini etkileyen ve zamana bağlı akımı şekillendiren en önemli etkenlerdendir (DSİ, 2015). Dolayısıyla nehir yatağı rehabilitasyonlarında drenaj alanı etkisinin bilinmesi önemlidir ve kesit alanının daralması ile oluşan taşkının ani taşkına dönüşmesine yol açabilmektedir.

Havzanın bitki örtüsü ve toprak cinsi, taşkın oluşumu ve şeklini önemli derecede etkilemektedir. Kayalık zeminler sızma kapasitesini düşürdüğü için yağış sularının büyük kısmının yüzeysel akışa geçmesine sebep olarak taşkın şiddetini ve debisini artırırken, toprak yapısı yumuşak ve kolayca yerinden kopabilen zeminler taşkına rüsubat ekleyerek zararın boyutunu değiştirebilmektedir. Killi zeminler, su ile beraber şişerek geçirimsiz bir tabaka oluşturup sızmayı engellerken daha taneli ve geçirimli zeminlerin sızma kapasitesi yüksek olup akımın büyük bölümünü yeraltı sularına geçirerek yüzeysel akışı önemli derecede azaltmaktadır (DSİ, 2015).

Bitki örtüsü sızmayı arttıran, yüzeysel akışın hızını azaltan en doğal taşkın koruma etkeni olarak ifade edilmektedir. Bölgenin bitki örtüsünün zengin olması sızma kapasitenin yüksek olmasına neden olduğu ve aynı zamanda yamaçlarda toprak göçmelerini engellediği için heyelan ve taşkın riski taşıyan alanlarda sıklıkla ağaçlandırma çalışmaları yapılmaktadır. Akarsu ve nehir yatakları kenarındaki ağaçlandırma Manning katsayısını (pürüzlülüğü) arttırarak su hızını yavaşlatmakta ve dolayısıyla erozyonu engellemektedir (DSİ, 2015; Karasu,2015).

Drenaj ağlarının, taşkın koruma tesisleri ve kanalların, menfezler gibi yapıların; kapasitesi, şekli ve konumu taşkını güvenli bir şekilde bölgeden uzaklaştırmaları bakımından önemlidir. Proje hatası, uygulama hatası veya sonradan müdahale sonucu işlevlerini kaybeden yapılarda oluşan problemler, beklenmeyen sonuçlara sebebiyet verebilmektedir (Kumcu, Wahidi, & Kustal, 2019).

Taşkın koruma yapıları, mambadan mansaba kadar sürekli olmalı ve güzergahın her noktasında projeye uygun tam kapasite çalışabilmelidir. Taşkın koruma yapılarının uygulamaları aşamasında bazı sorunlarla karşı karşıya gelinebilir. Koruma yapıları, genellikle güzergâhları uzun olduğundan Belediye, Karayolu Genel Müdürlüğü (KGM) gibi diğer kurumların yaptıkları projelerle kesişebilmektedir. Aynı zamanda tesisin sürekliliği ve kadastro genişliklerini korumak için geçtiği güzergahın da devletin arazisi olmayan noktalarda kamulaştırılmaları gerekebilme olup önemli tarihi varlıklar ve korunması gereken kültürel mirasların gerektirdiği yasaların göz önünde buldurulması,

projenin sonradan aksaklıklara maruz kalmaması açısından önemlidir (Şekil 3) (Kumcu, Wahidi, & Kustal, 2019).



**Şekil 1-3.** Konya Cihanbeyli İlçesi İnsuyu Mahallesi Taşkın Koruma Tesisi (Cengiz, 2020)

Taşkın koruma tesisleri karayolu ve demiryolu hattı ile kesiştiklerinde, yol altından bir menfezle güzergahına devam eder. Söz konusu olan menfezin yapılış şekli, iki projeyi tasarlayan ve uygulayan kurumların aralarındaki koordinasyon ve iletişimi projenin kullanılabilirliği ve amaca uygun olarak çalışması açısından önemlidir. Karayolu ve demiryolu projeleri kapsamında yapılan tesisler ile taşkın koruma tesisinin güzergahında inşa edilen menfezlerin kapasitesi, olası taşkınların kanalda oluşturduğu debiye bakılmaksızın, var olan veya yapılması planlanan kanal ile uyum içinde olmayıp su hızını düşürerek, su seviyesi yükselmesine ve Şekil 4'te görüldüğü gibi rüsubat birikimine sebep olabilmekte ve dolayısı ile taşkın tehlikesi oluşturabilmektedir (Cengiz, 2020).



**Şekil 1-4.** Konya Akçalar Mahallesi Taşkın Koruma Tesisinde Rüsubat Birikimi (Cengiz, 2020)

Rüsubat birikimi akım kesitini daralttığı, pürüzlülük katsayısını (Manning katsayısını) değiştirip, taşkın suyunun hızını ve su seviyesini şekillendirdiği için önem arz etmektedir (Şekil 5). Taşkın yapılarına müdahale, tesisin güzergâhı üzerinde başka projenin uygulanması aşamasında yapılan tahribat sonucu veya yerel halkın farklı sebeplerle müdahaleleri neticesinde de meydana gelebilmektedir. Bu olayın önüne geçebilmek ve meydana getireceği taşkın tehlikesini ortadan kaldırmak için sorunlu kurumların sık sık denetim ve onarım yapmaları gerekmektedir.



Şekil 1-5. Konya Kulu Canımana Mahallesi Taşkın Koruma Tesisi (Cengiz, 2020)

Etüt ve planlama çalışmaları her projenin temelini oluşturmaktadır. Taşkın koruma tesislerinin güzergâh seçimi önemli etüt çalışmaları içermektedir. Eksik bir etüt çalışması ile seçilen bir güzergâh ve tasarlanan bir projede, proje uygulama sırasında doğacak sorunları tahminde bulunup gerekli tedbirler alınmadığı ve gereken değişiklikler yapılmadığı için proje uygulaması sırasında problem daha da büyüyecektir (Şekil 6).



Şekil 1-6. Konya Kulu Bozan Mahallesi Taşkın Koruma Tesisi (Cengiz, 2020)

Tesis güzergahında üzerindeki halkın arazisinin bulunması ve yaşanan kamulaştırma sorunları veya Kültür ve Turizm Bakanlığınca korunan kültürel mirasın ve tarihi yapıların proje ile uyumsuzlukta bulunup yasa gereği projenin uygulanmasının engellenmesi buna örnek teşkil etmektedir. Taşkın korunma yapısının bir noktada sürekliliğini kayıp edilmesi, geniş bir drenaj alanından su kanal vasıtasıyla toplanarak geldiği için kesilen noktada büyük bir su kütlesi oluşturmakta ve taşkın tehlikesi büyütülmektedir. Bu problemin önüne geçmek ve tesisin amaca yönelik çalışmasını sağlamak için güzergâh üzerinde gereken etütler yapılmalı, sorun doğacak yerler tespit edilmeli, gereken önemler alındıktan sonra güzergâh seçimi yapılmalıdır Tesis güzergahı üzerinde halk arazisinin bulunması ve yaşanan kamulaştırma sorunları veya Kültür ve Turizm Bakanlığınca korunan kültürel mirasın ve tarihi yapıların proje ile uyumsuzlukta bulunup yasa gereği projenin uygulanmasının engellenmesi buna örnek teşkil etmektedir. Taşkın korunma yapısının bir noktada sürekliliğini kaybetmesi, geniş bir drenaj alanından su kanalı vasıtasıyla toplanarak geldiği için kesilen noktada büyük bir su kütlesi oluşturmakta ve taşkın tehlikesini büyütülmektedir. Bu problemin önüne geçmek ve tesisin amaca yönelik çalışmasını sağlamak için güzergâh üzerinde gereken etütler yapılmalı, sorun doğacak yerler tespit edilmeli, gereken önemler alındıktan sonra güzergâh seçimi yapılmalıdır (Şekil 7).

Taşkın tesislerinde yapılan plansız müdahaleler, tesisin kapasitesini düşürüp çevreye zarar verebilecek boyuta ulaşabilmektedir. Bu tür müdahaleler proje yapımı sırasında halkın ihtiyaçlarının dikkate alınmamasından kaynaklanabilmektedir (DSİ, 2015).



**Şekil 1-7.** Konya Kelhasan Mahallesi Taşkın Koruma Tesisi Müdahale Sorunu (Cengiz, 2020)

Geçmiş taşkınların meydana getirdiği rüsubat, hem kanalın tabanını doldurup kesiti küçültmekte hem de pürüzlülüğü artırdığı için beton kaplamalı tesislerde akım hızını düşürerek su seviyesini yükseltmektedir. Bunun yanı sıra özellikle şiddetli yağışların meydana geldiği, taşkın olasılığının daha çok olduğu ilkbahar aylarında, doğal toprak kanallarının içinde yetişen ot ve diğer doğal bitkiler kanalların akımını engelleyerek tehlikenin boyutunu büyütülmektedir. Bu problemlerin önüne geçilmesi, sık sık denetim ve temizleme ile tesisin proje gereği tam kapasite çalışmasının sağlanması, taşkın riskini önleme açısından önemlidir (DSİ, 2015).

## **1.2. Taşkın Hidrolojisi**

Hidroloji (hidro+logos) yani su bilimi anlamına gelmektedir. Hidroloji, atmosferde, yeryüzünde ve yeraltında suyun çevrimini, suyun dağılımını ve suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilimdir. Hidrolojik çalışma yöntemleri sırası ile gözlem (ölçüm), kayıt, veri ve model olarak ifade edilir. Yağış, buharlaşma, sızma, yeraltı suyu ve yüzeysel akış hidrolojinin konularını oluşturur. Taşkın hidrolojisinde yüzeysel akış yani yağış sırasında ve yağıştan sonra akışa geçen suyun debisi, hızı ve periyodu önem arz etmektedir (Maidment, 1993).

### **1.2.1. Drenaj Havzası**

Bir drenaj havzası, üzerine düşen tüm suların toplanıp tek bir noktaya (düşük kotlu noktasına) gelebileceği topoğrafik yapıya sahip bir hidrolojik ünedir. Bu topoğrafik yer parçasının alanı, uzunluğu, eğimi, biçimi, bitki örtüsü, arazi kullanımını ve yüzey pürüzlülüğü gibi karakteristik özellikleri taşkın hidrolojisi açısından önem taşımaktadır (Ponce, 1989).

### **1.2.2. Yağış ve Hiyetograf**

Yağış, bölgeye, mevsime ve iklime bağlı olarak düşer. Yağış yüksekliği ise birim alana düşen suyun miktarı veya yüksekliği ile ifade edilir ve genellikle yıllık

ortama yağış yüksekliği şeklinde verilir. Taşkın analizi, havzada fiziksel olarak mümkün olabilecek en büyük yağış verisi baz alınarak da yapılmaktadır (DMİ, 2015).

Bir havzanın yağışın analizini yapabilmek için yağış şiddeti, yağış süresi ve yağış tekerrürü arasında bir bağlantı kurulması gerekir. Bunun sonucunda yağışın zamana bağlı olarak değişimini gösteren hiyetograf ortaya çıkmaktadır. Hiyetografi elde edilen yağış yüksekliğinin buharlaşma ve sızma indisi oluşturularak yüzeysel akış elde edilmektedir (Ağırılıoğlu & Erkek, 2013).

### **1.2.3. Akış-Hidrograf**

Yüzeysel akış, bir havzaya düşen yağışın, sızma ve evapotranspirasyon (buharlaşma ve terleme) kayıplarından sonra akışa geçip dere, çay, ırmak ve nehir gibi yollarla havzadan çıkan bölümüdür. Yüzeysel akışın hızı, debisi ve periyodu taşkın hidrolojisinde önem arz etmektedir. Yüzeysel akışın bu özellikleri, havzanın fiziksel yapısı, zemin cinsi ve jeolojik yapısı, iklim ve havzanın bitki örtüsü gibi faktörlerden etkilendiği için taşkın modellemesindeki belirsizlikleri artırmaktadır (Chow, 1964).

Havzanın çıkışında veya ölçüm ve taşkın analizinin yapılması istenilen herhangi bir noktada yüzeysel akışın zamanla değişim fonksiyonu taşkın veya akış hidrografını oluşturmaktadır. Hidrografın şekli, yükselme periyodu, pik noktası oluşma zamanı ve alçalma periyodu havzanın topoğrafik yapısına bağlı olarak değişim göstermektedir (Chin, 2003).

Yağış-akış ilişkisini gösteren hidrograf bir havzanın taşkın modelinin oluşturulması ve taşkın analizinin yapılması için elde edilmesi gereken en temel grafiğdir. Hidrograf kullanma amacına bağlı olarak havzanın karakteristik değerlerine göre farklı sentetik ve ampirik yöntemler kullanılarak elde edilmektedir.

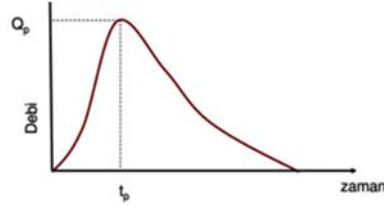
#### **1.2.3.1. Sentetik Birim Hidrograf Yöntemleri**

Hidrografın amacı havzaya giren belli şiddetteki yağışın çıktısı olan yüzeysel akışın debisini tahmin etmektir. Akarsu yağış-akış ilişkisinin çok karmaşık olmasının

yanı sıra havza modellerinin kurulmasında yaşanan en büyük zorluk, yağış-akış ilişkisinin lineer olmayışıdır. Superpozisyon prensibinin uymadığı bu gibi lineer olmayan sistemlerin lineer hale getirilmesi bazı kabuller ve değişikliklerle mümkün olacaktır.

Toplam Yağış Kayıplar= Artık (net) Akış

Toplam Akış- Taban Akışı= Dolaysız Akış

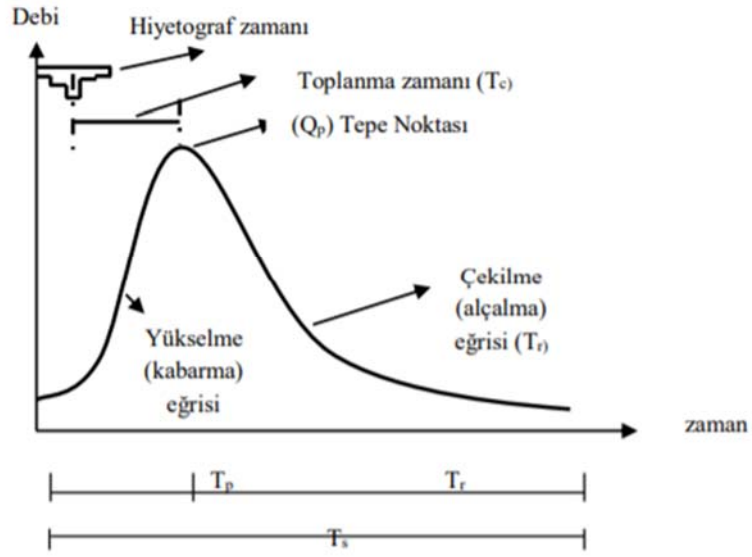


Şekil 1-8. Birim hidrografi

Havzaya belirli bir süre boyunca sabit şiddette düşen birim yükseklikteki (1cm) net (artık) yağışın sonucu oluşan dolaysız akışın hidrografi birim hidrograf olarak ifade edilir (Maidment, 1993) (Şekil 8). Birim hidrografi elde etmek için havzanın karakteristik özelliklerine bağlı ve yaygın olarak kullanılan yöntemlerin bazıları şunlardır.

#### a. Mockus Yöntemi

Mockus yönteminde birim hidrograf üçgen olarak kabul edilmekte ve daha çok üzerinde akım gözlem istasyonları bulunmayan dereler ve su yollarında uygulanmaktadır. Toplama süresi 30 saati geçmeyen drenaj alanlarında kullanılması uygun görülmekte olup daha büyük drenaj alanlarında, alanı daha küçük alt alanlara bölerek her bir parça için çizilen hidrografların gecikme zamanlarına göre süperpoze edilmesi gerekmektedir (Ponce, 1989).



Şekil 1-9 Hidrograf

$$Q_p = K * A * h_a / T_p \quad (1.1)$$

$Q_p$ : Birim hidrograf debisi (m<sup>3</sup>/s/mm)

K: Havza kat sayısı

A: Havza alanı (km<sup>2</sup>)

$h_a$ : Birim hidrograf derinliği (mm)

$T_p$ : Pike erişim süresi (saat)

Birim hidrograf analizinde havzanın ve akım yolunun harmonik eğimi hesaplanmaktadır. Harmonik eğim denklemi şu şekildedir;

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad G = 6.67 \times 10^{-11} \quad (1.2)$$

$$S = \left( \frac{10}{\sum \frac{1}{\sqrt{S_i}}} \right)^2 \quad (2.3)$$

Burada “S” nehir yatağının harmonik eğimi ve “S<sub>i</sub>” de nehir yatağındaki iki kesit arasındaki harmonik eğimi göstermektedir.

Havzanın toplama süresi harmonik eğim ve akım yatağı uzunluğuna bağlı olup Kirpich formülü yardımı ile şu şekilde hesaplanabilmektedir;

$$T_c = 0,00032 * (Lh^{0,77} / S^{0,385}) \quad (3.4)$$

T<sub>c</sub>: Geçiş süresi (saat)

S: Drenaj alanının ortalama eğimi (%)

Lh: Drenaj alanının hidrolik uzunluğu (m)

$$D = 2 * T_c^{\frac{1}{2}} \quad (4.5)$$

D: Taşkınlı oluşturulan yağışın süresi (saat)

$$\Delta D = T_c / 5 \quad (5.6)$$

ΔD: Toplam yağış süresinden sağanak süresi (saat)

$$T_p = 0,5 * \Delta D + 0,6 * T_c \quad (6.7)$$

$T_p$ : Pike erişme süresi (saat)

$$T_r = H_c * T_p \quad (7.8)$$

$T_r$ : Taşkın sönümlleme süresi

$H_c$ : Havza karakterine göre 1 ve 2 arasında değişen olan katsayı

$$q_p = K * \left( \frac{A}{T_p} \right) \quad (8.9)$$

$K$ : 0,21 ile 1,60 arasında değişen havza katsayısı

$$Q_p = q_p * H_a \quad (9.10)$$

$H_a$ : 100 yıllık maksimum yağış yüksekliği(mm)

$Q_p$ : 100 yıllık taşkın debisi.

## b. DSİ Sentetik Yöntemi

Drenaj alanı 1000 km<sup>2</sup>'yi geçmeyen ve gecikme süresi ( $T_p$ ) 2 saatten az olan havzalar için kullanılabilir (Eroğlu, 2017).

$$q_v = 414 * \frac{1}{A^{0,226} \left( L \frac{L_c}{\sqrt{S}} \right)^{1,6}} \quad (9.11)$$

$$q_p = 10^{-3} A q_v \quad (10.12)$$

$$T_0 = 1013,9 / q_v \quad (11.13)$$

$$T_p = T_0 / 5 \quad (12.14)$$

$$Q_p = q_p h_a \quad (13.15)$$

A: Havza alanı

L: Havza içerisindeki en uzun dere kolu

Lc: Havza alanı ağırlık merkezinin, havzanın en uzun kolu üzerindeki izdüşümü ile hesaplama noktası arasındaki mesafe

S: Harmonik eğim

qv: Birim alandan geçen akım verimi

qp: Birim hidrograf pik debisi

### c. Snyder Yöntemi

Birim hidrografın en temel iki parametresi pik debi ve gecikme zamanıdır. Snyder birim hidrograf yönteminin bu konudaki varsayımı, benzer fiziksel özelliklere sahip olan havzaların eşit alanlılarındaki bu parametrelerin benzerlik göstermesidir. Snyder metodu, hidrografik özellikleri belli olmayan bir havzanın benzetme yolu ile gecikme zamanının ve pik debisinin benzetilerek bulunması yöntemidir (SYGM, 2017).

$$t_p = 0,75 * c_t * (L * Lc)^{0,3} \quad (14.16)$$

$$q_p = 2,78 C_p / t_p \quad (15.17)$$

$$Q = 2.28 C_p A / t_p \quad (16.18)$$

tp: Gecikme zamanı (saat)

L: Havzanın çıkış noktasındaki en uzak noktaya kadar ana kanalın uzunluğu (km)

Lc: Havzanın orta noktası ile çıkış noktası arasındaki mesafe

qp: Havzanın birim alanı için pik debi (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>)

Qp: Havzanın pik debisi

A: Drenaj alanı

Ct ve Cp: drenaj havzası özelliklerine ve birimlerine bağlı katsayılar

### 1.2.3.2. Ampirik Yöntemler

Eğer bir yağışın meydana getirdiği akışın sadece pik debisi tahmin edilmek istenirse ampirik yöntemler kullanılır. Bu yöntemlerle sadece pik debi bulunduğu ve hidrograf belirlenmediği için akış hacmi konusunda herhangi bir tahmin yapılmaktadır (Bayazıt & Önöz, Bihrat., 2008). Genellikle karayolu menfez debilerini ve şehir kanalizasyon debilerinin bulunmasında ampirik yöntemler kullanılır.

#### a. Rasyonel Yöntemi

Rasyonel yöntemi, en yaygın kullanılan ampirik yöntemlerden biridir. Kanalizasyon debilerinin tahmininde, alanı 0,5 km<sup>2</sup>'den küçük alanlarda kullanılabilir. Yöntem, kırsal alanlarda, 1 km<sup>2</sup> alana kadar sonuç verebilmektedir (Chow, 1964). Rasyonel metodu ile dolaysız akışın pik debisi şu şekilde hesaplanır:

$$Q = C * i * A / 3.6 \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (17.19)$$

A: Havzanın yağış alanı

İ: Havzanın yağış şiddeti

Q: Maksimum debi

#### b. Mac-Math Yöntemi

MacMath yöntemi düz alanlarda kullanılabilir olup özellikle yüzey drenaj kanallarının kapasitelerinin bulunmasında güvenilir sonuçlar vermektedir. MacMath yönteminde alan sınırlandırması yoktur ancak eğimli yamaçlarda ve beslenen yan dereler için bu yöntemden sonuç alınamamaktadır (Bayazıt & Önöz, Bihrat., 2008).

$$Q = 0,0023 * c * L * S^{\frac{1}{5}} * A^{4/5} \quad (18.20)$$

Q: En yüksek yüzey akış debisi (m<sup>3</sup>/s)

C: Toprak cinsi, topoğrafya ve bitki örtüsüne bağlı bir katsayı

I: Yağışların seçilen tekerrür aralığı için konsantrasyon zamanına eşit yağış şiddeti (mm/h)

S: Yatak eğimi x 1000

A: Drenaj alanı (ha)

### 1.3. Taşkın Direktifi

Taşkın direktifi veya tam adı ile taşkın riskinin değerlendirilmesi ve yönetilmesi direktifi, taşkınların engellenemeyen doğal bir olay olduğu ve sebep olacağı kırılganlık, iklim değişikliği, nehir yönetimindeki yanlış ve eksik uygulamalar, taşkın riski olan yerlerde inşaat ve yerleşimin olması ve yanlış toprak kullanımı gibi sebeplerden artacağı yaklaşımını öne sürerek 26 Kasım 2007 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde yürürlüğe girmiştir. Bu direktifin amacı, taşkın riskini değerlendirmek, yönetme odaklı bir yapı oluşturmak ve taşkınların insan sağlığı, kültürel miras, çevre ve ekonomik faaliyetler üzerine oluşturduğu etkileri azaltmaktır. Taşkın direktifinin uygulanması 3 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar; taşkın riski ön değerlendirmesi, taşkın risk ve tehlike haritalarının oluşturulması ve taşkın riski yönetim planının hazırlanmasıdır (SYGM, 2017).

#### 1.3.1. Taşkın riski ön değerlendirmesi

Taşkın riski ön değerlendirmesi, taşkın direktifinin ilk aşaması olup iki farklı çalışmadan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk aşaması geçmişte havzada görülen ciddi öneme sahip tarihi taşkınların belirlenmesini ve gelecekte aynı havzada meydana gelebilecek bu şekilde ciddi taşkınların muhtemel alanlarının tahmin edilmesini

kapsamaktadır. Dolayısıyla taşkın riski ön değerlendirmesi kolaylıkla ulaşılabilecek mevcut bilgilere ve verilere dayanacaktır (Karasu, 2018).

### **1.3.1.1.Tarihi taşkınlar**

Mevcut bilgilere dayanan taşkın riski ön değerlendirmesinde söz konusu olan ciddi öneme sahip tarihi taşkınlar iki aşamada değerlendirilerek belirlenir. İlk aşamada, daha önce havzada yaşanmış taşkınların yağış miktarı, debi ve su seviyesi gibi kaydedilmiş bilgiler ve rapor edilmiş hasarlar kullanılarak envanter çalışması yapılır (Eroğlu, 2017). Çalışmanın ikinci aşamasında ise rapor edilen hasarlar değerlendirilerek taşkın direktifinde belirlenmiş olan eşik değerlerle kıyas edilip, ciddi tarihi taşkınlar belirlenir.

Taşkınların sınıflandırılması ve ciddi tarihi taşkınların belirlenmesi için kullanılan kriterler, Avrupa Birliği (AB) taşkın direktifinde, taşkın sonuçlarının insan sağlığı, kültürel miras, çevre ve ekonomik faaliyetler üzerindeki etkilerine göre belirlenmiştir. Bu kriterler yeterli bilgilerin bulunduğu ve kolayca uygulanabildiği, can kaybı sayısı, etkilenen sosyal öğelerin sayısı, etkilenen ekonomik öğelerin sayısı, etkilenen yolun kilometre uzunluğu, etkilenen ev sayısı, etkilenen ekilebilir alan, etkilenen kirlilik kaynaklarının sayısı, etkilenen kültürel öğelerin sayısı gibi göstergeleri eşik değerleri ile birlikte kapsamaktadır. Geçmişte meydana gelen herhangi bir taşkının göstergelerin üzerindeki etkileri eşik değerlere ulaştığında veya eşik değerlerin üstünde olduğunda söz konusu olan taşkın, taşkın riski ön değerlendirmesinde ciddi tarihi taşkın olarak nitelendirilmektedir (The EU Floods Directive, 2020).

Havzalarda meydana gelen tarihi taşkınların değerlendirilmesinde ve hasarların belirlenmesinde, mevcut şehir kanalizasyon şebekelerinin ve taşkın koruma tesislerinin kapasiteleri ile taşkın oluşum tarihinde havzanın arazi kullanımının göz önünde bulundurulması büyük önem taşımaktadır (SYGM, 2017).

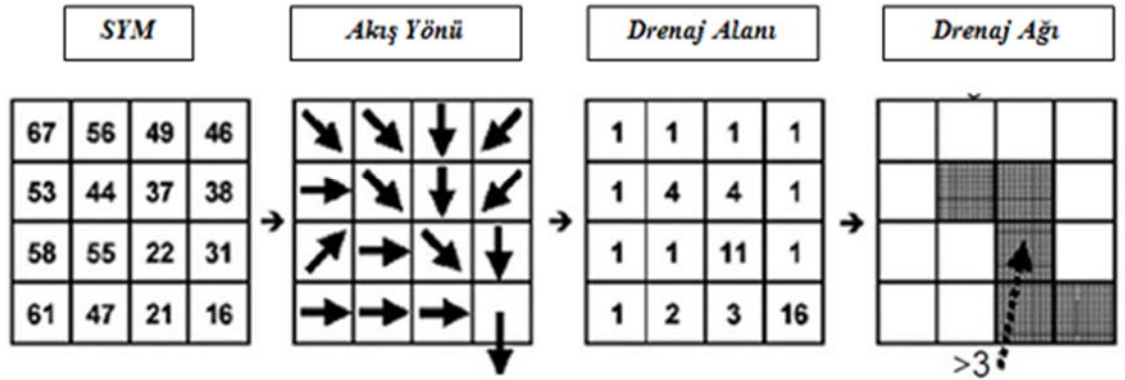
### **1.3.1.2.Gelecekte meydana gelebilecek taşkınlar**

İllerde meydana gelmesi muhtemel taşkınların ve yayılma alanlarının belirlenmesinde en yaygın kullanılan yaklaşımlar, exzesco yöntemi, su yükseltme

metodu, alüvyon birikintisi metodu, flood toolboxlar ve bir boyutlu hidrolojik modeller olarak bilinmektedir.

#### a. Exzesco yöntemi

D8 algoritmasına dayanmakta olan bu yöntem, ilk kez Fransa tarafından geliştirilmiş ve Fransa'da bulunan bir sunucu üzerinden otomatik olarak çalıştırılmaktadır. D8 algoritmasına göre sayısal yükseklik modelinin (SYM) her bir hücresindeki su, düşük yükseklikte olan komşu hücreye akmaktadır (Şekil 10). Dolayısıyla, her hücredeki su kendisinden düşük seviyedeki hücreye aktığı için drenaj ağı tespit edilebilmektedir (Bayazıt & Bakış , 2015). Bu yöntem mevcut sayısal yükseklik haritası ile çalışmakta ve haritanın doğruluğu, sonuçların doğruluk oranını önemli derecede etkilemektedir.



Şekil 1-10. Sayısal yükseklik model, akışın yönü ve şeklin oluşumu (SYGM, 2017)

#### b. Su seviyesi yükseltme metodu

Exzesco yöntemine benzeyen su seviyesi yükseltme yöntemi, adından anlaşıldığı gibi SRTM DEM haritaları (mevcut sayısal yükseklik modeli) üzerinde çalışmakta olup su seviyesi yükseltme esasına dayanmaktadır. Su seviyesi yükseltme esasının temel amacı, harita üzerindeki bir akarsuyun seviyesini yükselterek nerelerde yatağından çıktığını, hangi alanlara yayıldığını ve nereleri su altında bıraktığını görmektir (SYGM,

2017). Bu yöntem daha çok Romanya’da kullanılır ve üzerinde çalıştığı harita, sonuçların doğruluk oranını önemli derece etkilemektedir.

### **c. Alüvyon birikintisi metodu**

Alüvyon birikintisi metodu, jeolojik haritalara dayanmakta olup alüvyon birikintisinin bulunduğu yerleri daha önce taşkın yayıldığı yerler olarak kabul etmektedir. Bu yöntemin uygulama süresi diğer yöntemlere göre daha kısadır. Yapılan bu çalışma, alüvyon birikintisi yayılım bilgisine dayandığı için jeolojik haritanın doğruluk oranı çalışmanın doğru sonuçlar vermesi açısından önemlidir (The EU Floods Directive, 2020).

Taşkın birikintisi metodu, jeolojik haritalara dayanmakta olup alüvyon birikintisinin bulunduğu yerleri daha önce taşkın yayıldığı yerler olarak kabul etmektedir. Bu yöntemin uygulama süresi diğer yöntemlere göre daha kısadır. Yapılan bu çalışma, alüvyon birikintisi yayılım bilgisine dayandığı için jeolojik haritanın doğruluk oranı çalışmanın doğru sonuçlar vermesi açısından önemlidir (Bayazıt & Bakış , 2015).

### **1.3.2. Taşkın riski ve taşkın tehlike haritaları**

1980’li yıllara kadar, taşkın koruma ve taşkın kontrolü adları altında mühendislik yaklaşımlarıyla taşkına karşı alınan önlemler, daha çok yapısal odaklı olmuştur. Daha sonra taşkın olma ihtimalini azaltan önlemlerle taşkın yönetimi ortaya çıkmıştır. Günümüzdeki taşkın çalışmalarında, taşkın risk yönetimi ile taşkın oluşumunda hasar görülebilirliğini azaltan önlemler dikkate alınmakta ve gerekli planlamalar yapılmaktadır (SYGM, 2017).

Taşkın risk yönetimi hiyerarşik modelleme yaklaşımına dayanmaktadır. Taşkın tehlike haritasında, taşkınların değişik tekerrür debilerine bağlı olarak taşkın suyunun arazi üzerinde yayıldığı alanlar belirlenip haritada üzerinde işaretlenmektedir. Taşkın tehlike haritalarının oluşturulmasında hidrolojik ve hidrolik modeller bir ve iki boyutlu olmak üzere önem arz etmektedir.

### **1.3.2.1.Taşkın risk kavramı**

Taşkın riski, bir bölgede taşkın oluşuracağı tehlikeleri (muhtemel hasarlar) ve bölgenin taşkın neticesinde hasar görebilirliğini ifade etmektedir. AB taşkın direktifinde de taşkın riski, taşkın olayının olabilme ihtimali ile, meydana gelmesi muhtemel olan taşkın insan sağlığı, çevresel ve ekonomik faaliyetler üzerinde muhtemel olumsuz etkilerinin belirlenmesi olarak ifade edilmiştir (The EU Floods Directive, 2020).

Burada söz konusu olan durum, farklı tekerrür debilerine karşılık gelen risk alanlarında, taşkın suyunun hızı, derinliği ve yayıldığı arazi ile insan sayısı, önemli tesisler, ekonomik aktiviteler düzeyi ve zarar görmesi muhtemel çevresel faaliyetlerin boyutları arasında bağlantı kurmaktır. Böylece taşkın risk haritaları hem doğrudan hem de dolaylı olarak taşkınları yol açabileceği zararlara karşı alınan tedbirleri ve önlemleri desteklemektedir (Karasu, 2018).

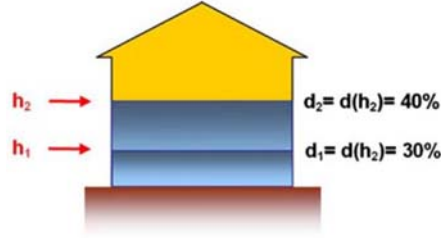
Olası bir taşkın hasar değerlendirmesi ve beklenen hasarın tahmini için, arazi kullanım verileri, risk altındaki varlıkların değeri, derinlik-hasar eğrileri ve taşkın yayılım alanı ile akım derinlik oranının oluşturulması ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

### **1.3.2.2.Derinlik hasar ilişkisi**

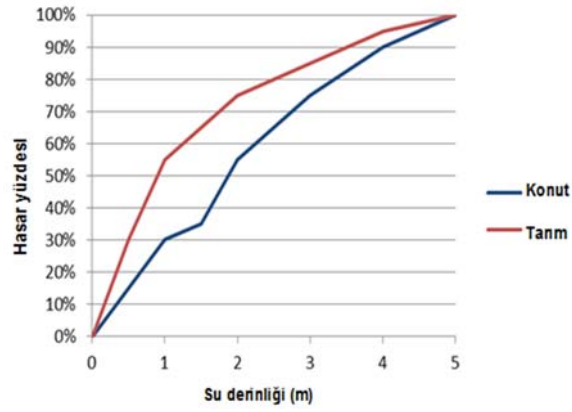
Hasar fonksiyonları, gerçek veriler yardımı veya sentetik yöntemlerle elde edilebilmekte olup risk altındaki varlıkların su derinliğine ve taşkın karakteristik özelliklerine bağlı olarak, mutlak ve kısmi (göreceli) hasarları göstermektedirler (The EU Floods Directive, 2020). Buradaki gerçek veriler daha önce bölgede yaşanmış olan taşkınların, taşkın olayından hemen sonra, binalarda derinliğe bağlı zarar derecesini ifade etmekte ve verisi bulunmayan yerlerde ise zarar tahmini, bölgedeki uzman görüşleri alınarak sentetik yöntem ile gerçekleştirilmektedir.

Havzadaki bölgelerin derinlik-hasar fonksiyonları (Şekil 11 ve Şekil 12), taşkın risk değerlendirmesinde kolaylık sağlanması, bölgede meydana gelen taşkın zararlarının hemen tahmin edilmesi, yıllık beklenen ortalama hasar tahmininde kolaylık sağlanması ve dolayısıyla da yıllık beklenen hasar ile taşkın riskinin azaltılması için

alınacak yapısal veya yapısal olmayan tedbirlerin belirlenmesi yönünden avantaj sağlamakta ve taşkın risk yönetim planlarında fayda-maliyet analizinde kullanılmaktadır (SYGM, 2017).



Şekil 1-11. Binalarda derinlik hasar gösterimi (SYGM, 2017)



Şekil 1-12. Derinlik-hasar eğrisine bir örnek (SYGM, 2017)

$$Hasar = \sum_i^m x \sum_r^n (\alpha_i(h)) D_{mak,i} \cdot Ar \quad (19.21)$$

D (mak, i): Bir alan kategorisi için maksimum hasar

$\alpha_i(h)$ : Hasar-derinlik işlevi

Ar: Taşkına maruz kalan alan

#### 1.4. Taşkın Modelleme

Taşkın risk yönetimi, hiyerarşik modelleme yaklaşımına dayanmaktadır. Taşkın tehlike haritası, taşkınların değişik tekerrür debilerine bağlı olarak taşkın suyunun arazi üzerinde yayıldığı alanların belirlenmesi ve harita üzerinde işaretlenmesi ile oluşturulur. Taşkın tehlike haritalarının oluşturulmasında, bir ve iki boyutlu hidrolojik ve hidrolik modeller büyük önem arz etmektedir ( Husain, 2017).

Hidrolojik modelleme ile havzanın her alanında ve her noktasında uygulanabilecek tüm su yolları için 2, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000 yıllık tekerrür debileri hesaplanır, daha sonra havza içerisindeki barajların ve su tutan diğer hidrolik yapıların etkilerini yinelemeli taşkın hesaplarına yansıtma suretiyle daha doğru yinelemeli bir taşkın hidrografi elde etmek için hidrolojik modele entegre edilirler.

##### 1.4.1. Hidrolik modelleme

Taşkın modellemesinin temel amacı, taşkını temsil eden hidrolik modeller oluşturmaktır. Farklı dönüş periyoduna sahip taşkınlara ait hidrografların meydana getireceği taşkın yayılım alanı, su derinliği ve akım hızlarını elde etmek amacı ile taşkın esnasında nehir hidroliğinin esaslarını uygulayarak akarsuyun davranışı modellenir (Yurdakul, 2019).

Hidrolik modeller sıkıştırılmaz akışkanlar ve su yoğunluğunun değişmeyen varsayımın kabulüne dayanan üç boyutlu Navier-stokes momentum denklemleri çözümlerine dayanmaktadır. Navier-Stokes denklemlerinde, momentum ve süreklilik denklemlerinin sistem olarak çözülmesi ile tüm modelleme çalışmalarının altyapısını şekillendirilmektedir (SYGM, 2017).

Navier-Stokes denkleminin momentum kuralına göre uygulanmış hali;

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + F. \quad (20.22)$$

Navier-Stokes denkleminin süreklilik denklemine uygulanmış hali;

$$\nabla \cdot u = 0$$

$\rho$  = Akışın (suyun) Yoğunluğu

$u$  = Hız,

$t$  = Zaman,

$p$  = Hidrostatik Basınç,

$\mu$  = Viskozite Katsayısı

$F$  = Diğer Bileşenler (sürtünme, yer çekimi, Coriolis kuvveti vb.)

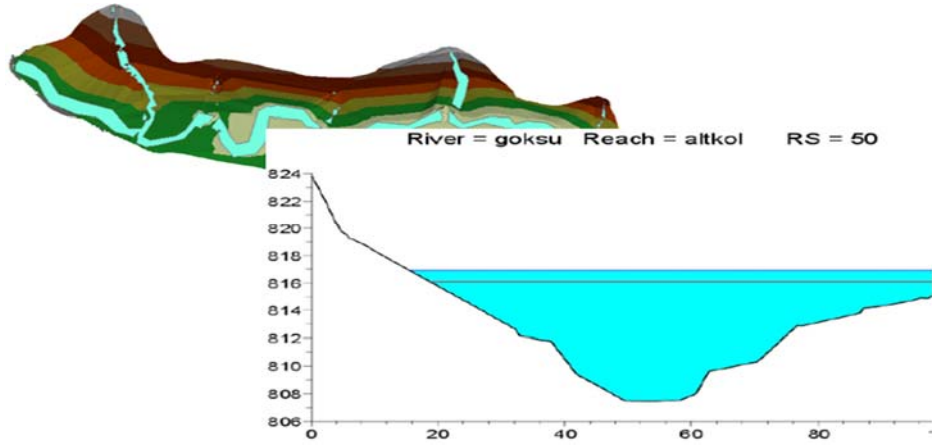
Bir boyutlu hidrolik modelin süreklilik ve momentumun korunumu matematiksel denklemleri, akarsu yatağındaki kesitler arasındaki mesafenin  $\Delta x$  kadar olduğu düşünülerek, iki farklı kesite Saint-Venant denkleminin uygulanmasıyla oluşturulur. Bu denklemlerin analitik çözümleri olmamakta, sadece numerik yöntemlerle çözülebilmektedirler (Şekil 13).

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \left( \frac{dh}{dx} + Sf - So \right) = 0 \quad (21.23)$$

Momentumun korunumu;

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (22.24)$$



Şekil 1-13. İki boyutlu hidrolik modelleme örneği (çalışma modelinden örnek)

Navier-Stokes denkleminde su derinliğinin ortalama hızına göre integralinin alınması ile elde edilen bağıntılar iki boyutlu hidrolik modellerde kullanılmaktadır.

Süreklilik denklemi (Bayazıt & Önöz, Bihrat., 2008);

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \vec{u}_d * \overrightarrow{\text{grad}}(h) + h \text{div}(\vec{u}_d) = 0 \quad (23.25)$$

Momentumun korunumu;

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_d}{\partial t} + \vec{u}_d * \overrightarrow{\text{grad}}(u_d) + g \frac{\partial h}{\partial x} - \text{div}(v_t * \overrightarrow{\text{grad}}(u_d)) \\ = S_x - g \frac{\partial Z_f}{\partial x} \end{aligned} \quad (24.26)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_d}{\partial t} + \vec{u}_d * \overrightarrow{\text{grad}}(v_d) + g \frac{\partial h}{\partial y} - \text{div}(v_t * \overrightarrow{\text{grad}}(v_d)) \\ = S_y - g \frac{\partial Z_f}{\partial y} \end{aligned} \quad (25.27)$$

$u_d$  ve  $v_d = x$  ve  $y$  eksenlerine göre ortalama hız

$Z_f$  = kanalın yüksekliğini,

$v_t$  = kinematik türbülanslı viskozitesi,

$S_x, S_y$  = yatak eğimleri

Taşkın çalışmalarının ilk aşaması (taşkın riski ön değerlendirmesi) sonrasında ve bir boyutlu hidrolik modelleme neticesinde iki boyutlu model çalışması yapılması gereken yerlere karar verildiğinde, karar verilen yerlere ait mevcut haritalar ve araziden gelen en kesit okuma verilerine binaların da eklenmesiyle bütünleşik bir sayısal yükseklik modeli (DEM) oluşturulmaktadır (Bayazıt & Bakış , 2015).

DEM modeli oluşturulduktan sonra dere yataklarının ve su yollarının üzerinde bulunan mevcut köprüler, menfez vb. sanat yapıları ile memba ve mansap sınır şartlarının kullanılan hidrolik modelleme programına girdi olarak girilmesiyle arazinin iki boyutlu hidrolik modeli yapılabilmekte ve taşkın yayılım alanları, su derinlikleri ve akım hızları tespit edilebilmektedir.

#### **1.4.2. Bütünleşik hidrolik modelleme**

Bir boyutlu hidrolik modellemelerde taşkın dalgasının yatay eksenindeki davranışları konusunda fikir verilmemekte ve topografyayı ve en kesitleri yeterli ölçüde modele yansıtma kabiliyeti sınırlı olmaktadır. Bu problemlerin giderilmesi için yeniden iki boyutlu hidrodinamik modellerin kurulması ve kullanılması büyük çaba ve zaman kaybına sebep oldukları için son zamanlarda bir ve iki boyutlu hidrolik modellerin beraber kullanıldığı hibrit modelleme kullanımı artış göstermektedir. Bu yöntemde, taşkın yatağında bir boyutlu Saint-Venant denklemleri kullanıldığında, taşkın yatağının taşması ve arazide yayılması durumunda iki boyutlu model yaklaşımı uygulanmaktadır (Sönmez & Demir, 2016).

Bu teknik, hem akarsuların meydana getirebileceği taşkınların yatak boyunca davranışını yansıtma hem de bu akarsuların meydana getirebileceği taşkın alanlarının iki boyutlu modellenmesinde kullanılabilir.

#### **1.4.3. Taşkın risk yönetim planı**

Taşkın hasarlarını azaltmayı amaçlayan mühendislik yaklaşımının yerine günümüzde daha çok risk esaslı yönetim öne çıkmaktadır. Bu doğrultuda, taşkın risk yönetimini gerçekleştirmek için 2007 yılında AB taşkın direktifi yürürlüğe girmiştir.

Taşkın riskinin doğru bilinmesi, taşkın yönetim çalışmaları ve mekânsal planlamalar büyük önem taşımaktadır (SYGM, 2017).

Taşkın risk yönetimi, meydana gelen ve gelmesi muhtemel olan taşkın risklerinin analizi, risklerin azalması için gereken politikaların geliştirilmesi, önlemlerin üretilmesi, önerilen önlemlerin uygulanması ve takip edilmesi gibi eylemler içeren, tamamen yok edilmesi mümkün olmayan taşkın risklerinin, toplumsal menfaatler gözetilerek taşkın riskinin bir bölümüyle ilişkilendirilen ve taşkın riskini azaltarak diğer alanlarla bir denge kurmayı amaçlayan bir yaklaşımdır (The EU Floods Directive, 2020).

Taşkın risk yönetim planlarında, taşkından önce, taşkın sırasında ve taşkından sonra yapılması gerekli işlemler ve alınması gereken önlemler, her bir işlem ve önlemin uygulanmasından sorumlu olan kurum ve kuruluşlar açıklanmaktadır. Tedbirlerde, çevresel boyut, ekonomik aktiviteler, stratejik tesisler gibi riski altında kalabilecek öğelerin niteliği ve sayısı belirlenmekte ve önceliklendirilmektedir (SYGM, 2017).

Taşkın yönetim planının oluşturulması ile taşkın riski konusunda toplumsal ve kurumsal farkındalık artırılarak, can ve mal kayıplarının azaltılması, belirlenecek tedbirler yardımı ile riske sebep olan yapıların ve etkenlerin belirlenerek ortadan kaldırılması, mekânsal çalışmalara özellikle de çevre düzeni imar planlarının hazırlanması, bütünleşik risk haritalarının hazırlanması ve sigorta sektörüne temel oluşturması gibi kolaylıklar sağlanmaktadır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Taşkın, birçok maddi ve maddi olmayan varlıkları zarara uğratan tehlikeli doğal afetlerdendir. Nüfus artışı ile beraber arazi kullanımının değişmesi, endüstrinin gelişmesi ve iklimin değişmesi ile bu felaketin şiddeti değişmekte ve boyutu gelişme göstermektedir. Bu sebepten dolayı, dünya ülkeleri, insanları, ekonomik aktiviteleri, stratejik tesisleri, kültürel miras ve tarım arazileri gibi varlıkları korumak için taşkın felaketini her zaman çalışma gündemlerinde tutmuş, doğru politikalar geliştirmeye, çalışmaların sonucunda gereken tedbirleri ve önemleri almaya devam etmişlerdir. Türkiye’de taşkın felaketi, depremden sonra en büyük risk oluşturan doğal afet olarak bilindiği için uzun yıllardan bu yana taşkın konusunda çalışmalar yapılmış ve zengin bir literatür oluşturulmuştur. Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ile birlikte taşkın modellerinde kullanılan bilgisayar destekli çözümler ve modellemeler, daha verimli sonuçlara ulaşılmasını sağladıklarından dolayı kullanımları yaygınlaşmıştır. Bilgisayar destekli taşkın çözümleri ve modellemelerinde kullanılan yaygın paket programlarından biri de ABD Ordusu Mühendisler Birliği (USACE) tarafından geliştirilmiş olan HEC-RAS (Hidroloji Mühendisliği Merkezi-Nehir Analiz Sistemi) programıdır. Türkiye sınırları içinde HEC-RAS yardımı ile yapılmış bazı çalışmalar şu şekildedir;

Yazıcılar ve Önder, 1998 yılında Bartın Nehri üzerinde yaptıkları çalışmalarında, HEC-RAS yazılımı yardımı ile nehrin taşkın verilerini analiz ederek meydana gelen taşkına ait su seviyeleri ve yayılım alanlarını hesaplamış ve gerçek değerlerle kıyaslama yapmışlardır. Analiz sonuçlarını gerçek sonuçlara yakın bulduklarını ifade etmişlerdir.

Doğanoğlu (2000), Çayboğazı Havzası’nda gerçekleştirdiği çalışmasında, taşkın bölgesinin yoğun yerleşim alanı olarak kullanıldığı bu havzada taşkın davranışını ve taşkın yayılım haritalarını elde etmeyi amaçlamış ve HEC-RAS yazılımını kullanarak su basma haritaları ile su derinliğini elde etmiştir.

Kaleyci (2004), çalışmasında taşkın tehlikesi altında kalabilecek bölgelerin tespiti amacı ile taşkın tahmin hesaplamalarında istatistiksel yöntemler ve birim hidrograf yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Karadeniz Bölgesi'ndeki 7 akım gözlem istasyonuna (AGİ)'ye ait frekans analizinde, istatistiksel metotlar yardımı ile 500, 1000 ve 10000 taşkın tekerrür debileri elde edilmiştir. İstatistiksel debi sonuçlarını kullanarak HEC-RAS programı yardımı ile taşkın yayılım alanları belirlenmiştir.

Onuşluel (2005), İzmir Bostancı Havzası'nın taşkın çalışmasında, taşkın yayılım alanlarını belirlemek, kritik alanlara karar vermek ve su derinliklerinin etkisini görmek amacı ile CBS (coğrafi bilgi sistemi), HEC-RAS ve ArcView paket programlarını beraber kullanmıştır. Önce CBS programı yardımı ile taşkın yayılım alanları belirlenmiş, ikinci adımda kritik alanlarda kararlı ve kararsız akımların simülasyonu amacı ile HEC-RAS kullanılmış ve daha sonra seçilen tehlike altındaki alanların derinliği ve su etkisi ArcView programında görselleştirilmiştir.

Özdemir (2007), Balıkesir Havran Çayı ile ilgili yaptığı çalışmasında, Havran İlçe Merkezi ve Havran Barajı'nın taşkın verilerini kullanarak CBS, HEC-GeoRAS ve HEC-RAS yazılımları yardımı ile taşkın analizini gerçekleştirmiş ve değişik senaryolara bağlı taşkın yayılım haritalarını elde etmiştir.

Uçar (2010) çalışma alanı olarak belirlemiş olduğu Trabzon Değirmendere Havzası'nda, arazi modellemesi ve hidrolik analiz için CBS ve HEC-RAS paket programlarını kullanmıştır. Çalışma kapsamında, deredeki plansız yerleşmeye bağlı olarak dere kenarındaki arazi kullanımlarını dikkate alarak taşkın tehlike haritası oluşturup farklı yapısal önlemlerin alınması gerektiğini önermiştir.

Efe (2014), yaptığı çalışmasında, Batman Çayı'nın Yeni Malabadi Köprüsü ile Diyarbakır Batman Karayolu Köprüsü arasında kalan alanın, AutoCAD Civil 3D ve HEC-RAS programları yardımı ile taşkın risk analizini gerçekleştirmiştir. AutoCAD Civil 3D programı yardımı ile toplamda 165 adet kesit aldığı bu bölgede su yüzü profilini de elde etmiştir.

Türkan ve Korkmaz (2015), çalışmaları kapsamında Bursa Kaplıkaya Deresinin topoğrafik verilerini ArcGIS ortamında işleyerek derenin 500, 1000 ve 10000 yıllık taşkın tekerrür debileri ile HEC-RAS programında analiz yapmışlar. Farklı tekerrürlerde meydana gelebilecek taşkın akım simülasyonunu oluşturmuşlar ve derenin taşkın durumunu incelemişlerdir.

Bayazıt ve Bakış (2015), çalışma alanı olarak seçtikleri Sakarya Havzası'nın alt havzası olan Seydisuyu Çayı Bölgesi'nde CBS ve HEC-RAS kullanarak 50, 100 ve 1000 yıllık tekerrür debilerinin meydana getirebileceği taşkın riskinin analizini yapmışlardır. Çalışma sonuçlarını gerçek arazi yapısı ile mukayese ederek, taşkın sırasında meydana gelebilecek debinin yerleşim ve tarım alanları üzerindeki riskini tahmin etmişlerdir.

Yurdakul (2019), yaptığı çalışmada, çalışma alanı olarak seçtiği, Sapanca ölü'nün güneyindeki Keçi Deresi'nin taşkın yayılım alanlarını belirlemek amacı ile TIN verisini oluşturarak CBS programına aktarmıştır. Daha sonra yağış verilerini farklı metotlarla yüzeysel akışa dönüştürerek 2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık tekerrürlü taşkın suyu debilerinin yayıldığı alanları haritalandırmak ve belirlemek amacı ile HEC-RAS programını kullanmıştır. Oluşturduğu taşkın yayılım haritasında Ankara-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Hattı'nın bölgedeki taşkından etkilendiğini göstermiştir.

Ergen (2019), baraj yıkımı sonucunda meydana gelebilecek taşkın analizini HEC-RAS yardımı ile yapmıştır. Sakarya'nın Geyve İlçesinde Doğantepe Göleti üzerinde bulunan barajı çalışma alanı olarak seçerek 2D model hazırlamış, NetCAD ve Arcmap programları ile arazi altlığı oluşturarak Geyve İlçesini ve baraj etrafında bulunan binaları eklemiştir. Hazırladığı bu harita üzerinde HEC-RAS programında düzensiz akım tanımlayarak 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 dakikalar boyunca meydana gelebilecek maksimum derinlikteki yayılım haritasını oluşturmuştur. Haritada, 40 dakikalık bir sürede taşkın suyunun Geyve merkezine ulaşarak 1458 yapının tehlike altında kaldığı görülmüştür.

Oğraş ve Önen (2019) araştırmalarında, Dicle Nehrini ele alarak bilgisayar destekli taşkın analizi yapmışlardır. Çalışmada pürüzlük katsayısı seçiminde hem doğal durumu hem de kanaldaki durumu değerlendirerek uygun olanlar seçilmiş, her 200 m aralıkta bir, nehrin sağ ve sol sahilini belirleyerek enine kesitler oluşturmuşlardır. Ayrıca alışma alanı içinde yer alan sanat yapılarına altlık oluştururken AutoCAD Civil 3D programı kullanılmıştır. Elde edilen altlığı HEC-RAS programına aktararak taşkın analizi yapılmış, taşkının su yüzü profilleri, hız grafikleri ve kot-debi ilişkisi belirlenmiştir.

Üyüklüoğlu ve diğ. (2015), taşkın modellemesi amacı ile Antalya İli Manavgat İlçesindeki Ilıca Deresini ele almışlardır. Derenin pürüzlülük katsayısı DSİ pürüzlülük formatından Modifiye Cowan Metodu kullanılarak uygun biçimde seçilmiştir. Modelleme yapılırken mevcut hidrolik yapılar göz önünde bulundurulmuş ve CBS programı eki olan HEC-GeoRAS yardımı ile TİN modelinde kesitler oluşturulmuştur. Elde ettikleri TİN modelini uygun formata dönüştürerek HEC-RAS yardımı ile 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık olmak üzere 6 farklı tekerrür debisinde taşkın analizi yapmışlardır. Çalışma neticesinde tehlikesi yüksek olan yerler ortaya çıkmış ve buna göre arazi ağaçlandırma önerilerinde bulunmuşlardır.

Dere (2019), Sapanca'da bulunan Kurtköy ve Mahmudiye Dereleri üzerinde taşkın çalışması yapmıştır. Meteorolojik verileri kullanarak elde ettiği yağış sonuçlarını akışa dönüştürmüştür. NetCAD ve Arcmap yardımı ile elde edilen TİN modelini HEC-RAS'a aktararak 2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 1000 yıllık tekerrür debileri ile taşkın analizi yapmayı amaçlamıştır. Çalışma sonucu olarak derenin farklı tekerrürlü taşkın debileri için yayılım haritaları elde edilmiş ve değerlendirmesi yapılmıştır.

Sönmez ve Demir (2016), alışma alanı olarak ele aldıkları Ağva İlçe Merkezine ait taşkın yayılım haritasını oluşturup yerleşim veri tabanları ile birleştirerek su seviyesi tespitini ve risk analizini amaçlamışlardır. Marmara Havzası akım gözlem istasyonlarının verileri yeterli olmadığı için taşkın senaryolarına ait senaryolar kullanılmıştır. ArcGIS programı ile sayısallaştırdıkları bina haritaları ve HEC-RAS

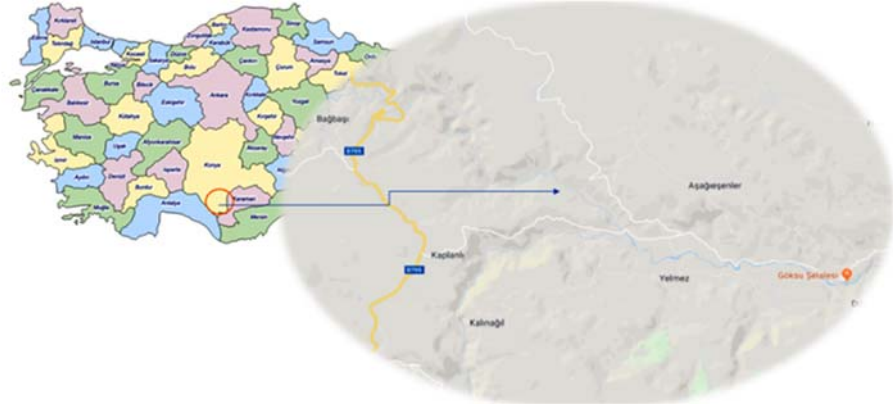
yardımı ile farklı senaryolarda oluşturdıkları analizleri birleştirerek yayılım haritası elde etmişlerdir.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu çalışmanın amacı, Konya İli Hadim İlçesi Çiftepınar, Bademli, Yelmez ve Yağcı Mahalleleri ile Konya İli Güneysınır İlçesi Sarıhacı Mahallesi tarım ve yerleşim alanlarında Göksu Nehri ana dere ve yan derelerinin taşkın modellemesini yapmak, farklı tekerrürlerde olası bir taşkının meydana getirebileceği muhtemel tehlikeleri görmek ve hidrolik modelleme çalışması ile önlem alınacak yerleri belirlemektir.

Göksu Nehri, İç Anadolu Bölgesinde bulunan Konya İli Hadim İlçesi Çiftepınar, Bademli, Yelmez ve Yağcı Mahalleleri ile Konya İli Güneysınır İlçesi Sarıhacı Mahallesi sınırları içerisinde bulunmaktadır. Göksu; Antalya, Konya, Karaman ve Mersin illerinden akan ve Akdeniz'e dökülen bir nehirdir (Şekil 14) (DSİ, 2019).

Konya İli Hadim İlçesi Çiftepınar, Bademli, Yelmez ve Yağcı Mahalleleri ile Konya İli Güneysınır İlçesi Sarıhacı Mahallesi tarım ve yerleşim alanlarını Yukarı Göksu Havzası adı ile içine alan bu taşkın çalışma alanının taşkın suyu güzergâh uzunluğu yaklaşık 12900 m'dir.



Şekil 3-1. Türkiye Haritası üzerinde çalışma alanının konumu (Google haritası)

### 3.1. Çalışma Yerinin Tanıtılması

#### 3.1.1. Coğrafi konumu

Göksu Nehri, İç Anadolu Bölgesinde bulunan Konya İli Hadim İlçesi Çiftepınar, Bademli, Yelmez ve Yağcı Mahalleleri ile Konya İli Güneysınır İlçesi Sarıhacı Mahallesi sınırları içerisinde bulunmaktadır. Göksu; Antalya, Konya, Karaman ve Mersin illerinden akan ve Akdeniz'e dökülen bir nehir olup 1/25000 ölçekli KONYA-N29-d3 ve KONYA-N29-d4 paftasında yer almaktadır (DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2019).

Çalışma yerinin yağış alanı çevresinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Belören, Aladağ (Bademli), Taşkent, Hadim, Avşar, Çetmi, Avşar ve Devlet Su İşleri'nin Dedemli meteoroloji ölçüm istasyonları bulunmaktadır. Çalışma alanının toplam yağış alanı 1500 km<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir (Şekil 15) (DSİ, 2019).

Proje alanında yapılan incelemelerde, bölge topraklarının, kahverengi ve kestane rengi topraklar ile dağlık ve volkanik araziler üzerindeki kumlu ve taşlı topraklar grubuna girdiği tespit edilmiştir (DSİ, 2015).



Şekil 3-2. Çalışma alanında yer alan Göksu Nehri ve yan kolları

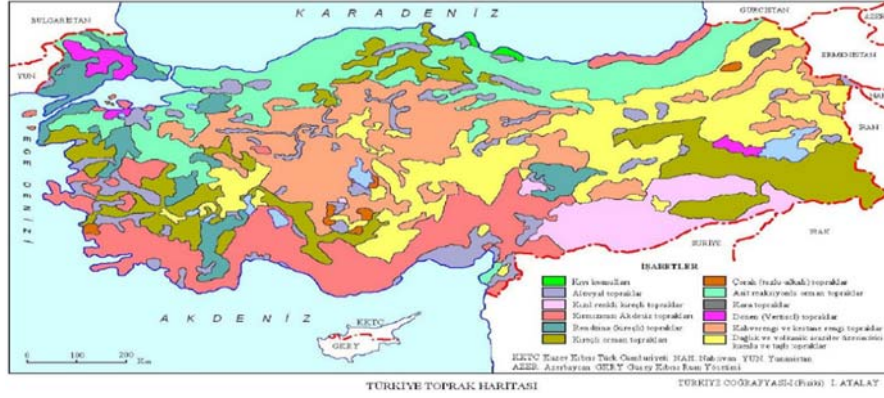
### 3.1.2. Çalışma yerinin iklimi

Çalışma yeri, 17 No'lu Doğu Akdeniz Havzasında ve Göksu Nehri ana kolu üzerinde yer almaktadır. Proje alanında Akdeniz iklimi hâkim olup, yazlar sıcak ve nemli, kışlar yağışlı ve Akdeniz üzerinden gelen basınç sistemleri etkisi altındadır. Taşkent (MGM) meteoroloji istasyonunda yıllık toplam yağış 711 mm'yi bulmaktadır. Hadim (MGM) meteoroloji istasyonunda da yıllık toplam yağış 644 mm, yıllık toplam buharlaşma 1218 mm, yıllık ortalama sıcaklık 9,8 C°, yıllık ortalama bağıl nem %58 olarak kaydedilmiştir. Belören'de (MGM) yıllık toplam yağış 481 mm, Aladağ-Bademli (MGM) yıllık toplam yağış 472 mm, Dedemli'de (DSİ) yıllık toplam yağış 683 mm ve yıllık toplam buharlaşma 1239 mm, Avşar'da (MGM) yıllık toplam yağış 354 mm, yıllık ortalama sıcaklık 9,9C° ve yıllık ortalama bağıl nem %49 olarak ölçülmüştür. Kot arttıkça yağış miktarı da artmaktadır. Meteoroloji istasyon kayıtlarından da görüleceği gibi buharlaşma miktarı oldukça yüksektir. Proje alanının yağış, sıcaklık, buharlaşma, nispi nem, rüzgâr ve kar gibi meteorolojik verileri, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından işletilmekte olan istasyonlarda ölçülmektedir (DSİ, 2019).

### 3.1.3. Çalışma yerinin toprak özellikleri ve topografyası

Göksu Nehri, 1990 m kotlarından doğmakta olup toplam yağış alanı yaklaşık 4420 km<sup>2</sup>'dir. Çalışma alanının toplam yağış alanı ise 1500 km<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Derenin ani sağanaklarla taşması sonucunda oluşacak taşkın sahası, Çiftepınar, Bademli, Yelmez, Yağcı ve Sarıhacı Mahalleleri tarım ve yerleşim alanlarıdır.

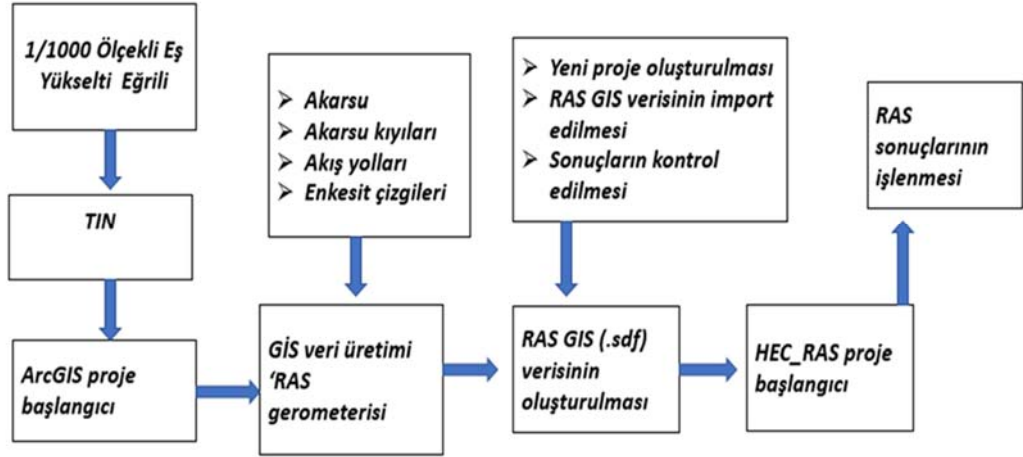
Proje alanında yapılan incelemelerde, Türkiye toprak ve jeolojik haritalarına göre bölge topraklarının kahverengi ve kestane rengi topraklar ile dağlık ve volkanik araziler üzerindeki kumlu ve taşlı topraklar grubuna girdiği tespit edilmiştir (Şekil 16).



Şekil 3-3. Türkiye toprak ve jeolojik haritası (ESRİ, 2020)

### 3.2. Çalışma Modeli

Bu çalışmada yazılım olarak Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ve HEC-RAS kullanılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi yardımı ile çalışma alanının sayısal yükseklik modeli (DEM) oluşturularak projenin geometrik verisi hazırlanmıştır. Daha sonra HEC-RAS programı ile gereken düzeltmeler yapılarak akım verileri eklenmiştir. Çalışma modeli Şekil 17'de verilmiştir.



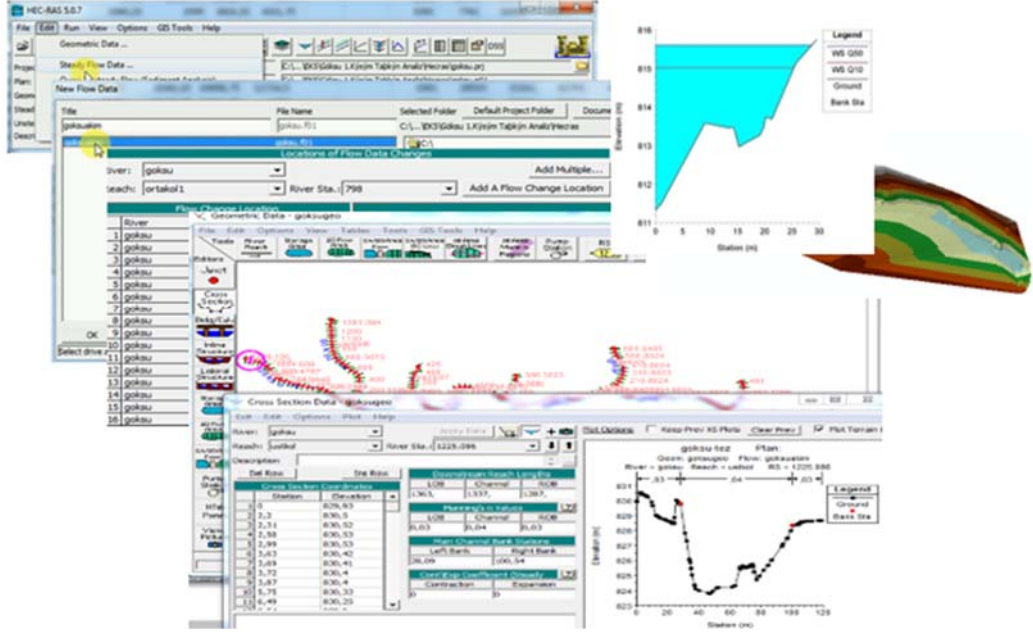
Şekil 3-4. Çalışma modeli ve takip edilen adımlar

### 3.3. HEC-RAS Yazılımı ve Kullandığı Hesaplama Metotları

HEC-RAS yardımı ile 1D ve 2D taşkın modelleri hazırlanması mümkündür. Bir boyutlu taşkın modeli kanal akımlarında daha az veri ile kısa zamanda verimli sonuçlar verirken 2D modelleri şehir taşkınlarında, taşkın tehlike haritaları, ıslak ve kuru alanların belirlenmesi ve hasar tespiti için noktasal taşkın derinliklerinin belirlenmesinde kolaylık sağlar.

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), Birleşik Devletler Ordusu Mühendisler Birliği (USACE) bünyesinde bulunan Hidrolojik Mühendisliği Merkezi (CEIWR-HEC) tarafından geliştirilmiş olan bir yazılımdır.

CEIWR-HEC Kurumu 1964 yılında kurulmuş olup, HEC-RAS yazılımının ilk sürümünü 1995 yılında ortaya çıkarmışlardır. HEC-RAS yazılımından önce hidroloji ve hidrolik ile yakından ilişkili olan (HEC-1 havza hidrolojisi, HEC-2 nehir hidroliği, HEC-3 hazne muhafaza analizleri ve HEC-4 stokastik nehir akımı) birçok yazılım bu kurum tarafından üretilmiş ve kullanılmıştır. Bu çalışmada HEC-RAS yazılımının son sürümü olan 5.0.7 sürümü kullanılmıştır.



Şekil 3-5. HEC-RAS programı kullanıcı arayüzü (çalışma modelinden örnek)

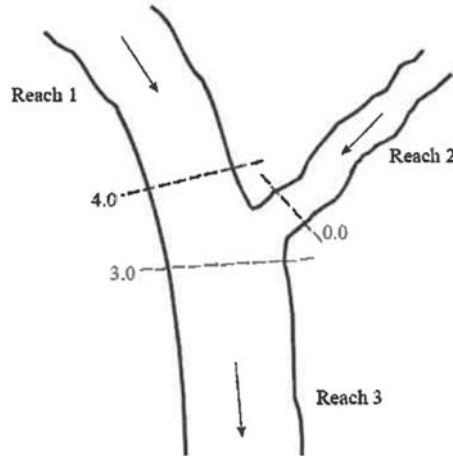
Yazılımın kullanıcı arayüzü, projeye ait dosya yönetimi çalışmalarını, analiz öncesi ve analiz sonrası veri girişlerini, düzenlemelerin ve değişikliklerin yapılmasını, hidrolik analizlerin elde edilmesini, girdi ve çıktıların tablo ve grafik haline getirilmesini, sonuçların ve su yayılımının harita üzerinde animasyon halinde gösterilmesini ve raporlandırılmasını içermektedir (Şekil 18).

HEC-RAS programı GIS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ve onun eklentisi olan HEC-GeoRAS programı ile beraber çalışır. GIS programında hazırlanan harita ve nehir özellikleri kolaylıkla HEC-RAS programına aktarılabilen, bazı düzeltmelerle birlikte HEC-RAS ortamında çalışılan alanın geometrik verileri ve haritası kullanılır hale gelmektedir.

HEC-RAS programında akım, kararlı ve kararsız akım olmak üzere ikiye ayrılır. Kararlı akımlar için enerji ve momentum metodları, kararsız akımlar için de Force Equal Water Surface Elevation (Su Yüzeyi Seviyesi Kuvvet Eşitliği) ve Energy Balance Method (Enerji Dengesi Metodu) kullanılır.

### 3.3.1. Enerjiye dayanan hesaplama metodu

Enerji dengesi metodunda, nehir birleşimi boyunca her nehir parçasındaki su seviyeleri bir boyutlu enerji eşitliğiyle standart adım hesaplamaları yapılarak tespit edilir (Şekil 19). Nehir rejimi (kritik altı, subcritical) akımlarda, geri basma hesaplamaları, birleşimin membasındaki her nehir parçası için 3'ten 4'e ve 3'ten 0'e sürtünme, genişleme ve daralma nedenleriyle oluşan kayıplar ayrı ayrı hesaplanır (USBR, 2019).



Şekil 3-6. İki nehir birleşimi noktası (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering , 2019)

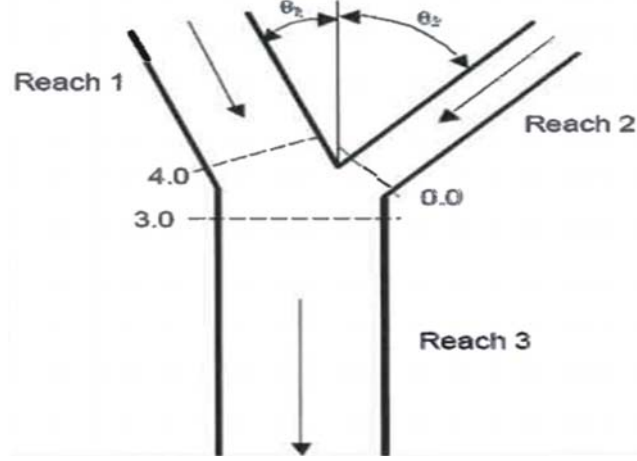
Birinci nehir kolundaki su seviyesi aşağıdaki yaklaşımla hesaplanmaktadır.

$$ws_4 + \frac{a_4 v_4^2}{2g} = ws_3 + \frac{a_3 v_3^2}{2g} + L_{4-3} S_{f_{4-3}} + C \left| \frac{a_4 v_4^2}{2g} - \frac{a_3 v_3^2}{2g} \right| \quad (3.1)$$

Sel rejimi (kritik üstü-supercritical) akımlarında program 3 ve 4 noktalarındaki spesifik kuvvetleri hesaplamakta, büyük olanın kontrol eden akımı kontrol eden nehir parçası olduğu belirlendikten sonra buradaki hesaplar mansaptan membaya değil aksine membadan mansaba doğru yapılmaktadır (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering , 2019).

### 3.3.2. Momentuma dayanan hesaplama metodu

Momentum eşitliğini kullanan bu metot kullanılırsa, nehir kolları birleşiminde, kolun memba parçası ile akımın yönü arasındaki açı değerinin girilmesi gerekmektedir (Şekil 20).



Şekil 3-7. İki nehrin birleşiminin akıma olan etkisi (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering , 2019)

HEC-RAS programında varsayılan metot (Default Method) seçeneği enerji dengesi metodudur. Eğer nehir akımı sel rejiminde ise ve yan kolların ana kola mansaplama açısı önemli bir rol oynuyorsa, bu gibi durumlarda momentum metodunun kullanılması gerekmektedir.

Kararsız akımda iki seçenek söz konusudur. İlk seçenek olan basitleştirilmiş hesaplama metodu, birleşim etrafındaki su seviyesini birbirine eşitlemeye dayanmaktadır. İkinci seçenek olan enerji dengesi yöntemi orta ve yüksek eğime sahip nehirlerde ve birleşimin uzun olduğu kanallarda daha iyi sonuç vermektedir (USBR, 2019).

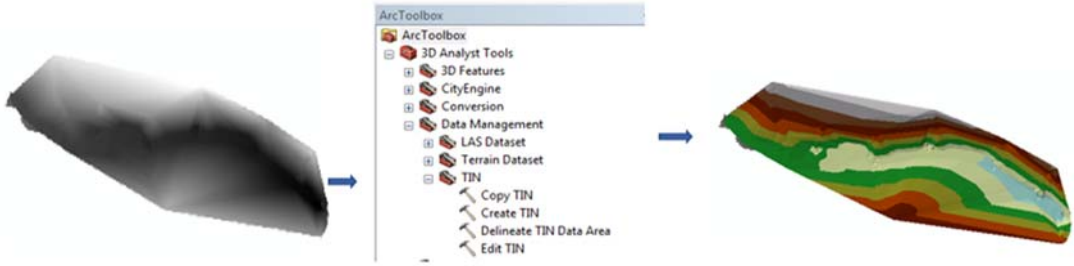
### 3.4. Geometrik Veri Altlığının Hazırlanması

DEM (Sayısal Yükseklik Modeli) çalışma yerin topografi haritasını kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında oluşturulabilmekte veya uydu sisteminden bölge koordinatları girilerek indirilebilmektedir. Bu çalışma için DSİ'den elde edilmiş olan

DEM modeli topografi haritası yardımı ile oluşturulmuş ve kullanması uygun görülmüştür.

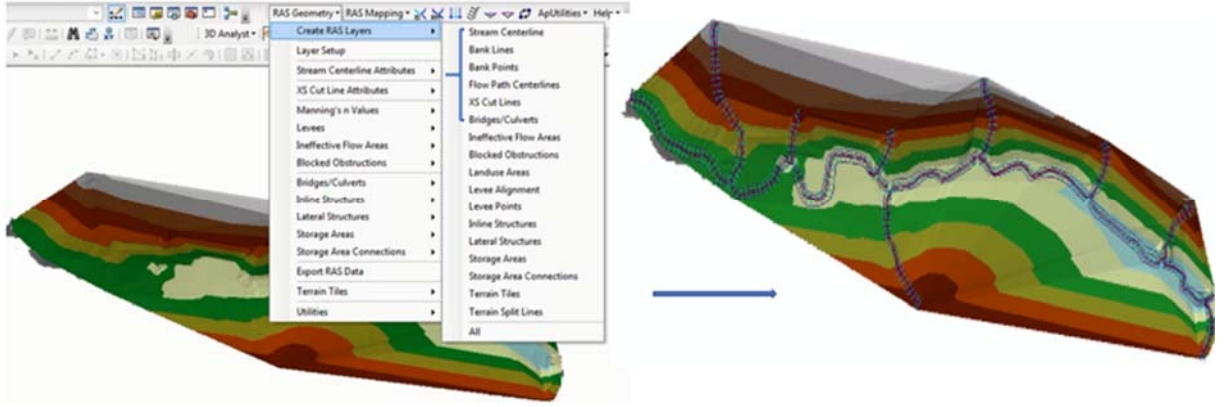
DEM modeli GIS ortamında getirilerek koordinatların algılanması için projeksiyon yapılacak, daha sonra TIN modeline dönüştürülerek nehir çizgisi, nehir kenarları ve kesitleri çizilecektir.

Belediyeden aldığımız sayısal yükseklik modeli (DEM) öncelikle üçgen düzensiz ağ modeline (TIN) çevrilmiştir. Bu işlemi gerçekleştirmek için GIS (CBS, coğrafi bilgi sistemi) programında ArcToolbox-3D analyst tool- data management- TIN- creat TIN adımları takip edilmiştir (Şekil 21).



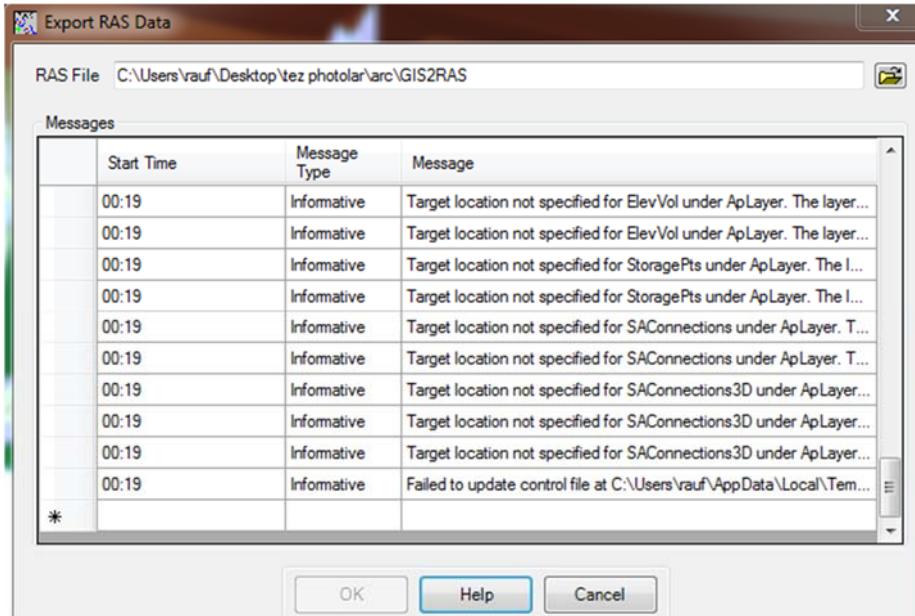
**Şekil 3-8.** DEM veya sayısal yükseklik modelinden TIN modeli oluşturma

TIN modeli oluşturulduktan sonra, HEC-RAS'da kullanılacak olan geometrik veri HEC-GeoRAS ile hazırlanmıştır. Bu işlemler sırasıyla, dere hattının oluşturulması (stream), akarsu sahillerinin tanımlanması (bank), akım yolunun tanımlanması (flowpath), kesitlerin oluşturulması (cross sections), hidrolik yapıların tanımlanması (bridges), şev üstü noktalarının belirlenmesi (levee) ve HEC-RAS'a aktarılması şeklinde olmaktadır (Şekil 22).



Şekil 3-9. Nehir çizgisi ve nehir sınırları çizimi

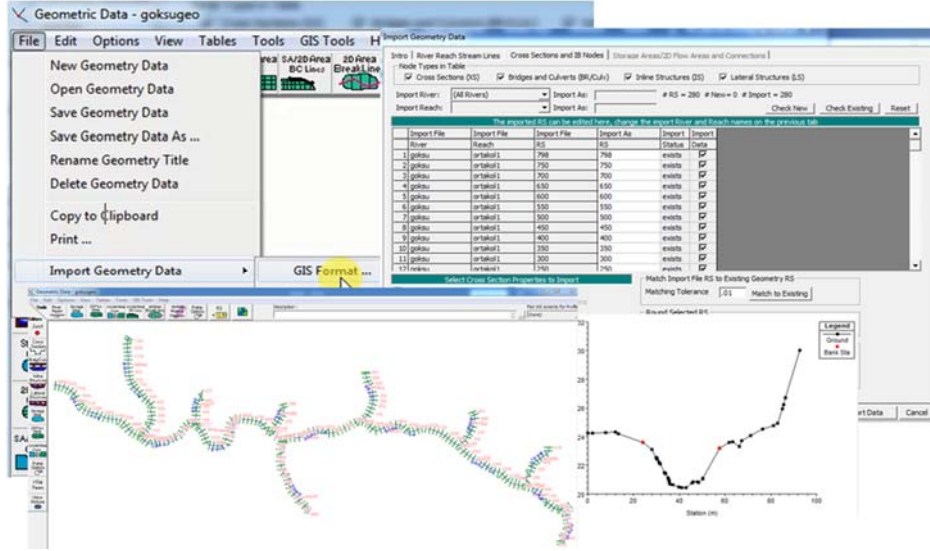
Veri bağlantıları ve yükseklik verileri doğru bir şekilde aktarıldıktan ve kontrol edildikten sonra HEC-GeoRAS ile oluşturulan veri .sdf formatında HEC-RAS'a aktarılmıştır (Şekil 23).



Şekil 3-10. Geometrik verinin GIS programından HEC-RAS programına aktarılması

Nihai geometrik veri altlığını oluşturmak için HEC-GeoRAS'da hazırlanan veri tabanı HEC-RAS'a aktarılarak aşağıdaki işlemler sırasıyla yapılmıştır.

- Kesitlerin “Bank” noktalarının düzenlenmesi,
- “Junction” bağlantılarının tanımlanması,
- “Bank and Channel” enterpolasyonu,
- Oluşturulan “Bank and Channel” enterpolasyonu ile DTM’nin (Digital Terrain Model/Sayısal Arazi Model) birleştirilmesi.



Şekil 3-11. HEC-RAS geometrik verisi

Oluşturduğumuz veri altıklarını mevcut harita ile birleştirip sürekliliği sağlamak önemli olduğu için “RAS Mapper” menüsünden “ESRI Projection” dosyası tanımlanarak “terrain” modeli eklenerek “geometric” menüsü altındaki kesitler, nehir çizgileri, levee gibi özellikler düzeltilmiştir (Şekil 24).

Dere yatağının pürüzlülük katsayısı ve Manning değerlerini hesaplamak için Cowan metodu kullanılmıştır. Bu metoda göre  $n_0$  (dere yatağının özelliklerine bağlı),  $n_1$  (kanal düzensizliği),  $n_2$  (kanal kesitindeki şekil ve boyut değişimleri),  $n_3$  (kanal içindeki engeller),  $n_4$  (kanal içindeki bitki) ve  $m$  (kanal boyunca mevcut kıvrımlar) katsayıları hesaplanmaktadır (DSİ, 2015).

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m \quad (3.2)$$

Yataktaki Malzeme Cinsi	Beton	Medyan dane çapı (mm)	--	<b>n<sub>b</sub></b>	0.012-0.018
	Kaya		--		--
	Sert Toprak		--		0.025-0.032
	İri kum		1-2		0.026-0.035
	İnce çakıl		--		--
	Çakıl		2-64		0.028-0.035
	İri Çakıl		--		--
	İri Taş		64-256		0.030-0.050
	Yumru Kaya		>256		0.040-0.070
Kanal çev durumu	Pürüzsüz	Beton duvar		<b>n<sub>1</sub></b>	0.000
	Onemsiz		Taş duvar		0.003
	Orta		İstifli taş tahkimat		0.005
	Şiddetli		İstifli taş tahkimat		0.008
			Ağaçsız kaya/ toprak yamaç		0.010
			İstifli taş tahkimat		0.015
Kanal kesit değişimi	Aşamalı			<b>n<sub>2</sub></b>	0.000
	Ara Sıra Değişen				0.005
	Sık Değişen				0.010-0.015
Kanaldeki engeller (Biriktiri, Tümelek, Düşü, Kaya, Köprü, Ayak)	İhmal Edilebilir	Engel/Kesit alanı x100	<%5	<b>n<sub>3</sub></b>	0.000
	Onemsiz		%5-15		0.010-0.015
	Kayda Değer		%15-50		0.020-0.030
	Şiddetli		>%50		0.040-0.060
Kanal bitki örtüsü	Düşük			<b>n<sub>4</sub></b>	0.005-0.010
	Orta				0.010-0.025
	Yüksek				0.025-0.050
	Çok Yüksek				0.050-0.100
Kanal kıvrımı	Onemsiz	Dere uzunluğu / kuş uçuşu uzunluk	1-1,2	<b>m</b>	1.000
	Kayda Değer		1,2-1,5		1.150
	Şiddetli		>1,5		1.300

Şekil 3-12. Cawon metodu, Manning hesap tablosu DSİ formatı

Bölgenin jeolojik raporlarından ve yukarıdaki tablodan yararlanarak;

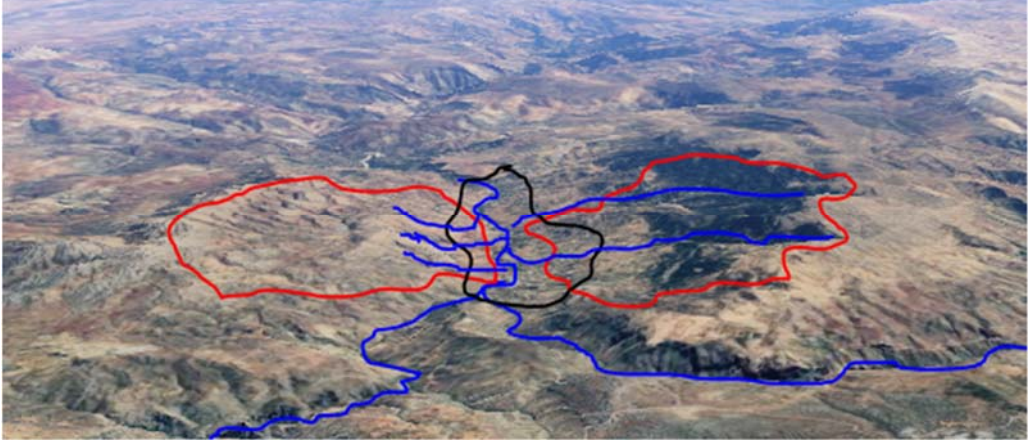
$N_b=0,028$  (çakıl),  $n_1=0,010$  (toprak yamaç),  $n_2= 0,005$  (anasıra değişen kesit),  $n_3=0,000$  (ihmal edilebilir),  $n_4=0,0015$  (orta) ve  $m$  ise 1,000 olarak kabul edilmiş ve Manning değeri hesaplanmıştır (Şekil 25).

$$n = (0,028 + 0,010 + 0,005 + 0,000 + 0,015) * 1,000 = 0,045$$

Nehir yatağı, iri kum, kenarları çakıl olarak düşünülerek, hesaplama kolaylığı ve güvenli tarafta kalmak için pürüzlülük katsayısının da sırasıyla 0,030 ve 0,035 olarak kullanılması uygun görülmüştür.

### 3.5. Hidrolojik Verilerin Hesabı

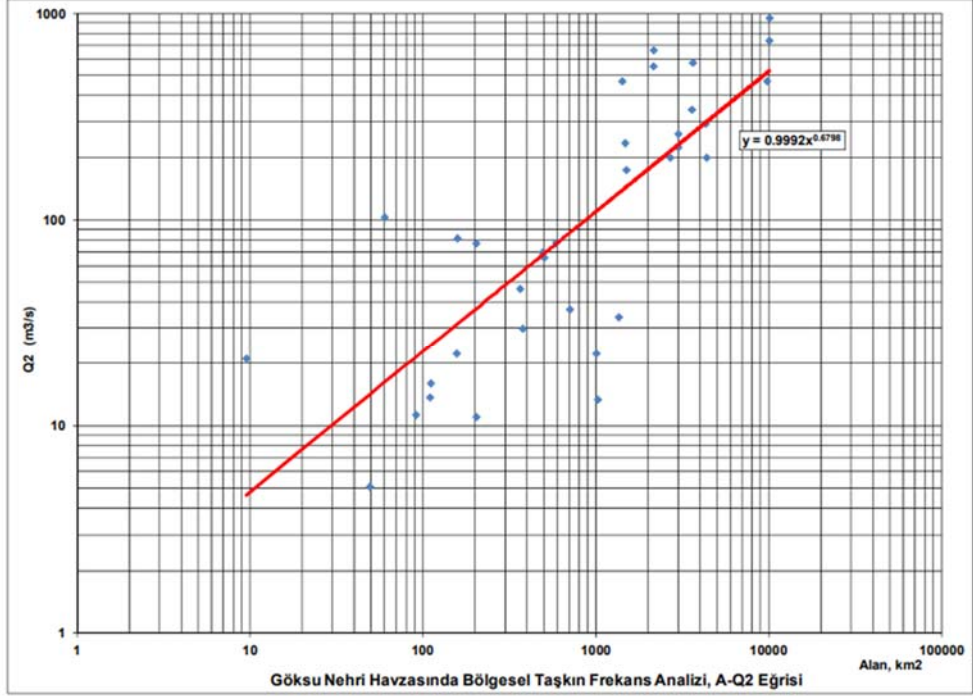
Çalışma alanı, Göksu ana nehir ve Göksu Nehri ile birleşen ve yağış alanı Şekil 26'da gösterilen yan kollardan oluşmaktadır. Hidrolik veriler hesaplanırken Bölgesel Taşkın Frekans Analiz Yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3-13. 2D çalışma alanı ve yan kollarin yağış alanı

#### 3.5.1. Bölgesel Taşkın Analizi Yöntemi

Çalışma alanı önce küçük ara havzalara bölünmüştür. Ara havzaların alanlarına göre Doğu Akdeniz Bölgesi master planında verilen tablo ve eğriler kullanılarak taşkın debileri hesaplanmıştır.



**Şekil 3-14.** Bölgesel taşkın frekans analizi (Doğu Akdeniz Havzası Master Plan Raporu)

$$Y = 0.9992X^{0.6798} \quad (3.13)$$

X = Yağış alanı (Km2)

Y = Q2 (m3/s)

**Tablo 1.** Bölgesel taşkın frekans analizi (Doğu Akdeniz Havzası Master Plan Raporu)

QT/Q2	BTFA: $Y=0,9992 X^{0,6798}$
	QT/Q2 Boyutsuz parametreleri
Q2/Q2	1,00
Q5/Q2	1,61
Q10/Q2	2,06
Q25/Q2	2,66
Q50/Q2	3,14
Q100/Q2	3,65
Q500/Q2	4,92
Q1000/Q2	5,55
Q10000/Q2	6,79



**Şekil 3-15.** Yan kol 5 yağış alanı

Şekil 28’de verilen alan, yankol-5 yağış alanını göstermektedir. Çizilen çerçevenin alanını Google haritası üzerinde belirlemek mümkün olmaktadır. Bölgesel taşkın frekans analizi yardımı ile yankol-5’e ait akım verilerinin hesap aşamaları aşağıdaki gibidir.

$$x = 33,75km^2$$

$$y = 0,9992(33,75)^{0,6798}$$

$$Q_2 = 10,93 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Tablo 2.** Göksu Nehri Yankol-4 farklı tekerrür debileri hesap tablosu

Tekerrür debileri	Faktör çarpımı	Debi (m <sup>3</sup> /s)
Q2	1xQ2	10,93
Q5	1,61xQ2	17,60
Q10	2,06xQ2	22,52
Q25	2,66xQ2	29,07
Q50	3,14xQ2	34,32
Q100	4,92xQ2	53,78
Q500	5,55xQ2	60,66
Q1000	6,79xQ2	74,21

### 3.6. Akım Verilerinin HEC-RAS Programına Uygulanması

Bu verileri HEC-RAS yazılımına uygulamak için HEC-RAS ana menüsünde “Edit” seçeneğinden “Steady Flow Data” menüsünü açmamız gerekmektedir. Açılan pencereden “New Flow Data” seçerek akım değerlerini girmemiz gerekmektedir.

Steady Flow veya tek boyutlu kararlı akım simülasyonunda:

1. Akım zamanla değişmez,

$$\frac{dQ}{dt} = 0 \quad (3.14)$$

2. Akım nehir boyunca değişmez,

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \quad (3.15)$$

Öte yandan kanaldaki ıslak alan ve akımın hızı değişmektedir,

$$\frac{dA}{dx} \text{ ve } \frac{dv}{dx} \neq 0 \quad (3.16)$$

3. Akımın kanal boyunca ötelenmesi ile yalnızca x-yönündeki bileşen dikkate alınır,  $dv/dx$ , Y ve Z yönündeki bileşenler ihmal edilir.

$$\frac{dv}{dy} \text{ ve } \frac{dv}{dz} = 0 \quad (3.17)$$

Dolayısıyla, varsayım, belirsizliğin bir diğer önemli kaynağını oluşturmaktadır.

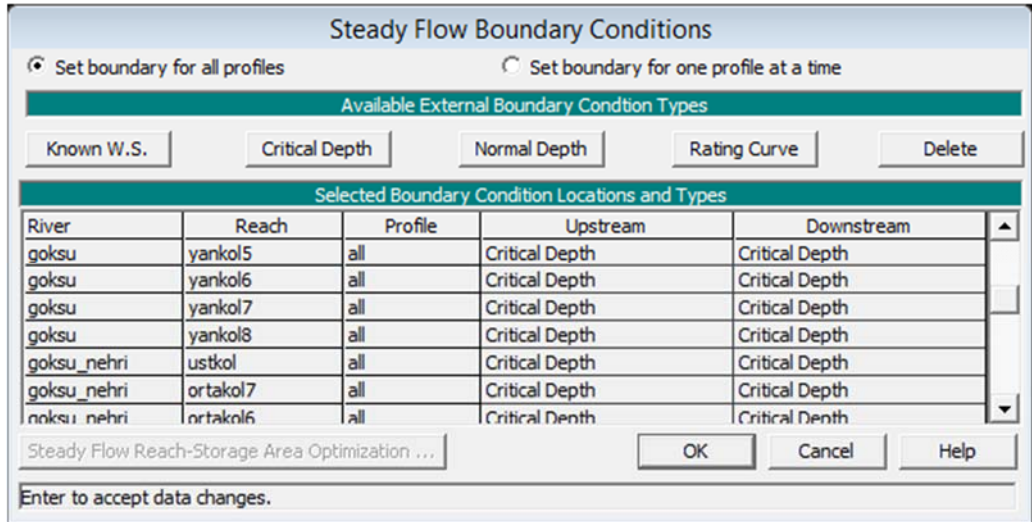
The screenshot shows the 'Steady Flow Data' window in HEC-RAS. The window title is 'Steady Flow Data - goku\_akim\_data'. It has a menu bar with 'File', 'Options', and 'Help'. Below the menu bar, there is a 'Description' field, a 'Reach Boundary Conditions' button, and a 'Apply Data' button. The 'Enter/Edit Number of Profiles (32000 max):' field is set to 6. The 'Locations of Flow Data Changes' section shows 'River: goku' and 'Reach: yankol1' selected, with 'River Sta.: 478'. Below this is a table with columns for 'Flow Change Location' and 'Profile Names and Flow Rates'. The table has 17 rows and 8 columns. The first two columns are 'River' and 'Reach', and the remaining six columns are 'RS', 'Q2', 'Q10', 'Q50', 'Q100', 'Q500', and 'Q1000'. The data in the table is as follows:

Flow Change Location		Profile Names and Flow Rates							
River	Reach	RS	Q2	Q10	Q50	Q100	Q500	Q1000	
1	goku	yankol1	478	4.41	9.08	13.85	21.7	24.48	29.94
2	goku	yankol2	616	1.03	2.12	3.23	5.07	5.72	6.99
3	goku	yankol3	491	6.37	13.12	20	31.34	35.35	43.25
4	goku	yankol4	681	10.93	22.52	34.32	53.78	60.66	74.21
5	goku	yankol5	1008	8.61	17.74	27.04	42.36	47.79	58.46
6	goku	yankol6	386	3.92	8.08	12.31	19.29	21.76	26.62
7	goku	yankol7	425	1.23	2.53	3.86	6.05	6.83	8.35
8	goku	yankol8	1381	13.24	27.27	41.57	65.14	73.48	89.9
9	goku_nehri	ustkol	7950	93.3	192.2	292.96	459.04	517.82	633.51
10	goku_nehri	ortakol7	6584	93.3	192.2	292.96	459.04	517.82	633.51
11	goku_nehri	ortakol6	5727	93.3	192.2	292.96	459.04	517.82	633.51
12	goku_nehri	ortakol5	4311	93.3	192.2	292.96	459.04	517.82	633.51
13	goku_nehri	ortakol4	4122	93.3	192.2	292.96	459.04	517.82	633.51
14	goku_nehri	ortakol3	3067	93.3	192.2	292.96	459.04	517.82	633.51
15	goku_nehri	ortakol2	1761	93.3	192.2	292.96	459.04	517.82	633.51
16	goku_nehri	ortakol1	798	93.3	192.2	292.96	459.04	517.82	633.51
17	goku_nehri	altkol	113	93.3	192.2	292.96	459.04	517.82	633.51

Şekil 3-16 HEC-RAS programı akım verileri ve düzeltmeleri

Kararlı akım simülasyonunda istenildiği miktarda akım verisi olarak akım profili girilebilmektedir. Dolayısıyla, modellemenin içinde yer alan her bir dere ve her bir kol için bir akım değeri ve akım profili girilmesi gerekmektedir.

Akım değerleri girildikten sonra, nehir kollarının sınır koşulları tanımlanmaktadır. Çalışılan nehir model sisteminde nehir birleşimi (junction) varsa, nehir birleşim hesabı bu kesitler için sınır koşulu olarak sayılmaktadır (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering , 2019).



Şekil 3-17. HEC-RAS programı akım sınır koşulları

Known W.S. - Bilinen Su Seviyesi: Eğer verilen bir debi için nehir sisteminin memba veya mansap kesitindeki su seviyesi biliniyorsa bu seçenek kullanılabilir.

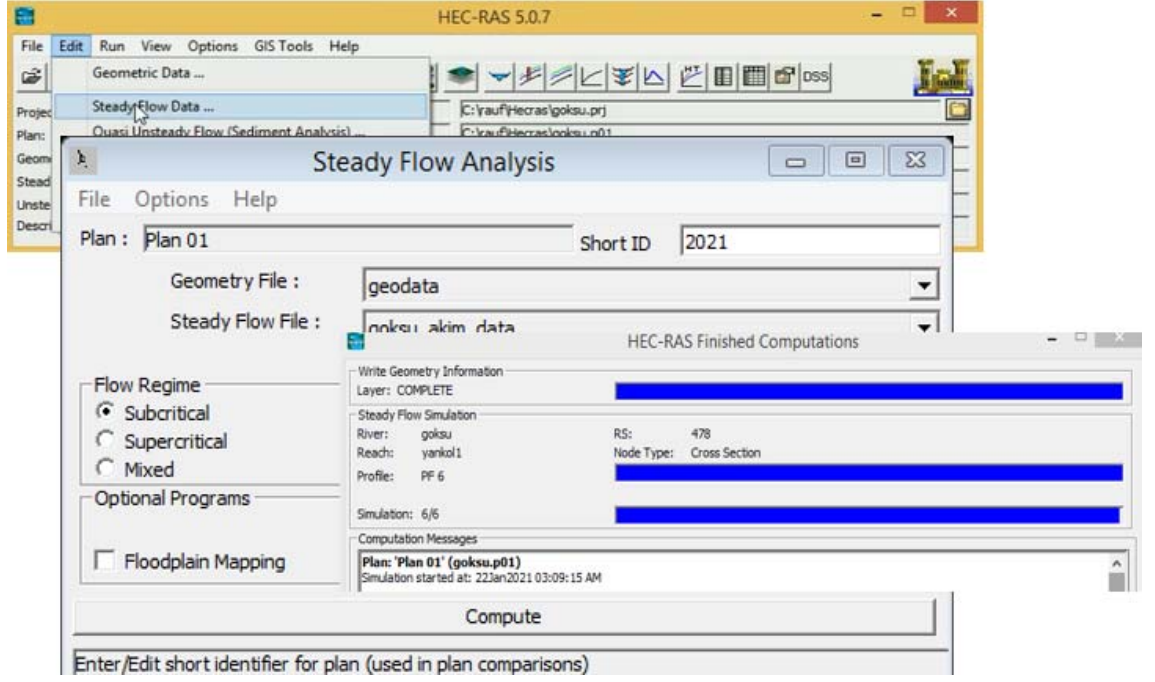
Critical Depth - Kritik Derinlik: Bu seçenek seçildiğinde başka herhangi bir veri girilmesi gerekmemektedir. Program kendisi kritik derinliği hesaplayarak bulunan değeri sınır koşulu olarak kullanacaktır. Bu seçenek verilen akım için hesaplanan yüksekliği kritik derinliğine eşit olma ve Froude sayısını 1'e eşitlemeye zorlayacaktır.

Normal Depth - Normal Derinlik: Bu seçenekte sürtünme eğiminin girilmesi gerekirse de nehir yatağının eğimi girilmektedir. Ancak nehir yatağındaki eğim her yerde aynı olmadığı ve süreklilik sağlamadığı durumlarda hesap hatalarına yol açacaktır.

Rating Curve - Anahtar Seviye veya Akım Eğrisi: Memba ve mansap istasyonlarına ait AGI anahtar eğrileri varsa bu seçenekte sınır koşulu olarak kullanılabilir (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering , 2019).

### 3.7. Proje Analizi

Akım verilerine ilişkin gereken düzeltmeler yapıldıktan sonra programı çalıştırma kısmında geçilecektir. Bu işlemi gerçekleştirmek için “Run” menüsünden “Steady Flow Analysis” seçeneği açılmalı, plan ismi, çalıştırılacak projenin geometrik ve akım dosyaları kontrol edilmeli, daha sonra program çalıştırılabilmektedir.



Şekil 3-18. HEC-RAS programı proje analizi arayüzü

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

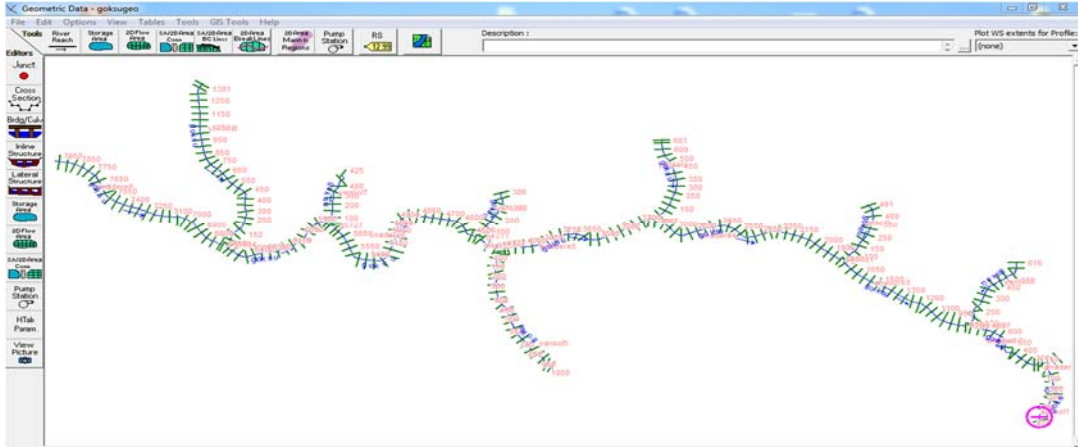
Projenin hidrolojik verileri için farklı tekerrürlerdeki taşkın pik debileri iki farklı yöntem ile hesaplanmış ve Göksu Nehrinin taşkın hidrografi pik debileri ile kıyaslanmıştır.

Göksu Nehri ve yan kollarının Q2, Q10, Q50, Q100, Q500 ve Q1000 farklı tekerrür debileri için hesaplama sonuçları şu şekildedir:

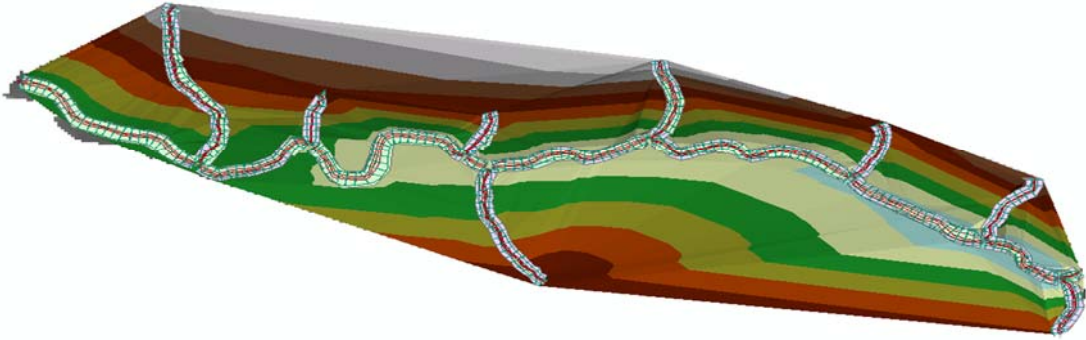
**Tablo 3.** Göksu Nehri tüm ana kol ve yan kollarının bölgesel taşkın frekans analizi debi hesap sonuçları

Tekerrür debileri	faktör çarpımı	Debi (m <sup>3</sup> /s)								
		Anadere	yankol-1	yankol-2	yankol-3	yankol-4	yankol-5	yankol-6	yankol-7	yankol-8
Q2	1*Q2	93,30	4,41	1,03	6,37	10,93	8,61	3,92	1,23	13,24
Q5	1,61*Q2	150,21	7,10	1,66	10,26	17,60	13,86	6,31	1,98	21,32
Q10	2,06*Q2	192,20	9,08	2,12	13,12	22,52	17,74	8,08	2,53	27,27
Q25	2,66*Q2	248,18	11,73	2,74	16,94	29,07	22,90	10,43	3,27	35,22
Q50	3,14*Q2	292,96	13,85	3,23	20,00	34,32	27,04	12,31	3,86	41,57
Q100	4,92*Q2	459,04	21,70	5,07	31,34	53,78	42,36	19,29	6,05	65,14
Q500	5,55*Q2	517,82	24,48	5,72	35,35	60,66	47,79	21,76	6,83	73,48
Q1000	6,79*Q2	633,51	29,94	6,99	43,25	74,21	58,46	26,62	8,35	89,90

Projenin geometrik veri altlığı ArcMap ve ArcGeoRAS programları yardımı ile hazırlanmış, HEC-RAS programına aktırılarak gereken düzeltmeler yapılmış ve kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4-1. Projenin geometrik verisi, nehir çizgileri ve kesitler



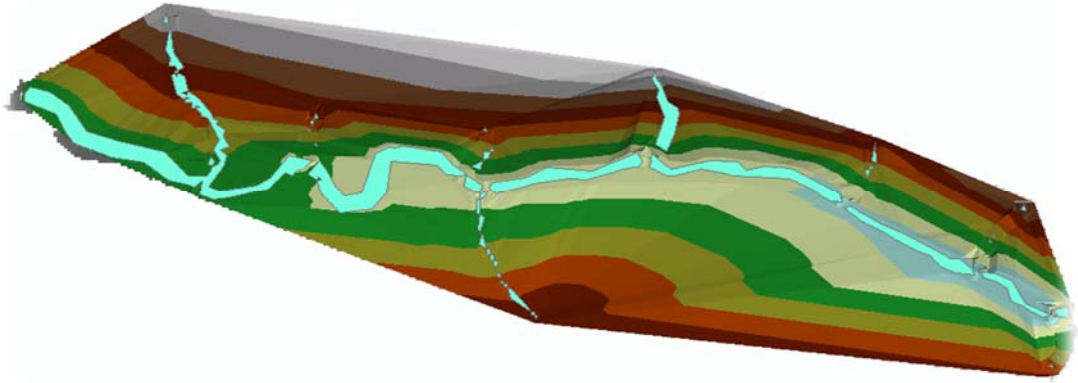
Şekil 4-2. TIN modeli üzerinde nehir çizgileri ve kesitler

Projenin geometrik ve akım verileri HEC-RAS programına girilerek gereken düzeltmelerden sonra analiz yapılmıştır.

Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemi kullanılarak projenin geometrik verileri hazırlanmıştır. GIS (Coğrafi Bilgi Sistemi) yardımı ile hidrolik ve hidrolojik modelleme için kullanılan tüm haritaların oluşturulması mümkündür. Özellikle sentetik hesaplarda kullanılan faktörlerin elde edilmesi için arazi topografyasının yanı sıra toprak özellikleri ve arazi kullanımı değerlendirme özelliği olduğu için kolaylık sağlamaktadır. Nehir ve

akarsu çalışmalarında da arazi özellikleri ile nehir şekil ve kesitlerinin topoğrafik haritası, daha kesin ve değerlendirebilir sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Çalışma sonucunda nehir yatağını DEM modeli üzerinde Şekil 34’te görüldüğü gibi göstermek ve suyun akışını görselleştirmek mümkün olmaktadır.

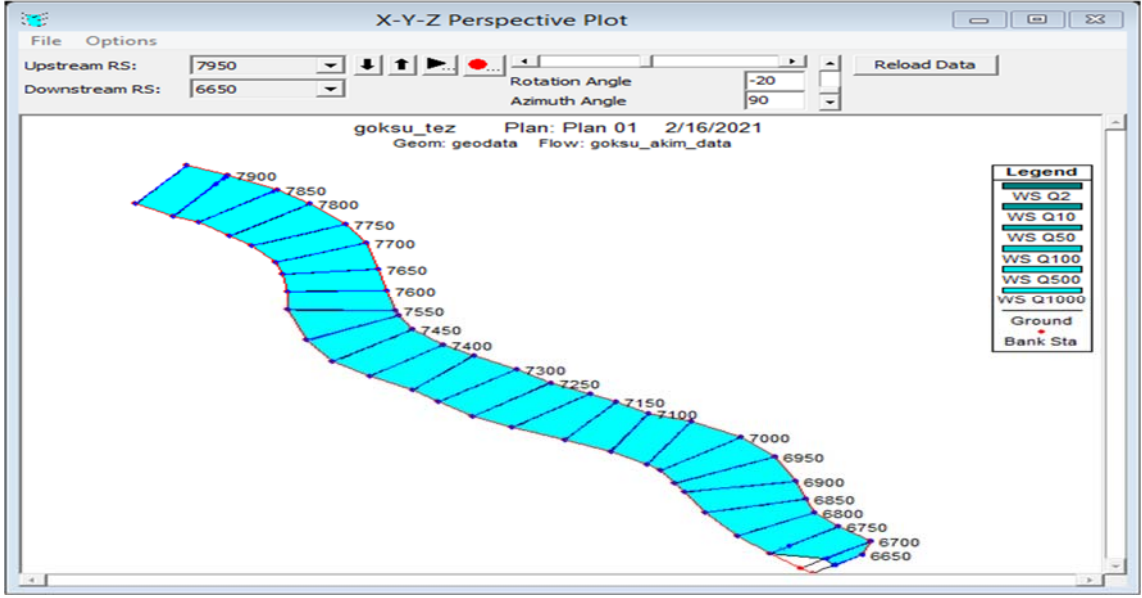


Şekil 4-3. TİN modeli üzerine taşkın simülasyonu

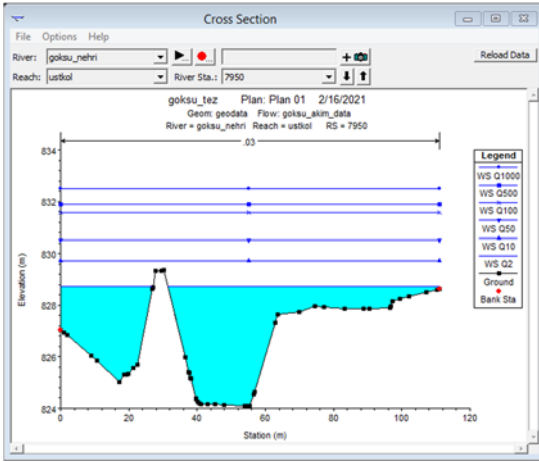
HEC-RAS paket programı ile nehir ve akarsu akımlarının ve aynı zamanda şehir taşkınlarının bir ve iki boyutlu modellenmesi mümkün olmaktadır. Modelin sonuçları, modelin amacına ve tipine göre değişim göstermektedir.

Bu çalışmada Göksu Nehri ve çalışma alanı içinde yer alan, genelde yağışlı mevsimlerde akan, Göksu Nehri yan kolları modellenerek değerlendirilmiştir. HEC-RAS çalışma prensibine göre her nehir kolu ayrı ayrı isimlendirilmeli ve kesitleri oluşturulmalıdır. Akım verileri her nehir parçası için ayrı hesaplanmalıdır. Çalışmayı bütünleştirmek için daha sonra “Junction” bağlantısı özelliği ile nehir parçaları birbirleri ile bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanacaktır. Bu çalışmada da Göksu ana nehri yan kolları nedeni ile alt kol, üst kol ve orta kollar olarak parçalar haline getirilerek değerlendirilmiştir. Yan kollar da mansaptan membaya doğru sırası ile numaralandırılmıştır. Beraber çalışmaları için parçalar arasında Junction noktaları oluşturulmuştur.

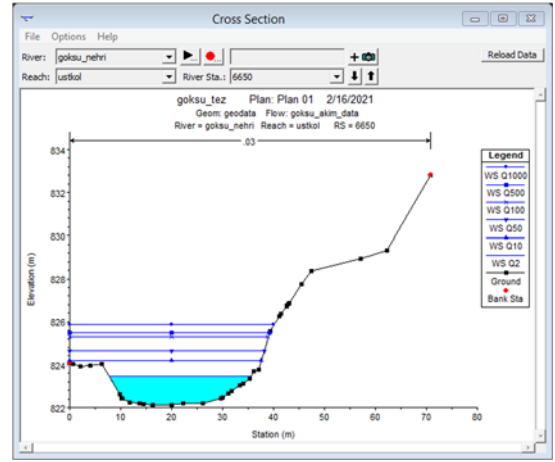
Çalışma bulgularını daha iyi değerlendirebilmek için her nehir parçasını ve yan kollarını tekil olarak görselleştirmek mümkün olmaktadır. Şekil 35-83’de görüldüğü gibi taşkın debilerini düşey ve yatay olarak değerlendirmek mümkündür. Tüm şekillerde, nehir kesitleri, nehir çizgisi sınırları (kırmızı çizgi) ve aynı zamanda kesitlerden nehir kesitinin derinliği ve topografik yapısı görülebilmektedir. Q2, Q10, Q50, Q100, Q500 ve Q1000 debilerini şekil kenarlarında verildiği gibi kesitler üzerinde değerlendirmek mümkün olmaktadır. Nehir çizgisi üstünde kalan debileri görmek, değerlendirmek ve konumlarını belirlemek model sonuçlarından mümkün olmaktadır.



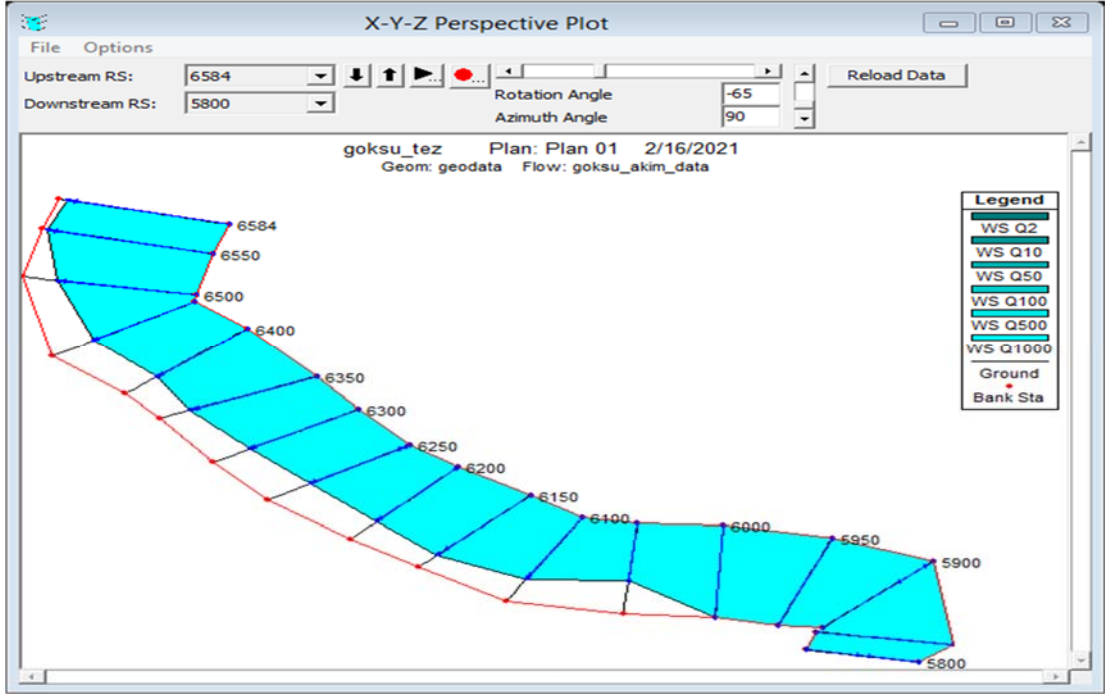
Şekil 4-4. Ana dere üst-kol 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu



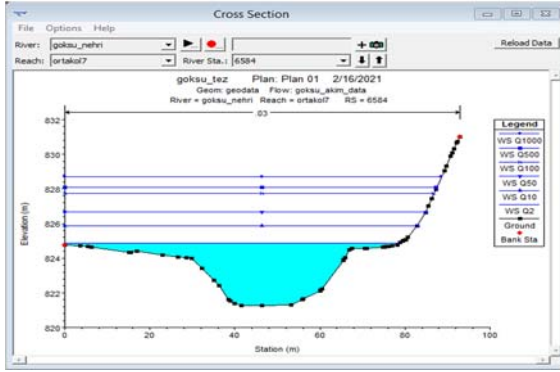
Şekil 4-5 . Ana dere üst kol mansap kesiti ve su yüzeyi



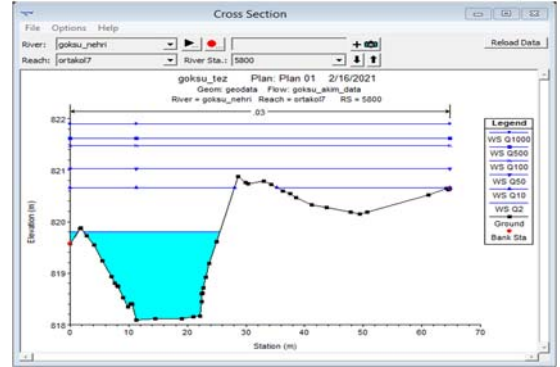
Şekil 4-6. Ana dere üst kol memba kesiti ve su yüzeyi



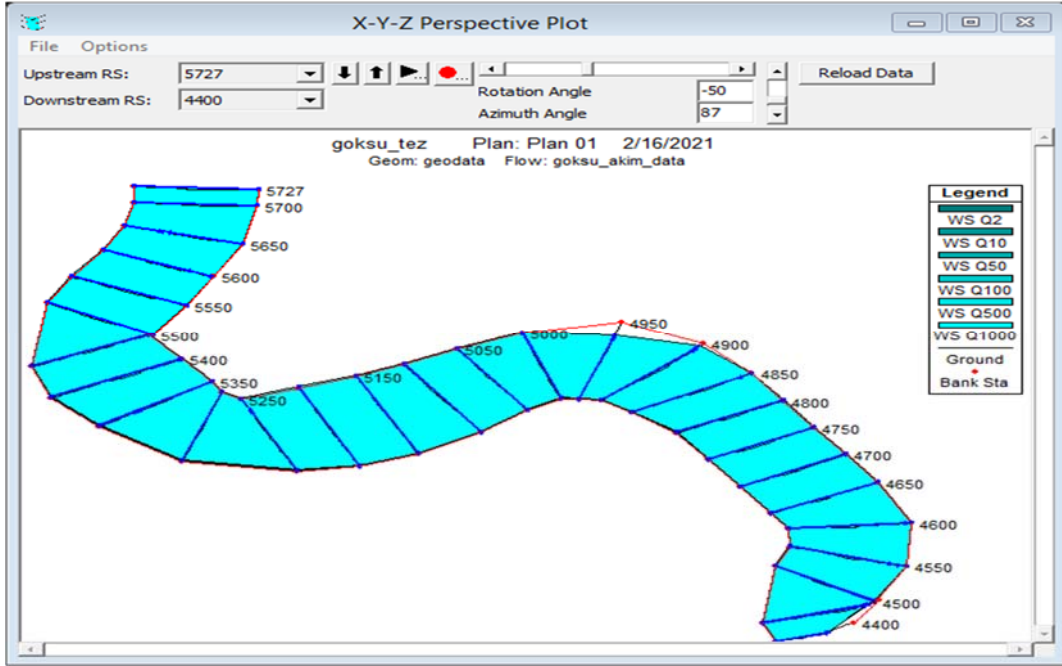
Şekil 4-7. Ana dere orta kol7, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu



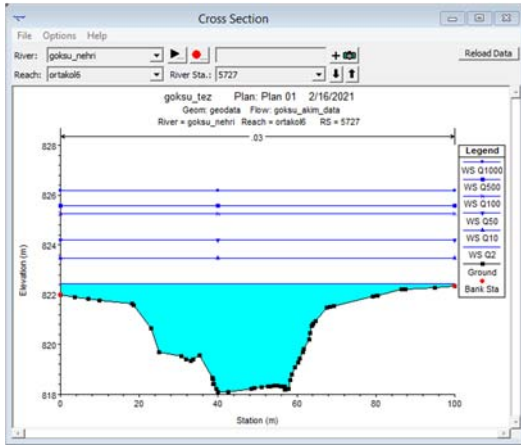
Şekil 4-8. Ana dere orta kol7 memba kesiti ve su yüzeyi



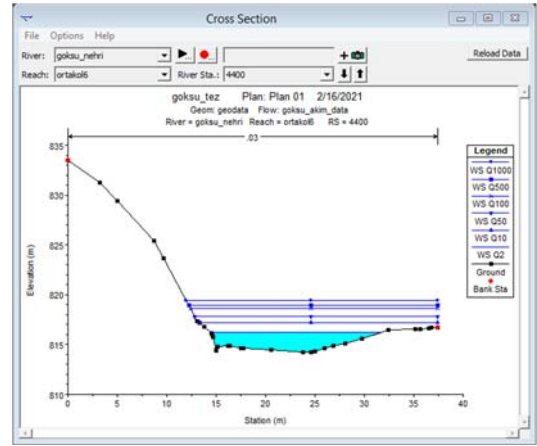
Şekil 4-9. Ana dere orta kol7 mansap kesiti ve su yüzeyi



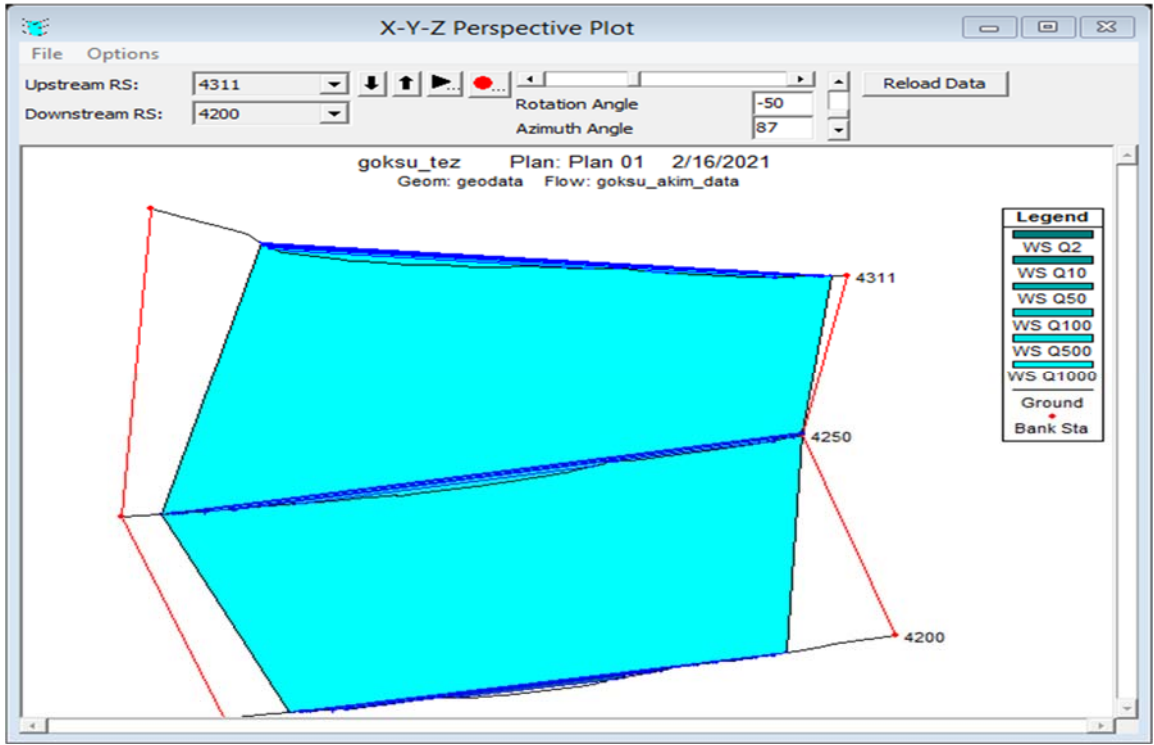
Şekil 4-10. Ana dere orta kol6, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu



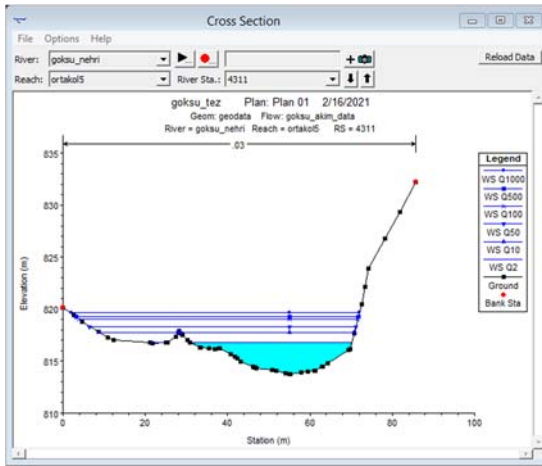
Şekil 4-11. Ana dere orta kol6 memba kesiti ve su yüzeyi



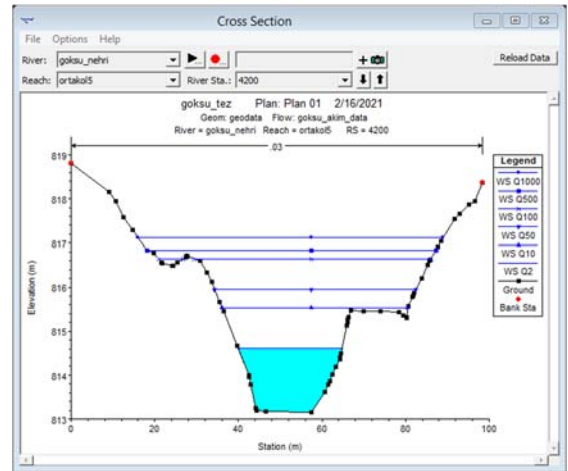
Şekil 4-12. Ana dere orta kol6 mansap kesiti ve su yüzeyi



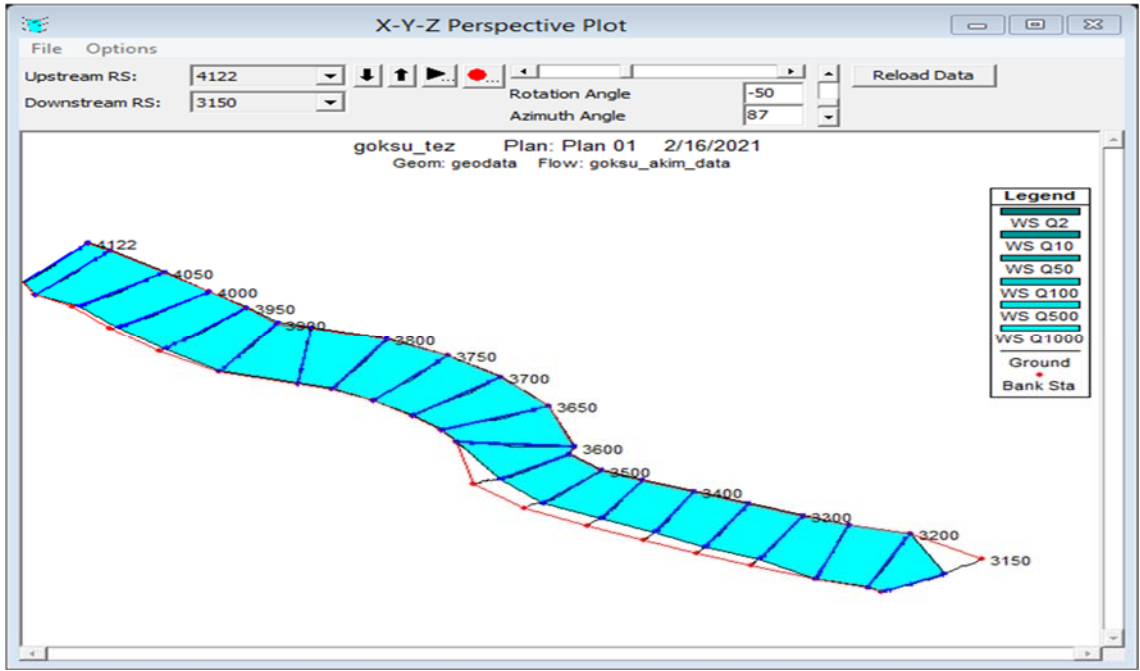
Şekil 4-13. Ana dere orta kol5, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu



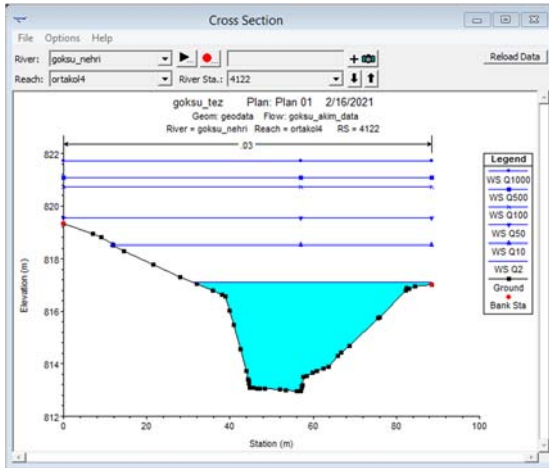
Şekil 4-14. Ana dere orta kol5 memba kesiti ve su yüzeyi



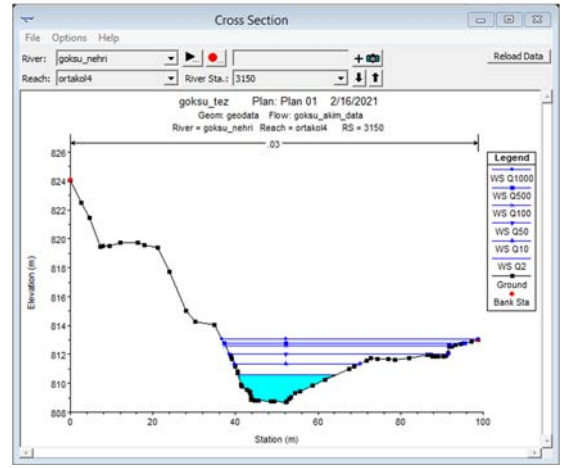
Şekil 4-15. Ana dere orta kol5 mansap kesiti ve su yüzeyi



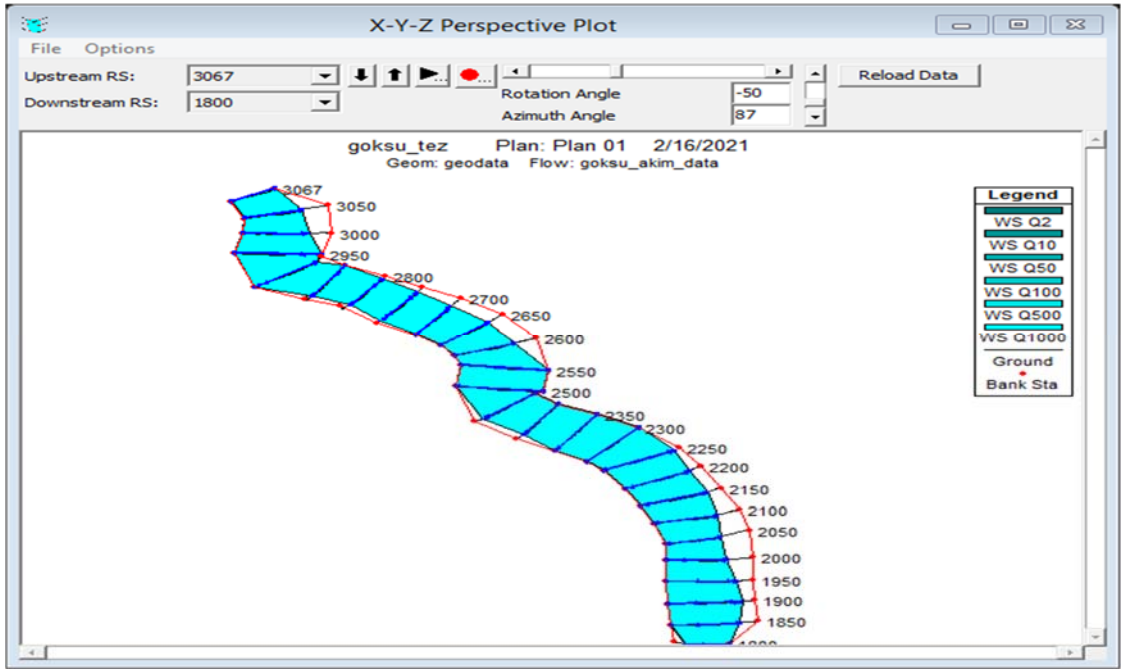
Şekil 4-16. Ana dere orta kol4, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu



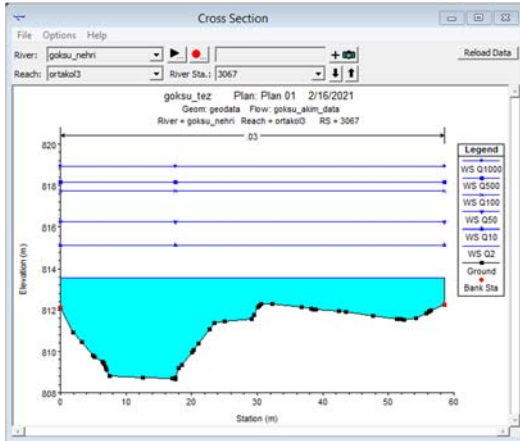
Şekil 4-17. Ana dere orta kol4 memba kesiti ve su yüzeyi



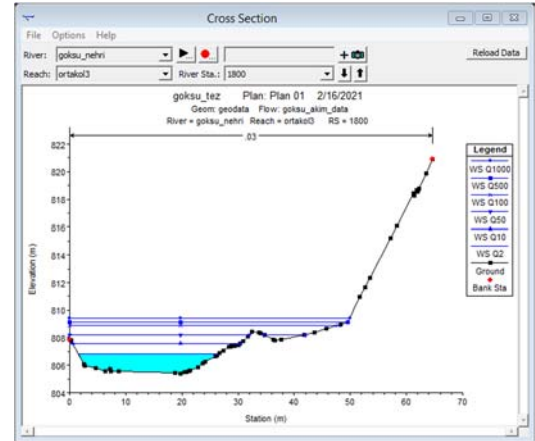
Şekil 4-18. Ana dere orta kol4 mansap kesiti ve su yüzeyi



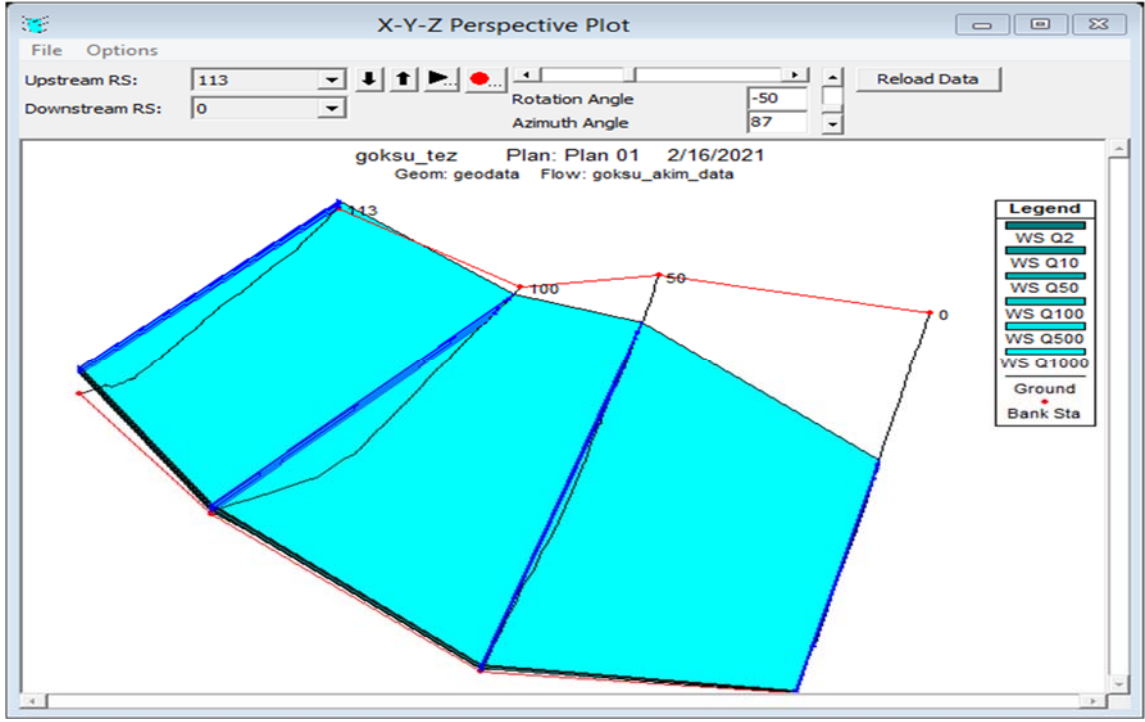
Şekil 4-19. Ana dere orta kol3, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu



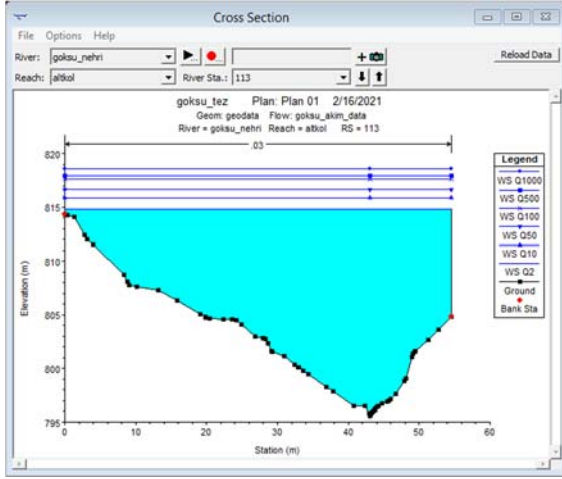
Şekil 4-20. Ana dere orta kol3 memba kesiti ve su yüzeyi



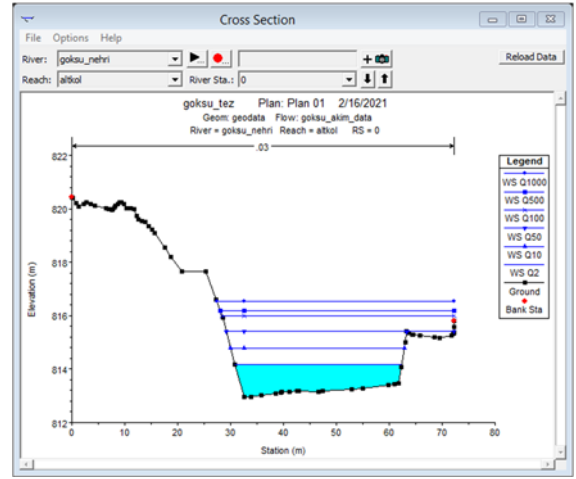
Şekil 4-21. Ana dere orta kol3 mansap kesiti ve su yüzeyi



Şekil 4-22. Ana dere alt kol, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu

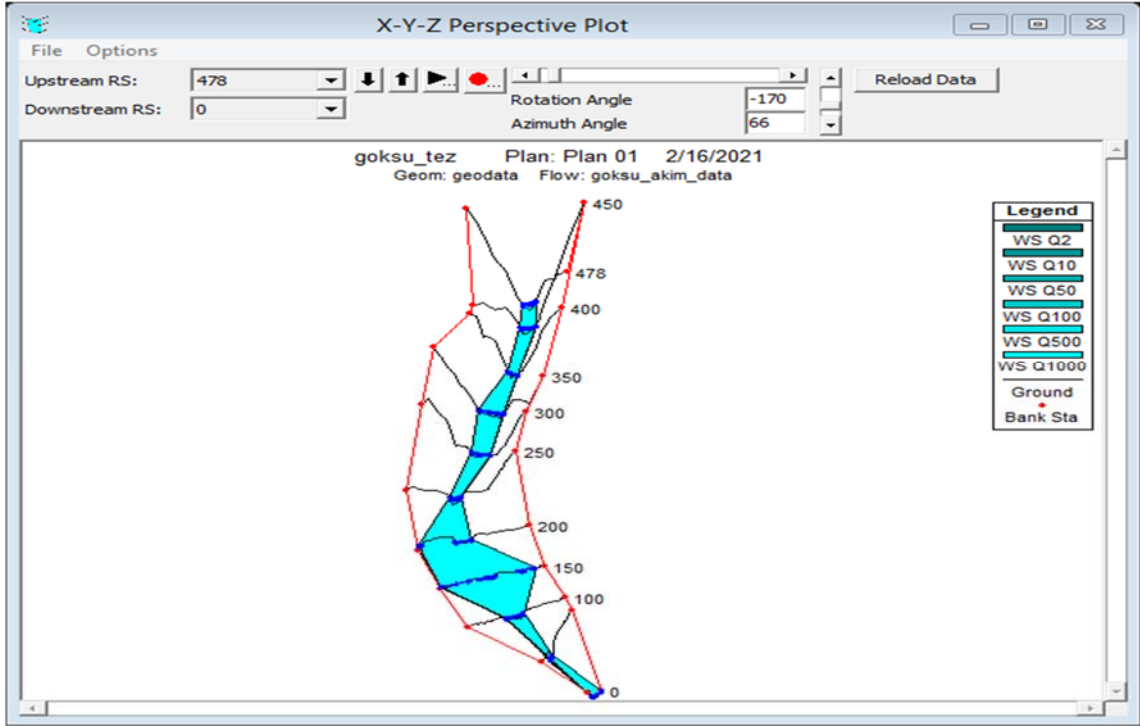


Şekil 4-23. Ana dere alt kol memba kesiti ve su yüzeyi

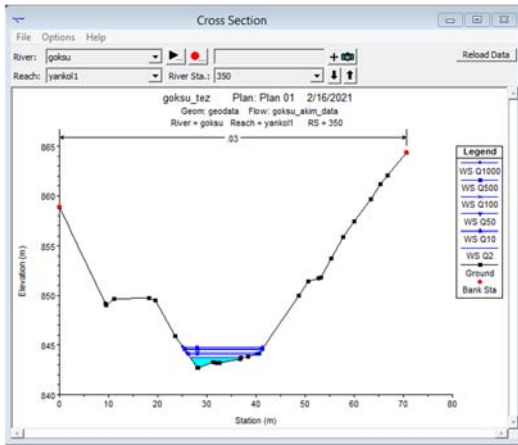


Şekil 4-24. Ana dere alt kol mansap kesiti ve su yüzeyi

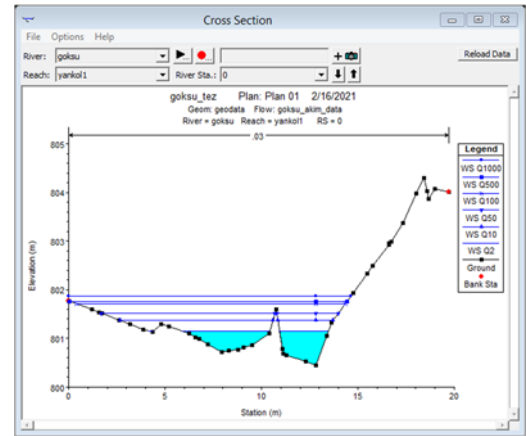
Yan kol-1 kesitlerin Q2, Q10, Q50, Q100, Q500 ve Q1000 taşkın tekerrür debileri için farklı kesitleri ve su seviyeleri:



Şekli 4-25. Göksu yankol1, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu

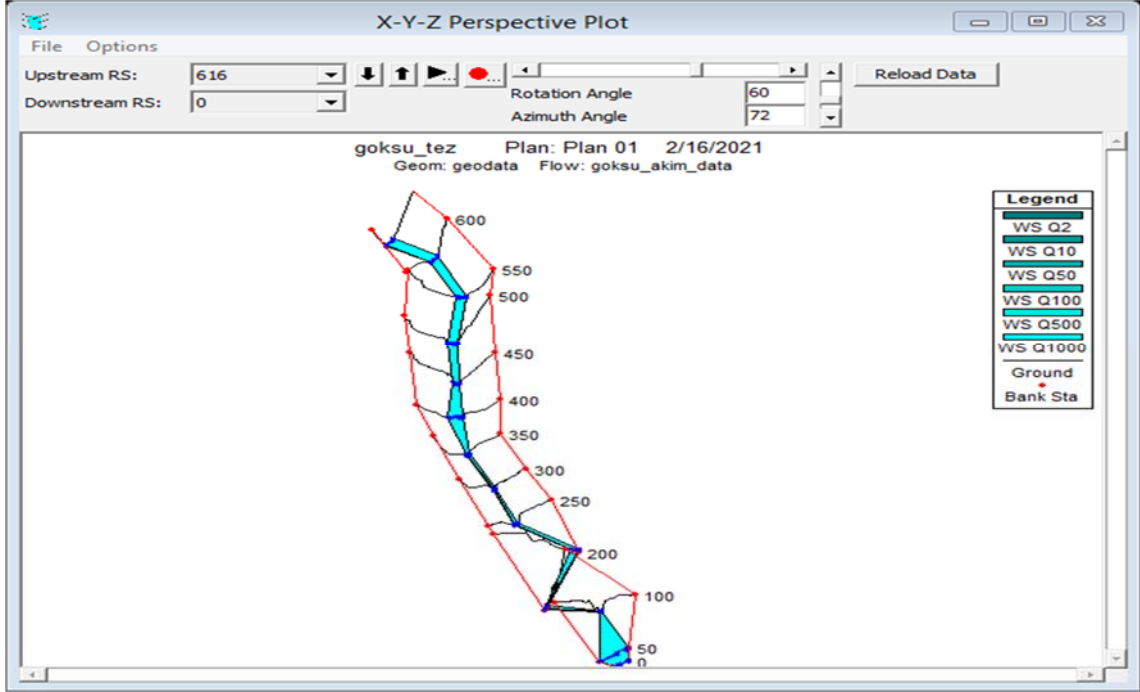


Şekil 4-26. Yankol1 memba kesiti ve su yüzeyi

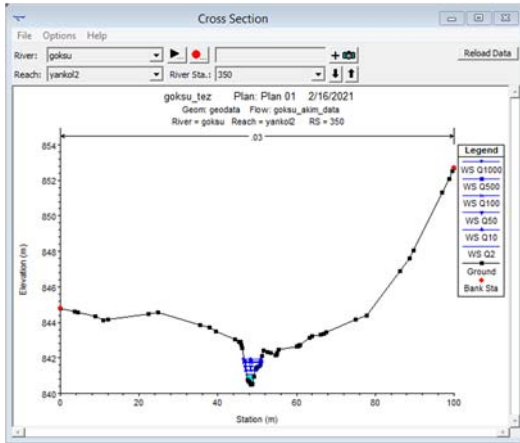


Şekil 58. Yankol1 mansap kesiti ve su yüzeyi

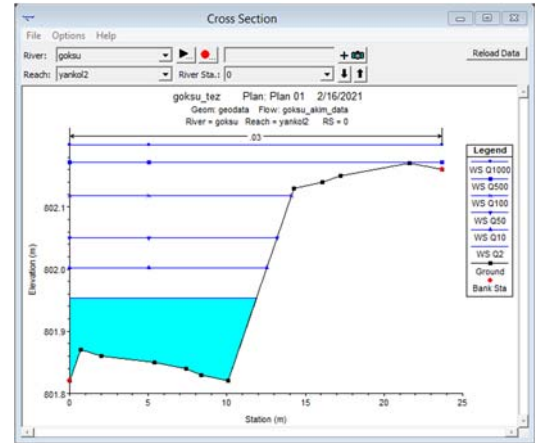
Yan kol-2 kesitlerin Q2, Q10, Q50, Q100, Q500 ve Q1000 taşkın tekerrür debileri için farklı kesitleri ve su seviyeleri



Şekil 59. Göksu yan kol2, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu

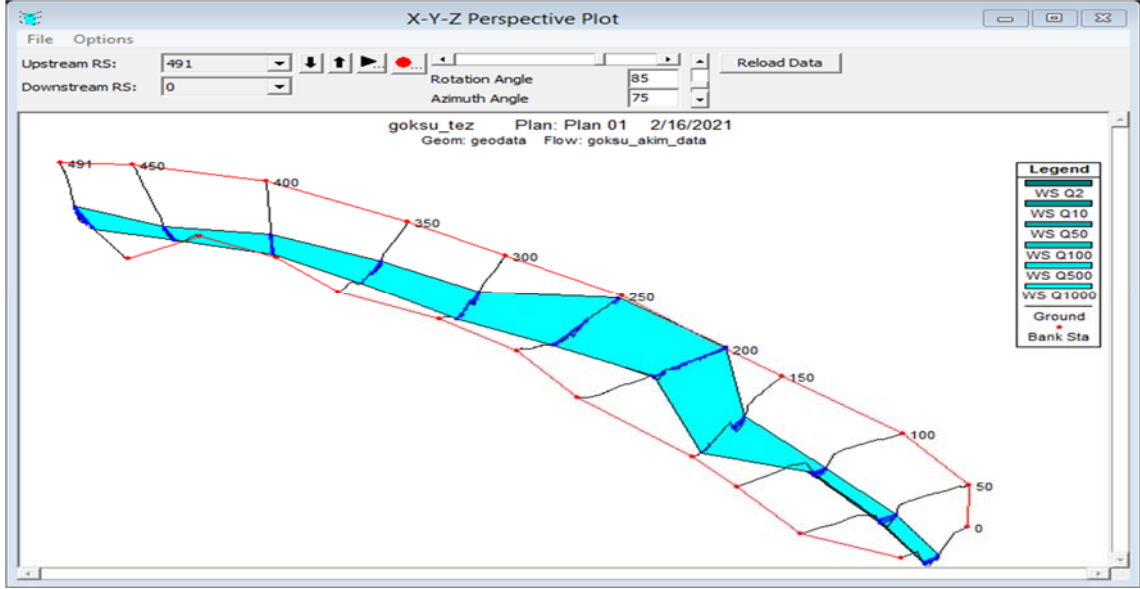


Şekil 60. Yan kol2 memba kesiti ve su yüzeyi

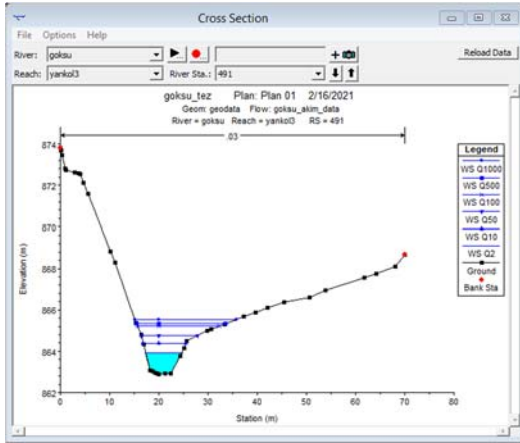


Şekil 61. Yan kol2 mansap kesiti ve su yüzeyi

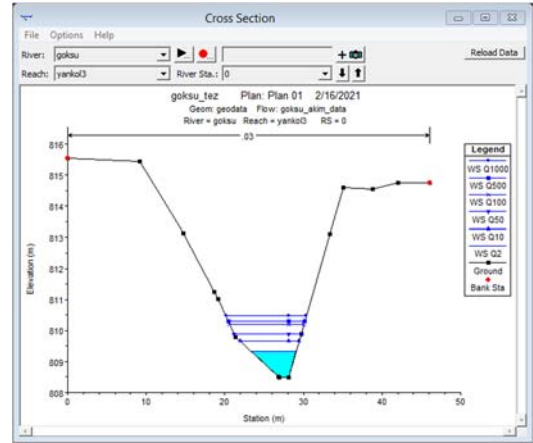
Yan kol-3 kesitlerin Q2, Q10, Q50, Q100, Q500 ve Q1000 taşkın tekerrür debileri için farklı kesitleri ve su seviyeleri:



Şekil 62. Göksu yan kol3, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu

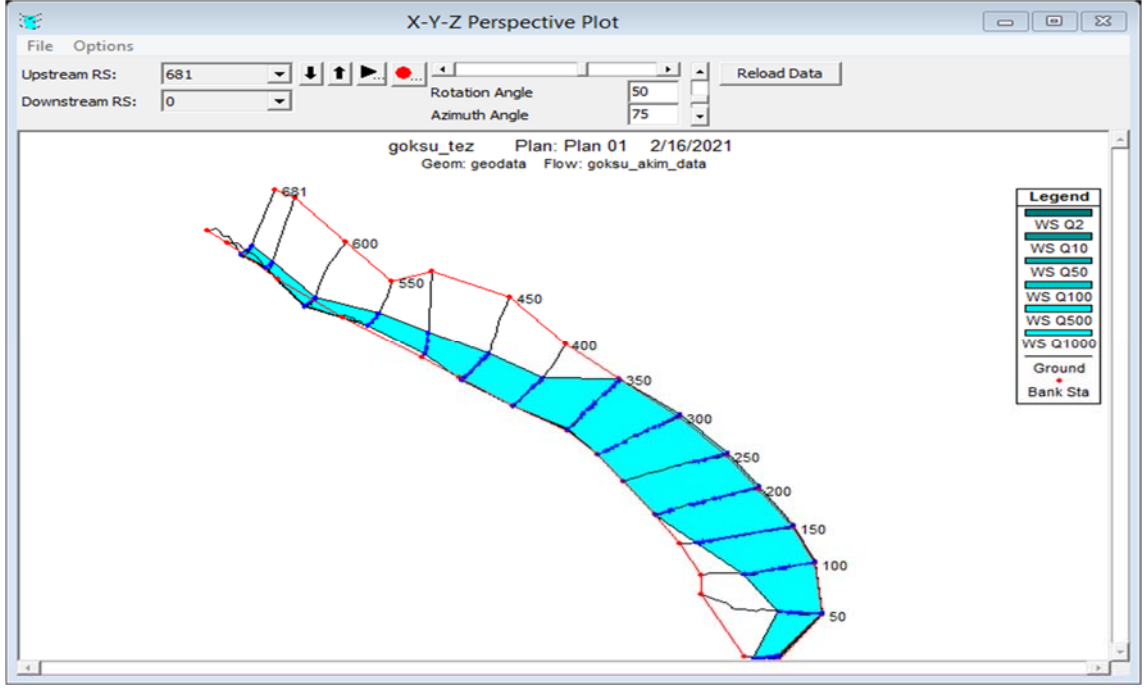


Şekil 63. Yan kol3 memba kesiti ve su yüzeyi

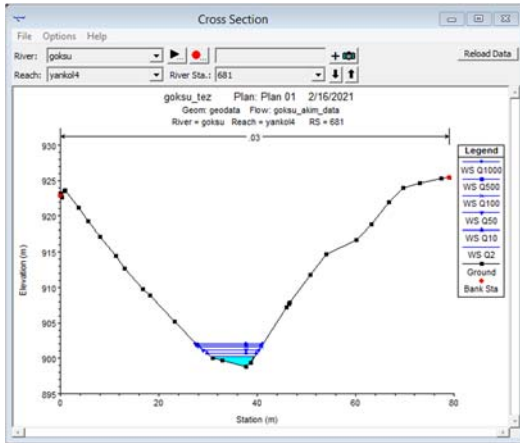


Şekil 64. Yan kol3 mansap kesiti ve su yüzeyi

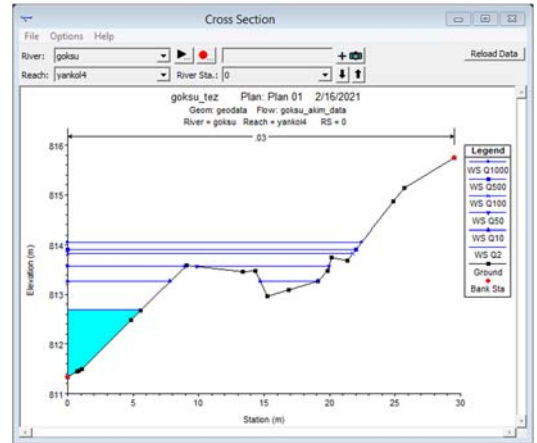
Yan kol-4 kesitlerin Q2, Q10, Q50, Q100, Q500 ve Q1000 taşkın tekerrür debileri için farklı kesitleri ve su seviyeleri:



Şekil 65. Gökü yan kol4, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu

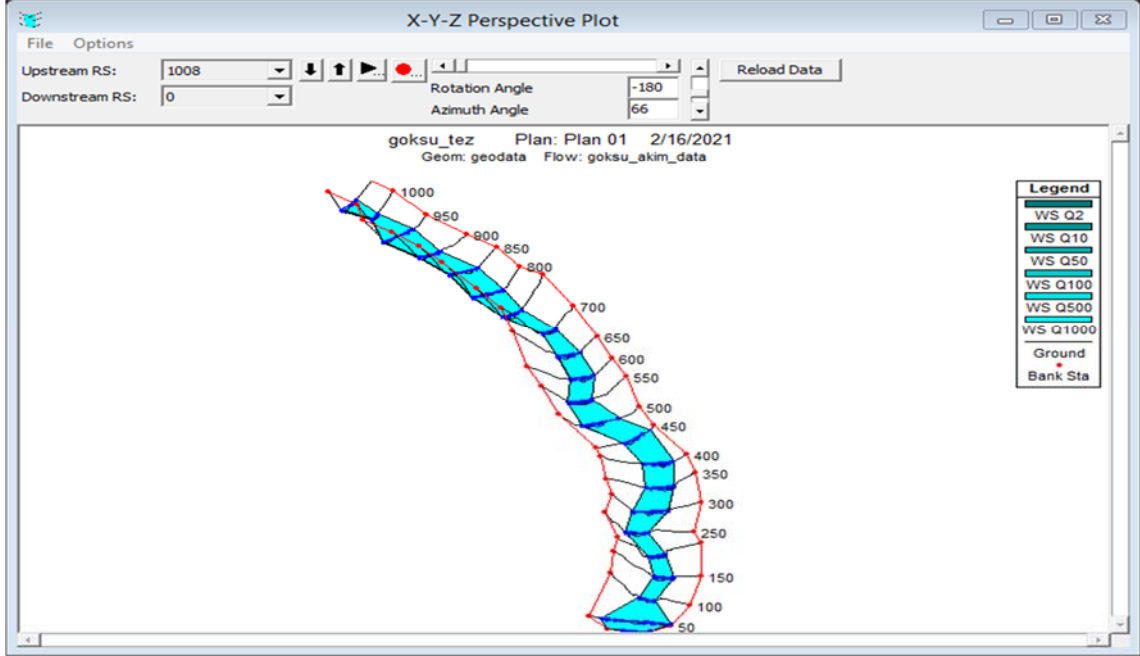


Şekil 66. Yan kol4 memba kesiti ve su yüzeyi

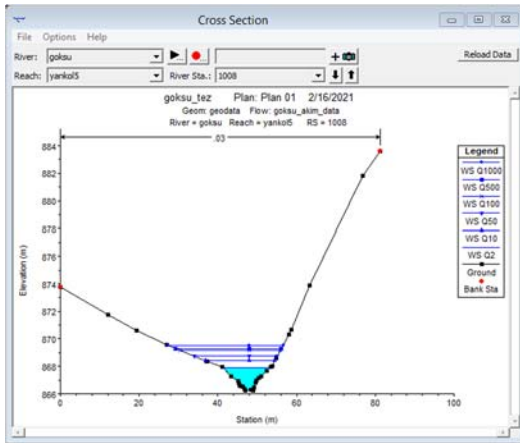


Şekil 67. Yan kol4 mansap kesiti ve su yüzeyi

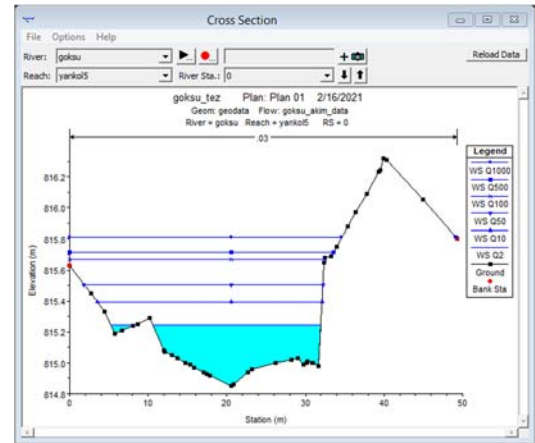
Yan kol-5 kesitlerin Q2, Q10, Q50, Q100, Q500 ve Q1000 taşkın tekerrür debileri için farklı kesitleri ve su seviyeleri:



Şekil 68. Göksu yan kol5, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu

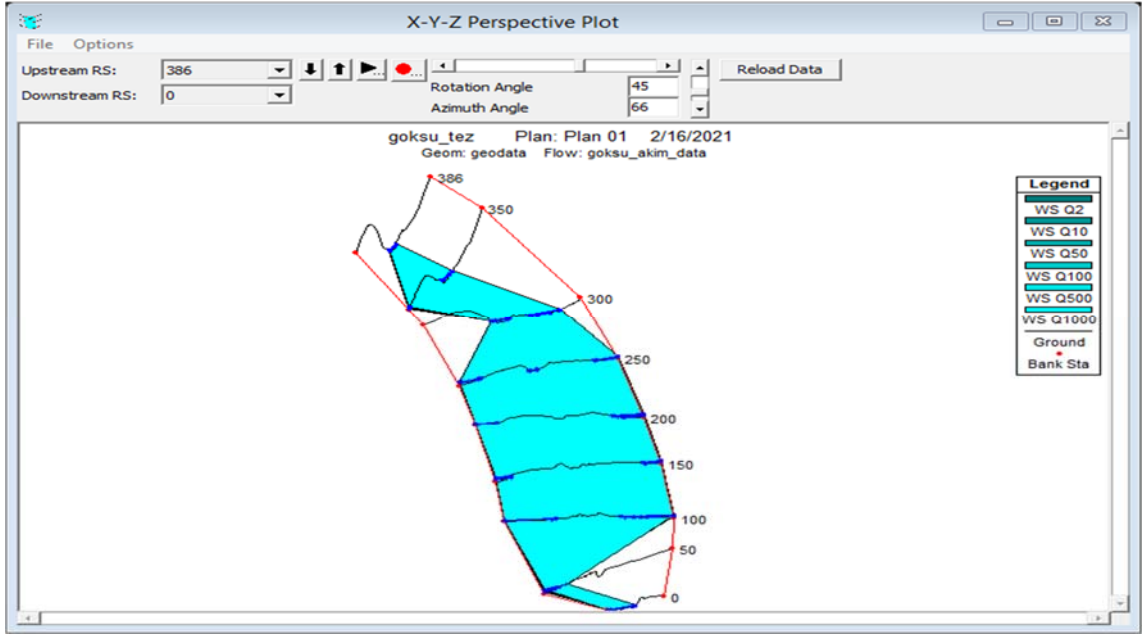


Şekil 69. Yan kol5 memba kesiti ve su yüzeyi

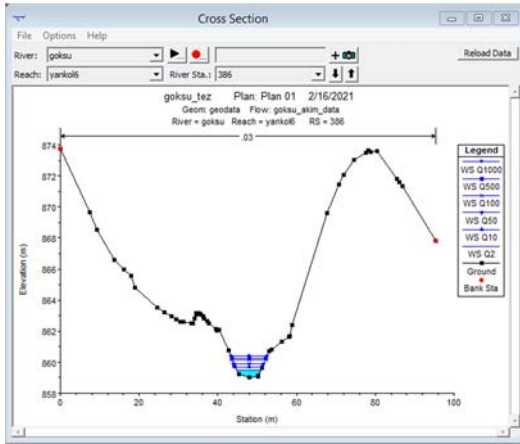


Şekil 70. Yan kol5 mansap kesiti ve su yüzeyi

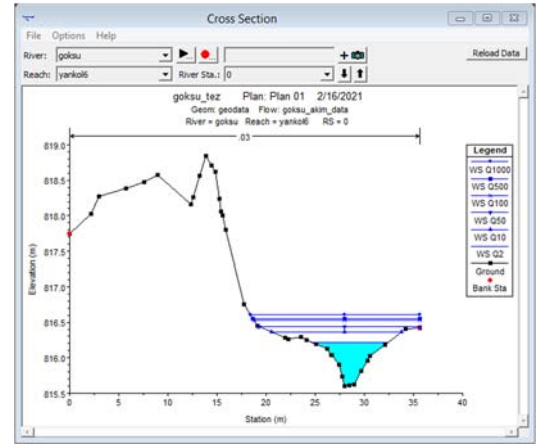
Yan kol-6 kesitlerin Q2, Q10, Q50, Q100, Q500, Q1000 taşkın tekerrür debileri için farklı kesitleri ve su seviyeleri:



Şekil 71. Göksu yan kol6, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu

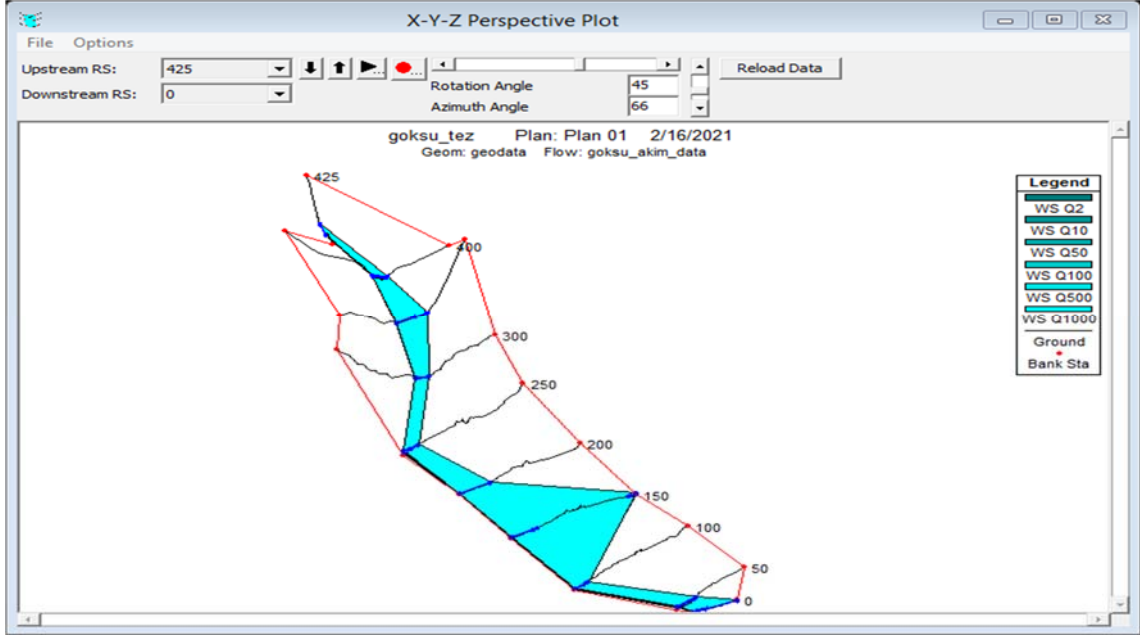


Şekil 72. Yan kol6 memba kesiti ve su yüzeyi

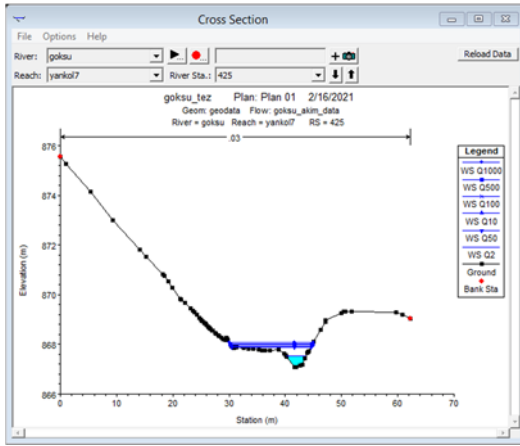


Şekil 73. Yan kol6 mansap kesiti ve su yüzeyi

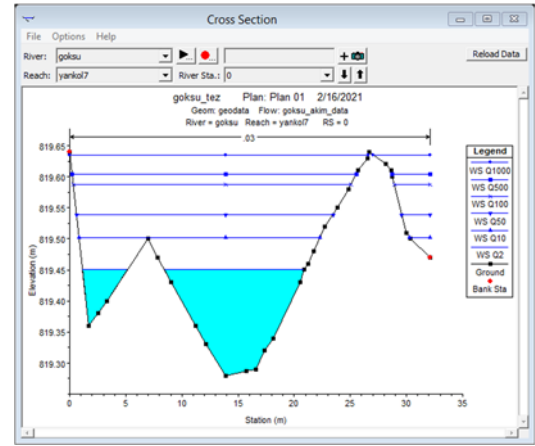
Yan kol-7 kesitlerin Q2, Q10, Q50, Q100, Q500, Q1000 taşkın tekerrür debileri için farklı kesitleri ve su seviyeleri:



Şekil 74. Gökü yan kol7, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu

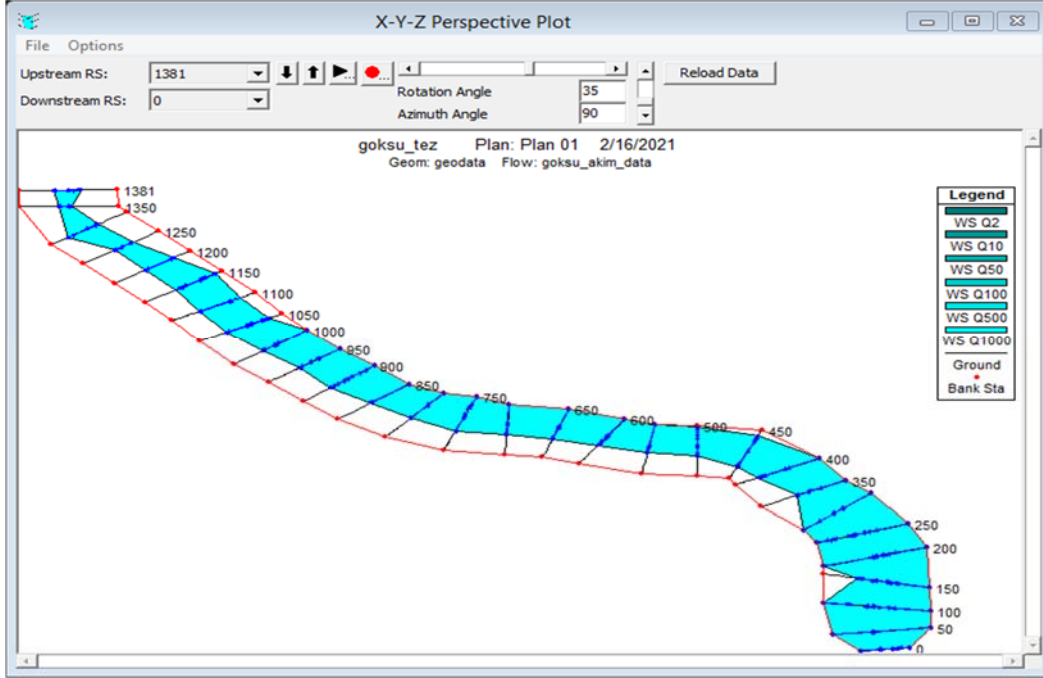


Şekil 75. Yan kol7 memba kesiti ve su yüzeyi

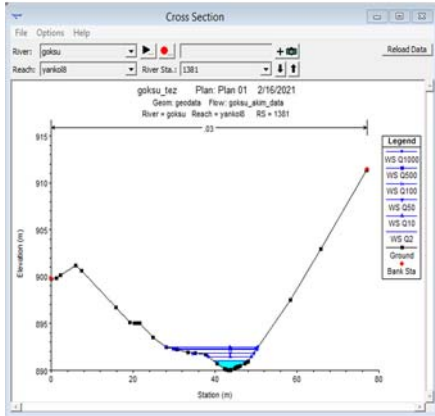


Şekil 76. Yan kol7 mansap kesiti ve su yüzeyi

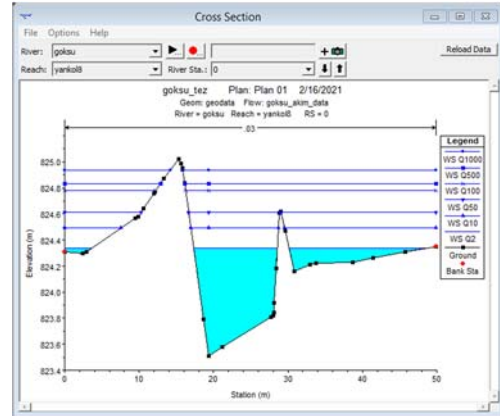
Yan kol-8 kesitlerin Q2, Q10, Q50, Q100, Q500, Q1000 taşkın tekerrür debileri için farklı kesitleri ve su seviyeleri:



Şekil 77. Gökü yan kol8, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu

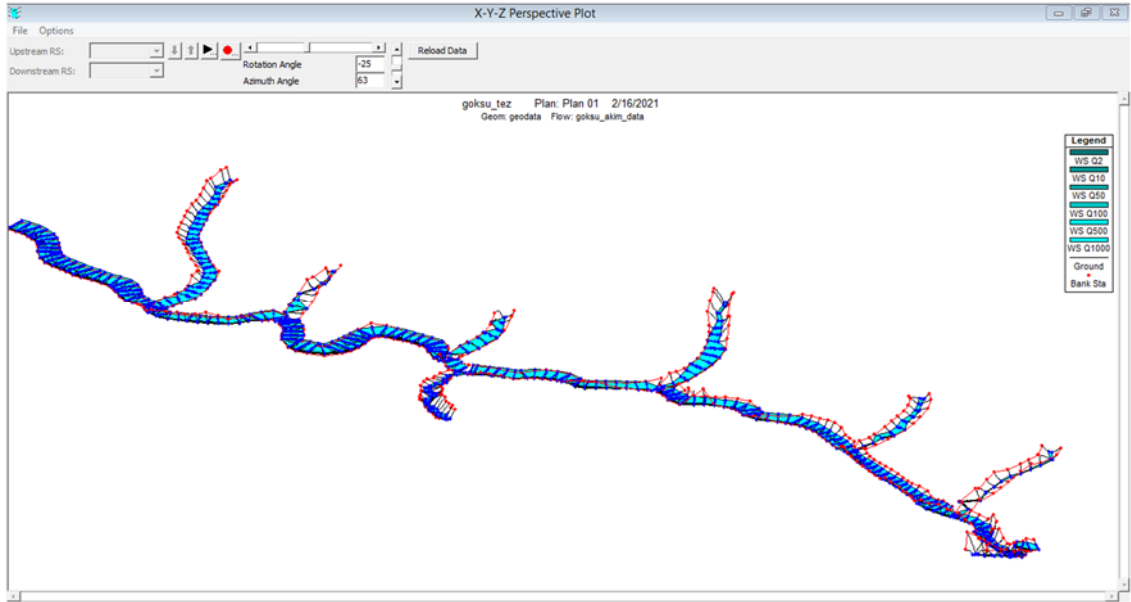


Şekil 78. Yan kol8 memba kesiti ve su yüzeyi



Şekil 79. Yan kol8 mansap kesiti ve su yüzeyi

Her nehir parçası için analiz sonuçları, yatay ve dikey görünüşleri yukarıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekillere bakarak su yüzeyini farklı tekerrürlerde tespit etmek mümkün olmaktadır. Her nehir parçasını ayrı bir şekilde incelemek su taşımının ve kesitlerin yetersiz olduğu yerlerin tespitinde kolaylık sağlayacaktır. HEC-RAS programındaki “Junction” özelliği kullanılarak parçalar arasında bağlantı oluşturup birlikte çalışmalarını sağlamak mümkündür. Şekil 80’de görüldüğü gibi çalışma alanında yer alan tüm nehir parçaları ve yan kollar arasında uyumlu bir şekilde su akımı meydana gelmiş ve süreklilik sağlanmıştır.



Şekil 80. Göksu Nehri ve yan kolları, 3 boyutlu kesit grafiği ve taşkın simülasyonu

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Taşkınlar, önemli derecede maddi ve manevi zararlara sebep olabilecek doğal afet türlerinden biridir. Doğal afetler sıralamasında taşkınlar Türkiye’de ikinci sırada yer almaktadır. Taşkın analizi ve herhangi bir taşkın çalışması ve önlem planı yapılırken, bölgenin topoğrafik yapısı, iklim ve meteorolojik özellikleri, sosyo-ekonomik yapısı gibi birçok faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Taşkın maddi ve manevi hasarlarının önüne geçebilmek için taşkın analizlerinin yazılımlar ve teknoloji ile entegre edilip somut hale getirilmesi gerekmektedir. Taşkın tehlike ve risk haritaları, risk yönetimi ve önlem plan çalışmaları yanı sıra sigortacılık çalışmalarında da önem arz etmektedir.

Göksu Nehri üzerinde Bağbaşı ve Afşar barajları yer aldığı için nehrin taşkın tehlikelerini önemli derecede düşürmesine rağmen proje alanında yer alan Çiftepınar, Bademli, Yelmez, Yağcı ve Sarıhacı mahallelerinde şiddetli sağanak durumlarında taşkın zararları meydana gelmektedir. İlkbahar aylarında fazla yağış sebebi ile artan kaynak debilerine ve sağanak yağışlarda oluşan yüzey sularına karşı kanal kapasitesinin ve kanal içinde bulunan menfezlerin kapasitelerinin yetersiz kalması bu taşkın zararlarının sebebini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, Yukarı Göksu Havzası adı altında Göksu Nehri’nin 12 km’lik uzunluğu ele alınmıştır. Çalışma yerinin yağış alanı belirlenip bölgesel taşkın frekans analizi yöntemleri ile taşkın debi hesabı gerçekleştirilmiştir. GIS ortamında hazırlanmış olan nehrin geometrik verileri ile birlikte bölgesel taşkın frekans analizi sonucu HEC-RAS programına girilmiş ve gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra kararlı akım taşkın analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda Göksu Nehri’nin ana dere güzergâhında, birçok noktada, tüm farklı tekerrür debileri için kanal yetersizliğine rastlanmış ve nehir kenarlarında bulunan tarım arazilerinin taşkın riski taşıdıkları görülmüştür.

Bu çalışmada, Yukarı Göksu Havzası adı altında Göksu Nehri’nin 12 km’lik uzunluğu ele alınmıştır. Çalışma yerinin yağış alanı belirlenip bölgesel taşkın frekans analizi yöntemleri ile taşkın debi hesabı gerçekleştirilmiştir. GIS ortamında hazırlanmış

olan nehrin geometrik verileri ile birlikte bölgesel taşkın frekans analizi sonucu HEC-RAS programına girilmiş ve gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra kararlı akım taşkın analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda Göksu Nehri'nin ana dere güzergâhında, birçok noktada, tüm farklı tekerrür debileri için kanal yetersizliğine rastlanmış ve nehir kenarlarında bulunan tarım arazilerinin taşkın riski taşıdıkları görülmüştür.

Çalışma sonucunda HEC-RAS programı 1D nehir taşkın modellemeleri için kullanışlı olduğuna ve verimli sonuçlar verdiğine kanaat getirilmiştir. Model yardımı ile nehir boyunca kesitin yetersiz kaldığı yerlerin koordinat tespiti yapılmıştır. Model sonucunda tespit edilen kesitin yetersiz olduğu bölgeler daha detaylı incelenerek, sediment birikimi, bitki örtüsü ve dış müdahale gibi kanalın işlevini ve kesitini değiştiren herhangi bir dış etken varsa ortadan kaldırılması, gerektiğinde tahkim duvarı, kanal kesit genişletmesi karar verilebilmektedir. Bunun yanı sıra bölgenin 2D modeli oluşturularak yayılım alanlarına bakılıp hasar derinlik fonksiyonlarını oluşturarak bölgenin taşkın yönetim planı hazırlanabilmektedir.

Kanal yetersizliği genelde ana dere kesitlerinde görülmektedir. Bu noktalarda herhangi bir tahkim ve kanal iyileştirme, geliştirme ve kapasite artırma yapılarının bulunmadığı için doğal durumda olan kanalın arazi yapısı gelen taşkın debileri için uygun kapasitede olamayıp yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla taşkın suyunun etraftaki tarım arazilerine yayılması söz konusudur. Bunun yanı sıra yan kolların memba kesitlerinde kanal kapasite yetersizliğine ve düzensizliğine rastlanmamıştır ama yan kolların mansabında suyun artışı ile beraber kanal düzensizliği söz konusu olmakta ve gelen taşkın debilerinin yayılmasına yol açmaktadır.

Proje alanının etrafında tarım alanları ve yerleşim alanları yer almaktadır. Kesitlere ve su profillerine bakıldığında ana dere güzergâhında kesit yetersizliğinin ve düzensizliğinin 2500 m'yi geçtiğini görmek ve suyun nehir yatağından etraftaki tarım arazilerine ve yerleşim yerlerine yayılmasını tahmin etmek mümkündür. Sedde, kanal rehabilitasyonu, kanal eğimi ve pürüzlülüğü değiştirilerek taşkın su seviyesi ve yayılımının kontrol altına alınması sağlanmalıdır.

Dünya nüfusunun artışı ile birlikte şehirlerin ve sanayinin gelişimi çevreyi ve iklimi kötü etkilemektedir. Kentleşmenin ve endüstriyelleşmenin artması ile toprak özellikleri sürekli değişmektedir. İnsan faaliyetleri hep suya bağlı olduğu için şehir merkezleri genelde nehir kenarlarında yer almaktadır. Kentleşme toprak sızmasını engelleyerek ve aynı zamanda suyun akışını hızlandırarak taşkınları etkileyen bir faktördür. Günümüzde taşkın afetini etkileyen faktörler çoğalmaktadır. Bununla beraber, teknolojinin gelişimi ile erken uyarı sistemleri, radarlar yardımı ile otomatik anlık veri toplama sistemleri ve modelleme programlarını kullanarak, taşkın afetinin değerlendirilmesi ve risklerin öngörülmesi daha kolay ve daha pratik hale gelmiştir. Dolayısıyla bu tür çalışmalar daha kesin ve daha az zamanda sonuç verdikleri için, arazi haritalandırması, yağmur suyu verileri ve analizi vb. gibi konu ile ilgili tüm çalışmaların modern teknolojiye entegre edilmesi gerekmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Chow, V. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Husain, A. (2017). Flood Modeling by Using HEC-RAS. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, vol. 50 (1).
- Ağırlıoğlu, N., & Erkek, C. (2013). *Su Kaynakları Mühendisliği*. İstanbul: Beta Yayınları.
- Ardıçlıoğlu, M. (2017). *Açık Kanal Akımları ve HEC-RAS Uygulamaları* . Kayseri.
- Bayazıt , Y., & Bakış , R. (2015). Seydisuyu çayının havza taşkın haritalarının coğrafi bilgi sistemleri ile iletişimi. *VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi 08-10 Ekim 2015*. Şanlıurfa: Harran Üniversitesi .
- Bayazıt, M., & Önöz, Bihrat. (2008). *Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi, 1. Baskı, ISBN 978-605-395-142-1*. İstanbul: Nobel Yayın.
- Chin , D. A. (2003). *Water Resources Engineering, Second Edition*. New Jersey, USA: Pearson Prentice Hall.
- Dere, G. (2019). Kurtköy Deresi Taşkın Yayılım-Tehlike-Risk Haritalarının Belirlenmesi. *İnşaat Mühendisliği Bölümü yüksek lisans tezi* . SAKARYA: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DMİ. (2015). *Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara*. ANKARA.

- Doğanoğlu, V. (2000). Taşkın haritalaması için CBS'nin bir hidroluk model ile birleştirilmesi. *İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi*. ANKARA: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DSİ. (2015). *Dere Yatakları İçin Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Kılavuzu*. Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- DSİ. (2019). *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü*. [ww.dsi.gov.tr](http://ww.dsi.gov.tr) adresinden alındı
- Efe, H. (2014). Batman ayı'nın taşkın analizinin HEC-RAS programıyla yapılması. *İNşAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, YÜKSEK LİSANS TEZİ*. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eroğlu, V. (2017). *Taşkın Yönetimi*. Ankara : T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü .
- Ersoy, B. (2017). Manisa Kızıldere Taşkın Akımlarının HEC-RAS ile Modellenmesi. Manisa : Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü .
- Eryılmaz Türkkın, G., & Korkmaz , S. (2015). Kaplıkaya Deresinin Sayısal Model İle Taşkın Analizi. *VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi*.
- ESRİ. (2020, 12 29). ESRİ Türkiye: [www.esri.com.tr](http://www.esri.com.tr) adresinden alındı
- Kadıoğlu, M. (2007). İklim Değişiklikleri ve Etkileri: Meteorolojik Afetler. *TMMOB Afet Sempozyumu*, Sayfa: 47-55, Ankara.
- Kaleyci, H. (2004). Değirmendere Havzası'nda Taşkın Frekans Analizi ve Taşkın Sularının Belirlenmesi. *İNşAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, YÜKSEK LİSANS TEZİ*. TRABZON: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Karasu, E. (2018). Orman Ve Su İşleri Bakanlığı: <https://www.Bilgiustam.Com/Tarihin-En-Buyuk-Seli-1931-Cin-Seli> adresinden alındı
- Kumcu, S., Wahidi, A., & Kustal, C. (2019). Problem Investigation of Konya Flood Protection Structures . *Journal of International Environmental Application and Science* , 84-90.
- Maidment, D. (1993). *Handbook of Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- Oğraş, S., & Önen, F. (2019). Dicle Nehri'nin Taşkın Analizinin Hec-RAS Programı ile Yapılması. *DÜMF Mühendislik Dergisi*.
- Onuşluel, G. (2005). HEC-RAS Modelleme Sistemine Dayalı Taşkın Yönetimi. *Doktora Tezi*. İZMİR: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, H. (2007). Taşkınların haritalanmasında HEC-GeoRAS ve HEC-RAS kullanımı Havran Çayı örneği (Balıkesir). *TMMOB Harita Ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Co Çizimleri Bilgi Sistemleri Kongresi*, . Trabzon: KTÜ.
- Özdemir, H. (2007). Taşkınların Haritalanmasında HEC-Geo-RAS ve HEC-RAS'ın Kullanımı: Havran Çayı Örneği. *Doktora Tezi*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İstanbul;
- Ponce, V. (1989). *Engineering Hydrology Principles and Practice*. Englewood : Cliffs NJ Prentice Hall.
- Sönmez, O., & Demir, F. (2016). Ağva İlçe Merkezine Ait Taşkın Yayılım Haritalarının ve Mevcut Binaların Taşkın Su Seviyelerinin Tespiti. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.

SYGM. (2017). *Taşkın Yönetimi*. Ankara : T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.

The EU Floods Directive. (2020). *The EU Floods Directive*. European Commission for Environmen tWater and Flood Risk: ec.europa.eu adresinden alındı

Tuncer, İ. (2011). Açık Kanallarda Su Yüzü Profil Belirlenmesi, Nakkaş Dere Örneğinde Bir HEC-RAS Uygulaması. Ankara: Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Uçar, İ. (2010). Trabzon Değirmendere Havzası'nda Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bir Hidrolik Model Yardımıyla Taşkın Analizi Yapılması. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

UNISDR, United Nations Office for Disaster Risk Re. (2015). *The human cost of weather-related disasters 1995-2015*. Center for Research on the Epidemiology of Disasters.

US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering . (2019). *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*.

Yazıcılar, F., & Önder, H. (1998). Taşkın Yatakları Planlamasında HEC-RAS Bilgisayar Programı ile Su Yüzü Profili Hesaplanması-Bartın Nehrinde Bir Uygulama. *Mühendislik Sorunları Semineri (V)*, Fethiye, Muğla.

Yurdakul, M. (2019). Güney Sapanca Havzası Taşkın Yayılım Haritalarının. *İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri.

Yurtal, R., Seçkin, G., Kaya, İ., & Atabay, S. (2003). Seyhan Nehri Su Yüzü Profillerinde Köprülerden Kaynaklanan Kabarmaların HEC-RAS Paket Programı Kullanılarak Modellenmesi. *DMO Teknik Dergi*, 2935-2948.