

**T.C.  
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**SİVAS 4 EYLÜL BARAJININ YIKILMA  
SENARYOLARINA GÖRE TAŞKIN ANALİZİ VE  
TAŞKIN TEHLİKE RAPORUNUN HAZIRLANMASI**

**Bayram KARATAŞ**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğretim Üyesi Murat AY**

**Yozgat 2019**



**T.C.  
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**SİVAS 4 EYLÜL BARAJININ YIKILMA  
SENARYOLARINA GÖRE TAŞKIN ANALİZİ VE  
TAŞKIN TEHLİKE RAPORUNUN HAZIRLANMASI**

**Bayram KARATAŞ**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğretim Üyesi Murat AY**

**Yozgat 2019**

T.C.  
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEZ ONAYI**

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 70110714003 numaralı öğrencisi Bayram KARATAŞ'ın hazırladığı “Sivas 4 Eylül Barajının Yıkılma Senaryolarına Göre Taşkın Analizi ve Taşkın Tehlike Raporunun Hazırlanması” başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 23/07/2019 Salı günü saat 10:00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği/~~oy çokluğu~~ ile karar verilmiştir.

**Başkan** : Dr. Öğretim Üyesi Levent LATİFOĞLU

**Jüri Üyesi (Danışman)** : Dr. Öğretim Üyesi Murat AY

**Jüri Üyesi** : Dr. Öğretim Üyesi Handan ADİBELLİ

**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 22.../08.../19. tarih ve 37. sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

22.../08.../2019

Prof. Dr. Mustafa SAĞMACI  
Müdür



# İÇİNDEKİLER

<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vii</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>5</b>
2.1. Kaynak Özetleri .....	5
2.1. Dünyadaki ve Ülkemizdeki Mevcut Barajların Durumu.....	8
2.2. Tarihte Gerçekleşen Baraj Yıkılma ve Taşkın Olayları .....	9
2.2.1. Baraj yıkılma olayları .....	9
2.2.2. Taşkın olayları.....	10
<b>3. ÇALIŞMA ALANI</b> .....	<b>15</b>
3.1. Proje Alanı Hakkında Genel Bilgiler .....	15
3.2. Baraj Mansabında Risk Altında Olan Alanlar .....	21
3.3. Hidrolik Hesaplar .....	21
3.3.1. Pürüzlülük (Manning) Katsayısı Hesapları.....	21
3.3.2. Hidrolik hesaplar .....	25
3.3.2.1. Sivas 4 Eylül Barajı Havzası Taşkın Hidrolojisi.....	26
3.3.2.2. Mısmırlırmak Havzası Taşkın Hidrolojisi.....	32
3.3.2.3. Mevlana Deresi Taşkın Hidrolojisi .....	35
<b>4. BARAJ YIKILMA ANALİZİ VE OLUŞAN TAŞKINLAR</b> .....	<b>35</b>
4.1. Hidrolik Modelleme .....	35
4.1.1. Proje Taşkın Debileri.....	35

4.1.2. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) .....	35
4.1.3. Baraj Yıkılması Sonucu Oluşan Taşkınların Belirlenmesinde Kullanılan Programlar .....	37
4.2. Baraj Yıkılma Analizi .....	37
4.2.1. 1 Boyutlu Baraj Yıkılma Modeli.....	39
4.2.2. Çalışılan Senaryolar ve Sonuçları .....	40
4.2.2.1. Normal Su Seviyesinde Yıkılma (NSS).....	44
4.2.2.2. Maksimum Su Seviyesinde Yıkılma (MSS).....	44
4.2.3. Sivas 4 Eylül Barajı Yıkılma Modeli .....	41
4.3. Taşkın Analizleri.....	45
4.3.1. Taşkın Analizinin Önemi.....	45
4.3.2. Bir Boyutlu Taşkın Analizi.....	47
4.3.3. İki Boyutlu Taşkın Analizi.....	53
4.3.4. Bütünleşik Bir Boyutlu ve İki Boyutlu Hidrodinamik Modelleme.....	60
4.4. Hidrodinamik Modelleme Sonuçları.....	60
<b>5. TAŞKIN TEHLİKE HARİTALARI.....</b>	<b>62</b>
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>81</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>85</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>88</b>
<b>EK 1.....</b>	<b>89</b>
<b>EK 2.....</b>	<b>90</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>101</b>

# SİVAS 4 EYLÜL BARAJININ YIKILMA SENARYOLARINA GÖRE TAŞKIN ANALİZİ VE TAŞKIN TEHLİKE RAPORUNUN HAZIRLANMASI

**Bayram KARATAŞ**

**Yozgat Bozok Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**2019; Sayfa: 101**

**Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Murat AY**

## **ÖZET**

Barajlar insanlık için taşkın kontrolü, hidroelektrik güç, su temini, sulama ve rekreasyon gibi önemli faydalar sağlar. Barajlar emniyet tedbiri yüksek yapılar olmalarına rağmen geçmişte meydana gelen felaketler barajların yıkılabileceğini göstermiştir. Ayrıca nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde taşkın analizlerinin önemi geçmiş yıllarda yaşanan taşkın olaylarında görülmüştür. Bu tez çalışmasında Sivas İli içerisinde geçen Mısmılırmak Deresi'nin ve bu dere üzerinde bulunan ve Sivas İli'nin içme suyu ihtiyacını karşılayan Sivas 4 Eylül Barajı tedricen yıkılarak taşkın analizleri yapılmıştır. Taşkın hidrograflarının elde edilmesinde Devlet Su İşleri (DSİ) Sentetik Yöntem kullanılmıştır. Dere yatağı pürüzlülük katsayısının hesaplanmasında Modifiye Cowan (DSİ Formatı) Yöntemi kullanılmıştır. Sayısal modellemeye altlık olarak 1/1000'lik haritalar kullanılarak sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. MIKE 11 programı ile bir boyutlu, MIKE 21 programı ile iki boyutlu hidrodinamik modeller oluşturularak, taşkın analizleri yapılmıştır. 1D model ile dere yatağı en kesitlerinin yeterliliği sınanmış, 2D model ile taşkın arazideki yayılımı incelenmiştir. Barajın etkili ve etkisiz olduğu durumlara göre taşkın tehlike haritaları oluşturularak risk altında bulunan alanlar belirlenmiştir. Sivas il merkezinde Mısmılırmak ve Sivas 4 Eylül Barajı'ndan kaynaklı taşkın meydana gelmemesi için önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrodinamik analiz, MIKE 11, MIKE 21, Sivas 4 Eylül Barajı, Taşkın Haritaları.

# **FLOOD ANALYSIS OF SIVAS 4 EYLUL DAM ACCORDING TO DAM BREAK SCENARIOS AND PREPARATION OF FLOOD HAZARD REPORT**

**Bayram KARATAŞ**

**Yozgat Bozok University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering  
Master of Science Thesis**

**2019; Page: 101**

**Thesis Supervisor: Dr. Murat AY**

## **ABSTRACT**

Dams provide significant benefits for humanity such as flood control, hydroelectric power, water supply, irrigation and recreation. Although dams are high safety measures, past catastrophes have shown that dams can be destroyed. In addition, the importance of flood analysis in the regions with high population density was seen in flood events experienced in previous years. In this thesis, Sivas 4 Eylül Dam, which meets the drinking water requirement of the Mismılırmak Creek and the Sivas Province, passing through the Sivas Province, was gradually demolished and flood analyzes were performed. DSI Synthetic Method was used to obtain flood hydrographs. Modified Cowan (State Hydraulics Works (SHW) Format) Method was used to calculate the creek bed roughness coefficient. Numerical elevation model was obtained by using 1/1000 maps as base for numerical modeling. With MIKE 11 program, two dimensional hydrodynamic models were created with MIKE 21 program and flood analysis was performed. The 1D model was used to test the adequacy of the river bed cross sections, and the spread of the flood in the field was examined with the 2D model. According to the situations where the dam is effective and ineffective, flood hazard maps were created and areas under risk were determined. Suggestions were made to prevent the flood caused by Mismılırmak and Sivas 4 Eylül Dam in Sivas city center.

**Keywords:** Hydrodynamic Analysis, MIKE 11, MIKE 21, Sivas 4 Eylül Barajı, Flood Maps.



## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans öğrenimim sırasında ve tez aşamasında benden desteklerini esirgemeyen, çalışmalarımın her safhasında bilgi ve tecrübesiyle daima yanımda olan Danışman Hocam Dr. Öğretim Üyesi Murat AY'a sonsuz minnet ve şükranlarımı sunar, kendilerine akademik hayatlarında başarılarının devamını dilerim.

Çalışmalarımnda bilgi birikimlerini, sayısal verileri ve manevi desteklerini esirgemeyen DSİ 19. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında manevi desteğini esirgemeyen, iyi dilekleriyle her zaman yanımda olan eşim ve meslektaşım Seval KARATAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili annem Döne KARATAŞ'a, değerli babam Ali KARATAŞ'a sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Bayram KARATAŞ  
29 Mayıs 2019

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 2.1.</b> Türkiye’deki Baraj Sayısı (DSİ 2017).....	9
<b>Tablo 2.2.</b> Türkiye’de 1975-2015 Yılları Arasında Meydana Gelen Taşkınların Karakteristikleri.....	12
<b>Tablo 3.1.</b> Modifiye Cowan Metodu (DSİ Formatı) Pürüzlülük Katsayısı Tablosu .	22
<b>Tablo 3.2.</b> Mısmılırmak’ın Modifiye Cowan Metoduna(DSİ formatı) Göre Pürüzlülük Katsayısı Hesapları .....	23
<b>Tablo 3.3.</b> Çalışmada Kabul Edilen Pürüzlülük Katsayıları.....	25
<b>Tablo 3.4.</b> Sivas 4 Eylül Barajı Karakteristik Bilgileri .....	27
<b>Tablo 3.5.</b> Sivas 4 Eylül Barajı DSİ Sentetik Yöntem Birim Hidrograf Analizi.....	28
<b>Tablo 3.6.</b> Mısmılırmak Taşkın Tekerrür Debileri .....	29
<b>Tablo 3.7.</b> Mısmılırmak Havzası DSİ Sentetik Yöntem Birim Hidrograf Analizi ....	31
<b>Tablo 3.8.</b> Mevlana Deresi DSİ Sentetik Yöntem Birim Hidrograf Analizi.....	33
<b>Tablo 3.9.</b> Proje Alanı Taşkın Pik Debileri .....	34
<b>Tablo 4.1.</b> Proje Alanı Taşkın Pik Debileri .....	35
<b>Tablo 4.2.</b> Sivas 4 Eylül Barajı Yıkılma Karakteristikleri .....	38
<b>Tablo 5.1.</b> Süprüntü Faktörü – Derinlik & Hız İlişkisi .....	62
<b>Tablo 5.2.</b> Sivas İl Merkezi Köprü Durumu .....	63
<b>Tablo 5.3.</b> Sivas İl Merkezi Özet Sonuçları.....	67
<b>Tablo 5.4.</b> Sivas İl Merkezi Mahalle Nüfusları .....	68

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil 2.1.</b> 1900-2000 Yılları Arasında Barajların Küresel Dağılımı (ICOLD,1998) ...8	
<b>Şekil 2.2.</b> Brezilya'daki Baraj Yıkılması Sonucunda Oluşan Görüntü (03.02.2019) <a href="https://www.aksam.com.tr/dunya/brezilya-madencilik-sirketinden-baraj-uyarisi/haber-839072">https://www.aksam.com.tr/dunya/brezilya-madencilik-sirketinden-baraj-uyarisi/haber-839072</a> ..... 10	10
<b>Şekil 2.3.</b> Türkiye'deki Taşkın Zararlarının Sektörel Dağılımı <a href="http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/326.pdf">http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/326.pdf</a> ..... 12	12
<b>Şekil 2.4.</b> 09.09.2009 tarihli İstanbul'da gerçekleşen taşkın olayı <a href="https://emlakkulisi.com">https://emlakkulisi.com</a> ..... 14	14
<b>Şekil 3.1.</b> Çalışma Alanı ..... 15	15
<b>Şekil 3.2.</b> Sivas 4 Eylül Barajı'na Ait Gövde Kesiti ..... 16	16
<b>Şekil 3.3.</b> Sivas 4 Eylül Barajı'na Ait Görüntü (09.11.2017)..... 17	17
<b>Şekil 3.4.</b> Sivas 4 Eylül Barajı'na Ait Görüntü (09.11.2017) ..... 17	17
<b>Şekil 3.5.</b> Sivas 4 Eylül Barajı'na Ait Görüntü (09.11.2017) ..... 18	18
<b>Şekil 3.6.</b> Sivas İl Merkezi ve Sivas 4 Eylül Barajı'na Ait Uydu Görüntüsü ( <a href="https://earth.google.com/web/@39.77743043,37.0259635,1336.74853736a,27516.94140428d,35y,0.00000003h,0.70772323t,-0r/data=CgISAA?utm_source=referral&amp;utm_campaign=marketing&amp;utm_term=carmen1">https://earth.google.com/web/@39.77743043,37.0259635,1336.74853736a,27516.94140428d,35y,0.00000003h,0.70772323t,-0r/data=CgISAA?utm_source=referral&amp;utm_campaign=marketing&amp;utm_term=carmen1</a> ) (20.04.2019) ..... 18	18
<b>Şekil 3.7.</b> Sivas 4 Eylül Barajı Göl Alanı ..... 19	19
<b>Şekil 3.8.</b> Mısmılıрмаğı Memba Kısmı Yatak Durumu (09.11.2017) ..... 19	19
<b>Şekil 3.9.</b> Mısmılırmak Üzerindeki Mevcut Kabartma Yapısı (10.11.2017)..... 20	20
<b>Şekil 3.10.</b> Mısmılırmak Üzerindeki Mevcut Rekreasyon Alanı (10.11.2017) ..... 20	20
<b>Şekil 3.11.</b> Mısmılırmak ve Kızılırmak (Mısmılırmak Mansabı) Birleşimi (10.11.2017)..... 21	21
<b>Şekil 3.12.</b> Yağış Alanları ..... 26	26
<b>Şekil 3.13.</b> Sivas 4 Eylül Barajı Kot-Alan-Hacim Grafiği..... 27	27
<b>Şekil 4.1.</b> Sivas İl Merkezi Sayısal Yükseklik Modeli ..... 36	36
<b>Şekil 4.2.</b> Temsili Baraj Oyulma Figürü ..... 38	38
<b>Şekil 4.3.</b> Sivas 4 Eylül Barajı Kalibrasyonu Sonucu ..... 39	39

<b>Şekil 4.4.</b> Sivas 4 Eylül Barajının Yıkılması Taşkın Yayılım Haritası (Normal Su Seviyesi) .....	42
<b>Şekil 4.5.</b> Sivas 4 Eylül Barajının Yıkılması Taşkın Yayılım Haritası (Maksimum Su Seviyesi) .....	43
<b>Şekil 4.6.</b> Sivas 4 Eylül Barajının Yıkılması Taşkın Yayılım Haritası (Üzerinden Aşma) .....	44
<b>Şekil 4.7.</b> MIKE 11 hesap şeması.....	49
<b>Şekil 4.8.</b> Sivas İl Merkezi Alınan Kesitler ve MIKE Programına Yüklenilmesi .....	51
<b>Şekil 4.9.</b> Sanat Yapılarının MIKE 11 Modeline Tanımlanması .....	52
<b>Şekil 4.10.</b> Sivas İl Merkezi En Kesit Örneği .....	52
<b>Şekil 4.11.</b> MIKE Modelinde Tanımlı Grid Sistemleri .....	55
<b>Şekil 4.12.</b> Arazinin İki Boyutlu Olarak Üçgen Grid İle Modellenmesi .....	56
<b>Şekil 4.13.</b> Arazinin Üç Boyutlu Olarak Üçgen Grid İle Modellenmesi.....	56
<b>Şekil 4.14.</b> Sivas İl Merkezi Kadastral Harita Kesiti.....	57
<b>Şekil 4.15.</b> Üçgen Grid Oluşturulurken Binaların Tanımlanması.....	58
<b>Şekil 4.16.</b> Sivas İl Merkezi Köprü Konumları.....	59
<b>Şekil 4.17.</b> Sivas İl Merkezi, 1 ve 2 Boyutlu Modelleri .....	61
<b>Şekil 5.1.</b> Sivas 4 Eylül Barajı Mansabı Boy Profili (Q <sub>1000</sub> – Baraj Etkili) .....	65
<b>Şekil 5.2.</b> Sivas 4 Eylül Barajı Mansabı Boy Profili (Q <sub>1000</sub> – Baraj Etkisiz).....	66
<b>Şekil 5.3.</b> Sivas 4 Eylül Barajı Mansabı Boy Profili (Q <sub>500</sub> – Baraj Etkili) .....	66
<b>Şekil 5.4.</b> Sivas 4 Eylül Barajı Mansabı Boy Profili (Q <sub>500</sub> – Baraj Etkisiz) .....	67
<b>Şekil 5.5.</b> Sivas İl Merkezi Mahalle Haritası <a href="http://www.sivas.bel.tr/Files/PDF/belediyekitap_ilharitasi2.pdf">http://www.sivas.bel.tr/Files/PDF/belediyekitap_ilharitasi2.pdf</a> .....	68
<b>Şekil 5.6.</b> Q <sub>500</sub> Baraj Etkisiz ve Q <sub>500</sub> Baraj Etkili Yayılım Alanlarının Karşılaştırılması .....	70
<b>Şekil 5.7.</b> Q <sub>500</sub> Baraj Etkisiz Taşkın Yayılım Haritası.....	71
<b>Şekil 5.8.</b> Q <sub>500</sub> Baraj Etkisiz Taşkın Tehlike Haritası.....	72
<b>Şekil 5.9.</b> Q <sub>500</sub> Baraj Etkili Taşkın Yayılım Haritası.....	73
<b>Şekil 5.10.</b> Q <sub>500</sub> Baraj Etkili Taşkın Tehlike Haritası.....	74
<b>Şekil 5.11.</b> Q <sub>1000</sub> Baraj Etkisiz ve Q <sub>1000</sub> Baraj Etkili Yayılım Alanlarının Karşılaştırılması .....	75
<b>Şekil 5.12.</b> Q <sub>1000</sub> Baraj Etkisiz Taşkın Yayılım Haritası.....	76

<b>Şekil 5.13.</b> Q <sub>1000</sub> Baraj Etkisiz Taşkın Tehlike Haritası .....	77
<b>Şekil 5.14.</b> Q <sub>1000</sub> Baraj Etkili Taşkın Yayılım Haritası.....	78
<b>Şekil 5.15.</b> Q <sub>1000</sub> Baraj Etkili Taşkın Tehlike Haritası .....	79
<b>Şekil 6.1.</b> Sivas İl Merkezi Taşkın Risk Haritası .....	82
<b>Şekil Ek.2.1.</b> Mısmılırmak'a Ait Hidrolik Analizler.....	90
<b>Şekil Ek.2.2.</b> Mısmılırmak'a Ait Hidrolik Analizler.....	91
<b>Şekil Ek.2.3.</b> Mısmılırmak'a Ait Hidrolik Analizler.....	92
<b>Şekil Ek.2.4.</b> Mısmılırmak'a Ait Hidrolik Analizler.....	93
<b>Şekil Ek.2.5.</b> Mısmılırmak'a Ait Hidrolik Analizler.....	94
<b>Şekil Ek.2.6.</b> Mısmılırmak'a Ait Hidrolik Analizler.....	95
<b>Şekil Ek.2.7.</b> Mısmılırmak'a Ait Hidrolik Analizler.....	96
<b>Şekil Ek.2.8.</b> Mısmılırmak'a Ait Hidrolik Analizler.....	97
<b>Şekil Ek.2.9.</b> Mısmılırmak'a Ait Hidrolik Analizler.....	98
<b>Şekil Ek.2.10.</b> Mısmılırmak'a Ait Hidrolik Analizler.....	99
<b>Şekil Ek.2.11.</b> Mısmılırmak'a Ait Hidrolik Analizler.....	100

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>mm</b>	: Milimetre
<b>cm</b>	: Santimetre
<b>m</b>	: Metre
<b>km</b>	: Kilometre
<b>km<sup>2</sup></b>	: Kilometrekare
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metrekare
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metreküp
<b>hm<sup>3</sup></b>	: Hektometreküp
<b>ha</b>	: Hektar
<b>s</b>	: Saat
<b>sn</b>	: Saniye
<b>t</b>	: Zaman
<b>Q</b>	: Debi
<b>h</b>	: Yükseklik
<b>x</b>	: Koordinat yatay düzlemi
<b>y</b>	: Koordinat dikey düzlemi
<b>h</b>	: Yükseklik
<b>1D</b>	: Bir Boyut
<b>2D</b>	: İki Boyut
<b>DSİ</b>	: Devlet Su İşleri
<b>DHI</b>	: Danimarka Hidrolik Enstitüsü
<b>İMO</b>	: İnşaat Mühendisleri Odası
<b>SYM</b>	: Sayısal Yükseklik Modeli
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu
<b>ICOLD</b>	: International Commission on Large Dams
<b>TCK</b>	: Türkiye Cumhuriyeti Karayolları
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>TD</b>	: Tehlike Derecesi
<b>FEMA</b>	: Federal Emergency Management Agency

**HEC** : Hydraulic Engineering Center  
**RAS** : River Analysis System  
**USCOLD** : United States Cold Storage  
**DAMBRK** : Dam Break



## 1. GİRİŞ

Türkiye, jeolojik yapısı itibari ile eğimi yüksek bir coğrafyaya sahiptir. Bu durum, meteorolojik olayların jeolojik koşullarla birleşmesiyle doğal afet durumuna elverişli bir yapı oluşturmaktadır. Taşkın, sel, heyelan, erozyon, çığ, deprem, kuraklık gibi olaylar Türkiye'nin bu fiziki yapısından dolayı yaygın olarak görülmekte olan doğal afetlerdendir.

Taşkın bir akarsuyun çeşitli sebeplerle yatağından taşıp, çevresinde bulunan arazilere, yerleşim yerlerine, altyapı tesislerine ve canlılara zarar vermesidir. Taşkınlar gerçekleştiği bölgede ekonomik ve sosyal faaliyetleri kesintiye uğratan küresel ve doğal bir olaydır [1]. Teknik olarak çoğu zaman afetlerin önlenmesi mümkün olmayıp, gerekli önlemlerin alınarak en az zararla atlatılabilmesi yoluna gidilmelidir.

Taşkın, belirli bir gözlem süresindeki akışların gidiş çizgisinin en büyük değeridir. Kritik taşkın seviyesi ise yerel özelliklere göre belirlenen bu değer üzerinde akarsuyun taşıdığı su seviyesidir. Taşkınların kontrolü, taşkınların zararlarını atlatmak ve tümüyle önlemek için yapılan çalışmaların tümüdür. Taşkın kontrolü bakımından cana ve mala zarar veren yüksek su seviyelerindeki akımlar taşkın olarak kabul edilmektedir.

Taşkınlar oluşumlarına göre; yağmur, kar erimesi, buz yığılması, buzul kırılması, toprak kayması, baraj yıkılması, deniz kabarması, köprü yıkılması, yapay etkiler olarak sınıflandırılır. Taşkın kontrolü çalışmalarında meteorolojik şartlara bağlı olan, yağmur ve kar erimesi taşkınları esas alınır [2].

Taşkın afetinin oluşmasında insan etkisinin de önemi büyüktür. Doğal meteorolojik ve jeolojik şartlar oluşmadığı durumda taşkın beklenmez. İnsan müdahalesi, taşkının afete dönüşmesine sebep olan en önemli etkidir. Örneğin; taşkın yatağına yapılan kontrolsüz yerleşimler, havzanın memba bölgelerindeki izinsiz kentleşme ve bunun doğal sonucu olarak orman ve bitki örtüsünün yok edilmesi, doğal zemin üzerindeki kaplamalar, hatalı arazi kullanımı gibi faaliyetler bu müdahalelerdendir [3].



Bir taşkının meydana gelme sebepleri doğal ve beşeri nedenler olarak kategorize edilebilir.

Taşkın oluşmasındaki doğal sebepler:

- İklim faktörleri,
- Drenaj alanı
- Bakı,
- Deniz seviyesinden yükseklik
- Yükselti ve eğim,
- Bitki örtüsü
- Doygunluk.

Taşkın oluşmasındaki beşeri sebepler:

- Kentleşme,
- Arazinin hatalı kullanımı,
- Orman ve bitki örtüsü tahribatı,
- Baraj yıkılması.

Kütlenin korunumu kanunu gereği yeryüzündeki su zamanla değişmez. Yeryüzünde bir yılda düşen yağışla buharlaşma ile atmosfere geri gelen su miktarı eşit olup bu miktar yaklaşık 100 cm/yıl'dır. Üç tarafı sularla çevrili olan Türkiye, su kaynakları bakımından zengin sayılabilecek bir ülkedir. Ülkemizdeki ortalama yağış yüksekliği yaklaşık 65 cm'dir. Ülkemizde yağış halinde düşen ortalama  $509 \times 10^9$  m<sup>3</sup> suyun %38'i ( $193 \times 10^9$  m<sup>3</sup>) akarsularda akış haline geçmektedir. Yer altı suyunu besleyen  $41 \times 10^9$  m<sup>3</sup> de dikkate alındığında Türkiye'nin yenilenebilir su potansiyeli brüt  $234 \times 10^9$  m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Ancak günümüz teknik ve ekonomik şartlarında, çeşitli amaçlara yönelik tüketilebilecek yer üstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan  $95 \times 10^9$  m<sup>3</sup>, komşu ülkelerden yurdumuza gelen akarsulardan  $3 \times 10^9$  m<sup>3</sup> olmak üzere yılda ortalama  $98 \times 10^9$  m<sup>3</sup>'tür.  $14 \times 10^9$  m<sup>3</sup> olarak belirlenen yer altı suyu potansiyeli ile Türkiye'nin tüketilebilir yer üstü ve yer altı su potansiyeli yılda ortalama toplam yaklaşık  $112 \times 10^9$  m<sup>3</sup> olmaktadır[4].

Barajlar insanlığın su ve enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla akarsu vadisinde akışı engellemek suretiyle inşa edilen su yapılarıdır. Toplumun yaşam koşullarını

iyileştirmek amacıyla yapılan barajlar, varlıkları ile yaşam standartlarını artırarak bir nevi uygarlığa eriştirebilirler. Bu yüzden, bir ülkenin var olan baraj miktarı o ülkenin uygarlık derecesi olarak kabul edilebilir. Özellikle birinci dünya ülkeleri dediğimiz gelişimini tamamlamış ülkeler baraj ihtiyaçlarının tamamına yakınına karşılarken, geri kalmış ve gelişmekte olan ülkeler ise baraj sektöründe hızla büyümektedir [5].

Sürekli artan insan nüfusu içme suyu, tarımsal sulama ve enerji üretimi gereksinimlerini de beraberinde artırmaktadır. Bu sebeplerle dünyada ve ülkemizde gölet ve baraj sayıları hızla artmaktadır. Bu barajların yıkılma olasılıkları düşünüldüğünde her geçen gün baraj yıkılmasından etkilenebilecek alanlar artmaktadır. Herhangi bir nedenle bir barajın yıkılması büyük felakete yol açabilir. Barajlar depoladıkları su ile mansabında yaşayan insanların can ve mal güvenliğine karşı bir risk barındırır. Baraj yıkılması, yoğun yağışların sebep olduğu taşkınlar ile karşılaştırıldığında daha kısa sürede ve daha yüksek pik akımlara sebep olur. Yüksek pik akımlara kısa sürede ulaşması beraberinde baraj mansabında yaşayanlar için uyarı süresi kısalmaktadır.

Barajların yıkılmalarını önlemek imkânsız olsa da yıkılmanın zararlarından kaçınmak mümkündür [6]. Taşkınların kısa sürede ve yüksek akımda olacağından bu zararlılardan kaçınmak ancak erken tahliye planları ile mümkün olacaktır. Bir barajın yıkılmasının zararlarını en aza indirmek için, sayısal ve fiziksel modellere dayalı acil eylem planları oluşturulabilir.

Baldwin Hill (1963) ve San Fernando (1971) barajlarının yıkılması olayları, can kayıplarının önlenmesi için tahliye planlarının olması ve uyarı zamanının bilinmesinin gerekliliklerini ortaya koymuştur. Her iki olayda da binlerce insan taşkından önce tahliye edilebilmiştir. Yine Quail Creek baraj yıkılmasında insanların zarar görmemiş olması tahliye planlarının ve diğer güvenlik gereksinimlerinin önemini ortaya koymuştur [7].

Bu nedenlerden dolayı baraj tasarımı yapılırken barajın yıkılma senaryoları göz önünde bulundurulmalı ve baraj mansabındaki yerleşim yerleri için tahliye planlarını içeren acil eylem planları geliştirilmelidir.

Bu tez çalışmasında, Sivas İli içerisinde geçen ve üzerinde Sivas İl Merkezinin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayan Sivas 4 Eylül Barajı bulunan Mısmırmak deresinin sayısal modelleme sistemlerine dayanılarak, barajın etkili ve etkisiz olma durumlarına göre taşkın analizi yapılarak, taşkın etkileri değerlendirilmiş ve riskli alanlar harita halinde verilmiştir.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Kaynak Özetleri

Baraj yıkılma ve taşkın modellemelerinin tarihi 1950-1960 yılları arasında dayanmaktadır. Bilgisayar biliminin gelişmesi ile beraber taşkın modellemeleri de sayısal alanda gelişim göstermiştir. Aşağıda baraj yıkılma ve taşkın analizlerine ait dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Cristofano (1965), literatürde ilk defa baraj gövdesi üzerinde meydana gelen bir gediğin tedrici olarak aşınması olayını modellemiştir. Çalışmada, gedikten geçen akımın etkidiği kuvvet, gediğin ıslak çevresi üzerine etkiyen sürtünme kuvvetine eşitlenmiştir. Bu eşitlikten, debinin değişimi ile gedik içerisindeki düşey ve yatay aşınma hızı arasındaki ilişkiyi veren bir diferansiyel denklem elde edilmiştir. Modelin uygulanabilirliği şev eğilimlerinin ve gediğin boyuna eğiminin içsel sürtünme açısına eşit olması, dolayısıyla yamuk enkesitli gediğin taban genişliğinin sabit olması kabulüyle sınırlıdır. Bu nedenlerle denklemin uygulanması hesaplarda güçlüklerle neden olmuş ve bazı durumlarda belirsizliklere neden olmuştur [8].

Fread ve Harbough (1973), küçük toprak barajlarda gövde üzerinden suyun aşması sonucu oluşan taşkın zararlarını azaltmak için kavramsal bir yöntem geliştirmişler ve baraj gövdesi üzerinde aşınmayı geciktirecek ince bir tabakanın inşa edilmesini teklif etmişlerdir. Bunun yanında, ince tabakanın gediğin oluşumu sırasında meydana gelecek maksimum debiyi ne oranda etkileyeceğini de araştırmışlardır. Baraj gövdesindeki aşınmayı geciktirici tabakanın, gedikten çıkan maksimum taşkını minimum yapacak şekilde, en uygun yüksekliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır [9].

Brown ve Rogers (1981) tarafından geliştirilen modelde hesaplar iki adımlı bir yöntem olarak ele alınmıştır. İlk olarak gedikten çıkan akım hidrografını elde edebilmek için, rezervuara giden akım hidrografı göl alanı boyunca hidrolojik yöntemle ötelenmiştir. İkinci olarak gövde üstünden su aşması veya borulanma nedeni ile toprak dolgu barajda meydana gelen gedik şekli sabit tutulmuş ve aşınma hızı, Schoklitsch tarafından geliştirilen ampirik bir yöntemle hesaplanmıştır. Aşınma hızını, gedikten geçen debi, hidrolik eğim ve gövde malzemesinin dane çapının bir

fonksiyonu olarak dikkate alınmıştır. Model, Idaho'daki Teton Barajı'nın yıkılma analizine uygulanmıştır [10].

Hydraulic Engineering Center (1990), taşkın hasar analizleri, taşkın kontrolü sistem optimizasyonu ve baraj emniyet analizleri yapabilen bir model geliştirmişlerdir (HEC-1). Baraj gövdesinden su aşması ihtimali ve barajın tedrici olarak yıkılması kabulü ile oluşan taşkın dalgasının değişimi hesaplanabilmektedir [11].

Tingsanchali ve Chinnarasri (2001), gövde üzerinden su aşması sonucu baraj yıkılması olayını modelleyen bir boyutlu sayısal yöntem geliştirmişlerdir. Değişken akımların 1B kütlenin ve momentumun korunumu denklemlerini çözmek için MacCornack kapalı sonlu fark şemasını kullanmışlardır. Erozyonun gelişiminde dik yatay eğim için geliştirilmiş olan Smart'ın formülünü seçmişlerdir. Model hassaslığı büyük ölçüde katı madde taşınım formülüne ve boşluk su fark şemasını kullanmışlardır. Erozyonun gelişiminde dik yatay eğim için geliştirilmiş olan Smart'ın formülünü seçmişlerdir. Model hassaslığı büyük ölçüde katı madde taşınım formülüne ve boşluk suyu basıncı katsayısına bağlıdır [12].

Mignot vd (2006), çalışmalarında yoğun bir yerleşim alanı olan Fransa'nın Richelieu bölgesinde 1988 yılında meydana gelen taşkını analiz etmek için 2B denklemlerini ikinci dereceden açık şema ile çözen bir kod kullanmıştır. Çalışmalarında geçirimsiz alan olan yapı blokları, sokaklar ve sokak enine kesitlerine ayrıntılı biçimde yer verilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen ortalama pik yüksekliklerinin taşkın izlerinden 0,13 m daha düşük olduğu, ölçülen ve hesaplanan su derinlikleri arasında 0,53 m standart sapma olduğu sonucuna varmışlardır. Son olarak çalışma alanı için kentleşme olan alanlar için 2B bir modelin daha uygun olacağı önerisinde bulunmuşlardır [13].

Sole vd (2007), İtalya'nın Basilicata Bölgesi ana nehir kolunda 30, 200 ve 500 yıllık tekerrür debileri ile; MIKE 11, MIKE 21 ve HEC-RAS paket programlarıyla hidrodinamik benzeşimler gerçekleştirilerek su yüzü profilleri elde etmişler ve sonuçlarını Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'de haritalandırıp farklı risk haritaları üretmişlerdir. Çalışmalarında hidrolik analiz yapan programların taşkın risk haritalaması konusundaki farklılıklarını ortaya koymayı amaçlamışlardır [14].

Patro vd (2009), çalışmalarında Hindistan'ın Mahanadi nehir havzasında 1B/2B model bütünleşik MIKE FLOOD modellemesi ile taşkın yayılımını ve derinliğini analiz etmişlerdir. İlk olarak; 1B MIKE 11 modeliyle, 2002 yılı muson dönemi nehir seviyeleri ile kalibre edilmiş, sonrasında; kalibre edilmiş model, debi ve su seviyesi verileri kullanılarak doğrulanmıştır. Taşkın modelinde 2002 yılı verileri tekrar çalıştırılarak taşkın yayılım alanları IRS-1D (The Indian Remote Sensing Satellite-1D) görüntüsünden elde edilen taşkın yayılım alanları ile gerçek taşkın yayılım alanları karşılaştırılmıştır [15].

Salami vd (2009), çalışmalarında Güneybatı Nijerya'da bulunan 8 havzanın yağış hidrograflarının ordinatlarını ortaya çıkarmak amacıyla çeşitli sentetik birim hidrograf yöntemlerini ele almışlardır. İki havza için Gray ve Synder Yöntemleri, bir havzada Synder ve SCS Yöntemleri, kalan beş havzada ise Gray ve SCS yöntemleriyle elde edilen taşkın pik debilerinin uyumlu olduğunu görmüşlerdir. Çalışmanın sonucunda; seçilen havzalar için, taşkın debilerinin hidrograflarının üretilmesinde en iyi yöntemin SCS olduğu kanısına varmışlardır [16].

Sönmez (2013), Waverly/Amerika'da bulunan Cedar Nehri'nde MIKE 11, MIKE 21 ve 1B HEC-RAS yazılımını kullanarak hidrolik modelleme gerçekleştirmiştir. Modeller 2007 yılında gerçekleşen taşkın verileriyle kalibre edilmiştir. Çalışmada 5, 10 ve 30 m çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM) kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda 100 yıllık bir taşkın meydana gelmesi halinde zararı en aza indirmek amacıyla Waverly şehri için taşkın risk planı oluşturulmuştur [17].

Demir (2014), tez çalışmasında Aşağı Sakarya Havzası'nın hidrolojik özelliklerini incelemiş ve taşkın yayılım haritalarını üretmiştir. Bölgenin SYM'si ArcGIS ortamında sayısallaştırılmış ve oluşturulan veriler MIKE 11 programına aktarılmıştır. Model kalibrasyonu kesit ve kesitlerdeki pürüzlülük değerleri revize edilerek gerçekleştirilmiştir. Hidrolik veriler kullanılarak 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekerrürlü taşkın debileri hesaplanmıştır. Bu debiler için çalışma sahasına ait taşkın yayılım haritaları üretilerek risk altında kalan alanlar belirlenmiştir [18].

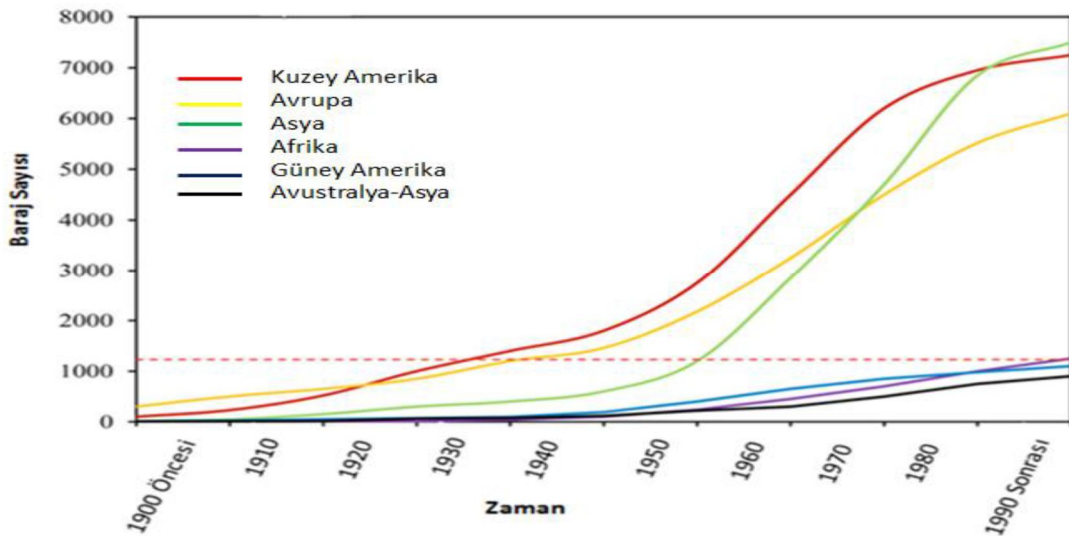
Akkaya (2016), Meriç ve Tunca nehirlerinin Edirne İli sınırları içerisinde yer alan kısımlarında taşkın yayılım haritalarını hazırlamıştır. Taşkınların Edirne şehir

merkezine etkilerini azaltmak için iki alternatifli güzergâh ile tahliye kanalı tasarlanmış ve her bir kanal 2B modelleme ile test edilmiştir. Edirne şehir merkezi bölümü ve tasarlanan kanalın Meriç Nehri ile birleşiminden sonra mansap şartları değerlendirilmiştir [19].

## 2.1. Dünyadaki ve Ülkemizdeki Mevcut Barajların Durumu

Dünyada ICOLD verilerine göre 58000 den fazla büyük baraj (yüksekliği 15 m den fazla kapasitesi 3 milyon m<sup>3</sup> den fazla) bulunmaktadır [20]. Ülkemizde ise toplam baraj, gölet sayısı 500'ü baraj olmak üzere toplam 1414 tür. Barajların insan hayatına olumlu etkilerinin yüksek olması ve yaşanan teknolojik gelişmelerle beraber yapım şartlarının kolaylaşması ile son yıllarda baraj yapımlarında büyük artışlar olmuştur. Yıllar içerisinde baraj sayısında yaşanan artışları Şekil 2.1'deki artan grafiklerden de anlamak mümkündür.

Baraj sayısı, teknolojinin ilerlemesi ile hem uygulanabilirliğin kolaylaşması hem de yapım maliyetlerin azalması ile geçmişten günümüze doğru hızla yükselmektedir. Ayrıca kullanılabilir suyun öneminin giderek artması, enerji ihtiyaçlarının hızla yükselmesi insanoğlunu baraj yapımına ve yenilenebilir enerji kaynaklarını artırmaya yönlendirmektedir. Ülkemizde Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve yerel idarelerle baraj ve gölet yapımına büyük önem vermiştir.



Şekil 2.1. 1900-2000 Yılları Arasında Barajların Küresel Dağılımı (ICOLD,1998)

**Tablo 2.1.** Türkiye’deki Baraj Sayısı (DSİ 2017)

	Baraj Sayısı (Sulama + İçme Suyu)	Baraj Sayısı (Enerji)
2016 Yılı Sonuna Kadar Tamamlanan	329	67
2017 Yılı İtibari İle İnşaatı Devam Eden	99	5
Toplam	428	72
Genel Toplam	500	

## **2.2. Tarihte Gerçekleşen Baraj Yıkılma ve Taşkın Olayları**

### **2.2.1. Baraj yıkılma olayları**

Dünya çapında meydana gelen bütün baraj yıkılma olayları 11100’den fazla kişinin ölümüyle sonuçlanmıştır. Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonunun (ICOLD) 1995 yılında yayınladığı derginin 99. Sayısında, tarihte gerçekleşen baraj yıkılma olaylarının can ve mal kayıpları açısından değerlendirilmesi verilmektedir. Bu değerlendirmeye göre yıkılan barajların sadece 3’ü toplam can kaybı sayısının % 60’ını oluşturmaktadır. Toprak kaymasının ardından oluşan dalgaların beton kemer baraj tipindeki Vaiont Barajı’nın (İtalya, 1963) üzerinden aşması sonucu yıkılmasıyla 3000 kişinin ölümüne, 1889 yılında South Fork Barajı’nın (Pennsylvania) dolgu gövdenin üzerinden suyun aşması sonucu yıkılmasıyla 2200 kişinin ölümüne ve aynı sebeple 1974 yılında yıkılan Machhu II Barajı (Hindistan) 2000 kişinin ölümüne neden olmuştur [21].

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonunun (ICOLD) 1995 yılında yayınladığı derginin 99. sayısında, baraj yıkılma olaylarının çeşitli istatistikleri verilmiştir. Derginin bu sayısında geçmişten günümüze yıkılan barajların; yıkılma yaşları, inşa edildiği yıllar, gövde tipleri ve yüksekliklerine göre dağılımları grafiksel verilerle anlatılmıştır. Bu dağılımlara göre 30 m’den alçak ve dolgu gövdeli barajlarda yıkılma oranlarının daha yüksek olduğu yorumu rahatlıkla yapılabilmektedir. Baraj yıkılma olaylarının 1 yaşından daha küçük barajlarda yoğunluk gösterdiği görülmektedir. En fazla baraj yıkılma olaylarının yaşandığı baraj yapım yılları ise 1910-1920 yıllarıdır. Grafiklere bakıldığında yıkılma olaylarının çoğunlukla inşaatı sırasında gerçekleştiği de söylenebilir [22].

Dünyada son olarak 2019 yılında Brezilya’nın güneybatısındaki Brumadinho kentinde bulunan maden atık barajı çökmesi sonucunda 200’den fazla kişi ölürken,



Brumadinho kentinde 3000 kişi tahliye edilmiştir. Yine Brezilya'nın Mariana kentinde 2015 yılında maden atık barajının yıkılması sonucu 19 kişi hayatını kaybetmiş yüzlerce kişi evlerini terk etmek zorunda kalmıştır. Aynı ülkeden verilen örneklerle baraj yıkılma analizlerinin gerekliliği görölmektedir. Baraj yıkılması sonucu maddi zararın kaçınılmaz olması ile birlikte acil eylem planları ile ölümlerin önüne geçilebilmesi sağlanmalıdır.



Şekil 2.2. Brezilya'daki Baraj Yıkılması Sonucunda Oluşan Görüntü (03.02.2019)  
<https://www.aksam.com.tr/dunya/brezilya-madencilik-sirketinden-baraj-uyarisi/haber-839072>

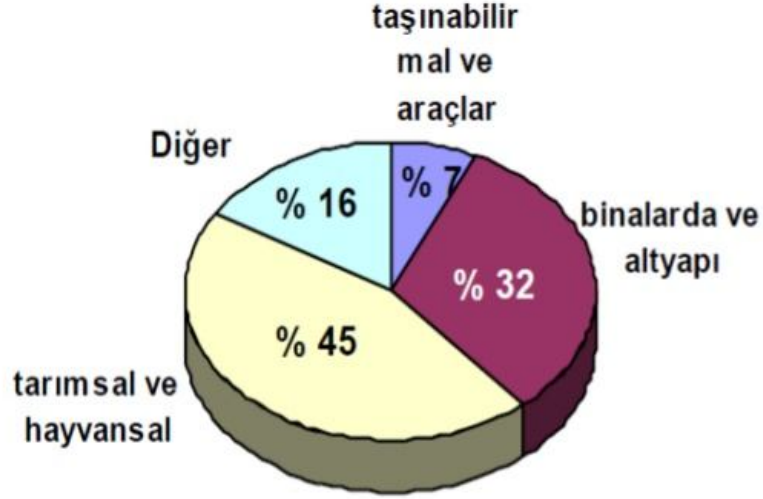
### 2.2.2. Taşkın olayları

Baraj yıkılmaları beraberinde taşkın olaylarına yol açtığından, çalışmada baraj etkisiz taşkın olaylarına da ayrıca yer verilmiştir.

Doğal afet olarak sel, "bir akarsuyun muhtelif nedenlerle yatağından taşarak, çevresindeki arazilere, yerleşim yerlerine, altyapı tesislerine ve canlılara zarar vermek suretiyle, etki bölgesinde normal sosyo-ekonomik faaliyeti kesintiye uğratabilecek ölçüde bir akış büyüklüğü oluşturması olayı" şeklinde ifade edilmektedir. Bu tanımı, deniz sahillerine mücavir bölgelerdeki dalga hareketlerinden kaynaklanan kıyı taşkınları, göllerdeki seviye değişiklikleri ile dalga etkilerinden kaynaklanan göl

taşkınları ve buzul erime ve parçalanmalarından kaynaklanan buz hareketi taşkınları ile genişletmek mümkündür. Dünyanın birçok bölgesinde aşırı yöresel yağışlardan veya toplu kar erimelerinden sonra yaşanan akarsu taşkınları sel olayının en yaygın örneğidir. Sel, yaşandığı bölgenin iklim koşullarına, jeoteknik ve topoğrafik niteliklerine bağlı olarak gelişen bir doğal oluşumdur. Ancak sel problemi veya afeti tamamen insan aktivitelerinin bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Sel riski bulunan sahalarda önceden tedbir alınmaksızın süregelen kontrolsüz kentleşme faaliyetleri dünyanın her köşesinde sel afetinin en önemli nedenidir. Ülkemizde sel ya da bir diğer ifade ile taşkın afetleri, depremlerden sonra en büyük ekonomik kayıplara neden olan doğal afettir. Mevcut envanter verileri itibari ile taşkınlardan kaynaklanan ekonomik kayıp her yıl için ortalama 100.000.000 ABD dolarına ulaşmaktadır. Buna karşın taşkınların kontrolü ve zararlarının azaltılmasına yönelik olarak genelde yapısal önlemler bağlamında sürdürülen projeli faaliyetler için ayrılan yatırım miktarı ise yılda ortalama 30 000 000 ABD doları civarındadır. Ekonomik kayıpların sektörel bazda dağılımı Şekil 2.3 de verilmiştir. 1955-1969 döneminde genel hayatı etkileyen önemdeki taşkın olayı sayısı 1140 adet ve meydana gelen can kaybı sayısı 510 kişidir. Bir diğer ifade ile bu dönemde ülkemizde her bir yıla ortalama 76 adet taşkın olayının düştüğü ve her yıl için ortalama 35 kişinin taşkınlarda hayatını kaybettiği görülmektedir. 1970-1997 döneminde değerlendirilen toplam taşkın olayı sayısı ise 626 ve toplam can kaybı sayısı 538'dir. Aynı ifade ile bu dönemde her bir yıla ortalama 22 adet taşkın olayının düştüğü ve yılda ortalama 19 kişinin taşkınlarda hayatını kaybettiği görülmektedir. 1955-1997 döneminde en fazla can kaybına yol açan taşkın afeti 1957 yılı Eylül ayında Ankara'nın Hatip çayı vadisinde yaşanmış ve 185 kişinin ölümü ile sonuçlanmıştır. Yukarıda iki ayrı dönemi karşılaştıran mukayeselerden hareketle, akarsu havzalarında su developmanına yönelik kapsamlı projeler ve taşkın koruma projeleri hizmete girdikçe taşkınların sıklığı ve oluşturduğu can kayıplarında önemli azalmalar olduğu görülmektedir [23].

## Taşkın zararlarının sektörel sınıflandırılması



Şekil 2.3. Türkiye'deki Taşkın Zararlarının Sektörel Dağılımı  
<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/326.pdf>

Tablo 2.2. Türkiye'de 1975-2015 Yılları Arasında Meydana Gelen Taşkınların Karakteristikleri

Yıl	Taşkın Sayısı	Ölü Sayısı	Su Altında Kalan Alan (Ha)
1975	62	8	36714
1976	29	5	22536
1977	27	11	3317
1978	21	0	13850
1979	21	61	40966
1980	44	6	83016
1981	16	2	58413
1982	10	0	784
1983	14	33	2113
1984	12	0	29140
1985	7	0	2318
1986	8	4	679
1987	7	0	679
1988	24	17	3910
1989	10	1	9500
1990	26	57	7450
1991	23	23	15770
1992	14	1	690
1993	2	0	60
1994	9	4	1680
1995	20	164	201100
1996	4	1	11000
1997	1	0	1390
1998	2	57	7000
1999	1	3	

**Tablo 2.2. Devamı** Türkiye’de 1975-2015 Yılları Arasında Meydana Gelen Taşkınların Karakteristikleri

2000	4	0	8066
2001	42	8	43297
2002	27	27	510
2003	21	7	64200
2004	23	3	25750
2005	25	14	13855
2006	24	45	85810
2007	22	11	1050
2008	10	2	10
2009	84	59	3250
2010	110	25	44729
2011	56	13	202
2012	69	23	19685
2013	38	7	17569
2014	118	9	4455
2015	122	9	7985
Toplam	1209	720	893933

İstanbul sadece günümüzde ya da yakın geçmişte değil 557 yıllık tarihi boyunca sellere maruz kalmış bir metropoldür. Osmanlı arşivlerinden edinilen bilgilerde, 450 sene önce, İstanbul dönemin en büyük sel felaketine maruz kalmış ve susuzluk çekmiştir. İçme suyu kaynakları zarar görmüş ve pek çok köprü yıkılmıştır. Bu durumun oluşmasında rol oynayan derelerin başında Ayamama ve çevresindeki dereler gelmektedir [24]. İstanbul’da 09.09.2009’da meydana gelen taşkında, 6679 hektarlıkdrenaj alanına sahip 21 km uzunluğundaki Ayamama Deresi taşmış ve o günkü akım değeri yaklaşık olarak  $185 \text{ m}^3/\text{s}$  ölçülmüştür [25]. 31 kişinin yaşamını yitirdiği ve yaklaşık zararın 150 milyon Euro (€) olduğu bildirilen sel felaketinde, Ayamama Deresi son 500 yılın üzerinde yağış almış, İstanbul, can ve mal güvenliğini tehlikeye düşüren sonuçlarla karşılaşmıştır [26].

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre, 1975-2002 yılları arasında yaşanan toplam taşkın sayısı 487 olup, toplam can kaybı sayısı 493 tür. 2003-2015 döneminde değerlendirilen toplam taşkın sayısı 722, toplam can kaybı 227’dir. Akarsu havzalarında taşkın kontrol tesisleri hizmete girdikçe taşkınların sıklığı ve oluşturduğu can kayıplarında önemli azalmalar olduğu görülmektedir. Ancak benzer bir neticeyi ekonomik kayıplar açısından ifade etmek güçtür. Zira ekonomik gelişmenin neticesi olarak taşkın riski taşıyan alanlardaki ekonomik değerlerin büyüklükleri de o ölçüde artmakta ve daha küçük frekanstaki bir taşkında yaşanan

ekonomik kayıp, gelişme öncesindeki daha büyük frekanslı bir taşkında yaşananndan çok daha büyük ekonomik kayıplar oluşturabilmektedir[1].



**Şekil 2.4.** 09.09.2009 tarihli İstanbul'da gerçekleşen taşkın olayı <https://emlakkulisi.com>

### 3. ÇALIŞMA ALANI

#### 3.1. Proje Alanı Hakkında Genel Bilgiler

Bu çalışmada Sivas İli içerisinde geçen Mısmılırmak deresinin taşkın analizi yapılmış olup Mısmılırmak üzerinde bulunan ve Sivas İlının içme suyu ihtiyacını karşılayan 4 Eylül Barajı'nın yıkılma olasılığı da düşünülerek hidrolik modellemeler oluşturulmuştur. Yapılan hidrolik modellemeler sonucunda taşkın risk haritaları oluşturulmuş ve bu haritaları göre alınacak tedbirler ve eylem planları belirlenmiştir.

Mısmılırmak Sivas'ın kuzeydoğusundan doğan ve Kızılırmak'a mansaplanan 30 km anakol uzunluğuna sahip bir deredir. 16. km'sinde Sivas 4 Eylül Barajı inşa edilmiş ve bu çalışmada baraj mansabından sonraki 14 km'lik kısım incelenmiştir.

Sivas 4 Eylül Barajı, Türkiye'nin Sivas İlının, 10 km kuzeydoğusunda Kahkik köyünün 1,5 km güneyinde Mısmılırmak üzerinde bulunan depolama tesisidir (Şekil 3.2).

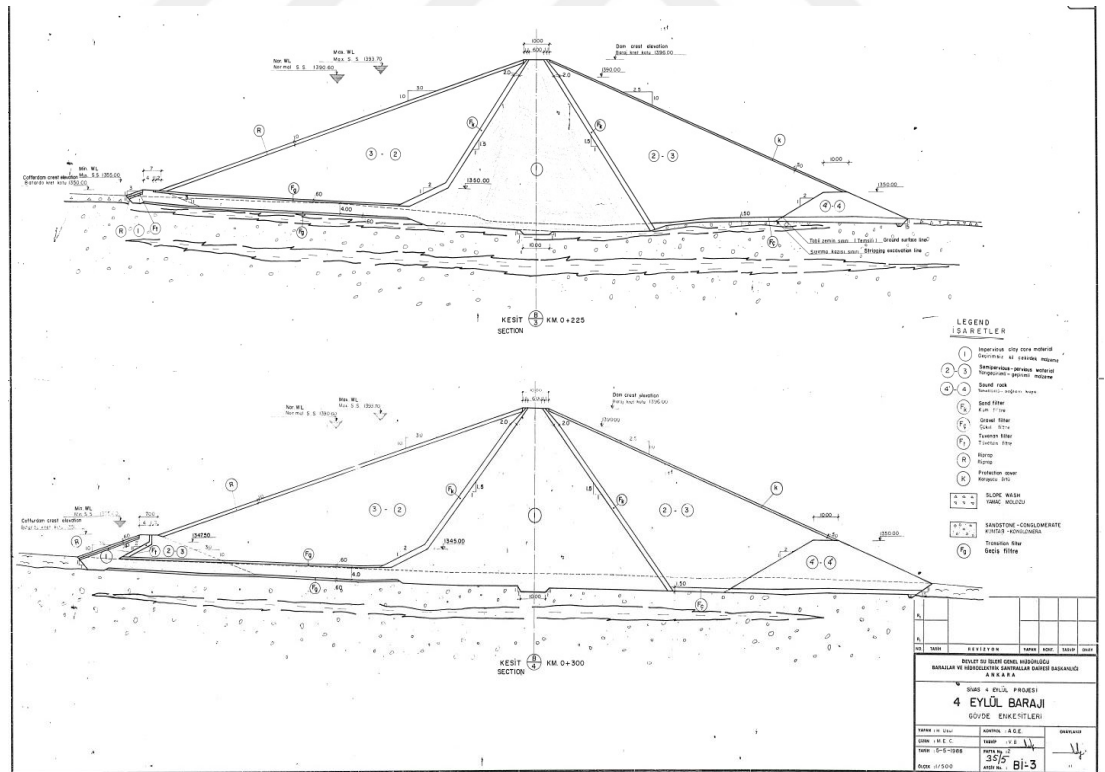


Şekil 3.1. Çalışma Alanı

Sivas İlinin içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla ilk olarak 1968 yılında DSİ 5. Bölge Müdürlüğü (Ankara) Gurup Amirliğince “Yukarı Kızılırmak Havzası Seri İstikşaf Raporu” adı altında incelenerek ekonomik görülmüştür. 1984 yılında planlama çalışmaları, DSİ 19. Bölge Müdürlüğü (Sivas) tarafından ‘Sivas Pirkinik Barajı Planlama Raporu’ adı altında tamamlanmıştır.

‘Sivas Pirkinik Barajı Planlama Raporu’ adı altında planlaması yapılmış olup 2008 yılında Bakanlar Kurulu kararı ile ismi ‘Sivas 4 Eylül Barajı’ olarak değiştirilmiştir. 4 Eylül Barajının inşaat çalışmaları 1994 yılında başlamış olup 2006 yılında tamamlanmıştır.

Sivas 4 Eylül Barajı zonlu toprak dolgu tipinde tasarlanmış ve gövde hacmi 4.2 hm<sup>3</sup>’tür. Barajın, temelden yüksekliği 65 m talvegden yüksekliği 60 m’dir. 596.3 m kret uzunluğuna sahiptir. Sivas İli’nin 50 yıllık su ihtiyacını karşılamak için yapılan barajın 85 hm<sup>3</sup> depolama hacmi, 6.5 km<sup>2</sup> depolama alanı bulunmaktadır.



Şekil 3.2. Sivas 4 Eylül Barajı'na Ait Gövde Kesiti



Şekil 3.3. Sivas 4 Eylül Barajı'na Ait Görüntü (09.11.2017)



Şekil 3.4. Sivas 4 Eylül Barajı'na Ait Görüntü (09.11.2017)

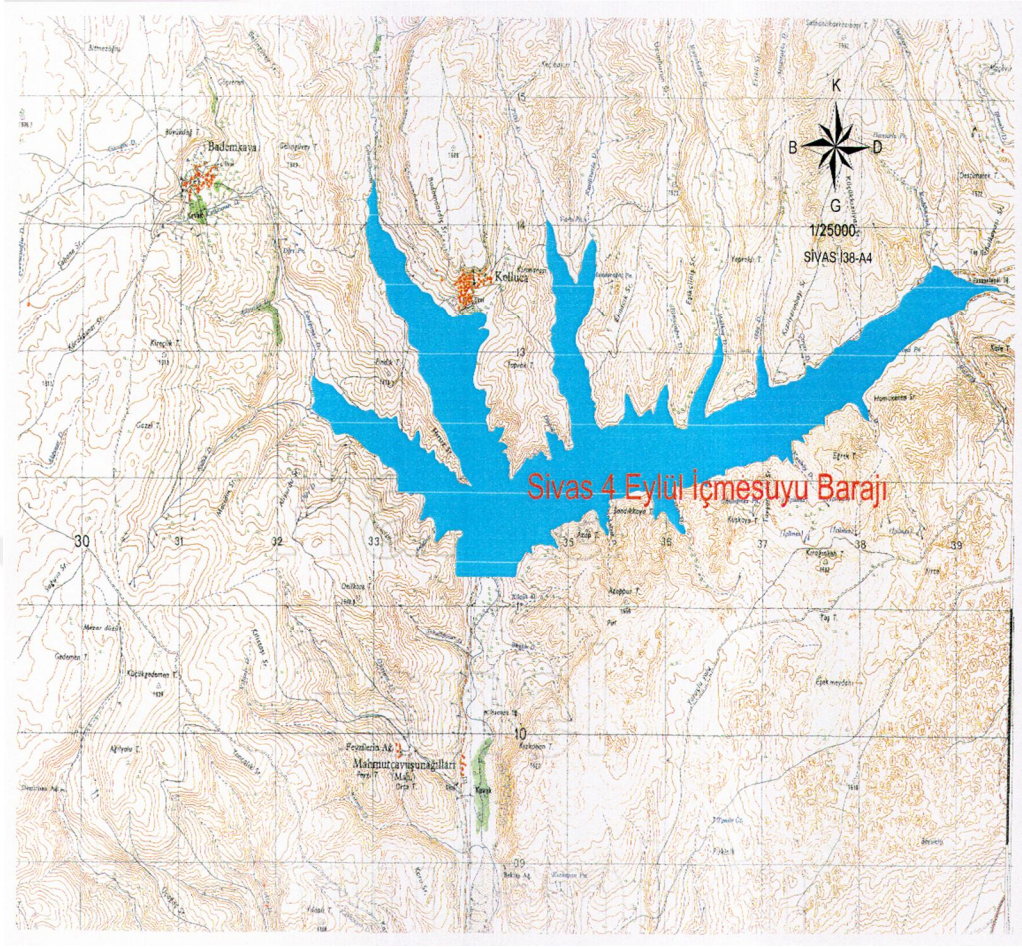




Şekil 3.5. Sivas 4 Eylül Barajı'na Ait Görüntü (09.11.2017)



Şekil 3.6. Sivas İl Merkezi ve Sivas 4 Eylül Barajı'na Ait Uydu Görüntüsü  
([https://earth.google.com/web/@39.77743043,37.0259635,1336.74853736a,27516.94140428d,35y,0.00000003h,0.70772323t,-0r/data=CgISAA?utm\\_source=referral&utm\\_campaign=marketing&utm\\_term=carmen1](https://earth.google.com/web/@39.77743043,37.0259635,1336.74853736a,27516.94140428d,35y,0.00000003h,0.70772323t,-0r/data=CgISAA?utm_source=referral&utm_campaign=marketing&utm_term=carmen1))  
(20.04.2019)



Şekil 3.7. Sivas 4 Eylül Barajı Göl Alanı



Şekil 3.8. Mısmırmağı Memba Kısımlı Yatak Durumu (09.11.2017)



**Şekil 3.9.** Mısmılırmak Üzerindeki Mevcut Kabartma Yapısı (10.11.2017)



**Şekil 3.10.** Mısmılırmak Üzerindeki Mevcut Rekreasyon Alanı (10.11.2017)



Şekil 3.11. Mısmılırmak ve Kızılırmak (Mısmılırmak Mansabı) Birleşimi (10.11.2017)

### **3.2. Baraj Mansabında Risk Altında Olan Alanlar**

Sivas 4 Eylül Barajı'nın baraj aksı ile Kızılırmak arasında 14 km lik öteleme yapılmıştır. Barajın mansabında Sivas İl Merkezi tehlike altında olup 2018 yılı adrese dayalı nüfus sayım sistemi verilerine göre il merkezinde 351.000 kişi yaşamaktadır.

### **3.3. Hidrolik Hesaplar**

#### **3.3.1. Pürüzlülük (Manning) Katsayısı Hesapları**

Mısmılıрмаğı ıslah güzergâhının doğal ve projeli durum hidrolik hesapları modellerinde kullanılmak üzere pürüzlülük katsayıları belirlenmiştir. Pürüzlülük katsayılarının belirlenmesinde Modifiye Cowan Metodu (DSİ Metodu) kullanılmıştır.

Cowan Metodu pürüzlülük katsayısına etki eden önemli etkenleri dikkate alarak n pürüzlülük katsayısı hesabı için önerilen bir yöntemdir. Bu yöntemde göre n katsayısı,  $n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m$  denklemiyle hesaplanmaktadır.

**n<sub>b</sub> katsayısı:** Yataktaki malzeme cinsine bağlı katsayıdır. Yataktaki malzeme cinsi elek analizi veya gözlemsel olarak belirlenebilmektedir.

**n<sub>1</sub> katsayısı:** Kanal şev durumuna bağlı katsayıdır.

**n<sub>2</sub> katsayısı:** Kanal kesit değişimine bağlı katsayıdır.

**n<sub>3</sub> katsayısı:** Kanaldaki mevcut engellere bağlı katsayıdır. Birikinti, tümsek, düşü, brit, bent, şüt, kaya, köprü ayağı, çok gözlü menfez gibi dış akışı etkileyen engeller dikkate alınmalıdır.

**n<sub>4</sub> katsayısı:** Kanal içerisindeki bitki örtüsü durumuna bağlı katsayıdır.

**m katsayısı:** Kanal güzergahındaki mendereslenme (kıvrımlanma) düzeyine bağlı katsayıdır. Pürüzlülük katsayısı belirlenecek güzergâh uzunluğu, güzergâhı başlangıcı ile bitişi arasındaki kuş uçuşu uzunluğa bölünerek m katsayısı elde edilir. Kıvrımlılık 1.0 den 1.2'ye kadar önemsiz, 1.2 den 1.50 değerine kadar önemli ve 1.5'dan fazla ise şiddetli olarak kabul edilir.

**Tablo 3.1.** Modifiye Cowan Metodu (DSİ Formatı) Pürüzlülük Katsayısı Tablosu

Yataktaki Malzeme Cinsi	Beton	Ortalama Dane Çapı (mm)	-	n <sub>b</sub>	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 Şev Durumu	Pürüzsüz	Beton Duvar	n <sub>1</sub>	0.000	
	Önemsiz			Taş Duvar	0.003
	Orta			İstifli Taş Tahkimat	0.005
				Ağaçsız Kaya/Toprak Yamaç	0.008
				İstifsiz Taş Tahkimat	0.010
	Şiddetli			Ağaçlı Yamaç	0.015
Kanal Kesit Değişimi	Aşamalı	n <sub>2</sub>	0.000		
	Ara Sıra Değişen		0.005		
	Sık Değişen		0.010-0.015		
Kanaldaki Engeller	İhmal Edilebilir	Engel/Kesit Alanı * 100	n <sub>3</sub>	<%5	0.000
	Önemsiz			%5-15	0.010-0.015
	Kayda Değer			%15-50	0.020-0.030
	Şiddetli			>%50	0.040-0.060
Kanal Bitki Örtüsü	Düşük	n <sub>4</sub>	0.005-0.010		
	Orta		0.010-0.025		
	Yüksek		0.025-0.050		
	Çok Yüksek		0.050-0.100		
Kanal Kıvrımı	Önemsiz	Dere Uzunluğu/ Kuş Uçuşu Uzunluğu	m	1-1.2	1.000
	Kayda Değer			1.2-1.5	1.150
	Şiddetli			>1.5	1.300

Cowan metodunda kullanılan parametrelerin seçimleri arazi etütlerinde elde edilen veriler ve gözlemler doğrultusunda yapılmıştır.

Mısmırlımağı projeli durum tahkiklerinde güzergâh ve yatak kesitlerindeki düzensizlikler giderildiğinden pürüzlülük katsayısı hesabı yapılmıştır. Projeli durum için hesaplanan pürüzlülük katsayıları ve kabulleri Çizelge 3.2.'de ayrıntıları ile sunulmaktadır. Projeli durum tahkiklerinde ıslah güzergâhında katsayı değişimlerine göre aşağıda belirtilen kilometreler için ayrı ayrı pürüzlülük katsayısı hesaplanmıştır.

1. Duvarlı kanal km: 0+000 – 7+100 ve 8+570,64 – 9+278,20
2. Trapez (toprak) kanal km: 7+100 – 8+570,64 ve 9+278,20 – 14+033

**Tablo 3.2.** Mısmırlımağın Modifiye Cowan Metoduna(DSİ formatı) Göre Pürüzlülük Katsayısı Hesapları

Yataktaki Malzeme Cinsine Bağlı Katsayı Tablosu ( $n_b$ )					
Yataktaki Malzeme Cinsi	Beton	Ortalama Dane Çapı (mm)	--	$n_b$	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	Açıklama	Seçilen $n_b$
Duvarlı Kanal	Yataktaki malzeme iri kum seçilmiştir.	0.026
Trapez Kanal	Yataktaki malzeme iri kum seçilmiştir.	0.026

Kanalın Şev Durumuna Bağlı Katsayı Tablosu ( $n_1$ )				
Kanal Şev Durumu	Pürüzsüz	-	$n_1$	0.000
		Beton Duvar		0.003
	Önemsiz	Taş Duvar		0.005
		İstifli Taş Tahkimat		0.008
	Orta	Ağaçsız kaya / toprak yamaç		0.010
		İstifsiz Taş Tahkimat		0.015
	Şiddetli	Ağaçlı Yamaç		0.020

KANAL	Açıklama	Seçilen $n_1$
Duvarlı Kanal	Kanalın şev durumu taş duvar seçilmiştir.	0.005
Trapez Kanal	Kanalın şev durumu toprak yamaç seçilmiştir.	0.015

**Tablo 3.2.Devamı** Mısmırlamak'ın Modifiye Cowan Metoduna(DSİ formatı) Göre Pürüzlülük Katsayısı Hesapları

Kanalın Kesit Değişimine Bağlı Katsayı Tablosu (n2)				
Kanal Kesit Değişimi	Aşamalı		n2	0.000
	Ara Sıra Değişen			0.005
	Sık Değişen			0.010~0.015

KANAL	Açıklama	Seçilen n2
Duvarlı Kanal	Tüm kanal güzergâhı boyunca kesit değişimi aşamalı	0.000
Trapez Kanal	Tüm kanal güzergâhı boyunca kesit değişimi aşamalı	0.000

Kanaldaki Mevcut Engellere Bağlı Katsayı Tablosu (n3)					
Kanaldaki Engeller (Birikinti, Tümsek, Düşü, Köprü Ayağı)	İhmal Edilebilir	Engel/Kesit Alanı x 100	n3	<%5	0.000
	Önemsiz			%5 ~ %15	0.010 ~ 0.015
	Kayda Değer			%15 ~ %50	0.020 ~ 0.030
	Şiddetli			>%50	0.040 ~ 0.060
KANAL	Açıklama			Seçilen n3	

Duvarlı Kanal	Güzergâh boyunca kanaldaki engeller ihmal edilebilir	0.000
Trapez Kanal	Güzergâh boyunca kanaldaki engeller ihmal edilebilir	0.000

Kanaldaki Bitki Örtüsüne Bağlı Katsayı Tablosu (n4)				
Kanal Bitki Örtüsü	Düşük		n4	0.005 ~ 0.010
	Orta			0.010 ~ 0.025
	Yüksek			0.025 ~ 0.050
	Çok Yüksek			0.050 ~ 0.100

KANAL	Açıklama	Seçilen n4
Duvarlı Kanal	Güzergâh boyunca kanal bitki örtüsü durumu düşük	0.005
Trapez Kanal	Güzergâh boyunca kanal bitki örtüsü durumu düşük	0.005

Kanalın Kıvrım Durumuna Bağlı Katsayı Tablosu (m)					
Kanal Kıvrımı	Önemsiz	Dere uzunluğu / Kuş uçuşu uzunluğu	m	1 ~ 1.2	1.000
	Kayda Değer			1.2 ~ 1.5	1.150
	Şiddetli			>1.5	1.300

Dere Uzunluğu (m)	Kuş Uçuşu Uzunluğu (m)	Dere Uzunluğu / Kuş Uçuşu
14033.00	11747.89	1.19
Kanal güzergâhı boyunca kanal kıvrımı önemsiz seçilmiştir.		Seçilen m
		1.000

**Tablo 3.3.** Çalışmada Kabul Edilen Pürüzlülük Katsayıları

KM	KATSAYILAR						
	$n_b$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$m$	$n$
0+000.00 ~ 7+100.00 8+570.64 ~ 9+278.20	0.026	0.005	0.000	0.000	0.005	1.000	0.036
7+100.00 ~ 8+570.64 9+278.20 ~ 14+033.00	0.026	0.015	0.000	0.000	0.005	1.000	0.046

### 3.3.2. Hidrolik hesaplar

Mısmıırmağı ıslah güzergâhı sol ve sağ sahilinde yerleşim yerleri ağırlıklı olduğundan hidrolik hesaplarda 500 yıllık feyezan debisinin hava paylı, 1000 yıllık feyezan debisinin de ıslah kesitini tamamen doldurarak geçtiği durum göz önünde bulundurulmuştur.

Mısmıırmağı'nın mevcut durumdaki yatak düzensizlikleri kadastral durum dikkate alınarak giderilmiş ve ıslah güzergâhı belirlenmiştir. Güzergâh olabildiğince az kamulaştırma maliyeti çıkacak şekilde belirlenmeye çalışılmıştır.

Belirlenen ıslah güzergâhının boykesiti çıkarılarak ıslah eğimleri belirlenmiştir. Islah eğimleri; sınır sürüklenme gerilmesine ve kazı dolgu dengesine özen gösterilerek belirlenmiştir.

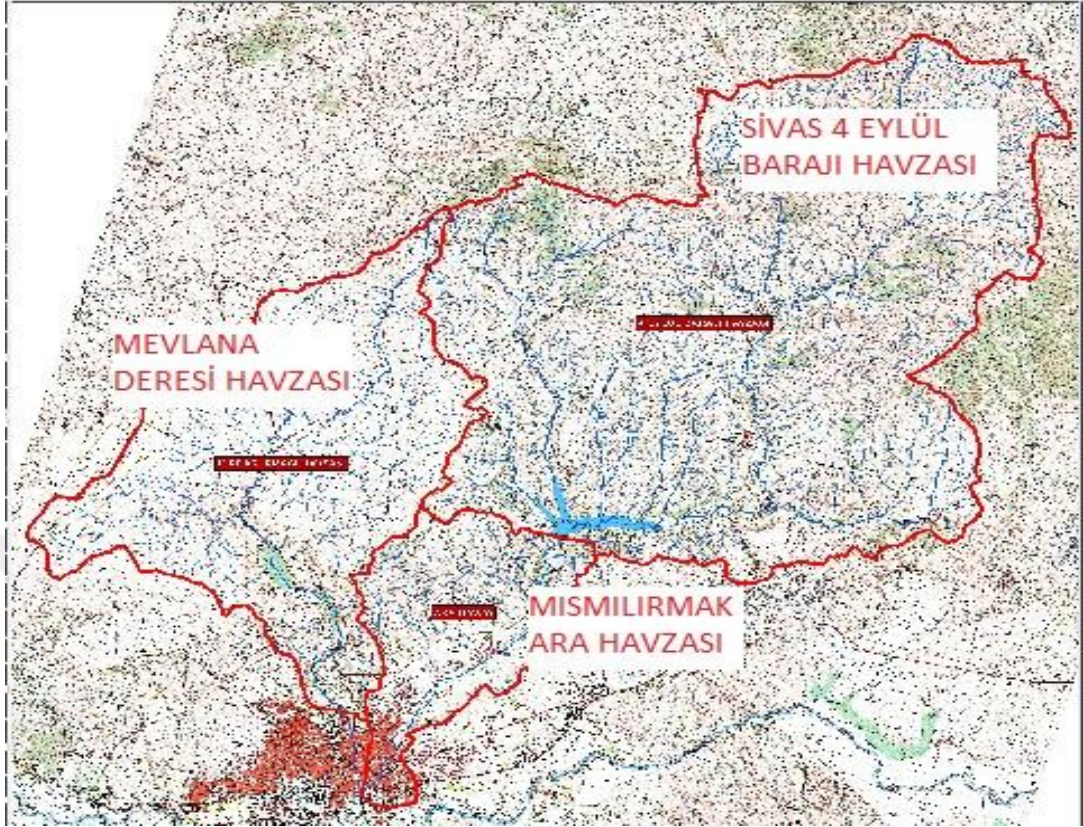
Islah eğimleri dikkate alınarak Manning formülü taşkın kontrol tesisinin hidrolik hesapları yapılmış ve sistemin hidrolik boyutları belirlenmiştir.

Hidrolojik olarak çalışma alanımız üç ayrı yağış havzasından ibarettir:

1. Dört Eylül Baraj Havzası,
2. Baraj ile Kızılırmak Nehri'ne kadar olan ve Mısmıl Irmak-Alt Havzası olarak nitelendirdiğimiz Sivas ili içinden geçen kısım
3. Dört Eylül Baraj Havzası'nın batısından başlayan Mundar Irmağın Sivas ili Mevlana semtinde kesite alınan, Mevlana Havzası olarak nitelendirilen kısım.

Tez çalışmasında üç ayrı havza içinde DSİ Sentetik Yöntemi ile çalışılmıştır.





Şekil 3.12. Yağış Alanları

### 3.3.2.1 Sivas 4 Eylül Barajı Havzası Taşkın Hidrolojisi

Yukarı Kızılırmak Havzası'nda, Mısmıl Irmağı üzerinde yer alan bir içme suyu barajı olan Sivas 4 Eylül Barajının fiziksel karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

A : 239,9 km<sup>2</sup>

L : 29,686 m

L<sub>c</sub>: 15,501 m

S : 0,0137

Herhangi bir taşkın kaydına rastlanmamıştır.

A: Yağış alanı (km<sup>2</sup>)

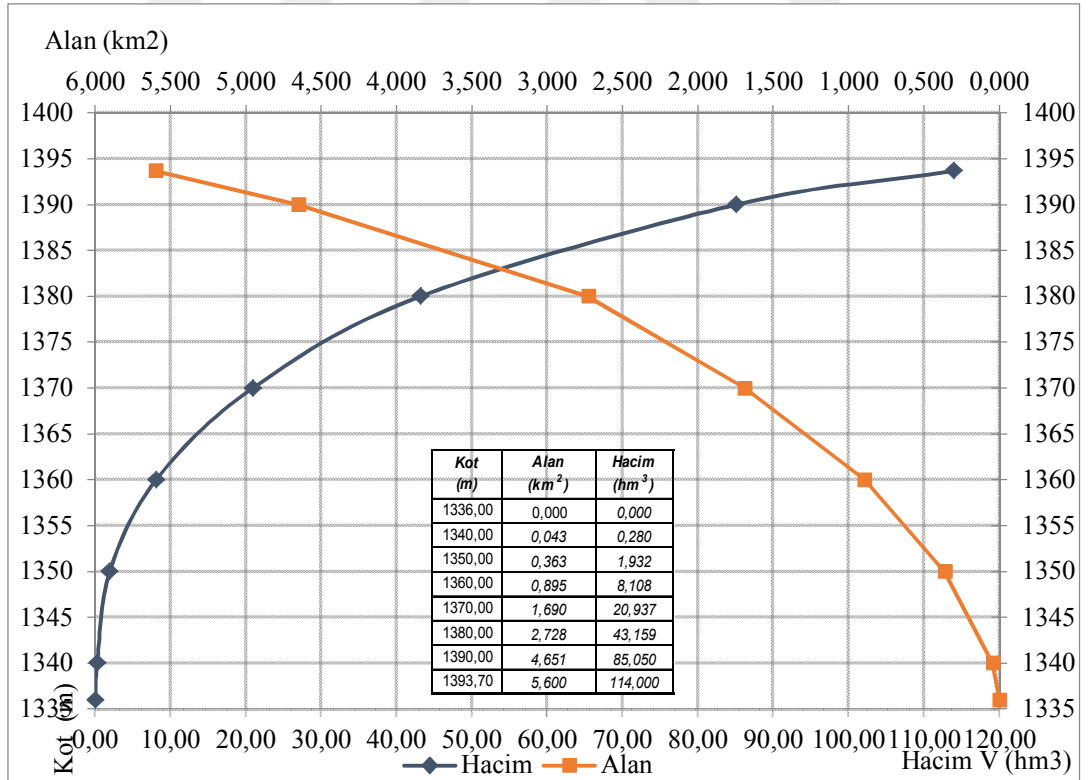
L: En uzun kol (m)

L<sub>c</sub>: yağış alanı ağırlık merkezinin en uzun akarsu üzerindeki iz düşümü ile proje kesiti arasındaki mesafe (m)

S: Ortalama eğim

**Tablo 3.4.** Sivas 4 Eylül Barajı Karakteristik Bilgileri

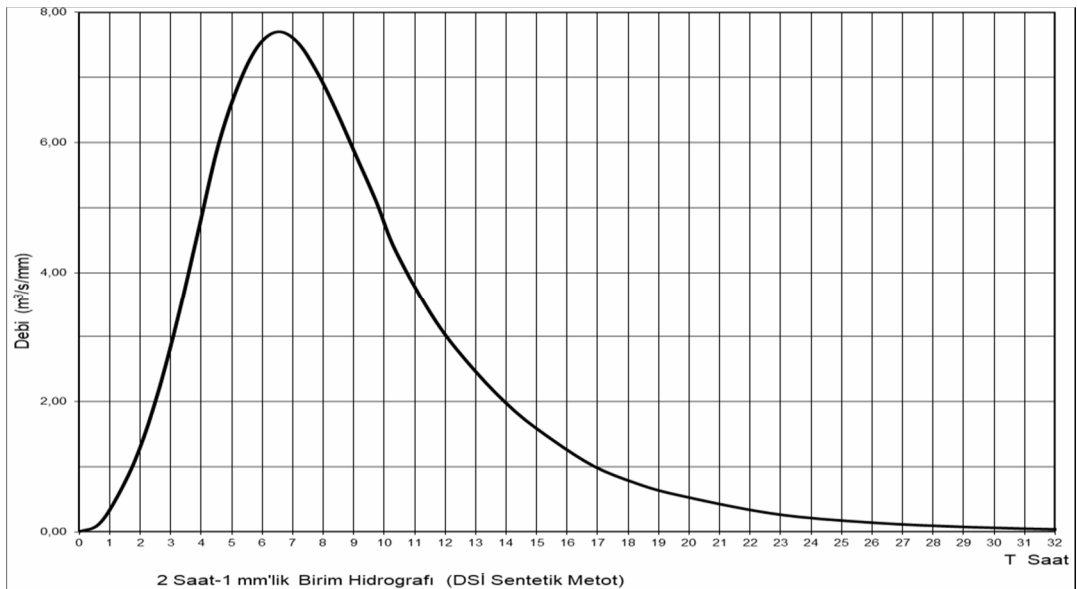
KOT (m)	TOPLAM HACİM (hm <sup>3</sup> )	KOT (m)	TOPLAM HACİM (hm <sup>3</sup> )	KOT (m)	TOPLAM HACİM (hm <sup>3</sup> )	KOT (m)	TOPLAM HACİM (hm <sup>3</sup> )
1336.00	0.000	1354.00	3.520	1368.00	17.776	1384.00	56.608
1340.00	0.028	1355.00	4.450	1370.00	20.937	1386.00	63.440
1342.00	0.320	1356.00	4.800	1372.00	24.272	1388.00	70.240
1344.00	0.640	1358.00	6.240	1374.00	28.064	1390.00	77.902
1346.00	0.960	1360.00	8.108	1376.00	32.528	1390.60	85.050
1348.00	1.312	1362.00	10.240	1378.00	37.568	1392.00	94.500
1350.00	1.932	1364.00	12.544	1380.00	43.159	1393.00	103.750
1352.00	2.592	1366.00	15.056	1382.00	50.048	1393.70	114.375
<b>4 EYLÜL BARAJI KARAKTERİSTİK BİLGİLERİ</b>							
Dolusavak Kret Kotu = 1390.6 m				Dolusavak Genişliği = 50 m			
Talveg Kotu = 1336 m				Min. Su Kotu = 1355 m			
Kret Kotu = 1396 m				Normal Su Kotu = 1390.6 m			
Maksimum Su Kotu = 1393.7 m				Kret Uzunluğu = 596.35 m			



**Şekil 3.13.** Sivas 4 Eylül Barajı Kot-Alan-Hacim Grafiği

**Tablo 3.5.** Sivas 4 Eylül Barajı DSİ Sentetik Yöntem Birim Hidrograf Analizi

A (km <sup>2</sup> )= 239,9      L(km)= 29,686 $\sqrt{S}= 0,11688$ Lc (km)= 15,501      Eğim (S)= 0,014 $E = \frac{L \cdot Lc}{\sqrt{S}}$ E= 3937,0 $q_p = 414 / (A \cdot 0.225 \cdot E \cdot 0.16)$ $q_p = 32,08 \text{ lt/sn/km}^2/\text{mm}$ $Q_p = A \cdot q \cdot 10^{-3}$ $Q_p = 7,70 \text{ m}^3/\text{sn/mm}$ $V_b = A \cdot h_a \cdot 10^{-3}$ $V_b = 239900 \text{ m}^3$ $T = 3.65 \cdot (V_b / Q_p)$ T= 113769,3 saniye      T= 31,60 saat $T_p = T/5$ $T_p = 6,3 \text{ saat}$ Yaklaşık $T_p = 6,5 \text{ saat}$						DSİ SENTETİK YÖNTEM 2 Saatlik Birim Hidrografın			
						T/Tp	Q/Qp	T saat	Q m <sup>3</sup> /s/mm
0	0	0,0	0,00						
0,1	0,015	0,7	0,12						
0,2	0,075	1,3	0,58						
0,3	0,16	2,0	1,23						
0,4	0,28	2,6	2,16						
0,5	0,43	3,3	3,31						
0,6	0,6	3,9	4,62						
0,7	0,77	4,6	5,93						
0,8	0,89	5,2	6,85						
0,9	0,97	5,9	7,47						
1	1	6,5	7,70						
1,1	0,98	7,2	7,54						
1,2	0,92	7,8	7,08						
1,3	0,84	8,5	6,47						
1,4	0,75	9,1	5,77						
1,5	0,66	9,8	5,08						
1,6	0,56	10,4	4,31						
1,8	0,42	11,7	3,23						
2	0,32	13,0	2,46						
2,2	0,24	14,3	1,85						
2,4	0,18	15,6	1,39						
2,6	0,13	16,9	1,00						
2,8	0,098	18,2	0,75						
3	0,075	19,5	0,58						
3,5	0,036	22,8	0,28						
4	0,018	26,0	0,14						
4,5	0,009	29,3	0,07						
5	0,004	32,5	0,03						
5,5	0	35,8	0,00						
Harmonik Eğim (S) =						0,013			



### 3.3.2.2. Mısmırlmak Havzası Taşkın Hidrolojisi

Dört Eylül Barajından Kızılırmak Nehrine kadar olan Mısmıl Irmak'ın mansap kısmındaki yağış havzasının fiziksel karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

A : 39.4 km<sup>2</sup>

L : 12.092 m

L<sub>c</sub>: 6.438 m

S : 0.0058

Herhangi bir taşkın kaydına rastlanmamıştır.

A: Yağış alanı (km<sup>2</sup>)

L: En uzun kol (m)

L<sub>c</sub>: yağış alanı ağırlık merkezinin en uzun akarsu üzerindeki iz düşümü ile proje kesiti arasındaki mesafe (m)

S: Ortalama eğim

**Tablo 3.6.** Mısmırlmak Taşkın Tekerrür Debileri

DÖRT EYLÜL BARAJ HAVZASI 8 SAATLİK Q <sub>BAZ</sub> EKLENMİŞ TAŞKIN HİDROGRAFLARI									
T Saat	Q m <sup>3</sup> /s	Q <sub>2</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>5</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>10</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>25</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>50</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>100</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>500</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>1000</sub> m <sup>3</sup> /s
0.0	0.0	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
0.5	0.1	9.3	9.5	9.6	9.9	10.1	10.3	10.8	11.0
1.0	0.4	9.5	10.2	11.0	12.0	12.9	13.9	16.0	16.9
1.5	0.8	9.8	11.4	13.0	15.3	17.2	19.3	23.7	25.6
2.0	1.3	10.2	13.0	15.5	19.4	22.6	26.2	33.5	36.7
2.5	2.1	10.9	15.3	19.3	25.4	30.5	36.1	47.6	52.6
3.0	2.9	11.9	18.6	24.7	33.8	41.5	49.7	67.0	74.4
3.5	3.9	13.3	22.7	31.2	43.9	54.4	65.8	89.7	100.0
4.0	4.9	14.9	27.3	38.4	55.0	68.8	83.5	114.7	128.1
4.5	6.0	16.8	32.7	46.7	67.5	84.7	103.2	142.2	159.1
5.0	6.7	18.9	38.1	54.9	79.6	99.9	121.6	167.9	187.8
5.5	7.2	21.2	43.7	63.0	91.4	114.7	139.4	192.3	215.1
6.0	7.6	23.5	49.0	70.8	102.4	128.3	155.8	214.6	239.9
6.5	7.7	26.0	54.4	78.3	112.9	141.1	170.8	234.9	262.5
7.0	7.6	28.1	58.6	83.9	120.4	150.1	181.2	248.6	277.6
7.5	7.2	30.0	62.0	88.4	126.1	156.6	188.5	257.8	287.6
8.0	6.8	31.7	64.9	91.9	130.3	161.1	193.5	263.8	294.1
8.5	6.3	33.2	67.1	94.5	133.1	164.1	196.4	267.0	297.4
9.0	5.7	34.0	67.9	95.1	133.2	163.6	195.3	264.7	294.6
9.5	5.2	34.4	67.9	94.4	131.5	161.1	191.8	259.2	288.2
10.0	4.6	34.5	67.0	92.6	128.3	156.6	185.9	250.4	278.2
10.5	4.1	34.3	65.7	90.3	124.4	151.4	179.3	240.9	267.4

**Tablo 3.6.Devamı** Mısmılırmak Taşkın Tekerrür Debileri

11.0	3.7	33.5	63.5	86.9	119.1	144.6	170.9	229.1	254.1
11.5	3.2	32.5	60.7	82.5	112.6	136.3	160.8	215.0	238.4
12.0	2.9	31.1	57.5	77.8	105.8	127.8	150.5	200.9	222.5
12.5	2.6	29.7	54.1	72.9	98.7	119.0	140.0	186.4	206.4
13.0	2.4	28.2	50.6	67.9	91.5	110.1	129.3	171.8	190.1
13.5	2.1	26.6	47.0	62.6	84.1	101.0	118.4	157.0	173.6
14.0	1.9	25.0	43.4	57.6	77.0	92.2	107.9	142.7	157.7
14.5	1.7	23.5	40.1	52.9	70.4	84.2	98.3	129.7	143.2
15.0	1.5	22.1	37.1	48.5	64.3	76.7	89.4	117.6	129.8
15.5	1.3	20.7	34.1	44.4	58.5	69.5	80.9	106.1	117.0
16.0	1.2	19.5	31.4	40.6	53.2	63.0	73.1	95.6	105.3
16.5	1.0	18.4	29.0	37.2	48.4	57.1	66.1	86.1	94.8
17.0	0.9	17.4	27.0	34.3	44.3	52.1	60.1	78.1	85.8
17.5	0.8	16.5	25.0	31.5	40.4	47.4	54.6	70.6	77.5
18.0	0.7	15.8	23.3	29.1	37.1	43.3	49.7	64.0	70.1
18.5	0.7	15.1	21.8	27.0	34.1	39.7	45.4	58.2	63.7
19.0	0.6	14.4	20.5	25.1	31.5	36.5	41.6	53.0	58.0
19.5	0.5	13.9	19.3	23.5	29.2	33.7	38.3	48.5	53.0
20.0	0.5	13.4	18.2	22.0	27.1	31.1	35.2	44.4	48.4
20.5	0.5	12.9	17.3	20.6	25.2	28.8	32.5	40.8	44.3
21.0	0.4	12.5	16.4	19.4	23.5	26.8	30.1	37.5	40.7
21.5	0.4	12.2	15.7	18.4	22.0	24.9	27.9	34.5	37.3
22.0	0.3	11.9	15.0	17.4	20.6	23.2	25.9	31.7	34.3
22.5	0.3	11.6	14.4	16.5	19.4	21.7	24.0	29.2	31.5
23.0	0.3	11.3	13.8	15.7	18.4	20.4	22.5	27.3	29.3
23.5	0.2	11.1	13.4	15.1	17.5	19.3	21.2	25.5	27.3
24.0	0.2	10.9	12.9	14.5	16.6	18.2	20.0	23.7	25.4
24.5	0.2	10.7	12.5	13.9	15.8	17.3	18.8	22.2	23.7
25.0	0.2	10.6	12.2	13.4	15.1	16.5	17.8	20.9	22.2
25.5	0.1	10.4	11.9	13.0	14.5	15.7	16.9	19.7	20.8
26.0	0.1	10.3	11.6	12.6	14.0	15.1	16.2	18.6	19.7
26.5	0.1	10.2	11.4	12.3	13.5	14.4	15.4	17.6	18.6
27.0	0.1	10.1	11.2	12.0	13.1	13.9	14.8	16.8	17.7
27.5	0.1	10.0	10.9	11.7	12.6	13.4	14.2	16.0	16.7
28.0	0.1	9.9	10.8	11.4	12.3	13.0	13.7	15.3	15.9
28.5	0.1	9.8	10.6	11.2	11.9	12.5	13.2	14.6	15.2
29.0	0.1	9.8	10.4	11.0	11.7	12.2	12.8	14.0	14.6
29.5	0.1	9.7	10.3	10.8	11.4	11.9	12.4	13.5	14.0
30.0	0.1	9.7	10.2	10.6	11.2	11.6	12.1	13.1	13.6
30.5	0.0	9.6	10.1	10.5	11.0	11.4	11.8	12.7	13.1
31.0	0.0	9.6	10.0	10.3	10.8	11.1	11.5	12.3	12.7
31.5	0.0	9.5	9.9	10.2	10.6	10.9	11.2	12.0	12.3
32.0	0.0	9.5	9.8	10.1	10.4	10.7	11.0	11.6	11.9
32.5	0.0	9.4	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.9	11.1
33.0	0.0	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2	10.3	10.7	10.8
33.5	0.0	9.4	9.6	9.7	9.9	10.1	10.2	10.5	10.7
34.0	0.0	9.4	9.5	9.7	9.8	10.0	10.1	10.4	10.5

**Tablo 3.6.Devamı** Mısmılırmak Taşkın Tekerrür Debileri

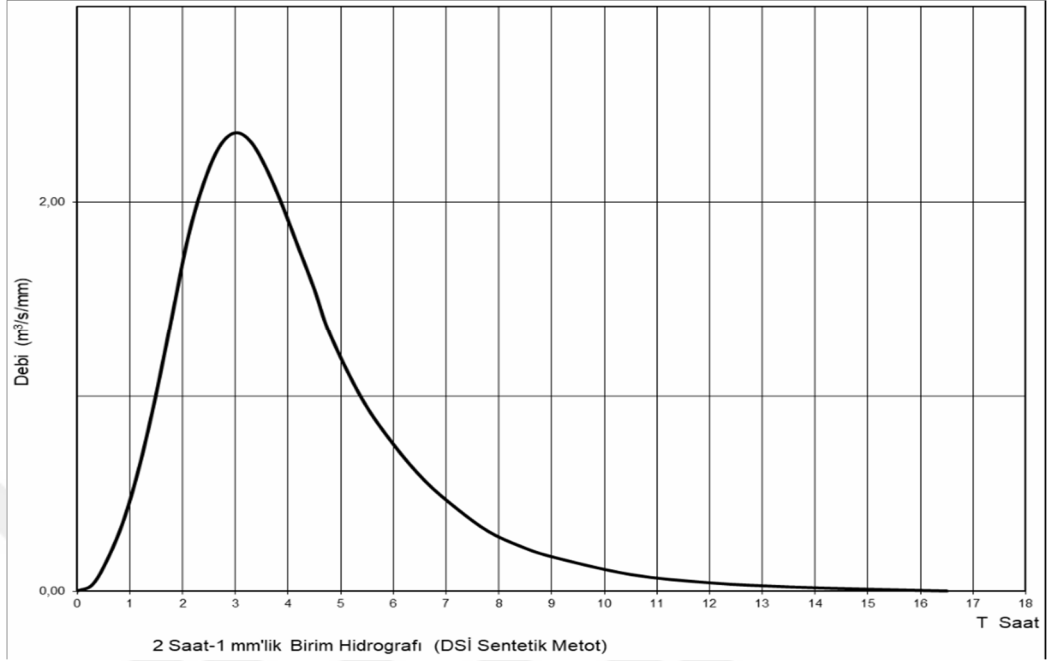
34.5	0.0	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.7	9.9	10.0
35.0	0.0	9.3	9.4	9.5	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9
35.5	0.0	9.3	9.4	9.4	9.5	9.6	9.6	9.7	9.8
36.0	0.0	9.3	9.3	9.4	9.5	9.5	9.6	9.7	9.7
36.5	0.0	9.2	9.3	9.3	9.3	9.3	9.4	9.4	9.4
37.0	0.0	9.2	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.4	9.4
37.5	0.0	9.2	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.4	9.4

38.0	0.0	9.2	9.2	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.4
38.5	0.0	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2

**Tablo 3.7.** Mısmılırmak Havzası DSİ Sentetik Yöntem Birim Hidrograf Analizi

						DSİ SENTETİK YÖNTEM 2 Saatlik Birim Hidrografın			
A (km <sup>2</sup> )=	39,4	L(km)=	12,092	$\sqrt{S}$ =	0,076	T/Tp	Q/Qp	T saat	Q m <sup>3</sup> /s/m
L <sub>c</sub> (km)=	6,438	Eğim (S)=	0,006			0	0	0,0	0,00
		L * Lc				0,1	0,015	0,3	0,04
	E =	$\frac{L * Lc}{\sqrt{S}}$	E=	1022,4		0,2	0,075	0,6	0,18
						0,3	0,16	0,9	0,38
						0,4	0,28	1,2	0,66
						0,5	0,43	1,5	1,01
q <sub>p</sub> =	414 / ( A <sup>0.225</sup> * E <sup>0.16</sup> )		q <sub>p</sub> =	59,77	lt/sn/k	0,6	0,6	1,8	1,41
						0,7	0,77	2,1	1,81
						0,8	0,89	2,4	2,10
Q <sub>n</sub> = A * * 10 <sup>-3</sup>			Q <sub>n</sub> =	2,35	m <sup>3</sup> /sn/	0,9	0,97	2,7	2,28
						1	1	3,0	2,35
V <sub>b</sub> = A * ha * 10 <sup>-3</sup>			V <sub>b</sub> =	39400	m <sup>3</sup>	1,1	0,98	3,3	2,31
						1,2	0,92	3,6	2,17
T = 3.65 * ( V <sub>b</sub> / Q <sub>p</sub> )			T =	61068,77	saniye	1,3	0,84	3,9	1,98
						1,4	0,75	4,2	1,77
T <sub>p</sub> = T / 5			T <sub>p</sub> =	3,4	saat	1,5	0,66	4,5	1,55
			Yaklaşık T <sub>p</sub> =	3,0	saat	1,6	0,56	4,8	1,32
No	Kot, m	Kot Farkı, m	(L/10), m	(h/L/10)	1/(h/L/10)0,5	1,8	0,42	5,4	0,99
0	1340	0	1209.2	0.000		2	0.32	6.0	0.75
1	1325	15	1209.2	0.012	8.978	2.2	0.24	6.6	0.57
2	1320	5	1209.2	0.004	15.55	2.4	0.18	7.2	0.42
3	1309	11	1209.2	0.009	10.48	2.6	0.13	7.8	0.31
4	1302	7	1209.2	0.006	13.14	2.8	0.098	8.4	0.23
5	1293	9	1209.2	0.007	11.59	3	0.075	9.0	0.18
6	1286	7	1209.2	0.006	13.14	3.5	0.036	10.5	0.08
7	1280	6	1209.2	0.005	14.19	4	0.018	12.0	0.04
8	1275	5	1209.2	0.004	15.55	4.5	0.009	13.5	0.02
9	1270	5	1209.2	0.004	15.55	5	0.004	15.0	0.01
10	1263	7	1209.2	0.006	13.14	5.5	0	16.5	0.00
Harmonik Eğim (S) =					0.005				

**Tablo 3.7.Devamı** Mısmılırmak Havzası DSİ Sentetik Yöntem Birim Hidrograf Analizi



### 3.3.2.3. Mevlana Deresi Taşkın Hidrolojisi

Mundar Irmağın (Mevlana Deresinin önceki adı) Sivas ili içerisinde kapalı bir sisteme alındığı kesite kadar olan kısmındaki yağış havzasının fiziksel karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

A : 106,2 km<sup>2</sup>

L : 26,014 m

L<sub>c</sub>: 12,261 m

S : 0,0118

Herhangi bir taşkın kaydına rastlanmamıştır.

A: Yağış alanı (km<sup>2</sup>)

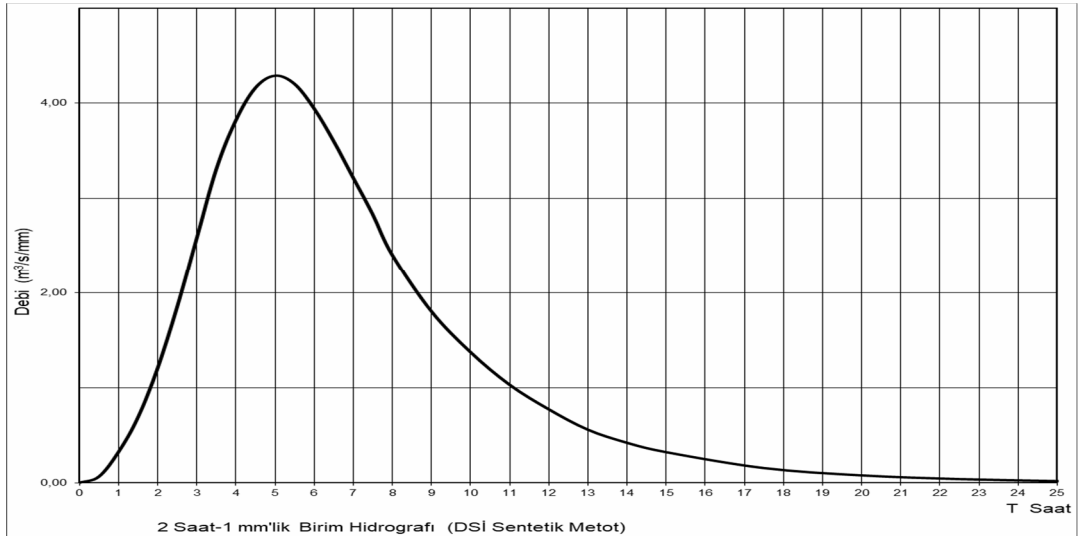
L: En uzun kol (m)

L<sub>c</sub>: yağış alanı ağırlık merkezinin en uzun akarsu üzerindeki iz düşümü ile proje kesiti arasındaki mesafe (m)

S: Ortalama eğim

**Tablo 3.8.** Mevlana Deresi DSİ Sentetik Yöntem Birim Hidrograf Analizi

						DSİ SENTETİK YÖNTEM			
						2 Saatlik Birim Hidrografın			
A (km <sup>2</sup> )=	106,2	L(km)=	26,014	S=	0,108	T/Tp	Q/Qp	T saat	Q m <sup>3</sup> /s/mm
Lc (km)=	12,261	Eğim (S)=	0,012			0	0	0,0	0,00
		$E = \frac{L * Lc}{\sqrt{S}}$	E=	2931,4		0,1	0,015	0,5	0,06
						0,2	0,075	1,0	0,32
						0,3	0,16	1,5	0,69
						0,4	0,28	2,0	1,20
						0,5	0,43	2,5	1,84
qp =	414 / ( A0.225 * E0.16 )		qp =	40,40	lt/sn/k m <sup>2</sup> /m m	0,6	0,6	3,0	2,57
						0,7	0,77	3,5	3,30
						0,8	0,89	4,0	3,82
Qp = A * q *			QP =	4,29	m <sup>3</sup> /sn/	0,9	0,97	4,5	4,16
						1	1	5,0	4,29
Vb = A * ha * 10 <sup>-3</sup>			Vb =	106200	m <sup>3</sup>	1,1	0,98	5,5	4,20
						1,2	0,92	6,0	3,95
T = 3.65 * ( Vb / Qp )			T=	90344,9	saniye	1,3	0,84	6,5	3,60
			T=	25,10	saat	1,4	0,75	7,0	3,22
Tp = T / 5			Yaklaşık Tp =	5,0	saat	1,5	0,66	7,5	2,83
						1,6	0,56	8,0	2,40
No	Kot, m	Kot Farkı,	(L/10), m	(h/L/10)	1/(h/L)	1,8	0,42	9,0	1,80
0	1750	0	2601,4	0,000		2	0,32	10,0	1,37
1	1614	136	2601,4	0,052	4,374	2,2	0,24	11,0	1,03
2	1591	23	2601,4	0,009	10,63	2,4	0,18	12,0	0,77
3	1572	19	2601,4	0,007	11,70	2,6	0,13	13,0	0,56
4	1557	15	2601,4	0,006	13,16	2,8	0,098	14,0	0,42
5	1545	12	2601,4	0,005	14,72	3	0,075	15,0	0,32
6	1490	55	2601,4	0,021	6,877	3,5	0,036	17,5	0,15
7	1433	57	2601,4	0,022	6,756	4	0,018	20,0	0,08
8	1402	31	2601,4	0,012	9,161	4,5	0,009	22,5	0,04
9	1320	82	2601,4	0,032	5,632	5	0,004	25,0	0,02
10	1287	33	2601,4	0,013	8,879	5,5	0	27,5	0,00
Harmonik Eğim (S) =						0,011			





Proje kapsamında 500 yıllık ve 1000 yıllık taşkın tekerrür debileri Sivas 4 Eylül Barajı'nın da etkisini dikkate alındığı ve alınmadığı iki farklı senaryo ile giriş akımı olarak tanımlanmış ve bu frekanstaki debiler için taşkın yayılım alanları belirlenmiştir.

Kullanılan hidrografların farklı yıllık yinelenmeli pik taşkın debileri ( $m^3/s$ ) aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 3.9.** Proje Alanı Taşkın Pik Debileri

İL	İLÇE	DERE	Baraj Etkili		Baraj Etkisiz	
			Q <sub>500</sub>	Q <sub>1000</sub>	Q <sub>500</sub>	Q <sub>1000</sub>
SİVAS	MERKEZ	4 Eylül Barajı Mansabı	94,57	108,98	0	0
SİVAS	MERKEZ	Mısmılıрмаğı	31,90	35,50	31,90	35,50
SİVAS	MERKEZ	Mevlana Deresi	96,5	107,80	96,50	107,80

## 4. BARAJ YIKILMA ANALİZİ VE OLUŞAN TAŞKINLAR

### 4.1. Hidrolik Modelleme

Bu proje kapsamında baraj yıkılma analizleri ve taşkın tehlike alanlarının belirlenmesi amacıyla yapılan hidrodinamik modellemeler Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından geliştirilen 1D için MIKE 11 2D için MIKE21 modelleri kullanılmıştır. Baraj yıkılma analizleri için 1D hidrodinamik modelleme kullanılmıştır. Taşkın analizleri için ise dere yatağında 1D olarak modellenerek sanat yapıları tanımlanmış ve tehlike alanında yerleşim yerleri bulunduğu için 2D modelleme de kullanılmıştır.

#### 4.1.1. Proje Taşkın Debileri

Modelleme çalışmalarında kullanılacak olan taşkın pik debi ve hidrografları hesaplanmış ve ayrıntıları 3.3 bölümünde sunulmuştur. Proje kapsamında 500 yıllık ve 1000 yıllık taşkın tekerrür debileri Sivas 4 Eylül Barajı'nın da etkisini dikkate alındığı ve alınmadığı iki farklı senaryo ile giriş akımı olarak tanımlanmış ve bu frekanstaki debiler için taşkın yayılım alanları belirlenmiştir.

Kullanılan Hidrografların farklı yıllık yinelenmeli pik taşkın debileri ( $m^3/s$ ) aşağıdaki tabloda verilmiştir.

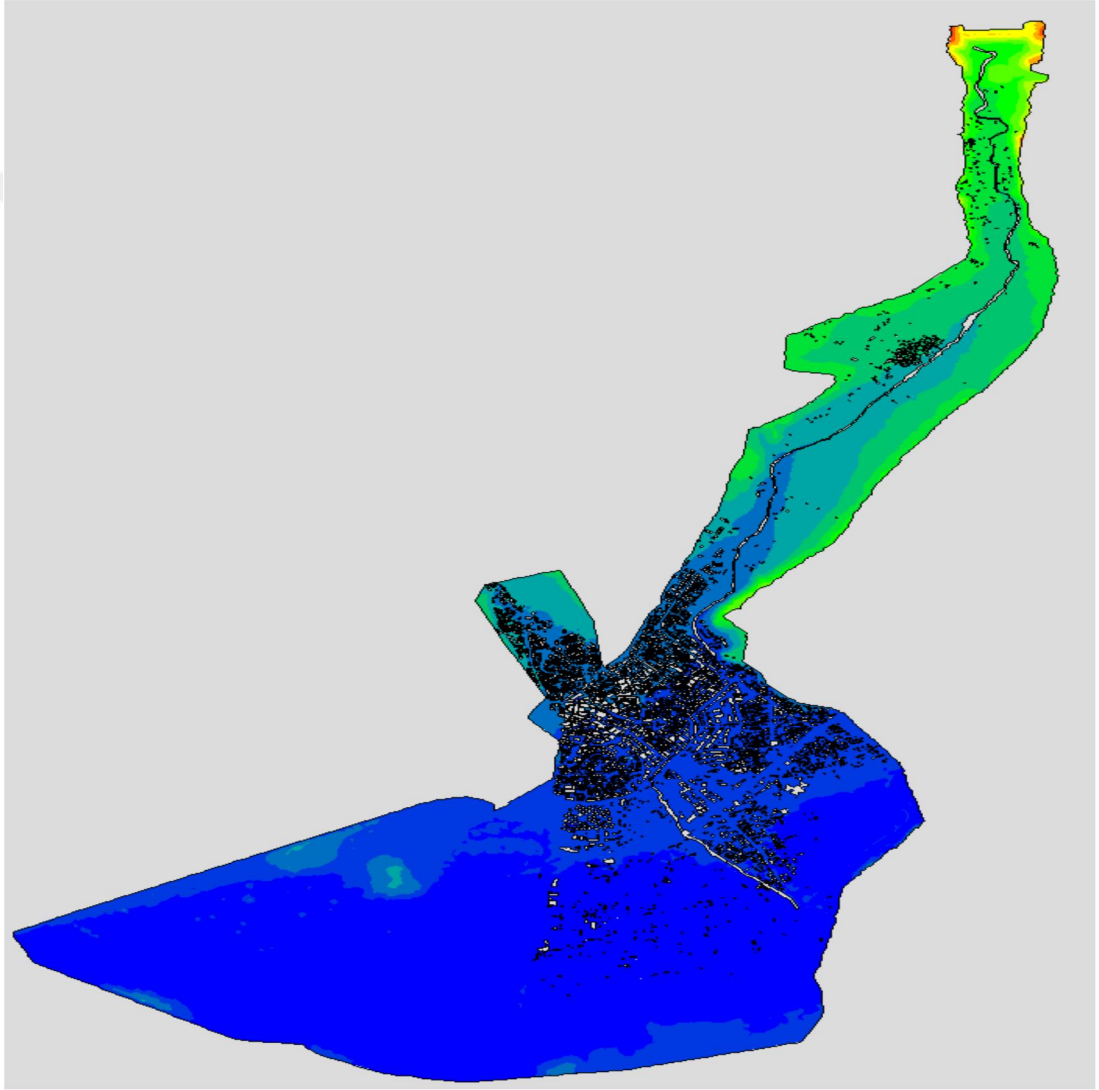
**Tablo 4.1.** Proje Alanı Taşkın Pik Debileri

İL	İLÇE	DERE	Baraj Etkili		Baraj Etkisiz	
			Q <sub>500</sub>	Q <sub>1000</sub>	Q <sub>500</sub>	Q <sub>1000</sub>
SİVAS	MERKEZ	4 Eylül Barajı Mansabı	94,57	108,98	0	0
SİVAS	MERKEZ	Mısmılrmağı	31,90	35,50	31,90	35,50
SİVAS	MERKEZ	Mevlana Deresi	96,5	107,80	96,50	107,80

#### 4.1.2. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

Haritalar üzerinde mevcut binalar ve yollar katmanlar halinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında tanımlanmış ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmuştur. Oluşturulan bu SYM 2D çalışmalarında altlık olarak kullanılmıştır. SYM oluşturulurken su dağılımını etkileyecek her türlü detay dikkate alınmıştır. Veri işleme ve farklı kaynaklı verileri birbirine entegre etme sırasında oluşabilecek hataları en aza indirmek için azami hassasiyet gösterilmiştir ve yapıların gerçek

şekillerine ve konumlarına en uygun olacak şekilde Sayısal Yükseklik Modeline eklenmesi gerçekleştirilmiştir. Suyun yataktan çıkışına yol açabilecek, harita oluşumu veya haritayı modele aktarma sırasında gözlenen arazide var olmayan sorunlar (sedde yırtıkları gibi) düzeltilerek arazi şartlarını en iyi yansıtan model oluşturulmuştur. Aşağıdaki şekilde Sivas İl Merkezine ait örnek bir Sayısal Yükseklik Modeli haritası verilmiştir.



**Şekil 4.1.** Sivas İl Merkezi Sayısal Yükseklik Modeli

Oluşturulan SYM esnek grid modeline altlık olarak kullanılmak için “ascii” formatına dönüştürülüp esnek grid hazırlanmıştır.

### **4.1.3. Baraj Yıkılması Sonucu Oluşan Taşkınların Belirlenmesinde Kullanılan Programlar**

Taşkın anında baraj mansabındaki belirli bölgelerde suyun yayılmasını ve su seviyesinin tahmin edilmesi amacıyla bilgisayar ortamında çok sayıda hidrolik modeller geliştirilmiştir. Farklı büyüklükteki debiler veya değişik frekanslardaki taşkınlar için taşkın derinlik ve tehlike haritalarının oluşturulması, mevcut durumdaki taşkın alanlarını görebilmek ve bunların afet yönetimi ve yerleşim yerlerindeki yapılaşma planlamasına entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Teknolojinin gelişmesi ile bilgisayar ortamında sayısal analizler de geliştirilmiş ve hidrodinamik modeller, baraj yıkılma analizleri ve taşkın haritaları üretimleri yaygınlaşmıştır. Bu amaçla HEC-1, HEC-RAS, DAMBRK, SMPDBK, MIKE, FLOW-3D, CFX gibi paket programları geliştirilmiştir. Bu çalışmada Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından geliştirilen MIKE programı kullanılmıştır.

### **4.2. Baraj Yıkılma Analizi**

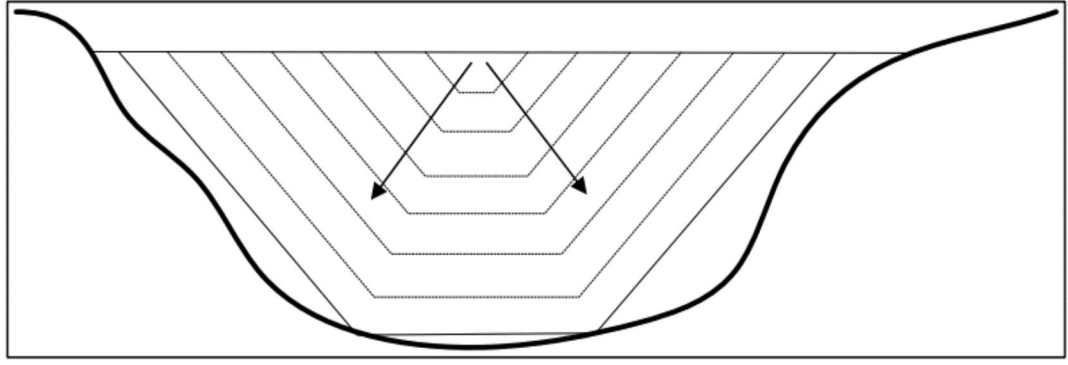
Sivas İl Merkezi'ni doğrudan etkisi altına alabilecek olan Sivas 4 Eylül Barajı'nda baraj yıkılması analizleri gerçekleştirilerek olası bir felaket durumunda taşkın sularının yayılabileceği alanlar saptanmıştır.

Bu çalışmanın hidrolik modelleme çalışmaları kapsamında yürütülen baraj yıkılma analizleri için 1-D hidrodinamik modelleme yaklaşımları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışmaları kapsamında barajların belirli kritik seviyelerde (Normal su seviyesi, Maksimum su seviyesi ve Baraj üstünden suyun aşması durumlarında) yıkılacağı kabulü ile yola çıkılarak baraj göl alanında depolanan suyun yıkılma anında mansaba etkisi göz önüne alınarak çalışılmıştır.

Hidrolik modelleme çalışmaları sonucunda barajların yıkılma senaryolarında suyun yatağı dışına çıktığı saptanmıştır. Taşkın sularının ulaşabildiği maksimum sınırın belirlenebilmesi adına 1-D hidrodinamik modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sivas 4 Eylül Barajı'nda yapılan bu çalışmalarda Tablo 3.4. de verilmiş olan baraj karakteristikleri esas alınmıştır.

Baraj yıkılma analizi için proje alanı, barajlardan başlayarak yerleşim yoğunluğunun bulunduğu bölgeleri kapsayacak şekilde belirlenmiştir. Proje alanları, taşkın sınırları haritalarının oluşturduğu bölgeyle aynıdır.

Yıkılma karakteristikleri “U.S. Army of Engineers” tarafından hazırlanan “Safety of Dams-Policy and Procedures” (baraj güvenlik politikaları ve yöntemleri) dokümanından faydalanılarak belirlenmiştir. Kret kotunun altından başlayarak, belli bir su seviyesine kadar yıkılma geometrisi doğrusal bir şekilde büyütülerek baraj yıkımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2. Temsili Baraj Oyulma Figürü

Tablo 4.2. Sivas 4 Eylül Barajı Yıkılma Karakteristikleri

İlk Oyuk Genişliği (m)	İlk Oyuk Seviyesi (m)	Eğim	Son Oyuk Genişliği (m)	Son Oyuk Seviyesi (m)	Yıkılma Süresi (Saat)
1	1395	1	20	1355	2

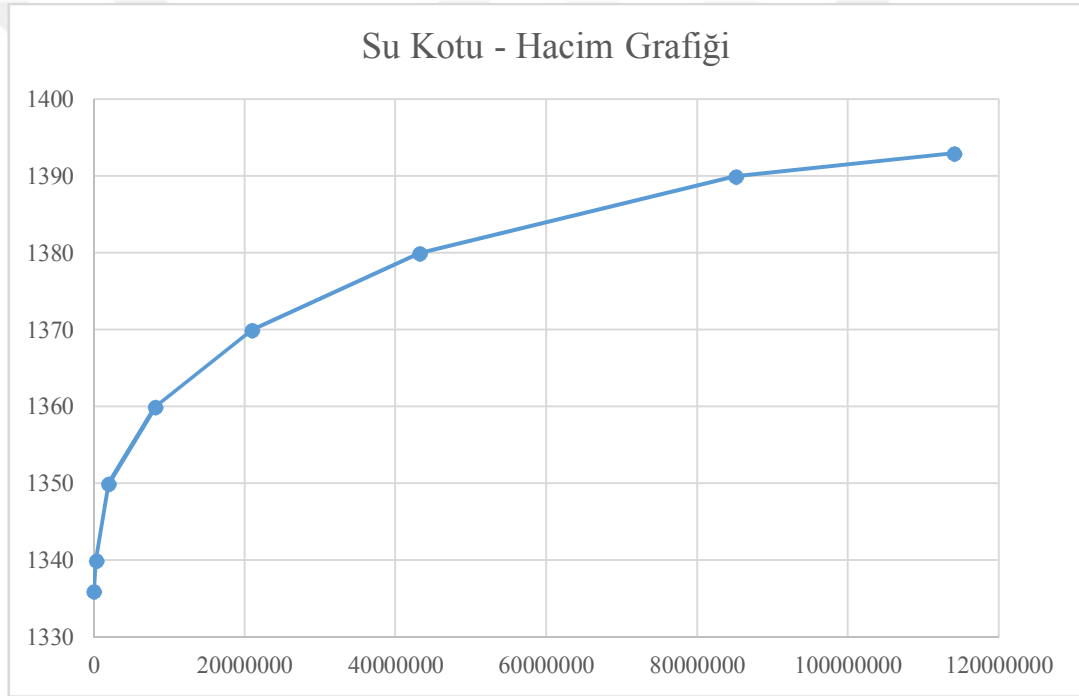
Modelin kullanımında memba ve mansap sınır koşullarının hidrolojik ve hidrolik olarak tanımlanması gerekmektedir. Baraj yıkılma analizi ön çalışmalarında baraj yıkılmasının belli su seviyelerinde gerçekleşeceği (NSS ve MSS gibi) kabul edilerek yola çıkılmış ve memba sınır koşulu olarak verilen debi hidroloji çalışmalarında hesaplanan barajın göl alanına gelen katastrofik debi tanımlanmıştır.

Mansap sınır koşulunun tanımlanmasında ise model tarafından üretilen debi-seviye eğrisi (Anahtar eğrisi) kullanılmıştır. Mansapta seçilen kesit üzerinde model tarafından bir debi-seviye eğrisi üretilmesi sağlanmış, bu sayede yüksek debili suyun seviyesinin olabildiğince doğru belirlenmesi amaçlanmıştır.

Belirlenen mansap kesiti proje hattı sonunda seçilerek mansap sınır koşulunun önceki kesitlere etkisi minimuma indirilmiştir.

1 boyutlu MIKE 11 modeli barajların kot-hacim eğrileri modele tanımlanarak 1 boyutlu model kalibre edilmiş ve barajın hacminin doğru olarak temsil edilmesi sağlanmıştır.

Kalibrasyon çalışmaları için barajların Kot-Alan-Hacim verileri kullanılmış ve hassas şekilde kalibrasyon sağlanmıştır. Bu kalibrasyon çalışmalarının grafiksel olarak sonuçları aşağıdaki grafiklerde görülebilir.



Şekil 4.3. Sivas 4 Eylül Barajı Kalibrasyonu Sonucu

#### 4.2.1. 1 Boyutlu Baraj Yıkılma Modeli

1-D model çalışmaları için, MIKE11 programı kullanılmıştır. Bu kapsamda öncelikli olarak, oluşturulan SYM üzerinde çalışılması planlanan proje hattı tanımlanmıştır. Proje hattı tanımlanırken baraj göl alanından başlanmak suretiyle mansapta taşkın etki alanının minimum olacağı yere kadar hat devam ettirilmiştir. Devamında ise arazi durumunu en iyi temsil edecek şekilde baraj göl alanından başlayarak yaklaşık kesitler atılmıştır. Kesit aralığı seçilirken dere yatağında oluşabilecek değişiklikler

olabildiğince temsil edilmeye çalışılmış ve gerekli bölgelerde daha sık aralıklarla kesitler alınmıştır.

Baraj yıkılma analizinin yapılabilmesi için 1-D model içerisine entegre edilen baraj karakteristikleriyle birlikte hazırlık çalışmaları tamamlanmıştır. Baraj karakteristiklerinin MIKE 11 programında tanımlanması aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Baraj yıkılma analizi farklı senaryolar için çalışılarak olması muhtemel durumların modellenmesi amaçlanmıştır.

#### **4.2.2. Çalışılan Senaryolar ve Sonuçları**

Çalışılan senaryoların tanımı “U.S. Army Corps of Engineers” tarafından hazırlanan Safety of Damspolicy and Procedures (Baraj Güvenlik Politikaları ve Yöntemleri) dokümanından faydalanılarak oluşturulmuştur. Bu doküman kapsamında, üç farklı durumda baraj yıkılma analizleri gerçekleştirilmiş ve barajın katastrofal (yıkıcı) debiyi tahliye ettiği durum incelenmiştir.

- Normal su seviyesinde baraj yıkılma analizi
- Maksimum su seviyesinde baraj yıkılma analizi
- Suyun barajın üstünden aştığı durumda baraj yıkılma analizi

##### **4.2.2.1. Normal Su Seviyesinde Yıkılma (NSS)**

Barajın normal su seviyesinde (NSS) depolamaya sahip olduğu durumda yıkılması modellenerek analiz edilmiştir. Model çalışmalarında barajın su seviyesine göre yıkılması çalışılmış olup, herhangi bir aşırı yağışın baraj göl alanına etkisi dikkate alınmamıştır. Bu senaryo güneşli gün yıkımı olarak adlandırılan durumu modellemekte ve normal şartlar altında barajın yıkılmasıyla oluşacak taşkın tehlikesi modellenmesi amaçlanmıştır.

##### **4.2.2.2. Maksimum Su Seviyesinde Yıkılma (MSS)**

Barajın Maksimum su seviyesinde (MSS) seviyesinde depolamaya sahip olduğu durumda yıkılması modellenerek analiz edilmiştir. Model çalışmalarında barajın su seviyesinin yükselerek dolu savağın çalıştığı ve seviyenin maksimuma gelmesiyle

barajın yıkıldığı durum analiz edilmiştir. Baraj depolamasının maksimum su seviyesinde olduğu durumda barajın yıkılmasıyla memba kısmında oluşabilecek taşkın tehlikesinin analizi amaçlanmıştır.

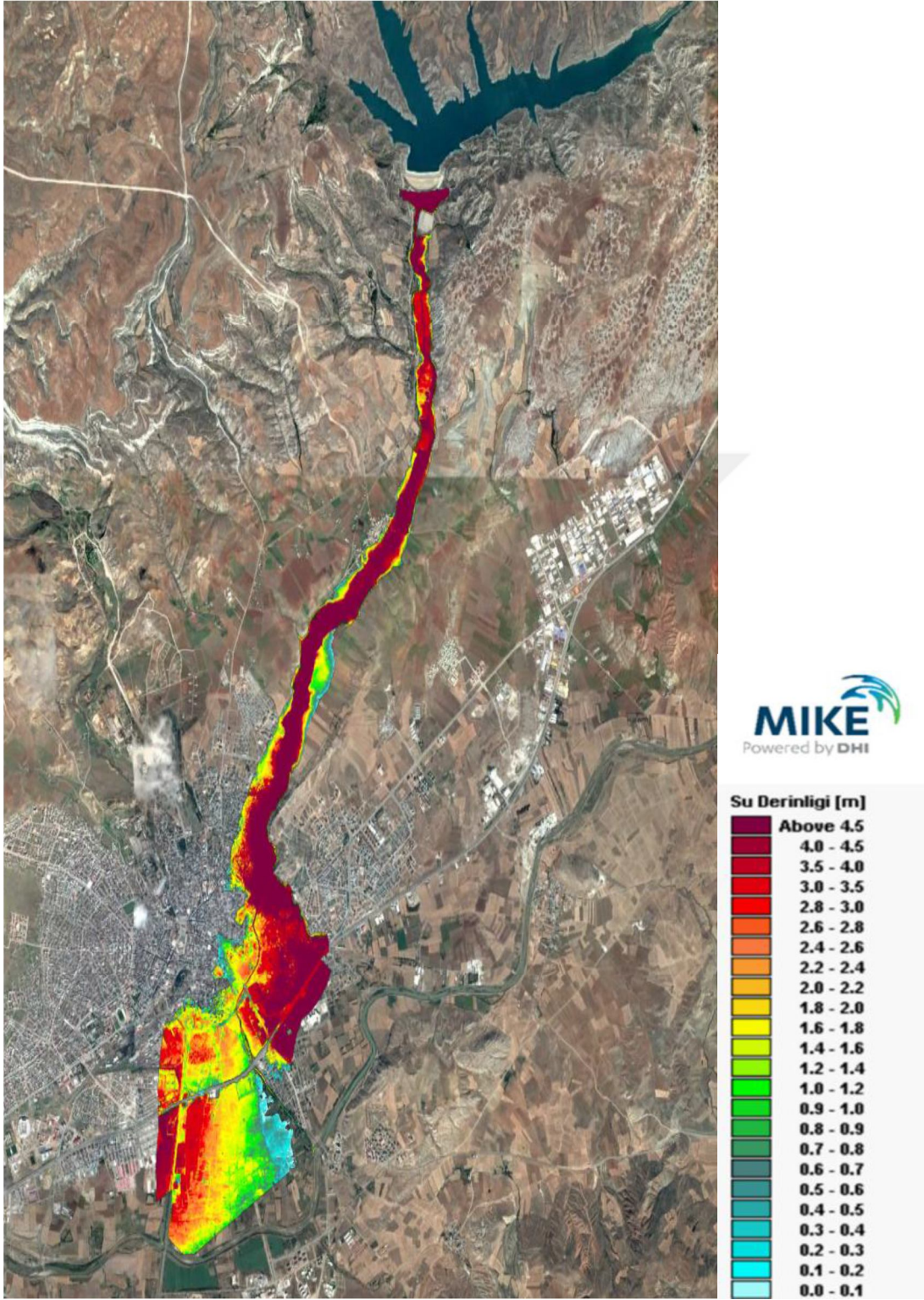
Bu senaryo kapsamında barajların feyez anında üzerinden suyun aşması ekstrem durumu modellenerek baraj yıkılma analizi yapılmıştır. Model çalışmalarında barajın su seviyesinin yükselerek dolu savağın çalıştığı ve seviyenin yükselmeye devam ederek maksimum su seviyesini, devamında ise baraj hava payını da aşan suyun baraj kreti üzerinden geçtiği durum analiz edilmiştir. Barajın kret seviyesine kadar dolu olduğu ve kret üzerinden suyun geçtiği durumda barajın yıkılmasıyla memba kısmında oluşabilecek taşkın tehlikesinin analizi amaçlanmıştır.

#### **4.2.3. Sivas 4 Eylül Barajı Yıkılma Modeli**

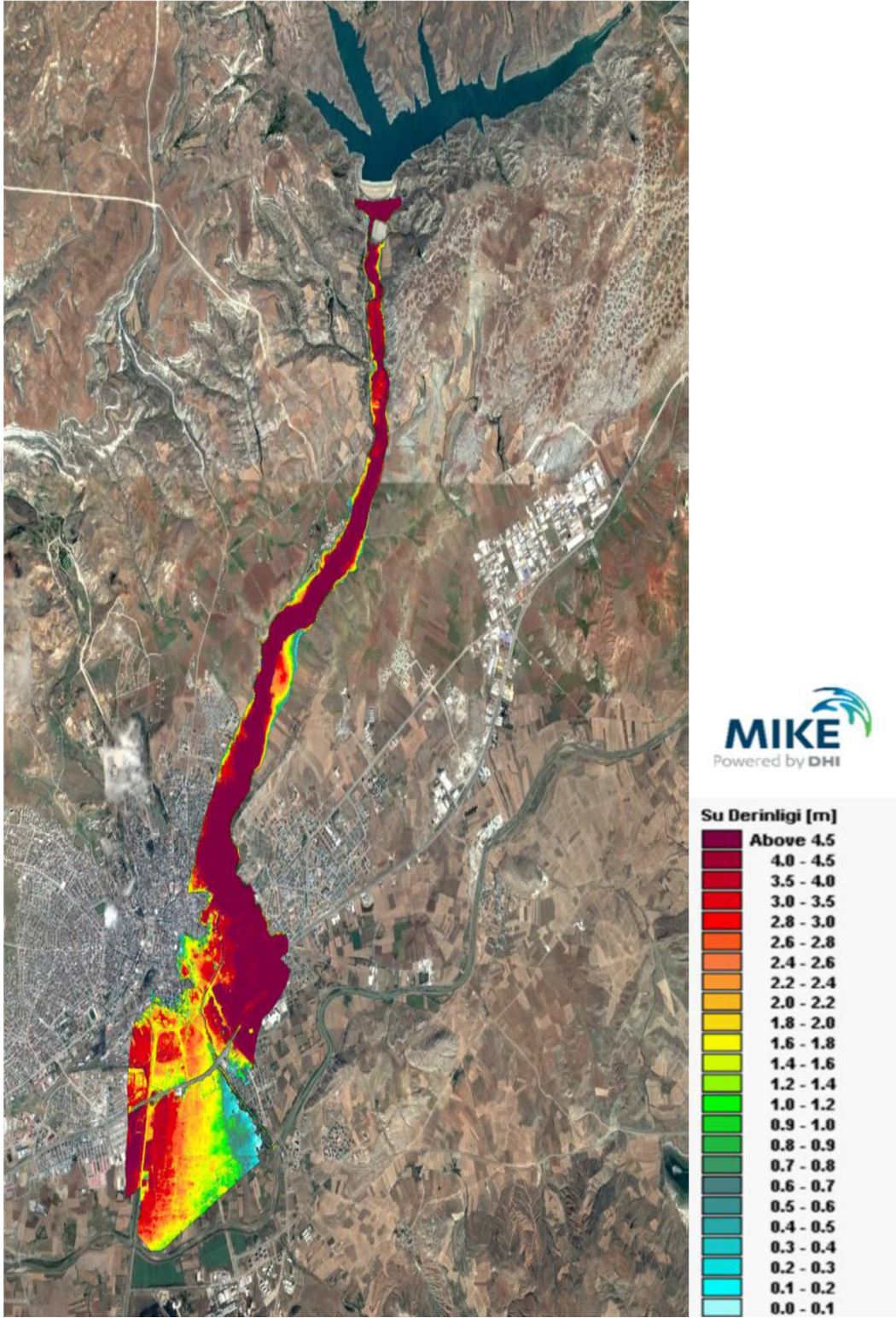
Sivas 4 Eylül Barajı'nın yıkılma analizi için baraj 1 boyutlu olarak MIKE 11'de modellenmiştir. Oluşturulan model sonuçları ile elde edilen taşkın alanları haritaları aşağıda sunulmuştur. Tüm haritalar, 1/25000 ölçekli harita üzerinde yukarıda bahsi geçen 3 senaryonun da tek harita üzerinde taşkın sınırlarının gösterilmesiyle oluşturulmuştur.

Aşağıdaki taşkın yayılım haritalarında da görülebileceği üzere, baraj yıkılması sonucunda, her üç senaryoda da elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu anlaşılmıştır. Genel olarak suyun yayılım gösterebileceği geniş alanlar bulunmaması sebebiyle barajın mansap kısmında olası bir afet durumunda geniş alanların su altında kalamayacağı ancak Sivas İl Merkezi'nin bir kısmının taşkından doğrudan etkilenebileceği anlaşılmıştır.

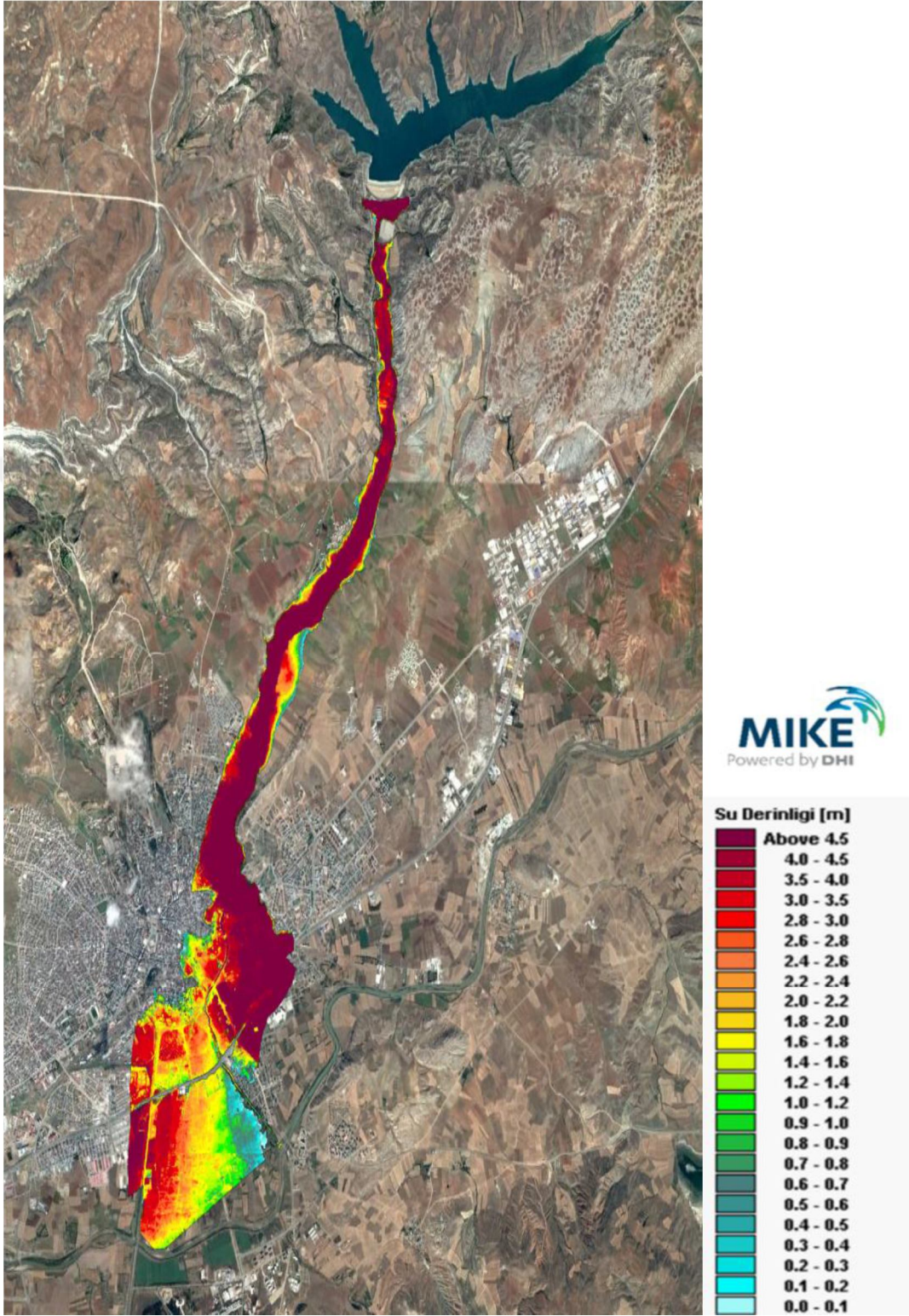




Şekil 4.4. Sivas 4 Eylül Barajının Yıkılması Taşkın Yayılım Haritası (Normal Su Seviyesi)



Şekil 4.5. Sivas 4 Eylül Barajının Yıkılması Taşkın Yayılım Haritası (Maksimum Su Seviyesi)



Şekil 4.6. Sivas 4 Eylül Barajının Yıkılması Taşkın Yayılım Haritası (Üzerinden Aşma)

### **4.3. Taşkın Analizleri**

#### **4.3.1. Taşkın Analizinin Önemi**

Taşkınlar insan yaşamı açısından tehlike oluşturmasının yanı sıra ciddi ekonomik zararlara, çevre tahribatına ve sosyo-kültürel zararlara yol açabilmektedir. Özellikle mansabında yerleşim yerleri bulunan barajlar yapım amaçları arasında taşkından korunma da bulunduğundan, insanlar için beklenmedik tehditler ortaya koymaktadır.

Taşkının çevresindeki arazilere, yerleşim yerlerine, alt yapı tesislerine ve canlılara zarar vermek suretiyle etki bölgesindeki doğal yaşamı olumsuz etkileyerek normal hayatı kesintiye uğratması ve yerel imkânlarla baş edilemeyecek düzeyde bir akış büyüklüğü oluşturması ise taşkın olayının afete dönüşmesidir.

Bilindiği gibi, akarsularımızın akış rejimi düzensiz bir seyir izlemektedir. Bu sebeple meydana gelen taşkınlar, depremden sonra en fazla can ve mal kaybına sebep olan tabii afet olarak bilinmektedir. Bu nedenle taşkın risklerini azaltmak, can ve mal güvenliğini sağlamak ile birlikte halk sağlığını korumak yerel kalkınmayı sürdürebilmek için önemlidir.

Afet, Birleşmiş Milletlerin (BM) kabul ettiği ve en genel tanımıyla da “insanlar için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplara neden olan, normal yaşamı durdurarak veya kesintiye uğratarak toplumları ve işyerlerini etkileyen, yerel imkânlarla baş edilemeyen her türlü doğal, teknolojik veya insan kaynaklı tüm olaylara” denilmektedir. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere bir olayın afete neden olabilmesi için, toplumlar ve kritik tesisler üzerinde kayıplar meydana getirmesi veya toplumun sosyo-ekonomik faaliyetlerini bozarak veya kesintiye uğratarak etkilemesi gerekmektedir.

Taşkının neden olduğu afetlerde de, diğer afetler gibi “Afet Yönetimi” kavramına göre problemin taşkın öncesi, taşkın anı ve sonrası olmak üzere her aşaması ile bir bütün olarak ele alınarak çözüm aranmalıdır. Bu nedenle afet yönetimi taşkınların neden olabileceği her türlü tehlikeye karşı hazırlıklı olma, zarar azaltma, müdahale etme ve iyileştirme amacıyla mevcut kaynakları organize eden analiz, planlama, karar alma ve değerlendirme süreçlerinin tümünü

kapsamaktadır. Diğer bir deyişle, günümüzde afet yönetimi her türlü tehlikeye karşı hazırlıklı olma, zarar azaltma, müdahale etme ve iyileştirme amacıyla mevcut kaynakları organize eden, analiz, planlama, karar alma ve değerlendirme süreçlerinin tümüdür.

Modern afet yönetimi sisteminde, kayıp ve zarar azaltma, hazırlık, tahmin ve erken uyarı, afetleri anlamak gibi afet öncesi korumaya yönelik olan çalışmalara “risk yönetimi” denilirken; etki analizi, müdahale, iyileştirme, yeniden yapılanma gibi afet sonrası düzeltmeye yönelik olarak yapılan çalışmalara ise “kriz yönetimi” adı verilir.

İnsan yaşamı açısından tehlike oluşturmanın yanı sıra ciddi ekonomik zararlara, çevre tahribatına ve sosyo-kültürel zararlara yol açabilecek taşkınların bu olumsuz etkilerini en aza indirebilmek maksadıyla etkin bir taşkın yönetimi için taşkınlarla yerel ölçekte mücadele yaklaşımından, havza ölçeğinde taşkın risklerinin yönetimi yaklaşımına geçilmiştir. Bu kapsamda memba-mansap dayanışması göz önüne alınarak yapısal ve yapısal olmayan tüm önlemler birlikte değerlendirilerek çalışmaların planlanması gerekmektedir.

Bunun bir sonucu olarak yapılmakta olan planlama çalışmaları sırasında ayrıca AB üyelik süreci de göz önünde bulundurularak, taşkın risklerinin havza ölçeğinde değerlendirilmesi ve gereklilikleri de göz önüne alınmaktadır.

Taşkın yönetim planları ile taşkın risklerinin yönetimi hususunda yapılması gerekenin ne olduğu ile bunun ne zaman ve kim tarafından yapılması gerektiği ortaya koyularak taşkın riskleriyle mücadele edilmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda, Taşkın Yönetim Planları taşkın risklerinin yönetilmesi ilgili planlamada varılmak istenen noktadır.

Risk kavramını daha iyi anlayabilmek için tehlike ve “etkilenebilecek unsurlar” kavramlarının belirlenmesi gereklidir. Tehlike, taşkın olayı (suyun yüksekliği, akış hızı, su altında kalma süresi...) anlamına gelirken, etkilenebilecek unsurlar (etkilenebilirlik) kişiler ve mallar olabilir. Risk ise, tehlike ve etkilenebilecek unsurların bir araya gelmesi neticesinde oluşur. Tehlike, etkilenebilecek unsurların bulunduğu alanları etkilediği zaman risk ortaya çıkmış olur.

Taşkın analizi ile hem etkilenebilirliğin azaltılması hem de tehlikenin azaltılması yoluyla taşkınların olumsuz sonuçlarının en aza indirilmesi hedeflenir. Bu kapsamda Taşkın Yönetim Planları taşkınlardan etkilenebilecek nüfus, ekonomik faaliyetler, sosyo-kültürel unsurlar ve çevresel faktörlerin vb. maruz kalabileceği riskin en aza indirilmesi ve mümkünse ortadan kaldırılması maksadıyla uygun hedeflerin belirlenmesini ve bu hedeflere ulaşmak için uygulanacak tedbirlerin planlanmasını kapsamaktadır.

Sağlıklı bir taşkın Yönetim Planı hazırlanabilmesi için, başlangıçtan itibaren tüm aşamaların bir plan dâhilinde gerçekleştirilmesi ve varılmak istenen nihai hedefe, diğer bir deyişle yönetim planının hazırlanmasında ihtiyaç duyulacak bilgi ve verilere, uygun olarak önceki aşamaların tamamlanmış olması çok önemlidir.

Taşkın Yönetim Planları zaman içerisinde güncellenmelidir. Böylelikle döngüler sırasında bir önceki döneme göre riskin durumundaki değişimler gözden geçirilerek, değişen şartlar göz önüne alınabilmekte ve buna göre hedefler ve tedbirlerde gerekli düzenlemeler yapılabilmektedir[1].

Taşkın yönetiminin genel hedefleri şunlardır.

- Hem etkilenebilirliğin hem de tehlikenin azaltılması yoluyla taşkınların olası olumsuz sonuçlarının azaltılması,
- Sürdürülebilir yönetim tedbirlerinin teşvik edilmesi.

Bu genel hedeflere ulaşmak için havza özelinde taşkınlar değerlendirilerek, buna göre uygun hedefler belirlenir. Bu sebeple öncelikle taşkın derinlik haritaları değerlendirilir. Daha sonrasında bu tehlikeyi azaltmak için hedefler belirlenir. Burada belirlenecek hedefler, sonraki aşamalarda belirlenecek tedbirlerin de temelini oluşturacaktır. Planın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için ulaşılabilir hedefler konulması gereklidir.

#### **4.3.2. Bir Boyutlu Taşkın Analizi**

MIKE 11 modeli taşkın, taşkın yayılımı, su kalitesi, tahmin, sediment taşınımı gibi uygulamaların kombinasyonunu içeren nehir mühendisliği alanlarında bir boyutlu (1D) analizler yapılmasına olanak sağlar. MIKE 11 süreklilik ve momentumun

korunumu dikkate alınarak çözüm yapılmaktadır. Kararlı ve kararsız tedricen değişen akış rejimlerinde su yüzeyi profili hesaplanmasında kullanılır. MIKE 11 modeli tek nehir uzanımının olduğu kadar, kollara ayrılmış bir sistem veya bütün bir kanal ağını da modelleyebilir. Kritik altı, kritik üstü ve karışık akımlı akış rejimlerinin su yüzey profillerinin modellenmesi kapasitesine sahiptir. Su seviyeleri ve hızların zamanla değişimini belirlemek için bir boyutlu Saint-Venant denklemlerini çözer. Bir boyutlu modelin çalışması sırasında kullandığı hidrolik denklemlerden biri süreklilik korunumu için kullanılırken, bir diğeri momentumun korunumu için kullanılmaktadır. Basite indirgenmiş bu denklemler 1D modelin iki temel prensibi olan süreklilik ve momentum korunumunun kesitler arası hesaplanmasında model tarafından kullanılmaktadır.

Saint-Venant denklemleri;

$$\left(\frac{dq}{dx}\right) + \left(\frac{dA}{dt}\right) = q$$

$$\left(\frac{dq}{dx}\right) + \frac{\left(\frac{dq^2}{dA}\right)}{dx} + gA \frac{dh}{dx} + \left(\frac{gq|q|}{C^2 AR}\right) = 0$$

şeklinde dir. Bu denklemlerde;

$A$ ; akım alanını ( $m^2$ ),

$q$ ; yanal akımı ( $m^2/s$ ),

$h$ ; su derinliği (m),

$C$ ; Chezy pürüzlülük katsayısını ( $m^{1/2/s}$ ),

$a$ ; momentum dağılım katsayısını,

$x$ ; kartezyen koordinatlarını,

$g$ ; yerçekimi ivmesini ( $m/s^2$ ) ifade etmektedir.

Bu denklemler Thomas algoritması uygulanarak sonlu farklar yöntemiyle çözülür. Hidrolik model hesapları, nehir yatağı boyunca Q noktaları ve H noktaları olarak sınıflandırılan yerlerde debi ve su seviyesi değerlerinin belirlenmesi için yapılmaktadır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde ve Hesaplamalı mühendisliğin bazı problemlerinde zaman zaman üç diyagonal katsayılar matrisine sahip lineer

denklemleriyle karşılaşılr. Üç diyagonalli katsayılar matrisine sahip böyle bir lineer denklemler matrisi biçiminde normal olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ 0 & a_{N,N-1} & a_{NN} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_N \end{Bmatrix}$$

Ancak katsayılar matrisinin çoğu sıfır olan elemanları için bilgisayar hafızasında gereksiz yer işgal etmemek ve gereksiz işlemlerden kaçınmak amacıyla ( $N \times N$ ) boyutlarında bir katsayılar matrisi yerine ( $N \times 3$ ) boyutlarında bir katsayılar matrisi kullanacak biçimde bir düzenleme ve buna uygun bir çözüm algoritması kullanılması tercih edilir. Çözüm için çok tercih edilen bir yöntem Thomas algoritmasıdır. Thomas algoritması aslında Gauss eliminasyon yönteminin üç kolonlu bir dikdörtgensel matris kullanılarak yapılan özel bir uygulamasıdır [27].

h noktaları her kesitte temin edilmekte olup, Q noktaları otomatik olarak ardışık noktaların ortasında ve hidrodinamik yapılarında yer alır.



Şekil 4.7. MIKE 11 hesap şeması

MIKE 11 ortamında, akarsu üzerinde bulunan yapılar (köprü, enerji kırıcı, menfez) Q noktası olarak tanımlanır ve momentum denklemini enerji denklemiyle değiştirilerek çözülür, su yüzeyi profili ve debi hesaplanır.

1D modelde arazi yapısı ve yüksekliği dereye dik alınan kesitler yoluyla tanımlanmaktadır. Model parametrelerinin ifade edilmesi için nehir yatağı boyunca akış yönüne dik olarak hazırlanan kesitler kullanılır. Kesitlerin alınma sıklığı arazi koşulları tarafından belirlenir. Etken faktörler nehir yatağı kesitindeki ve eğimindeki değişimler, sürtünme katsayısındaki değişim, sanat yapıları, ana kol yan kol etkileşimi olarak sıralanabilir.



1D model çalışmaları kapsamında öncelikli olarak, oluşturulan SYM üzerine arazi durumunu ve en iyi temsil edecek kesitler alınmaktadır. Kesit aralığı seçilirken dere yatağında oluşabilecek değişiklikler olabildiğince temsil edilmeye çalışılmış ve gerekli bölgelerde 5 m aralıklarla kesit alınmıştır. Bunun yanında modelde kullanılacak sanat yapılarının en iyi şekilde temsili için sanat yapılarının hemen öncesinden ve hemen sonrasında en kesitler alınarak, modelleme çalışmalarının gerçeğe uygunluğu sağlanmaktadır. Taşkın tehlike haritalarının oluşturulması için en uygun yöntem 2D model olmakla birlikte, 1D model suyun kanal veya akarsu yatağı içindeki hareketini gözlemlemek ve sanat yapılarının durumlarını inceleyebilmek için verimli bir modelleme aracıdır. 1D modelin kanal veya akarsu yatağından taşan suyun arazide yayılımı için kullanılması, şehirleşme olan bölgelerde yeterince hassas değildir. Sadece tek yönde akım gözlenen 1D modelin açık arazi için kullanılması doğru sonuçlar vermemektedir. Aynı zamanda taşkın tehlike alanları için gerekli olan hız vektörleri gibi altlıkları da 1D model ile üretebilmek mümkün değildir. Bu doğrultuda bir boyutlu çalışmalar yapılırken kanal veya akarsu yatağı içinden geçecek maksimum su miktarına kadar değerlendirmeler yapılmaktadır.

Kurulan modelin kararlı olup olmadığını belirlemek amacı ile zaman ve mesafe aralığı dikkate alınarak elde edilen Courant sayısı kullanılmaktadır. Hız, zaman ve mesafe faktörlerine bağlı hesaplanan Courant sayısı hidrodinamik modellemenin sayısal açıdan kararlı ve tutarlı sonuçlar verebilmesi için önemlidir. Bu yüzden Courant sayısının 1'den az olması gerekmektedir.

Courant sayısı,

$$Cr = (\sqrt{gD} + V) \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklemde;

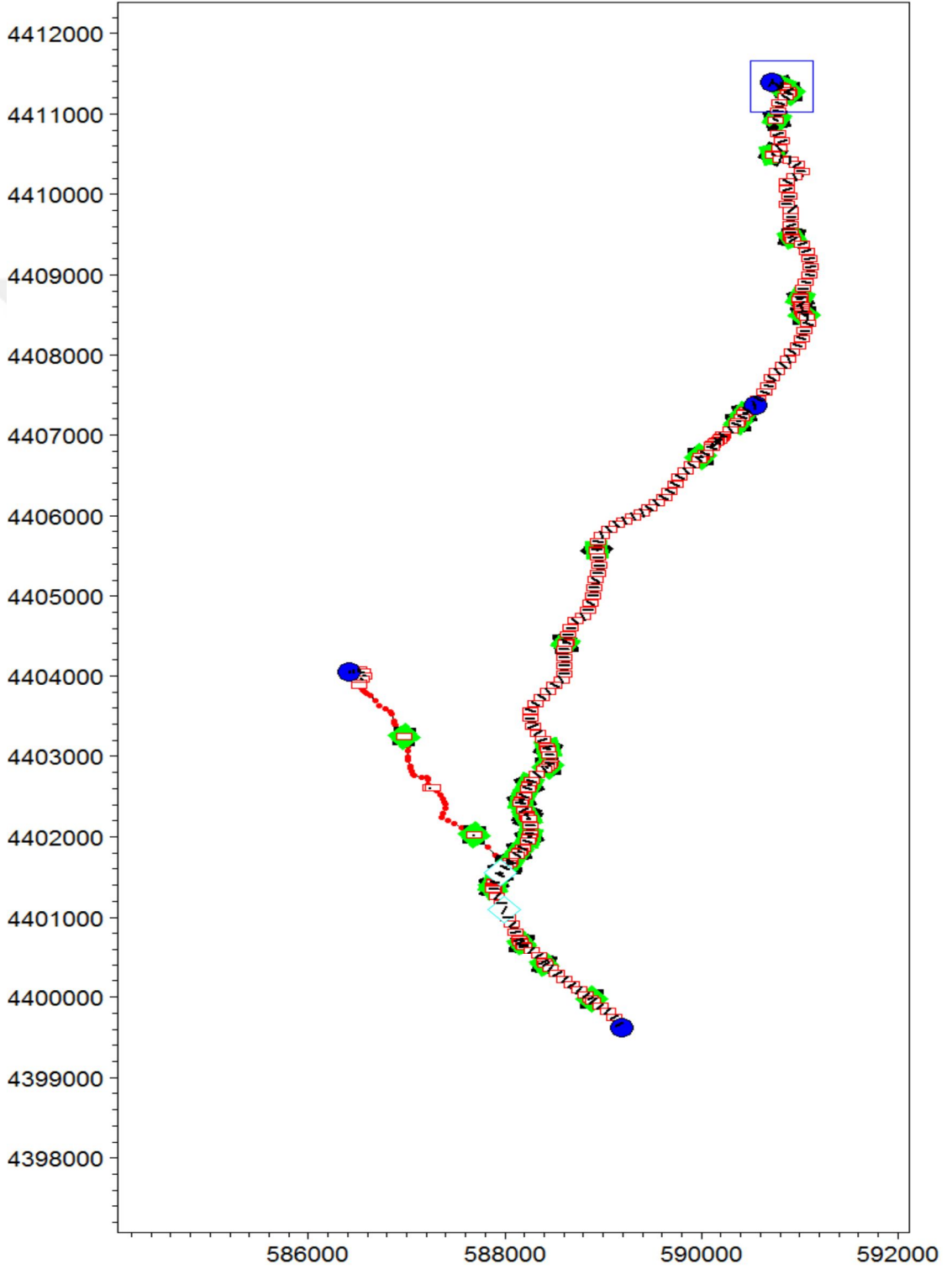
$D$ ; su yüksekliği (m),

$g$ ; yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ ),

$V$ ; akım hızını (m/s) ifade etmektedir.

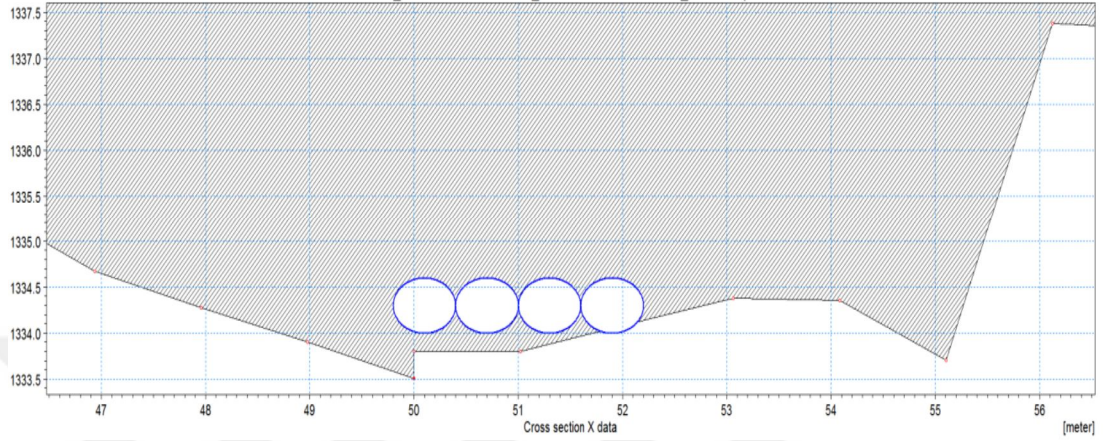
Bu çalışma kapsamında öncelikli olarak, oluşturulan SYM üzerinde 25 m aralıklarla kesitler atılmıştır. Kesit aralığı seçilirken dere yatağında oluşabilecek değişiklikler olabildiğince temsil edilmeye çalışılmış ve gerekli bölgelerde 5-10 m aralıklarla

kesitler alınmıştır. Bunun yanında modelde kullanılacak sanat yapılarının en iyi şekilde temsili için sanat yapılarının hemen öncesinden ve hemen sonrasında kesit alınarak, modelleme çalışmalarının gerçeğe uygunluğu sağlanmıştır.



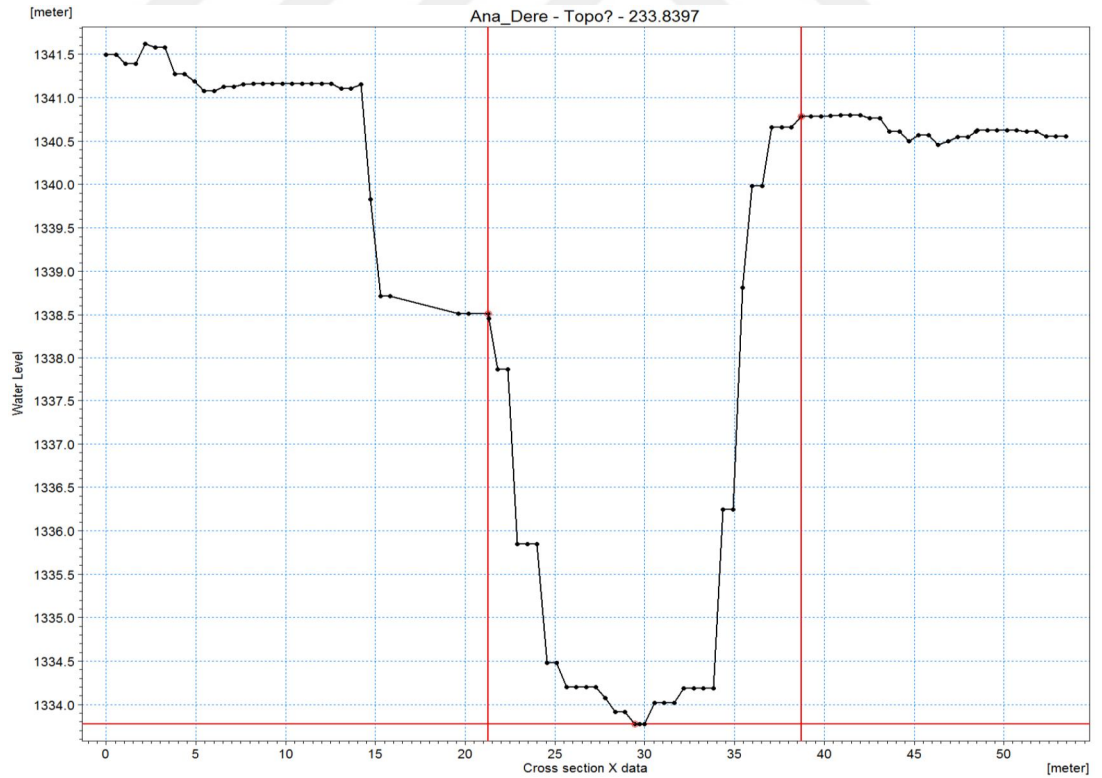
Şekil 4.8. Sivas İl Merkezi Alınan Kesitler ve MIKE Programına Yüklenilmesi

Dere üzerinde bulunan köprü ve menfez gibi sanat yapıları MIKE 11 modeline tanımlanarak akım modellenmiştir. Çalışmada MIKE 11 hidrodinamik modeli, kararsız akım koşullarında çalıştırılmıştır.



Şekil 4.9. Sanat Yapıların MIKE 11 Modeline Tanımlanması

Alınan kesitlerden bir örnek aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Sivas İl Merkezi En Kesit Örneği

### 4.3.3. İki Boyutlu Taşkın Analizi

Bir ve iki boyutlu modeller değerlendirildiğinde yerleşim yerlerindeki taşkınların modellenmesi için iki boyutlu modelin en uygun model olduğu söylenebilir. 1D model kesitler arası çalışıp var olmayan kısımları enterpole ederken 2D model piksel bazında gridler üzerinde çalışarak bütün araziye hesap dâhilinde inceler. Taşkın yayılım alanlarında enine doğrultuda yayılım boyuna doğrultuya oranla daha yavaş ilerlemekte ve bu yöndeki hız ve yükseklikleri doğru modelleyebilmek için 2D modellemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür modelleme engellerin sıklıkla olduğu yerleşim yerlerinde büyük önem arz etmektedir. Bir boyutlu modelin dere güzergâhı boyunca yaptığı hesaplar iki boyutlu modelde x ve y koordinatlarının ikisi de kullanarak taşkın sahalarındaki yayılım tespit edilmektedir.

2D hidrodinamik modelleme kapsamında Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından geliştirilmiş olan ve dünyada benzer taşkın tehlike alanlarının belirlenmesi çalışmalarında kullanılmış olan MIKE 21 kullanılmıştır.

Bu modelde süreklilik ve momentum korunumu dikkate alınarak sayısal çözüm yapılmaktadır. Model çalışırken x ve y yönlerindeki momentum denklemleri çözülmektedir;

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] \\ - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_\alpha) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] \\ - \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_\alpha) = 0 \end{aligned}$$

Bu denklemde;

$h(x,y,t)$  su derinliği ( $m$ ) ( $= \zeta - d$ )

$d(x,y,t)$  zamana bağlı su derinliği ( $m$ )

$\zeta(x,y,t)$  su seviyesi ( $m$ )

$p,q(x,y,t)$  x- ve y- yönünde akış yoğunluğu ( $m^2/s/m$ )

$u,v$  Derinlik integralli x ve y yönünde hız

$g(9.81 m/sn^2)$  yerçekimi ivmesi

$f(V)$  rüzgâr sürtünme faktörü

$V, V_x, V_y(x,y,t)$  rüzgar hızı ve x- ve y- yönündeki bileşenleri ( $m/sn$ )

$\Omega(x,y)$  Coriolis parametresi ( $s^{-1}$ )

$p_a(x,y,t)$  atmosferik basınç ( $k_g/m$ )

$\rho_w$  suyun özgül ağırlığı ( $k_g/m^2$ )

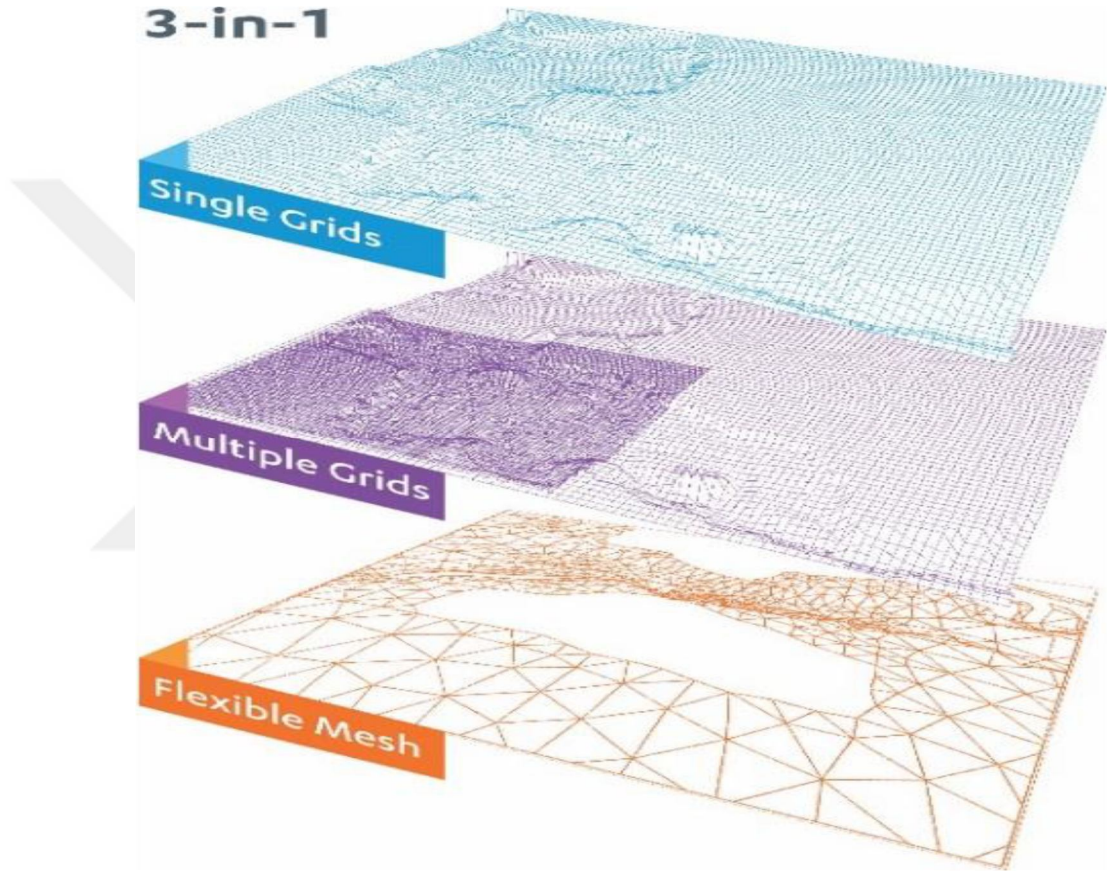
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$  efektif sürtünme stresini temsil etmektedir.

2D modelleme kapsamında gerekli veriler aşağıda sunulmaktadır:

- Proje taşkın hidrografları,
- Sayısal yükseklik modeli,
- Binalar, yollar,
- Memba ve mansap sınır koşulları,
- Mevcut sanat yapıları.

Modelleme çalışmalarında hem hidrolik analiz hem de sayısal analiz prensiplerine uyum temin edilmelidir. 2D özüm sağlayan MIKE 21 üç farklı grid (ızgara) türünde çalışabilmektedir. Seçilen grid modelleme çalışmasını doğrudan ve büyük oranda etkilediği için arazi şartlarına en uygun grid modeli sahayı temsil edecek şekilde seçilmelidir. Tekli grid sistemi, model alanının piksel bazında dikdörtgen gridler kullanarak çeşitli doğrultularda suyun akımını ve akım değişimini modelleyebilmektedir. Model alanı aynı büyüklükteki gridlerle temsil edildiğinden modelin kararlılık sorununun oluşması ve çözüm süresinin uzaması kaçınılmazdır. Çoklu grid sistemi, tekli grid sistemine benzer çalışır ancak projenin ilgi alanına göre dikdörtgen gridlerin özünürlüğu belli alanlarda değiştirilerek daha detaylı çözüm elde edilir. Ani arazi değişikliklerinin olduğu, yapılaşmanın görüldüğu haritalarda

esnek grid yönetimi hava fotoğrafı gibi detaylı yapılan haritalamalar için uygundur. Esnek grid, proje alanını geometriden bağımsız olarak temsil edebilir. Dikdörtgen gridler yerine üçgenleri kullanan esnek grid sistemi, model alanını belirli parçalara ayırarak, istenilen çözünürlük değerleri ile birlikte detaylı sonuçlar edilmesine olanak sağlar. Üç farklı grid sisteminin temsili aşağıdaki şekilde verilmiştir.

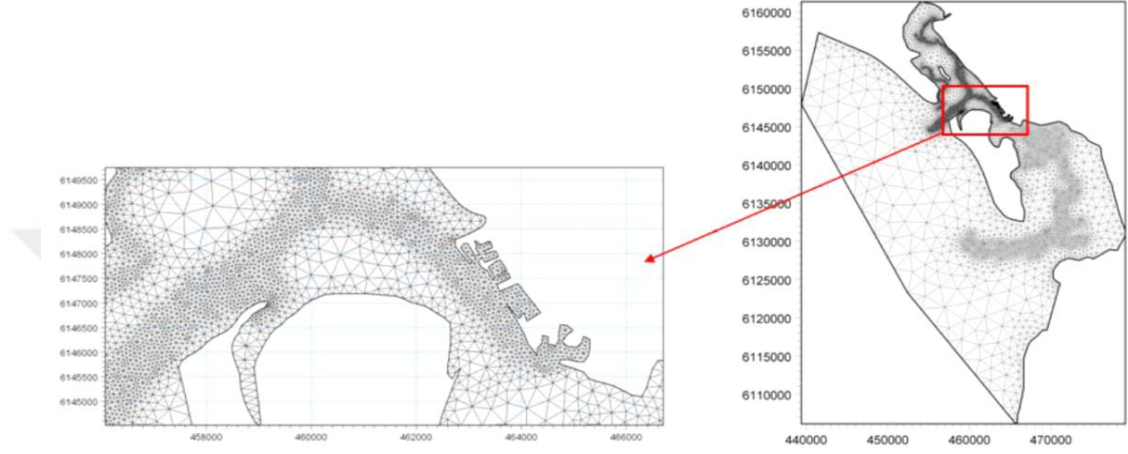


**Şekil 4.11.** MIKE Modelinde Tanımlı Grid Sistemleri

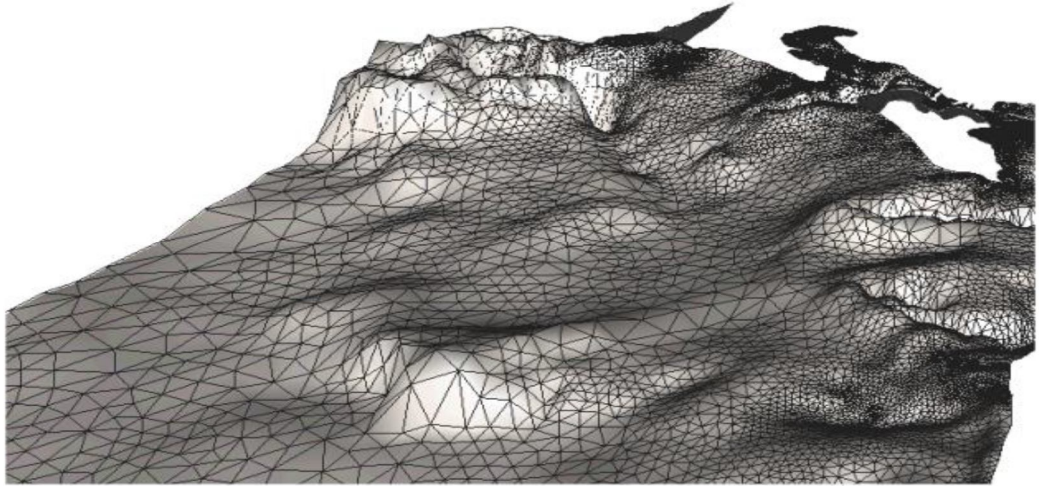
Bu çalışmada, tekli grid ve çoklu grid yaklaşımlarında yaşanabilecek kararlılık problemi ve gerekli altlıkların oluşturulması için elzem girdilerden biri olan yüksek çözünürlüklü yükseklik haritalarının mevcut olması nedeniyle esnek grid yöntemi kullanılması tercih edilmiştir. MIKE 21 esnek grid modülü Merkezi İşlem birimi (CPU) yerine Grafik İşlemci Ünitesini (GPU) kullanabildiği için, çok daha hızlı çözüm üretebilmektedir.

2D modelde esnek grid yaklaşımında sonlu hacimler yöntemi ile aynı alanda “implicit” (kapalı), zamanda ise “explicit” (açık) olarak denklem çözümleri sayısal

olarak sağlanır. Esnek grid yönteminde tüm çalışma alanının sayısal arazi modeli farklı boyutlarda oluşturulmuş üçgenlerin köşelerinde tanımlanmış kotlarla ifade edilir. Aşağıda 2D modelde hazırlanmış esnek grid modelinin temsili grid altlığı verilmektedir.



**Şekil 4.12.** Arazinin İki Boyutlu Olarak Üçgen Grid İle Modellenmesi

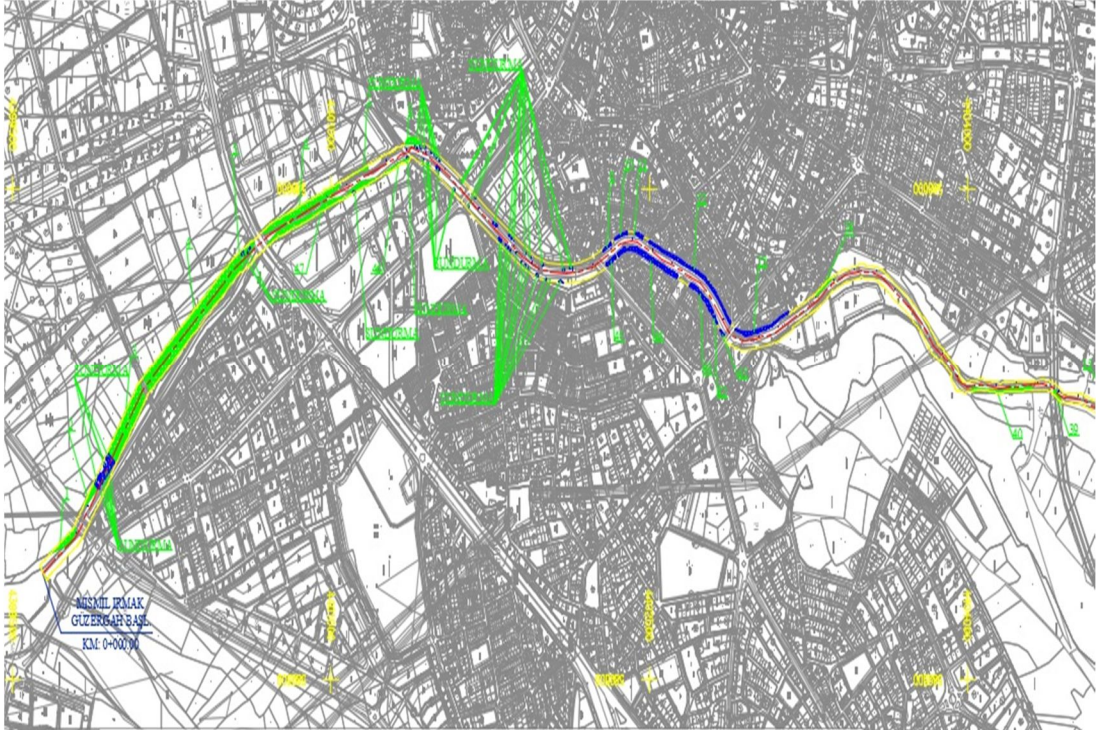


**Şekil 4.13.** Arazinin Üç Boyutlu Olarak Üçgen Grid İle Modellenmesi

Topografyayı en iyi şekilde temsil etmek için, akışın olduğu dere yatağında ve yerleşim yerlerinde grid çözünürlüğü artırılmıştır. Ayrıca, ani arazi değişikliklerinin olduğu alanlarda, kararlılık problemi olabileceğinden dolayı, grid çözünürlüğü artırılmıştır.

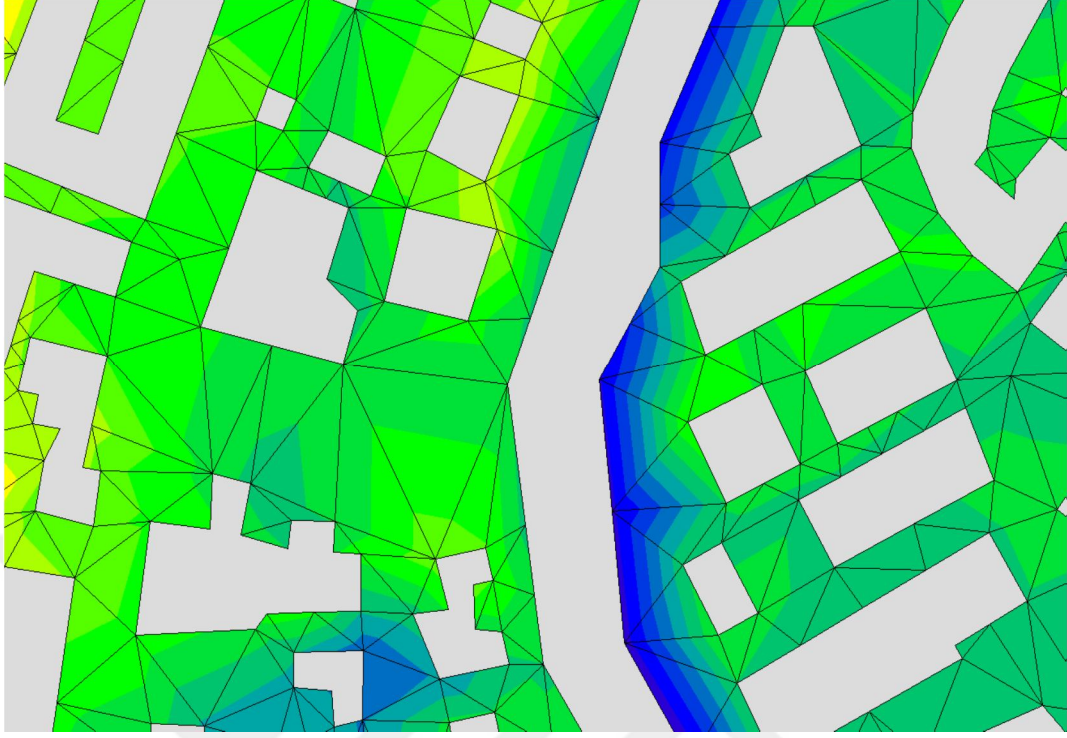
Bu çalışma kapsamında, minimum 1 m<sup>2</sup> alana sahip gridler kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın aynı zamanda pratik olması ve kısa zamanda çözüm alınabilmesi de önemli olduğundan grid boyutları zaman ve doğruluk anlamında optimize edilerek belirlenmiştir.

Taşkın tehlike haritalarının oluşturulması için kullanılan MIKE 11, MIKE 21 ve MIKE FLOOD programlarıyla 1 ve 2 boyutlu modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Modele ilk girdi olarak taşkın tekerrür debileri için hidrograflar hazırlanmıştır. Bu hidrograflar modelde memba sınır koşulu olarak kullanılmıştır. Bu sürecin devamında 2D modelin en önemli kısımlarından Sayısal Yükseklik Modeli girdi olarak hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında, hazırlanan haritalar yüzey tanımlanması yapılmıştır. Devamında var olan bu yüzeyde esnek grid oluşturularak yine onaylı haritalardan elde edilmiş binalar tanımlanmıştır. Binaların tanımlanması sürecinde açık alanda su yayılımı sırasında önemli derecede engel oluşturabilecek her türlü yapı tanımlanmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.14. Sivas İl Merkezi Kadastral Harita Kesiti





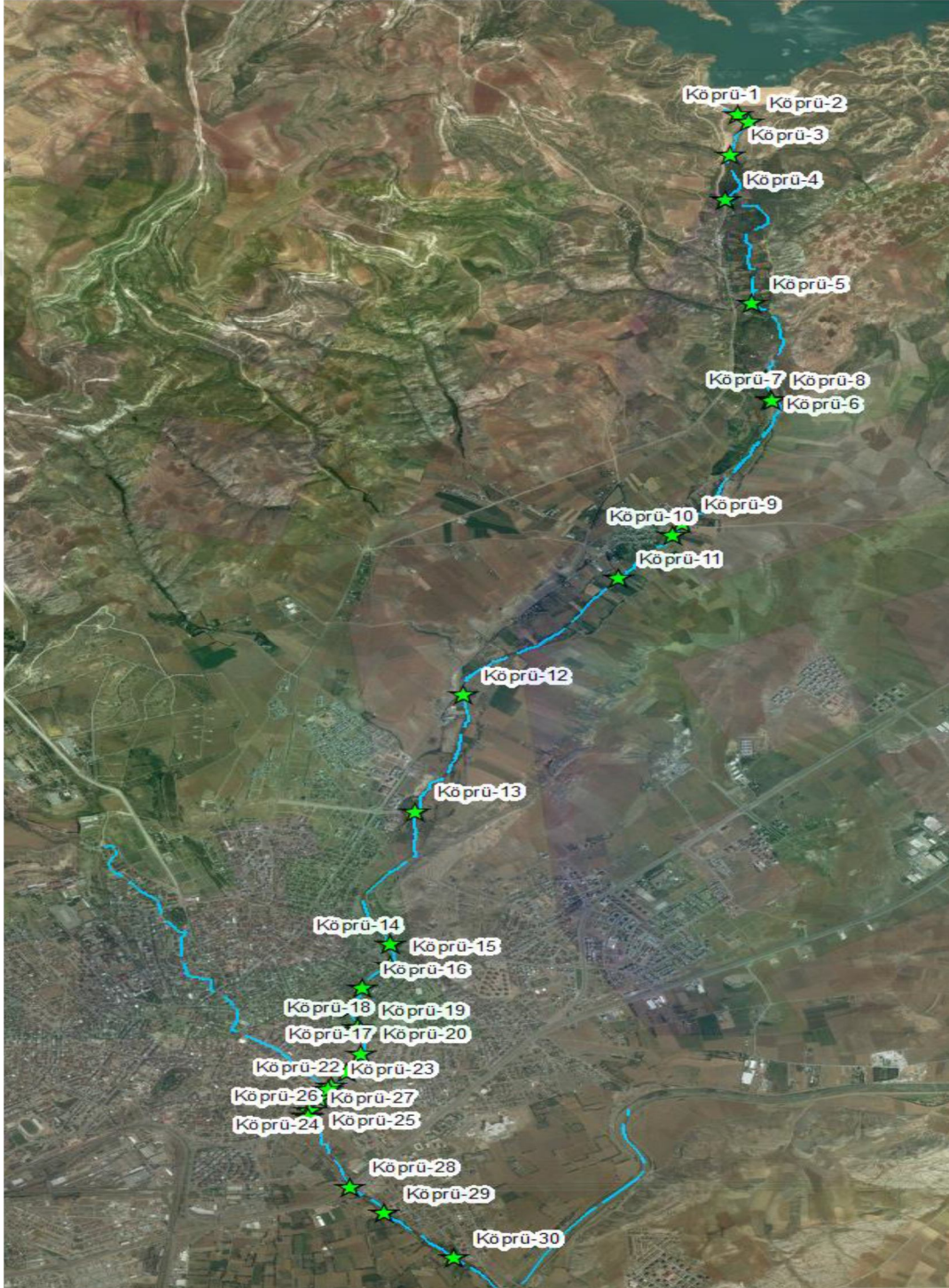
**Şekil 4.15.** Üçgen Grid Oluşturulurken Binaların Tanımlanması

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere, dere hattında ve yerleşimin olduğu alanlarda yoğun olarak grid oluşturulmuş, yükseltisi fazla olan alanlarda ise gridler seyrekleştirilmiştir. Bunun sebebi, dere hattında ve yerleşimin olduğu alanlarda detaylı sonuçlar elde etmektir. Mevcut binalarda ise grid oluşturulmamıştır ve binalar modele bu şekilde tanımlanmıştır.

Model simülasyonunda sınır şartları tanımlamak gerekmektedir. Bu rapor kapsamında il merkezlerinde memba sınır koşulu olarak hidrolojik çalışmalar sonucunda bulunan  $Q_{500}$  ve  $Q_{1000}$  hidrografları olarak çalışma kapsamındaki bütün derelerin memba kesiminde tanımlanmıştır. Mansaptaki hidrodinamik koşullarda ise su kotu değerleri sınır koşul olacak şekilde belirlenmiştir.

Proje alanında sanat yapısı olarak çeşitli açıklıklarda, farklı sayıda ayaklı ve çeşitli malzemeler ile yapılmış köprü geçişleri bulunmaktadır. Bu bölgede bulunan sanat yapılarının rölemleri girilerek modelleme çalışmaları sürdürülmüştür. Suyun akışına etki edecek her türlü sanat yapısı bir boyutlu MIKE 11 modeline tanımlanmıştır. Şev üstlerinden taşan suyun yayılması ise MIKE 21 programında modellenmiştir.

Derelerde bulunan 30 adet köprünün tamamı bir boyutlu model içerisine işlenmiş ve böylece taşkın ihtimaline olan etkileri araştırılmıştır. Her bir köprü için araziden alınan rölemler kullanılarak, hassas bir şekilde girdi sağlanmıştır. Aşağıdaki şekilde model içerisine tanımlanmış olan köprülerin lokasyonları verilmiştir.



Şekil 4.16. Sivas İl Merkezi Köprü Konumları

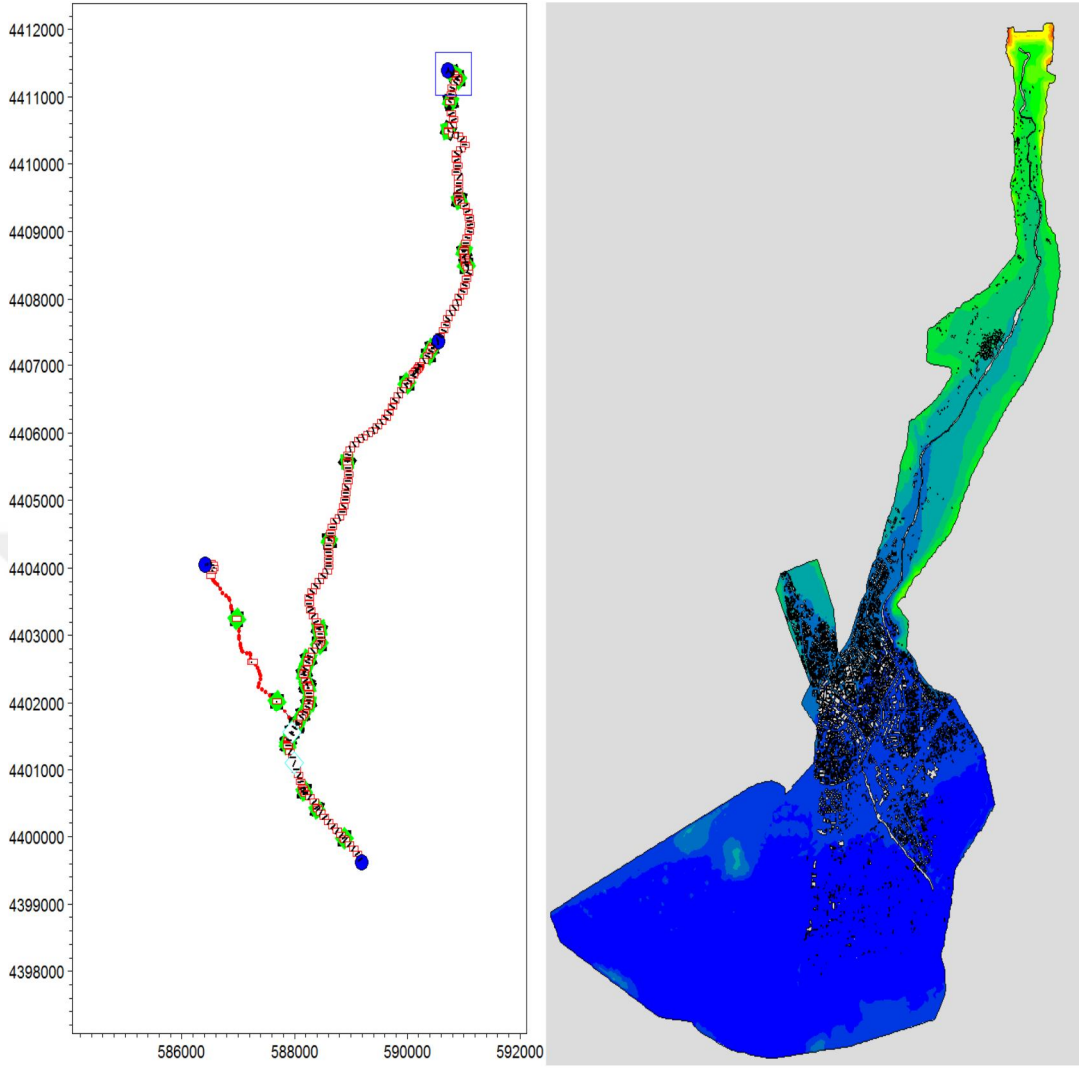
#### **4.3.4. Bütünleşik Bir Boyutlu ve İki Boyutlu Hidrodinamik Modelleme**

Bir boyutlu ve iki boyutlu hidrodinamik modelleme çalışmalarının birlikte kullanımı taşkın risk alanlarının oluşturulacağı bazı alanlar için büyük önem teşkil etmektedir. Bütünleşik çalışmaların temel amacı her yerde iki boyutlu model kullanımının yerine dere yatağının içerisinde bir boyutlu modellemenin kullanılmasıdır. MIKE FLOOD modeli 1D ve 2D bütünleşik olarak çalışmaya olanak sağlamaktadır. Dere yatağı içinde akım 1D olarak modellenmekte ve MIKE 11 kullanılmaktadır. Suyun şev üst kotlarını aşip arazide akışına başladığında ise MIKE 21 modeli ile 2D olarak modelleme yapılabilmektedir. Nihai aşamada MIKE 11 ve MIKE 21 modellerinin bütünleşik olarak çalıştığı MIKE FLOOD kullanılmıştır.

#### **4.4. Hidrodinamik Modelleme Sonuçları**

Her bir proje risk kesiminde taşkın yayılım alanlarında su derinliği, hızları ve taşkın tehlike dereceleri aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır. Modele ilk girdi hesaplanan debiler memba koşulu olarak tanımlanmıştır. Bu sürecin devamında iki boyutlu modelin en önemli kısımlarından SYM girdi olarak hazırlanmıştır. Devamında bir boyutlu ve iki boyutlu modeller hazırlanmıştır. İki boyutlu modelde binaların tanımlanması sürecinde açık alanda su yayılımı sırasında önemli derecede engel oluşturabilecek her türlü yapı tanımlanmaya çalışılmıştır.

Dere içi bir boyutlu olarak modellenmiştir. Harita çalışmaları tamamlandıktan sonra dere içi en kesitleri ve sanat yapıları eklenerek bir ve iki boyutlu bütünleşik modelleme yapılmıştır. Aşağıda bir boyutlu MIKE 11 ve iki boyutlu MIKE 21 modeli görülmektedir.



Şekil 4.17. Sivas İl Merkezi, 1 ve 2 Boyutlu Modelleri

## 5. TAŞKIN TEHLİKE HARİTALARI

Dünyada yaygın olarak taşkın ile ilgili yayılımları temsil edebilmek amacıyla iki farklı harita oluşturulduğu bilinmektedir. Bunlar “Taşkın Yayılım Alanları Haritaları” ve “Taşkın Tehlike Haritaları”dır. Taşkın yayılım alanları, taşkın yayılma sınırları ile bu sınırlar içerisindeki su derinliklerini gösteren altlıklardır. Taşkın tehlike haritaları ise taşkın alanları içerisinde kalan bölgelerin tehlike derecelerine (TD) göre sınıflandırılması ile oluşturulan haritalardır. Tehlike dereceleri: (i) Düşük, (ii) Orta, (iii) Yüksek ve (iv) Çok Yüksek Tehlike, olarak sınıflandırılmakta ve aşağıdaki formülle hesaplanan değerlere göre belirlenmektedir.

$$TD = [\text{Derinlik} \times (\text{Hız} + 0,5)] + \text{Süprüntü Faktörü} \quad [28].$$

Bu formüldeki derinlik, iki boyutlu modelleme sonucunda modelleme alanında yer alan her bir grid için su derinliği değerlerini temsil etmektedir. Hız ise yine aynı gridler için simüle edilen hız değerlerini temsil etmektedir. Süprüntü (Mucur, Moloz, Taşımın, vs.) faktörü ise süprüntü miktarının taşkın tehlikesine katkısının etkisini göz önünde bulundurmak amacı ile hesaplama katılan bir parametredir. Genellikle bu faktör ile ilgili yeterli detaylı ölçüm bulunmadığı için hız, derinlik ve arazi kullanımına bağlı olarak aşağıdaki tabloda belirtildiği şekilde hesaplanır.

**Tablo 5.1.** Süprüntü Faktörü – Derinlik & Hız İlişkisi

Derinlik & Hız	Mera / Ekilebilir Alan	Orman	Şehir
0 m < derinlik < 0.25 m	0	0	0
0.25 m < derinlik < 0.75 m	0	0,5	1
Derinlik > 0.75 m ve/veya Hız > 2 m/s	0.5	1	1

Bu kapsamda MIKE 21 modeli sonucunda belirlenen hız ve derinlik parametreleri ile arazi kullanımlar yukarıdaki verilen formülde yerine konarak model alanındaki her bir grid için Tehlike Dereceleri belirlenmiş ve “Taşkın Tehlike Alanları” haritaları üretilmiştir. Tehlike sınıfları aralıkları ve seviyeleri aşağıda özetlenmiştir.

- Düşük: Tehlike Derecesinin 0,75’den küçük olduğu durumlar

- Orta: Tehlike Derecesinin 0,75 – 1,25 arasında olduğu durumlar
- Yüksek: Tehlike Derecesinin 1,25 – 2,50 arasında olduğu durumlar
- Çok Yüksek: Tehlike Derecesinin 2,50’den yüksek olduğu durumlar

Bu kapsamda üretilen taşkın tehlike alanlarını gösteren haritalar aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

Çalışma kapsamında Sivas 4 Eylül Barajı Mansabı ile Mevlana deresi yan kolunda modelleme çalışmaları yapılmıştır. Nehrin baraj sonrası ile başlayan bölümünden ana kol olan Kızılırmak’a mansaplandığı kısma kadar tüm hat modellenmiştir. Bu hattın uzunluğu 14500 metre dolayındadır. Aynı zamanda yan kol olan Mevlana Deresi de kapalı kesite girdiği noktaya kadar modellenmiş ve getirdiği su kapalı kesit ile ana kola mansaplanmıştır. Bu sayede yan kol incelenmiş ve aynı zamanda getirdiği su ana kola iletilerek etkileri araştırılmıştır. Aynı zamanda ana kola Mısımlırmağı havzası da etki ettiğinden ana kolun ilgili noktasından giriş hidrografi tanımlanmıştır.

Sivas için modellemede kullanılan 500 ve 1000 yıllık yinelemeli taşkın pik debileri çalışmanın ilgili bölümlerinde verilmiştir. MIKE 21 modeli sonuçları ile oluşturulan taşkın alanları ve taşkın tehlike alanları haritaları, uydu görüntüleri üzerinde aşağıda verilmiştir.

1D modellerin incelenmesi sonucunda, hat boyunca muhtelif yerlerde derenin yatağından çıkma eğilimi gösterdiği ve kesitlerin yetersiz görüldüğü bazı bölgeler tespit edilmiştir. Hat boyunca 30 adet köprünün bulunması, köprü üzerinden aşma oluşmaması durumunda dahi, yatak daralması sebebiyle köprülerin membaında kabarmalara ve suyun dere yatağından çıkması ihtimaline sebep olabilmektedir.

**Tablo 5.2.** Sivas İl Merkezi Köprü Durumu

			AŞMA DURUMU			
			Baraj Etkili		Baraj Etkisiz	
Numara	Köprü Adı	Konumu (m)	Q1000	Q500	Q1000	Q500
1	Köprü-1	110	VAR	VAR	YOK	YOK
2	Köprü-2	240	YOK	YOK	YOK	YOK

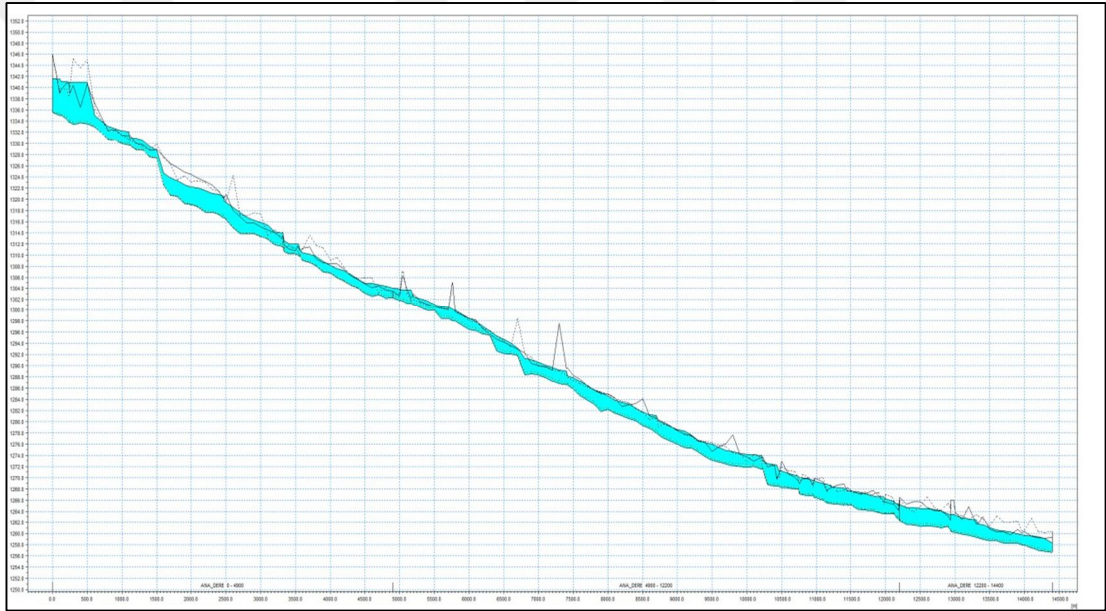
**Tablo 5.2.Devamı** Sivas İl Merkezi Köprü Durumu

3	Köprü-3	600	VAR	VAR	YOK	YOK
4	Köprü-4	1102	VAR	VAR	YOK	YOK
5	Köprü-5	2461	YOK	YOK	YOK	YOK
6	Köprü-6	3325	VAR	VAR	YOK	YOK
7	Köprü-7	3540	VAR	VAR	YOK	YOK
8	Köprü-8	3553	VAR	VAR	YOK	YOK
9	Köprü-9	5045	YOK	YOK	YOK	YOK
10	Köprü-10	5180	VAR	VAR	VAR	VAR
11	Köprü-11	5760	YOK	YOK	YOK	YOK
12	Köprü-12	7410	VAR	VAR	YOK	YOK
13	Köprü-13	8715	YOK	YOK	YOK	YOK
14	Köprü-14	10225	VAR	VAR	YOK	YOK
15	Köprü-15	10443	YOK	YOK	YOK	YOK
16	Köprü-16	10750	YOK	YOK	YOK	YOK
17	Köprü-17	10965	YOK	YOK	YOK	YOK
18	Köprü-18	11170	YOK	YOK	YOK	YOK
19	Köprü-19	11206	YOK	YOK	YOK	YOK
20	Köprü-20	11445	YOK	YOK	YOK	YOK
21	Köprü-21	11650	YOK	YOK	YOK	YOK
22	Köprü-22	11830	YOK	YOK	YOK	YOK
23	Köprü-23	11860	YOK	YOK	YOK	YOK
24	Köprü-24	11980	YOK	YOK	YOK	YOK
25	Köprü-25	12117	YOK	YOK	YOK	YOK
26	Köprü-26	12165	YOK	YOK	YOK	YOK
27	Köprü-27	12183	YOK	YOK	YOK	YOK
28	Köprü-28	12960	YOK	YOK	YOK	YOK
29	Köprü-29	13320	VAR	YOK	VAR	YOK
30	Köprü-30	13975	YOK	YOK	YOK	YOK

Yapılan hidrodinamik modelleme çalışmalarına göre, yukarıda listesi de görülebilecek olan köprülerin bir bölümünde üzerinden suyun aştığı ve aynı zamanda savaklanarak ilerlemeye devam ettiği anlaşılmıştır. Aynı zamanda, yapılan incelemelerde, kesit daralmaları sebebiyle bazı köprülerin memba kısımlarında kabarmalar oluşmuş ve dolayısıyla taşkın riski ihtiva ettiği belirlenmiştir.

Köprülerle alakalı olarak kapasite değerlendirmesi yapılırken yalnızca üzerinden aşan suyun dikkate alınması durumunda baraj etkisiz senaryo için 500 yıllık taşkın tekerrür debisinde yalnızca bir köprünün kapasitesinin yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Ancak değerlendirme yapılırken, köprünün memba tarafına etkisi dikkate alınmalı ve aynı zamanda olası bir taşkında sularla birlikte taşınacak malzemelerin tıkanmalara sebebiyet verebileceği unutulmamalıdır.

Model sonuçları incelendiğinde taşkın yatağının tüm debilerde senaryolarda taşkına sebebiyet verdiği anlaşılmıştır. Aşağıda her bir senaryo için boy profiller verilmiştir. Aşağıdaki profillerde taşkın yaşanan bölümler görülebilmektedir.



Şekil 5.1. Sivas 4 Eylül Barajı Mansabı Boy Profili (Q<sub>1000</sub> – Baraj Etkili)

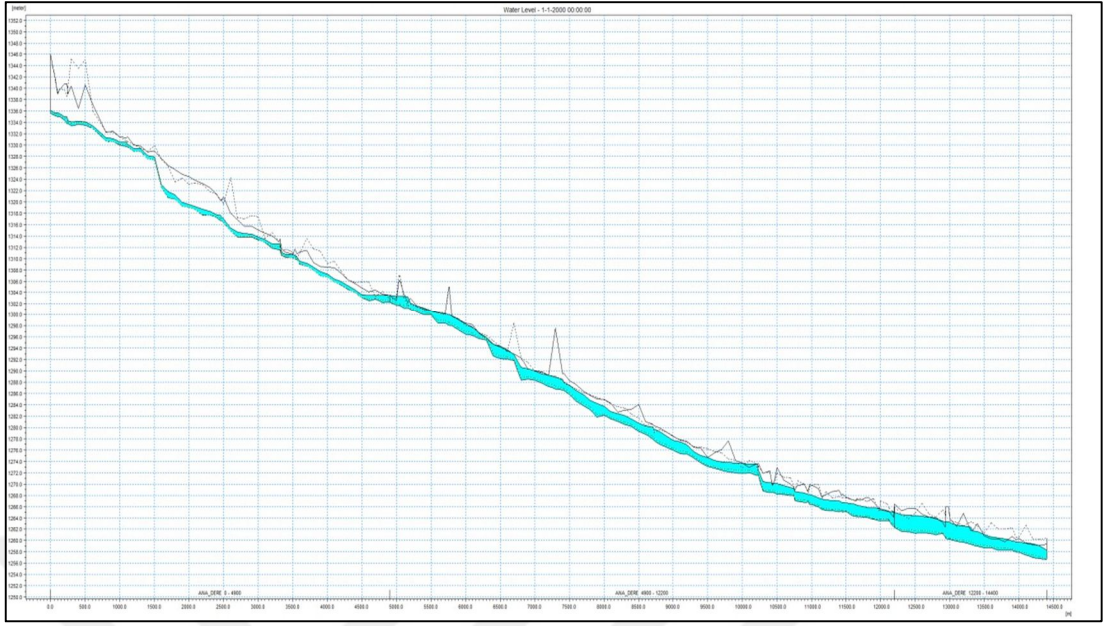




Şekil 5.2. Sivas 4 Eylül Barajı Mansabı Boy Profili ( $Q_{1000}$  – Baraj Etkisiz)



Şekil 5.3. Sivas 4 Eylül Barajı Mansabı Boy Profili ( $Q_{500}$  – Baraj Etkili)

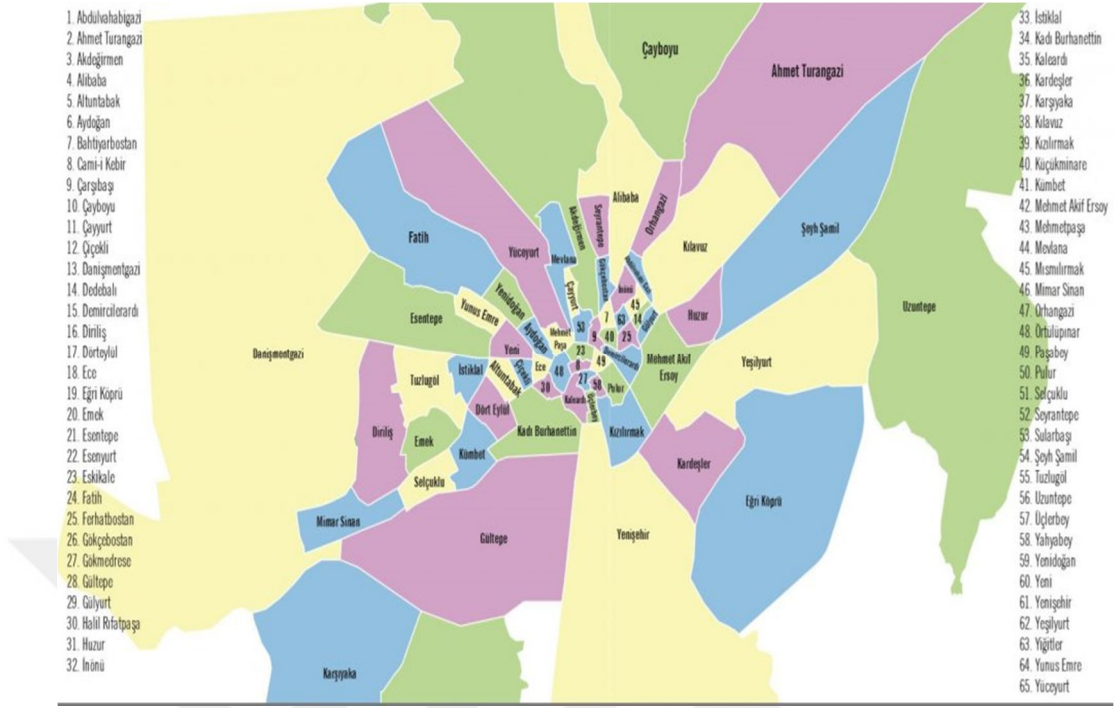


**Şekil 5.4.** Sivas 4 Eylül Barajı Mansabı Boy Profili ( $Q_{500}$  – Baraj Etkisiz)

Sivas İl Merkezi'ne kadar olan bölümde derenin derin bir vadiden akması dolayısıyla geniş yayılım alanları oluşmamıştır. Ancak, il merkezi yerleşiminde daha düz bir arazinin bulunması suyun geniş alanlara yayılabilmesine olanak sağlamıştır. Her iki sahilde geniş yayılım alanları olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 5.3.** Sivas İl Merkezi Özet Sonuçları

	Maksimum Su Derinliği (m)	Ortalama Su Derinliği (m)	Maksimum Su Hızı (m/s)	Ortalama Su Hızı (m/s)
$Q_{1000}$ (Baraj Etkili)	3.63	0.42	3.93	0.24
$Q_{500}$ (Baraj Etkili)	3.14	0.41	3.89	0.21
$Q_{1000}$ (Baraj Etkisiz)	2.98	0.41	3.11	0.16
$Q_{500}$ (Baraj Etkisiz)	2.89	0.40	3.02	0.16



**Şekil 5.5.** Sivas İl Merkezi Mahalle Haritası  
[http://www.sivas.bel.tr/Files/PDF/belediye\\_kitap\\_ilharitasi2.pdf](http://www.sivas.bel.tr/Files/PDF/belediye_kitap_ilharitasi2.pdf)

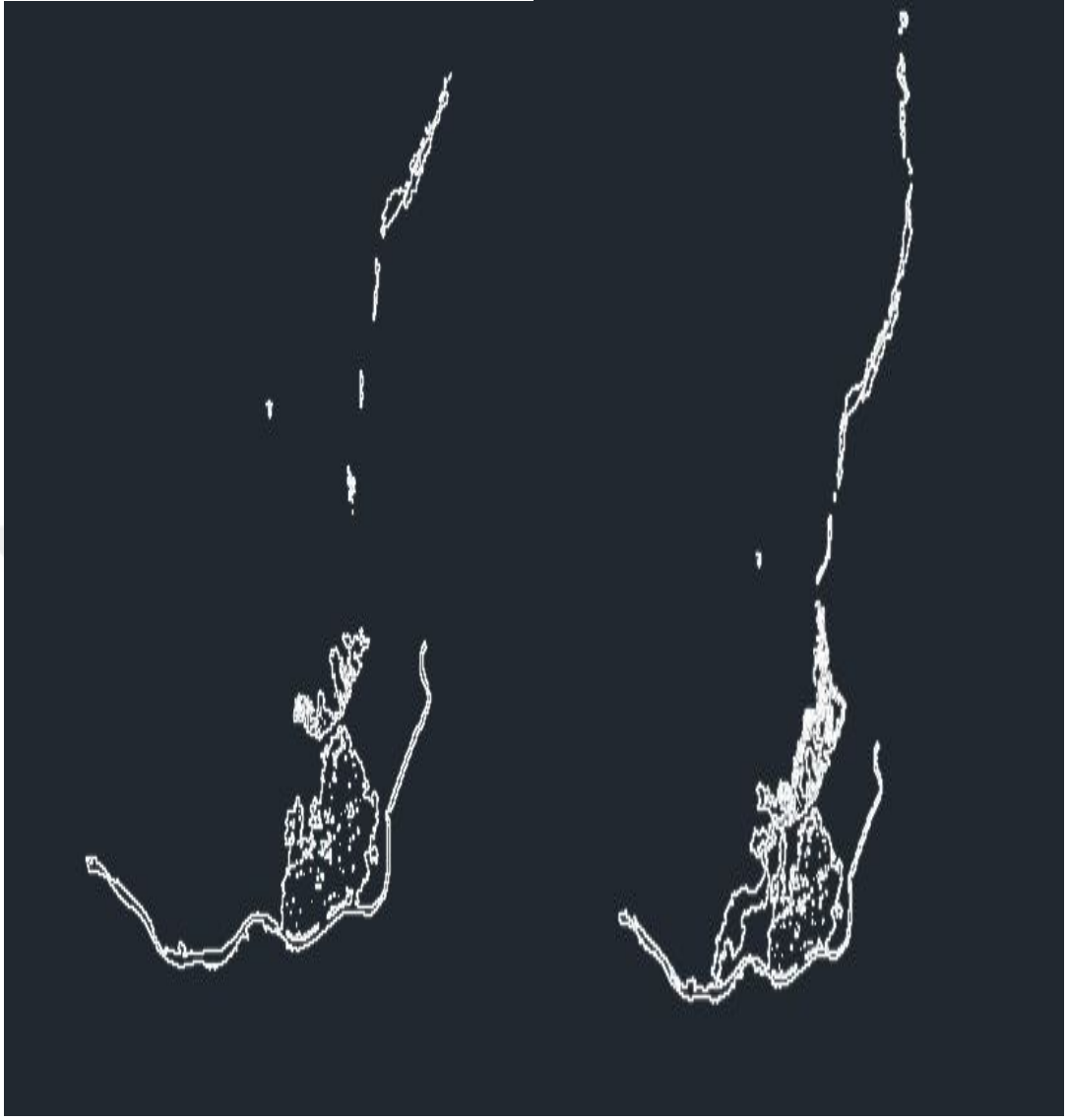
2018 yılı adrese dayalı nüfus sayımına göre Sivas İl Merkezi'nde bulunan mahalle nüfusları aşağıdaki Tablo 5.4. de verilmiştir [29].

**Tablo 5.4.** Sivas İl Merkezi Mahalle Nüfusları

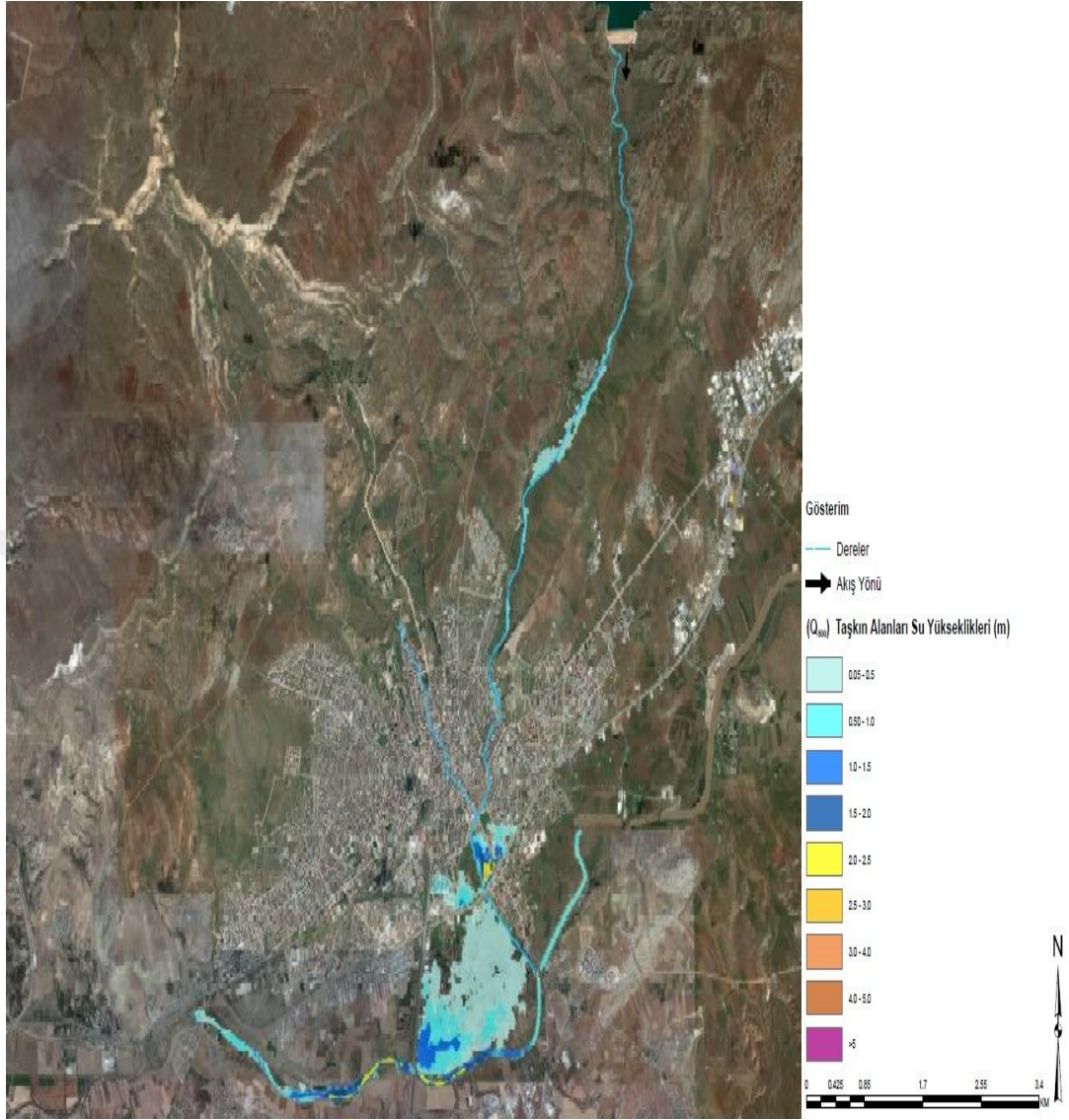
Mahalle Adı	Mahalle Nüfusu
Şeyh Şamil Mah.	19550
Yenişehir Mah.	18317
Fatih Mah.	16456
Diriliş Mah.	14757
Alibaba Mah.	14165
Mehmet Akif Ersoy Mah.	12698
Huzur Mah.	11729
Emek Mah.	10621
Mevlana Mah.	9818
Yenidoğan Mah.	9261
Kılavuz Mah.	8932
Akdeğirmen Mah.	8528
Selçuklu Mah.	8334
Kümbet Mah.	7780
Mimar Sinan Mah.	7142
Dört Eylül Mah.	7095
Esentepe Mah.	7045
Yeni Mah.	6894
Yüceyurt Mah.	6680
Yunus Emre Mah.	6621
İstiklal Mah.	6503
Kardeşler Mah.	6024
Tuzlugöl Mah.	5886

**Tablo 5.4.Devamı** Sivas İl Merkezi Mahalle Nüfusları

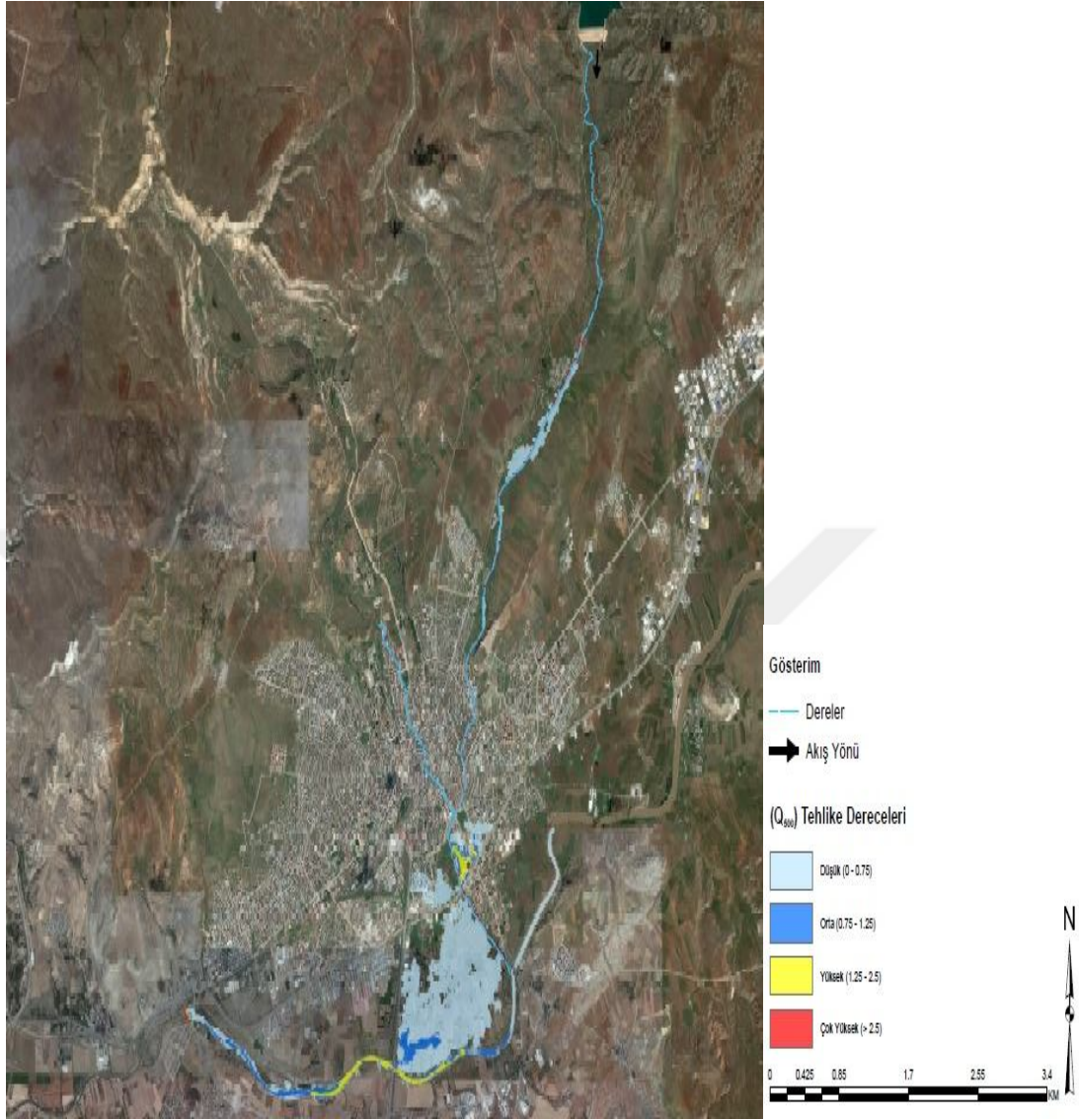
Ahmet Turan Gazi Mah.	5849
Altuntabak Mah.	5650
Eğriköprü Mah.	5393
Inönü Mah.	4557
Ece Mah.	4461
Örtülüpınar Mah.	4382
Aydoğan Mah.	4382
Seyrantepe Mah.	4236
Mehmetpaşa Mah.	4027
Karşıyaka Mah.	3852
Kadı Burhanettin Mah.	3782
Çayyurt Mah.	3771
Demircilerardı Mah.	3719
Gökçebostan Mah.	3621
Pulur Mah.	3520
Çiçekli Mah.	3189
Kaleardı Mah.	3021
Abdulvahabigazi Mah.	2895
Halil Rıfatpaşa Mah.	2766
Ferhatbostan Mah.	2656
Sularbaşı Mah.	2650
Yeşilyurt Mah.	2522
Gülyurt Mah.	2507
Kızılırmak Mah.	2424
Gültepe Mah.	2409
Orhangazi Mah.	2390
Mısmılırmak Mah.	2365
Üçlerbey Mah.	2289
Bahtiyarbostan Mah.	2276
Küçükminare Mah.	2042
Yiğitler Mah.	1893
Cami-i Kebir Mah.	1836
Paşabey Mah.	1812
Yahyabey Mah.	1704
Çarşıbaşı Mah.	1597
Esenyurt Mah.	1256
Dedebalı Mah.	1160
Gökmedrese Mah.	945
Uzuntepe Mah.	848
Çayboyu Mah.	582
Eskikale Mah.	385
Danişmentgazi Mah.	223



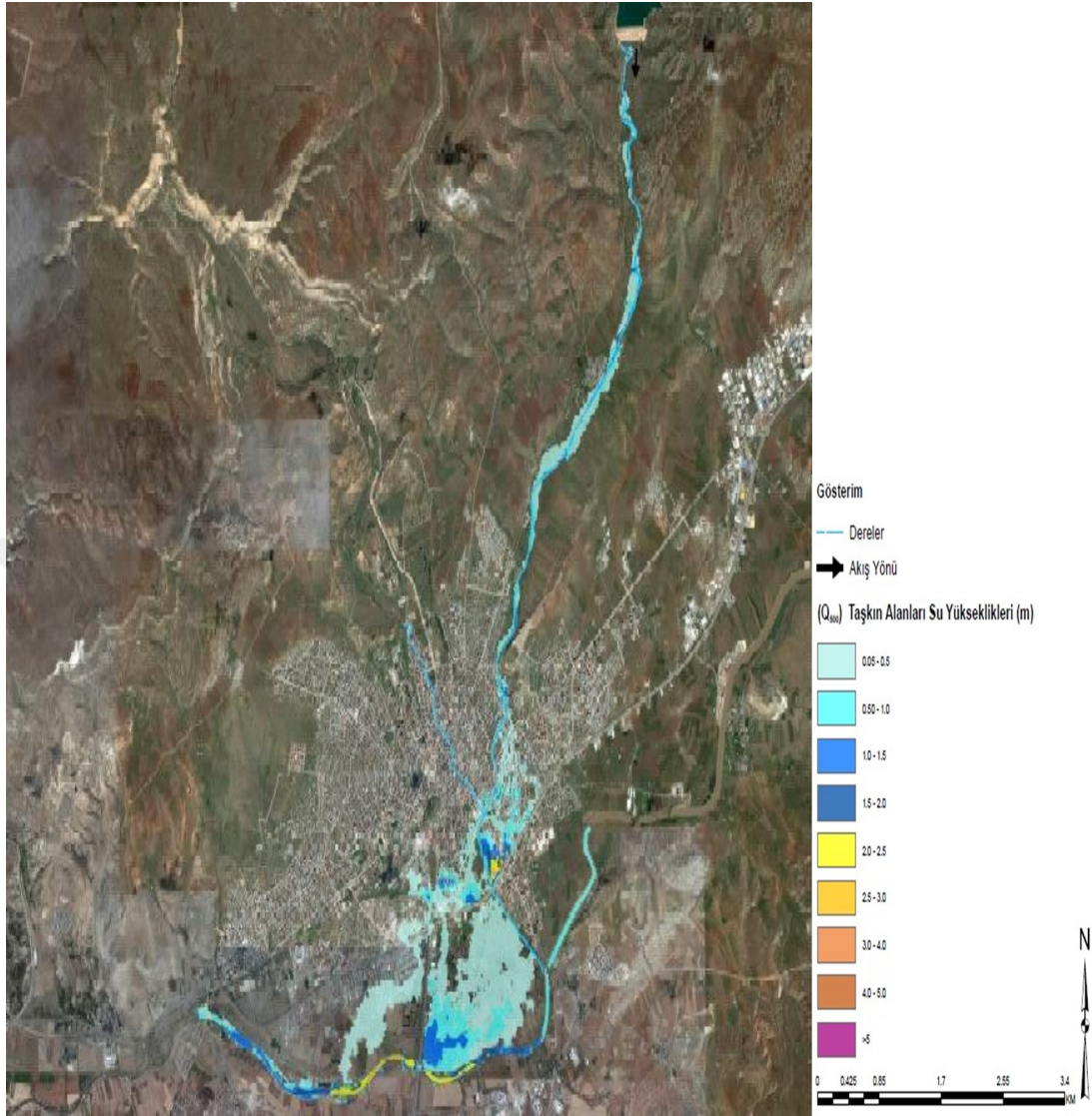
**Şekil 5.6.** Q<sub>500</sub> Baraj Etkisiz ve Q<sub>500</sub> Baraj Etkili Yayılım Alanlarının Karşılaştırılması



Şekil 5.7.  $Q_{500}$  Baraj Etkisiz Taşkın Yayılım Haritası

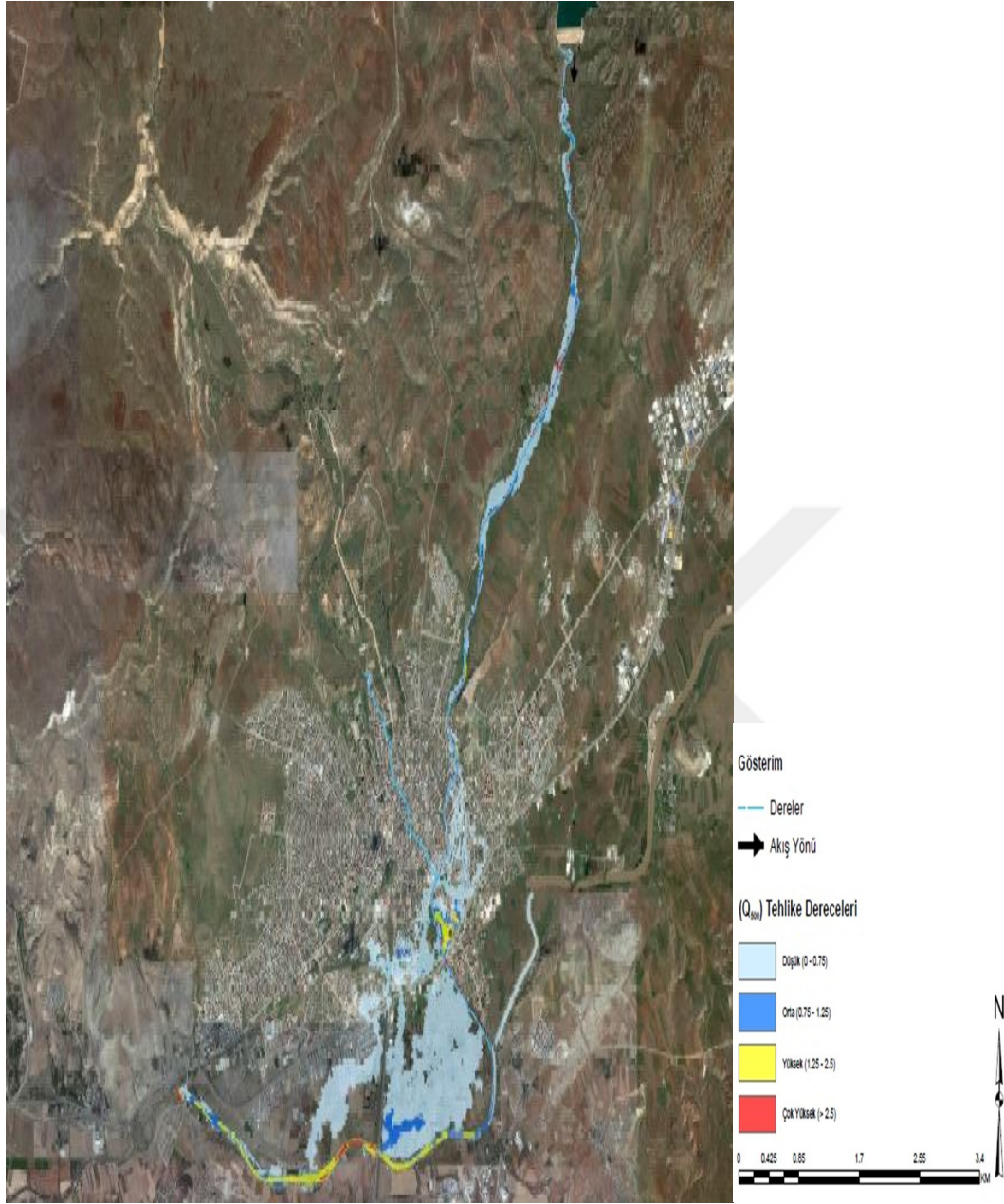


Şekil 5.8.  $Q_{500}$  Baraj Etkisiz Taşkın Tehlike Haritası



Şekil 5.9.  $Q_{500}$  Baraj Etkili Taşkın Yayılım Haritası





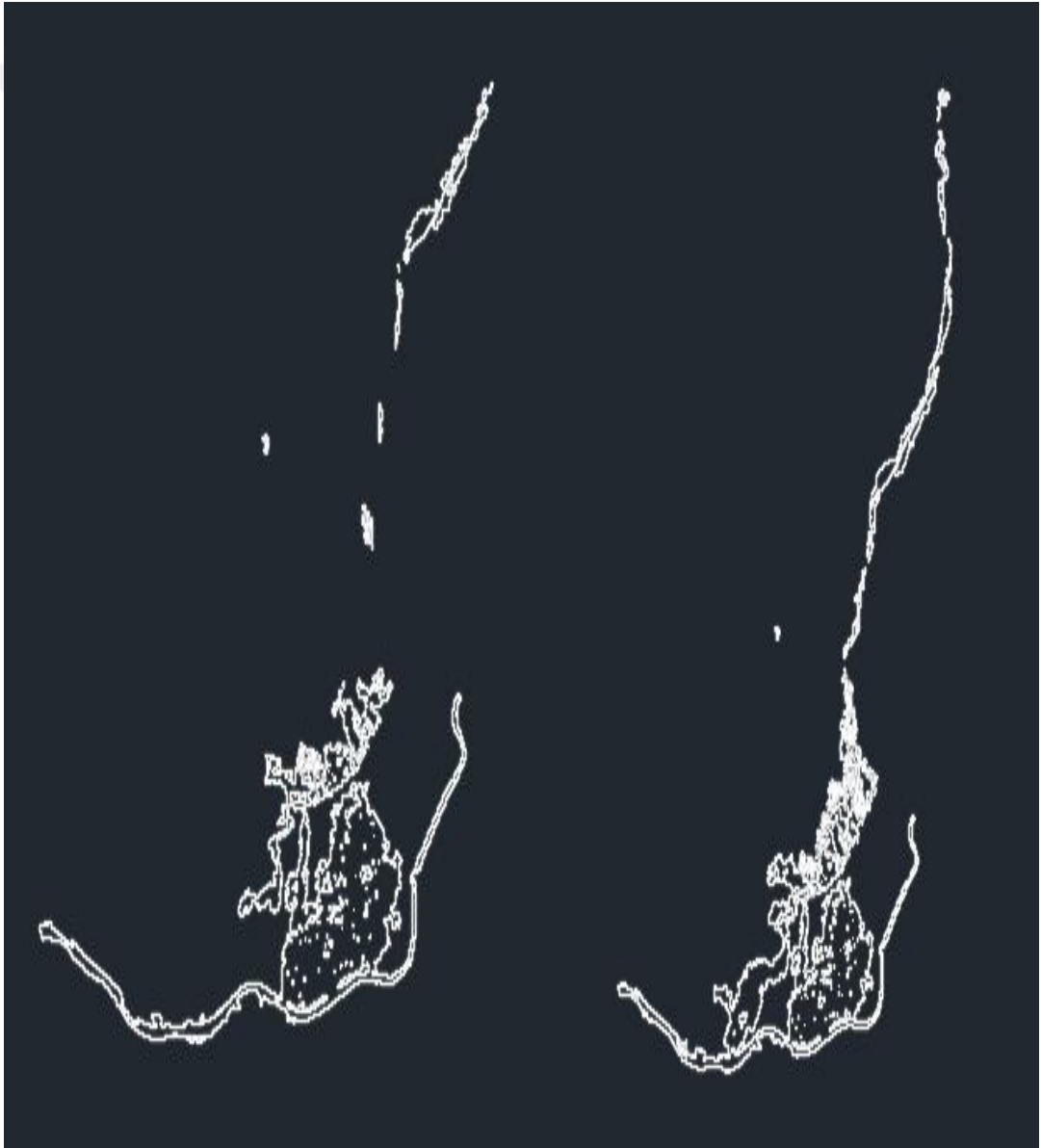
Şekil 5.10.  $Q_{500}$  Baraj Etkili Taşkın Tehlike Haritası

Sivas İl Merkezi'nde 500 yıllık baraj etkili su derinliklerinin ortalama 0.40 metre civarındadır. Bölgesel (Yenişehir Bölgesi) olarak 3 metrelere kadar varan su derinlikleri oluşmasına karşın genel olarak arazide akışın durmaması ve karayolları dışında su birikimine sebebiyet verecek bir doğal yapı bulunmaması dolayısıyla su derinlikleri fazlaca yükselmemiştir.

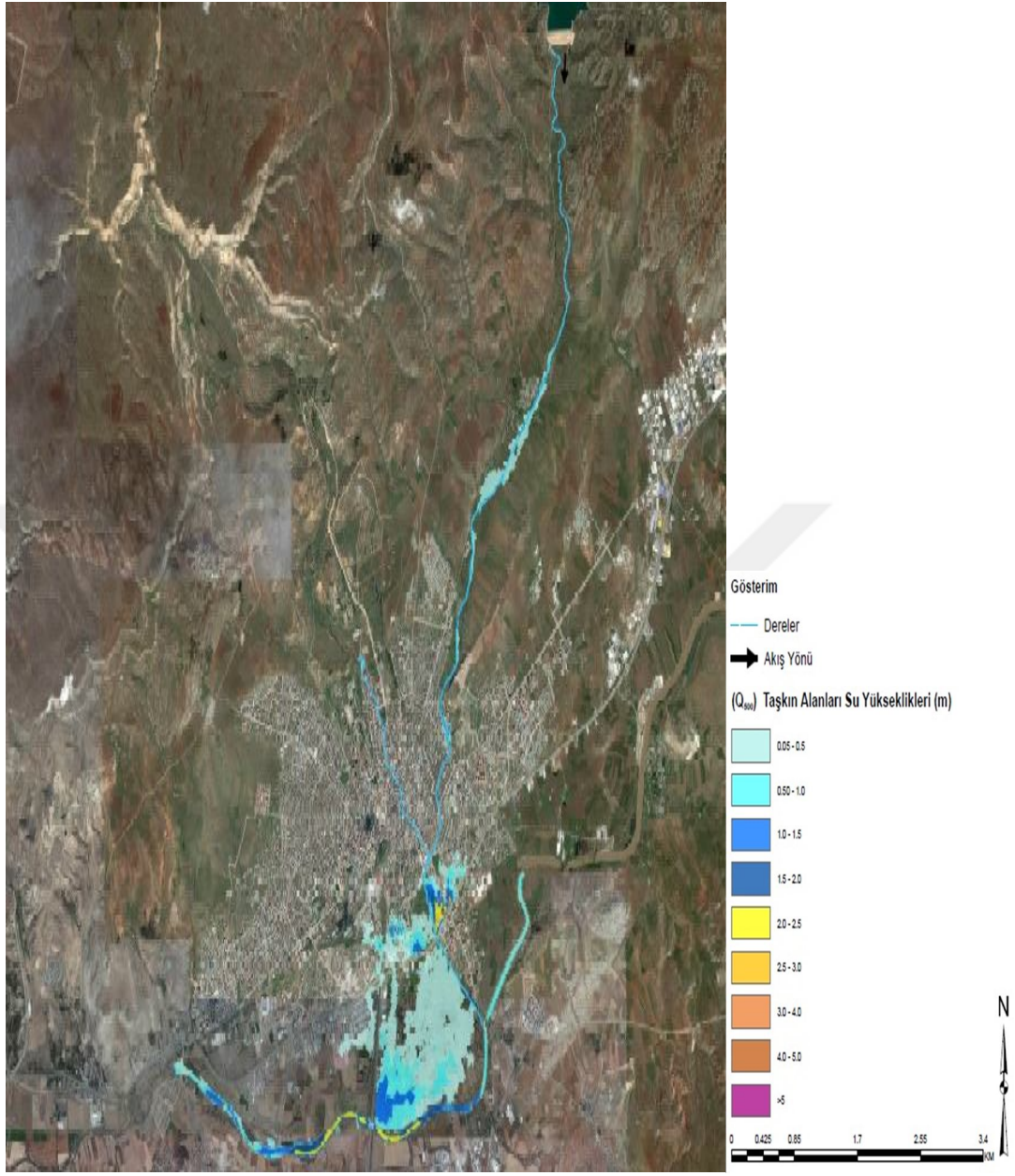
Çalışma alanında genellikle yüksek su derinlikleri ve su hızlarının bulunmaması sebebiyle tehlike derecelerinin genellikle düşük ve orta tehlikeli olduğu

belirlenmiştir. Derenin hemen yanında olan bazı alanlarda yüksek tehlikeler belirlenmekle birlikte yayılım alanının büyük bölümünde tehlike derecelerinin düşük ve orta olduğu gözlenmektedir.

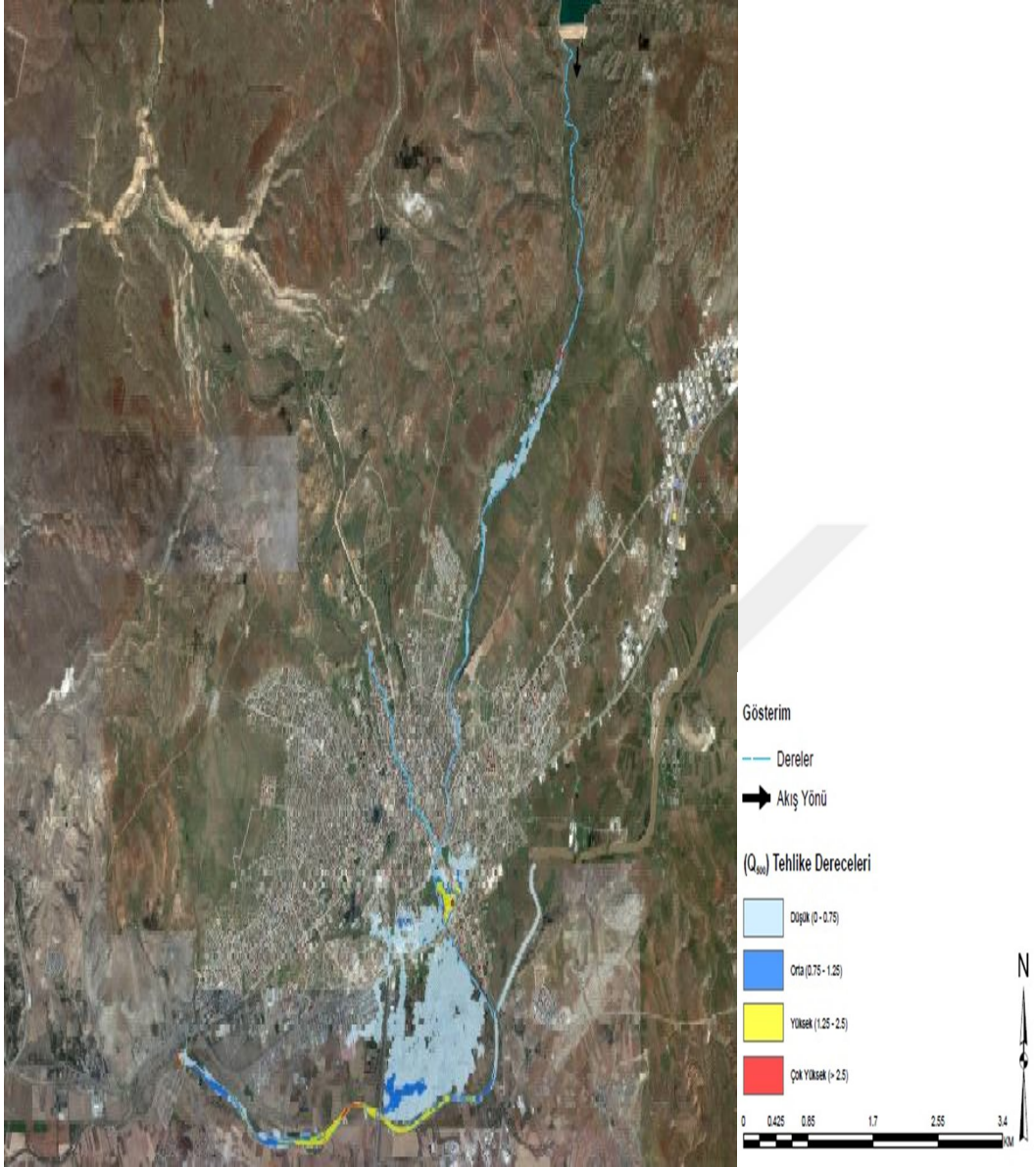
Haritalar incelendiğinde Çayboyu, Alibaba, Orhangazi, İnönü, Mısmılırmak, Dedeçalı, Mehmet Akif Ersoy, Pulur, Kızılırmak, Kardeşler, Eğriköprü, Yenişehir, Gültepe mahalleleri bu taşkından etkilenmektedir. Sivas İli mahalleler haritasına bakıldığında yaklaşık 70.000 kişinin direkt olarak etkileneceği gözlemlenmiştir.



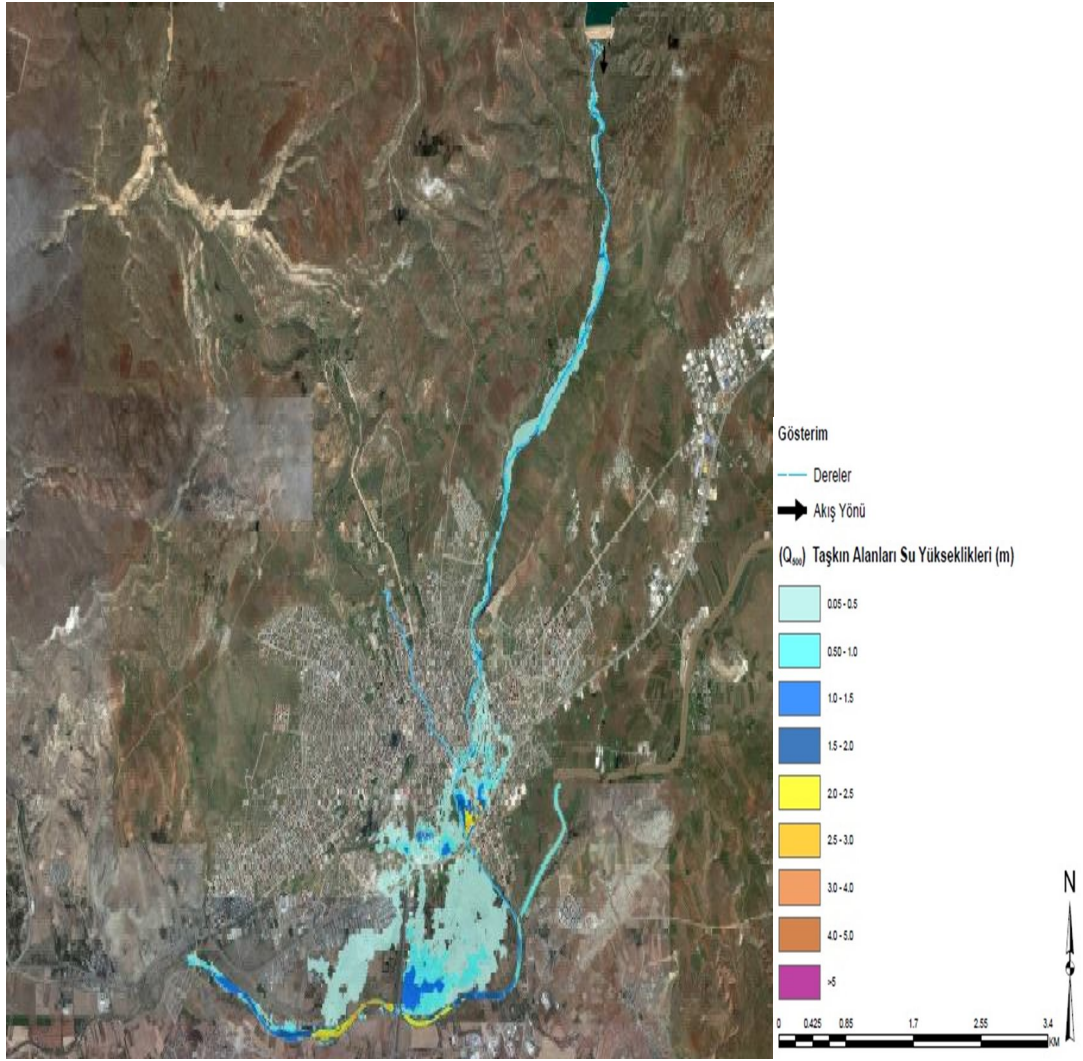
Şekil 5.11. Q<sub>1000</sub> Baraj Etkisiz ve Q<sub>1000</sub> Baraj Etkili Yayılım Alanlarının Karşılaştırılması



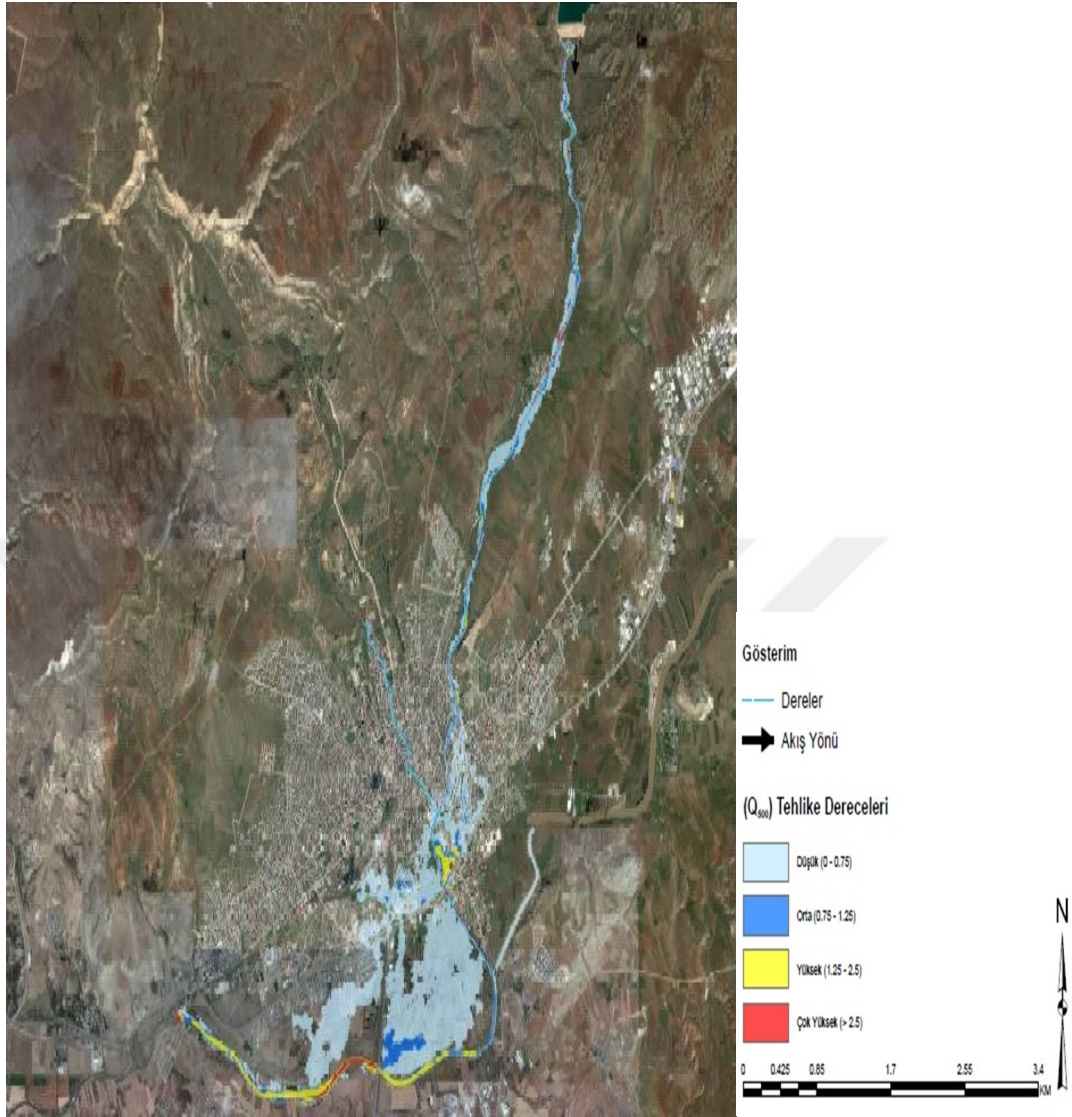
Şekil 5.12.  $Q_{1000}$  Baraj Etkisiz Taşkın Yayılım Haritası



Şekil 5.13.  $Q_{1000}$  Baraj Etkisiz Taşkın Tehlike Haritası



Şekil 5.14.  $Q_{1000}$  Baraj Etkili Taşkın Yayılım Haritası



**Şekil 5.15.**  $Q_{1000}$  Baraj Etkili Taşkın Tehlike Haritası

1000 yıllık baraj etkili taşkın debisi dikkate alındığında, taşkınımın hat boyunca ilerlediği görülmüştür. Şehir merkezindeki geniş yayılım alanları ise Abdulvahabi Gazi Caddesi itibariyle oluşmaya başlamıştır. Taşkın sınırı sol sahilde Erzincan-Erzurum karayoluna kadar ilerlemiştir. İstiklal Caddesi ile karayolu arasındaki bölgenin büyük bölümü sular altında kalmış durumdadır. Lokal olarak suyun birikebildiği bir bölümde su derinliği 3 metrelere kadar ulaşmış durumdadır.

Sivas-Erzincan karayolu sonrasında sol sahilde başka bir noktada taşkın yayılımı belirlenmemiştir. Sağ sahilde ise hem karayolu öncesi hem de sonrasında dere taşkını yayılma imkânı bulmuştur. Karayolu öncesindeki bölümde suların Toptancılar Caddesi yakınlarına kadar ilerlediği görülmektedir. Bu kesimde

Yenişehir taşkın sularından etkilenmekte ve çukur olan bu alanda su derinliği 2 metreye kadar ulaşmıştır.

Daha mansapta ise sağ sahilde ciddi bir taşkın yayılımı görülmektedir. Keresteciler Caddesi'ni aşarak bu bölüme gelen taşkın sularına aynı zamanda dereden çıkan sular da katılmıştır. Kayseri Caddesi'ni tek noktadan geçen taşkın suları Farabi Caddesi yakınlarına kadar ilerlemiştir. Kayseri Caddesi'nin sedde gibi davranmasıyla biriken taşkın sularının yüksekliği 2 metreye ulaşmıştır.

Haritalar incelendiğinde Q<sub>500</sub> haritalarında olduğu gibi Çayboyu, Alibaba, Orhangazi, İnönü, Mısmılırmak, Dedebalı, Mehmet Akif Ersoy, Pulur, Kızılırmak, Kardeşler, Eğriköprü, Yenişehir, Gültepe mahalleleri bu taşkından etkilenmektedir. Sivas İli mahalleler haritasına bakıldığında yaklaşık 70.000 kişinin direkt olarak etkileneceği gözlemlenmiştir. Ayrıca Sivas 4 Eylül Sanayi sitesi ve Keresteciler Sitesi dâhil olmak üzere birçok işyeri de taşkının etki alanına girmektedir.

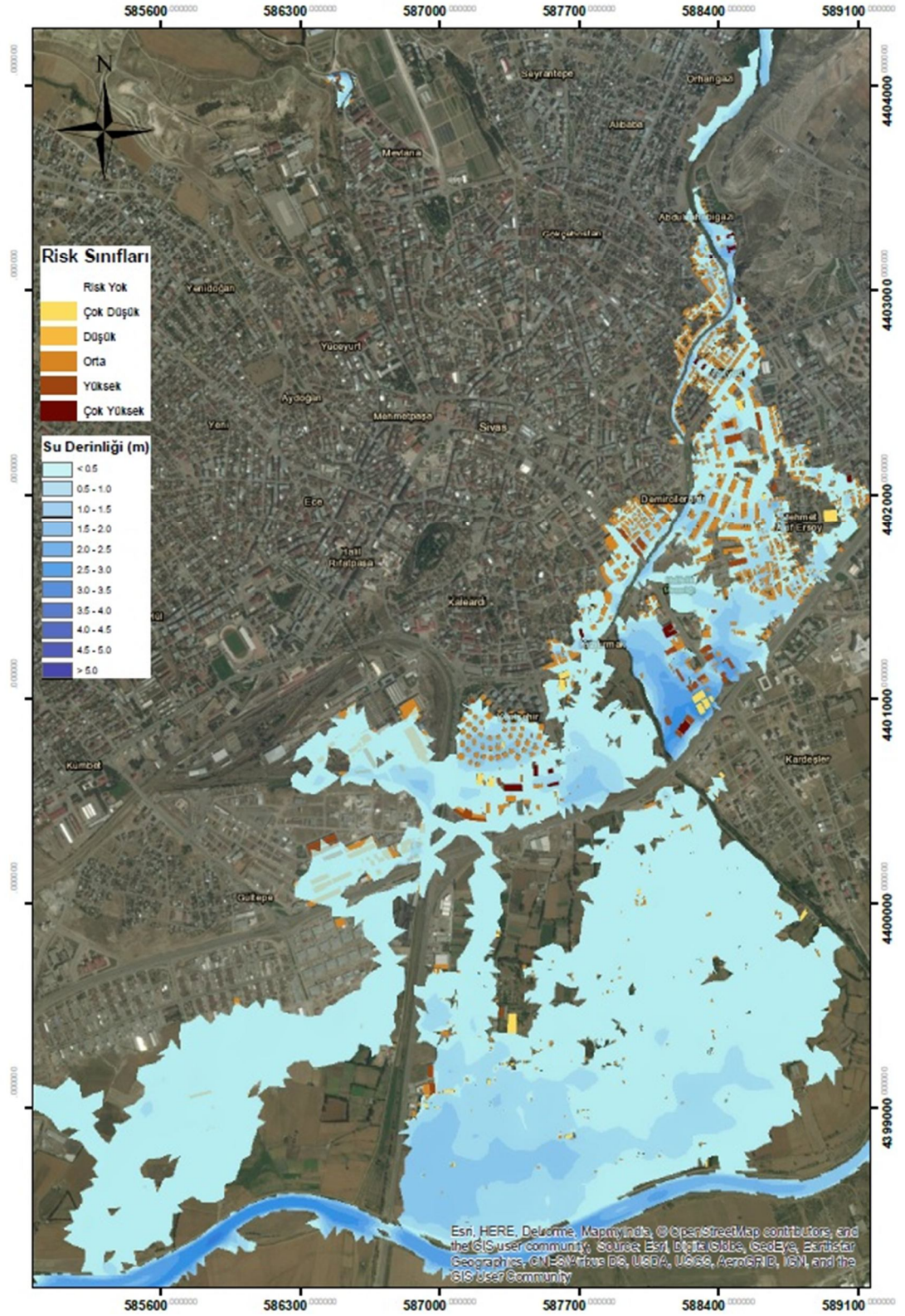
## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Baraj yıkılma senaryoları,  $Q_{500}$  ve  $Q_{1000}$  debilerine göre belirlenen taşkın yayılımlarının geniş alanlara yayılmasını engelleyen topografya nedeniyle etki alanlarının aynı bölgelerde farklı yüksekliklerde olduğu gözlenmiştir. Çalışma alanında genellikle yüksek su derinlikleri ve su hızlarının bulunmaması sebebiyle tehlike derecelerinin genellikle düşük ve orta tehlikeli olduğu belirlenmiştir. Derenin hemen yanında olan bazı alanlarda yüksek tehlikeler belirlenmekle birlikte yayılım alanının büyük bölümünde tehlike derecelerinin düşük ve orta olduğu gözlenmektedir.

Sivas İl Merkezi'ni kapsar şekilde hazırlanan bu çalışma kapsamında MIKE 11 programı ile bir boyutlu, MIKE 21 programı ile iki boyutlu hidrodinamik modelleme yapılmış ve bütünleşik modelleme için MIKE FLOOD yazılımı kullanılarak taşkın tehlike alanları oluşturulmuştur. SYM oluşturulması için arazi verileri bir araya getirilip işlenerek modellerde kullanılmaya uygun hale getirilmiştir. Ardından bir diğer gerekli girdi olan farklı yıllarda tekerrürlere ait debilerin hidroloji çalışmaları yapılmıştır. Bu iki önemli girdi hazırlandıktan sonra, model çalışmalarına geçilmiştir. Dere içindeki akım bir boyutlu olarak MIKE 11, yayılım alanlarındaki akım iki boyutlu olarak ise MIKE 21 programları kullanılarak modellenmiştir. Modelleme çalışmaları sırasında, sanat yapıları en doğru şekilde modele entegre edilmeye çalışılmıştır. Model sonuçlarından elde edilen su derinlikleri ve hız değerleri kullanılarak maksimum su derinliği ve tehlike haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışmalar kapsamında görülmüştür ki proje risk alanında taşkın meydana gelmektedir.

Mevlana Deresinin ise geçmiş yıllarda kapalı kanala alındığından ve kanal kapasitesi yeterli olduğundan Sivas İl Merkezinde taşkın oluşturmadığı görülmektedir.





Şekil 6.1. Sivas İl Merkezi Taşkın Risk Haritası

Haritalar incelendiğinde Mısmılrmağın etki alanında bulunan Çayboyu, Alibaba, Orhangazi, İnönü, Mısmılrmaq, Dedebalı, Mehmet Akif Ersoy, Pulur, Kızılırmak, Kardeşler, Eğriköprü, Yenişehir, Gültepe mahalleleri bu taşkından etkilendiği görülmektedir.

Mısmılrmağı'nın Sivas İl Merkezi içerisinde kalan mevcut duvarlı kanallar ve yatak düzenlemeleri hidrolik açıdan yetersizdir. Taşkın yayılım alanları incelendiğinde Mısmılrmağı'nın söz konusu kısımlarında özellikle Sivas 4 Eylül Barajı'nın yıkılma durumunda yatakta ve sanat yapılarında kesit yetersizliği tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında Mısmılrmağı'nın taşkın kontrolüne yönelik yapısal ve kültürel önlem seçenekleri farklı şekilde değerlendirilebilir. Bu çözümler;

1. Toprağın su tutma kapasitesini artırarak yüzeysel akımları, sürüntü malzeme oluşumu ve bunlara bağlı olarak taşkın pik değerlerini azaltmak,
2. Sel kapanı, gölet vs. gibi depolama yapıları ile taşkın hacimlerini depolamak ve taşkın pik değerlerini azaltmak,
3. Yatağın kenarlarının duvar vs. gibi yapılarla yükselterek yatak kapasitesini artırmak,
4. Yatak kapasitesinin yeterli olduğu, ancak yargınların olduğu kıyılarda yatak kıyılarını tahkim ederek yargınlara bağlı taşkınların oluşmasını önlemek,
5. Yatak genişliği ve mansap koşullarının yetersiz olduğu, yeterli genişliği sağlamanın ekonomik olmadığı durumlarda başka bir havzaya yönlendirilmesi,
6. Yatağı derinleştirip kenarlarını tahkim ederek yatak kapasitesinin taşkın piklerini geçirebilecek şekilde artırılması olarak sıralanmaktadır.

Proje alanında belirlenen sorunlar, yukarıda bahsedilen çözüm seçeneklerinin biri veya birkaçı ile giderilebilmektedir. Ancak konu ile ilgili mahallinde yapılan incelemeler dikkate alınarak sorunlara çözüm teşkil eden seçenekler değerlendirilmiştir.

Yatakta ve sanat yapılarında hidrolik açıdan belirlenen kesit yetersizliğinin giderilmesi için mevcut kanal ve sanat yapılarının yıkılarak tekrar imal edilmesi gerekmektedir. Mısmılrmağı'nın il merkezi içerisinde kalan kısımlarında taşkın

kontrol tesisinin tekrar boyutlandırılması durumunda kamulaştırma maliyetlerinin yüksek çıkması beklenmektedir. Bundan dolayı mevcut tesislerin tekrar boyutlandırılması yerine Sivas 4 Eylül Barajı'nın kret kotunun yükseltilerek taşkın hacmi oluşturulması seçeneği değerlendirilmelidir. Barajın planlama raporuna göre Sivas 4 Eylül Barajı projenin ilk ayağını oluşturmaktadır. Planlamanın ikinci aşamasında Sivas İli Hafik İlçesine yapılacak olan Beydilli Barajı ile Sivas 4 Eylül Barajına su derive edilmesi düşünülmüştür. Beydilli Barajı'ndan getirilecek su Sivas 4 Eylül Barajının taşkın hacminin kalmamasına neden olacaktır. Getirilmesi düşünülen su miktarına ve taşkın depolama hacmine göre kret kotunun yükseltilmesi düşünülmelidir. Böylece Mısmırlırmağı'nın Sivas İl Merkezi içerisinde kalan kısımlarında bir çalışma yapılması gerekliliği ortadan kalkacaktır. Ayrıca Mısmırlırmağı'nın 4 Eylül Barajı ile mevcut taşkın kontrol tesisi arasında kalan kısmında; yatak düzenlenmesine ve mevcut sanat yapılarının gerekmesi durumunda yenilenmesine yönelik değerlendirilmelidir.

## KAYNAKLAR

1. Taşkın Yönetimi T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, [http://taskinyonetimi.ormansu.gov.tr/\\_engine//\\_engine/file.axd?file=/Dokumanlar/Task%C4%B1n\\_Yonetimi.pdf](http://taskinyonetimi.ormansu.gov.tr/_engine//_engine/file.axd?file=/Dokumanlar/Task%C4%B1n_Yonetimi.pdf), Mayıs, 2019.
2. Erkek, C., Ağırlioğlu, N., Su Kaynakları Mühendisliği, Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 1993.
3. Uçar İ., Güner İ., Taşkın Alanlarının Modellenmesi, Trabzon Maçka Örneği, II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, Afyonkarahisar, 22-24 Mart 2010.
4. Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu Türk Milli Komitesi, Türkiye'nin Hidroelektrik Enerji Santralleri, 2016.
5. Karakaya, K., Numerical Simulation of the Kirazlıköprü Dam Failure on the Gökırmak River, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
6. FEMA P-956, Living with Dams, Know Your Risks, 2013.
7. Danielson, J.A. and Mc Intyre, W.C., A status report on dam safety in the U.S., Hydro Rewiev, 1989.
8. Cristofano, E.A., Method of computing erosion rate for failure of Eart-Fill Dams. U.S., Bureau Of Reclemation, Denver, Colo, 1965.
9. Fread, D.L., and Harbaugh T.E., Transient hydraulic simulation of Breached Eart Dams. Journal of Hydraulics Division, ASCE, 99, 139-154, 1973.
10. Brown, R.J. and Rogers D.C., User's manual for program brdam, Engineering and Research Center, Bureau of Reclemation, Denver, Colo, 1981.
11. Hydrologic Engineering Center, HEC-1 Flood Hydrograph Package, User's Manual, 1990.
12. Tingsanchali, T., Chinnarasri, C., Numerical modelling of fam failure due to flow overtopping. Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques, 46, 113- 130, 2001.
13. Mignot, E., Paquier, A. and Haider, S., Modeling floods in a dense urban area using 2D shallow water equations. Journal of Hydrology, 327, 186-199, 2006.
14. Sole, A., Giosa, L. and Copertino, V., Risk Flood Areas, A Study Case: Basilicata Region. River Basin Management IV-WIT Transactions On Ecology And the Environment, 104, 223-228, 2007.

15. Patro, S. ve ark., N.S., Flood inundation modeling using MIKE FLOOD and remote sensing data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37:1, 107-118, 2009.
16. Salami, A.W. ve ark., Evaluation of synthetic unit hydrograph methods for the development of desing storm hydrograps for river in South-West Nigeria. *Journal of American Science*, 5:4, 23-32, 2009.
17. Sönmez, O., Nehirlerde 2 boyutlu taşkın modellemesi ve taşkın haritalarının oluşturulması. Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 159, Sakarya, 2013.
18. Demir, F., Aşağı Sakarya nehri Adapazarı kesimi taşkın risk tayini. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 79, Sakarya, 2014.
19. Akkaya, U., Meriç ve Tuna nehirlerinin Edirne şehir merkezi kısmında 2 boyutlu taşkın modellemesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 160, Sakarya, 2016.
20. ICOLD Bulletein 111, Dam-Break Flood Analysis, 1998.
21. Costa, E.J., Floods from dam failures, United States Department of the Interior Geological Survey, 3-4, Denver Kolorado, 1985.
22. ICOLD, 2001 Raporu, 575s, Paris, France, 2001.
23. İMO, Türkiye Mühendislik Haberleri, s420-422, 2002.
24. Özcan, O., Taşkın tespitinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi: Ayamama Deresi örneği, Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, Cilt:3, Sayı:1, s 9-27, Artvin, 2017.
25. Özcan, O., Sakarya nehri alt havzasının taşkın risk analizinin uzaktan algılama ve CBS ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Ana Bilim Dalı, 72, İstanbul, 2008.
26. Demir, F., Aşağı Sakarya nehri Adapazarı kesimi taşkın risk tayini. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 79, Sakarya, 2014.
27. Yükselen, M.A., Uygulamalı Sayısal Yöntemler Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
28. Van Alphen, J. and Passchier, R., Atlas of Flood Maps, Examples From 19 European Countries USA and Japan. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Netherlands, 2007.

29. Türkiye İstatistik Kurumu Nüfus Verileri,  
[http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1059](http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059), Mayıs 2019.
30. MIKE 11, MIKE powered by DHI.
31. MIKE 21, MIKE powered by DHI.
32. MIKE FLOOD, MIKE powered by DHI.





**EKLER**

## EK 1

MIKE FLOOD programı ile elde edilen  $Q_{500}$  baraj etkili ve baraj etkisiz,  $Q_{1000}$  baraj etkili ve baraj etkisiz taşkın yayılım haritalarının animasyonları ektedir.



3D\_Q500\_Baraj\_Etkili.avi



3D\_Q500\_Baraj\_Etkisiz.avi



3D\_Q1000\_Baraj\_Etkili.avi



3D\_Q1000\_Baraj\_Etkisiz.avi

MIKE FLOOD programı ile elde edilen  $Q_{500}$  baraj etkili ve baraj etkisiz,  $Q_{1000}$  baraj etkili ve baraj etkisiz taşkın yükseklik haritalarının animasyonları ektedir.



Q500\_Baraj\_Etkili.avi



Q500\_Baraj\_Etkisiz.avi



Q1000\_Baraj\_Etkili.avi

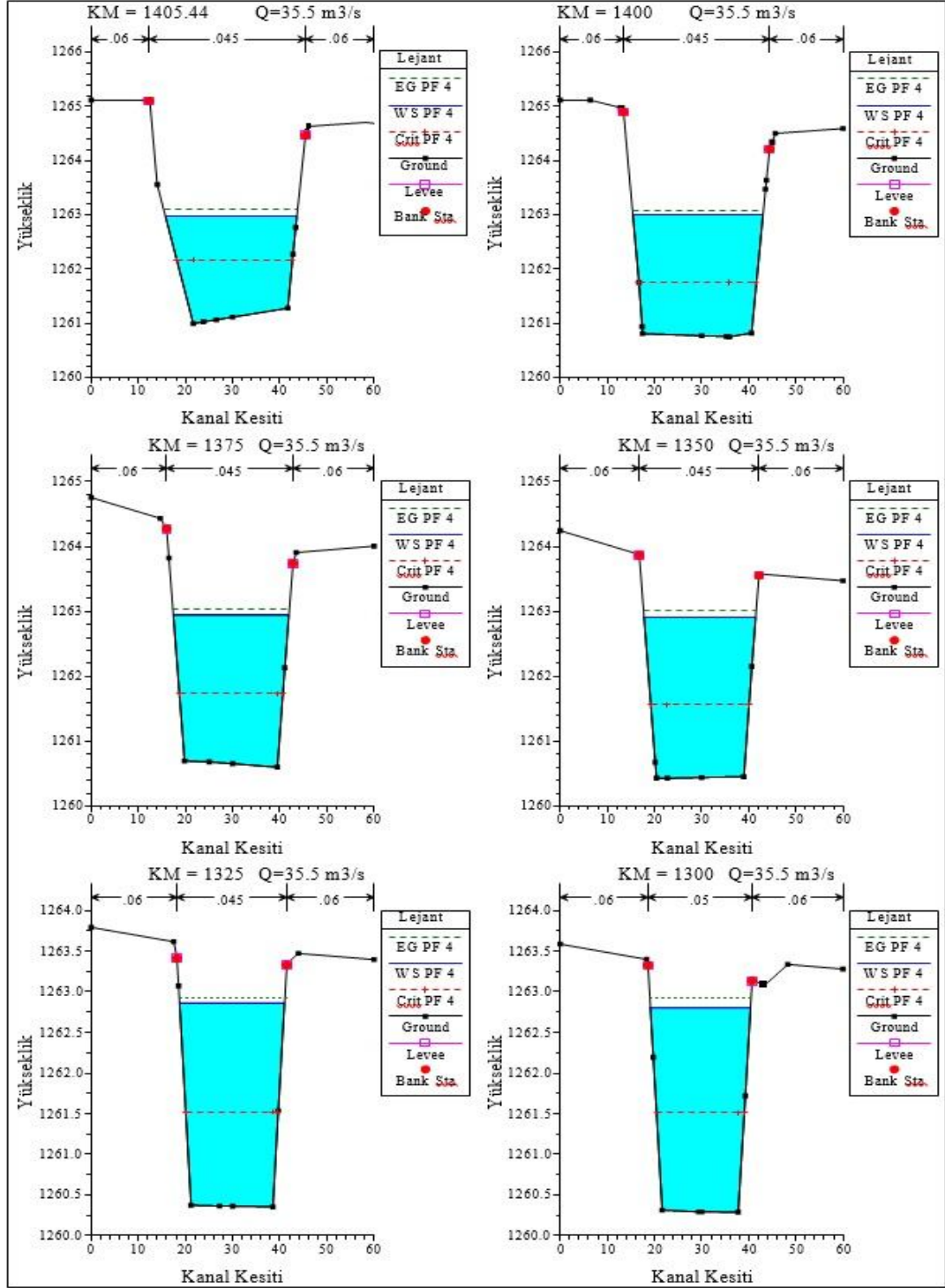


Q1000\_Baraj\_Etkisiz.avi

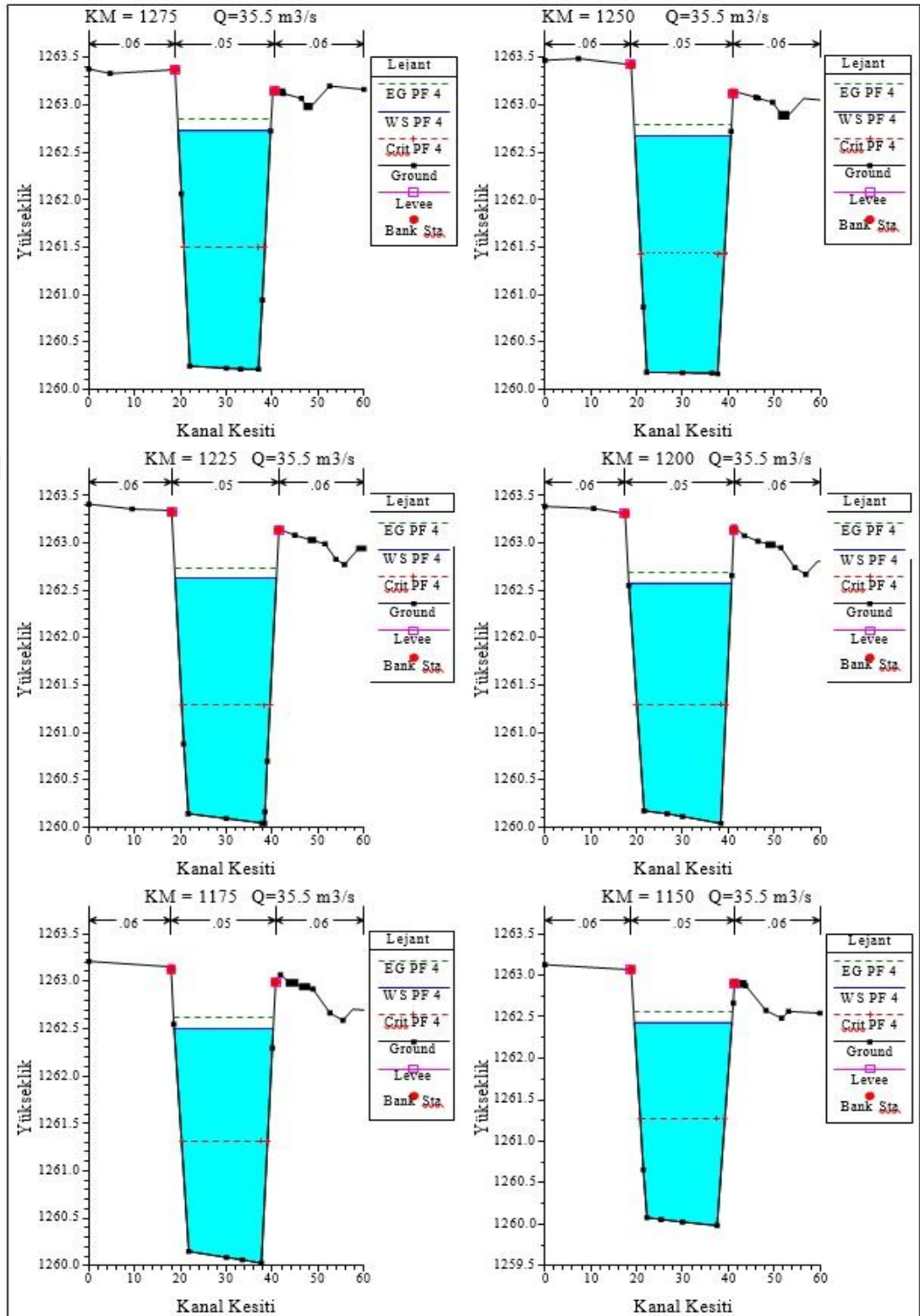


## EK 2

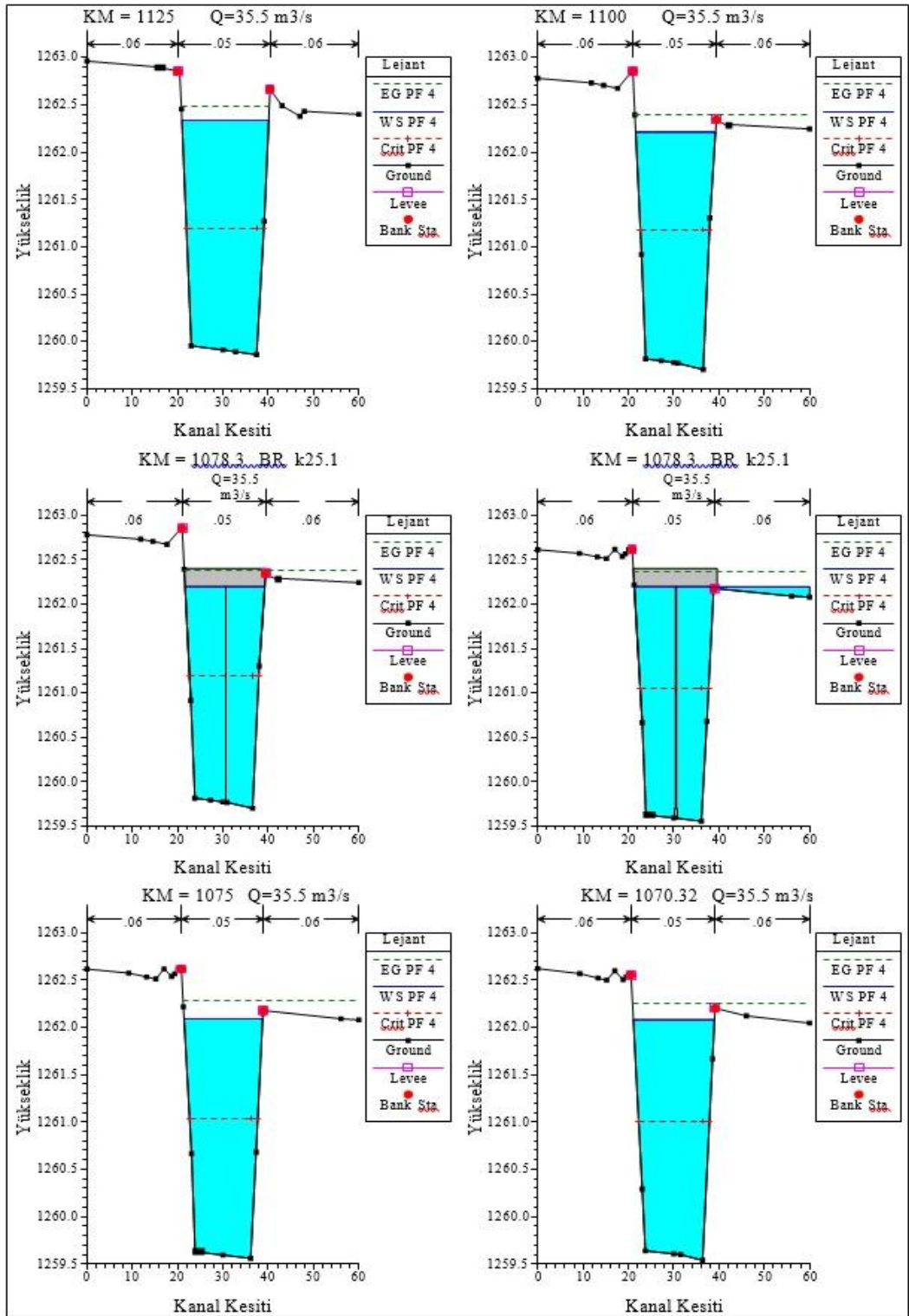
Mısmırlmak'a ait hidrolik analizler:



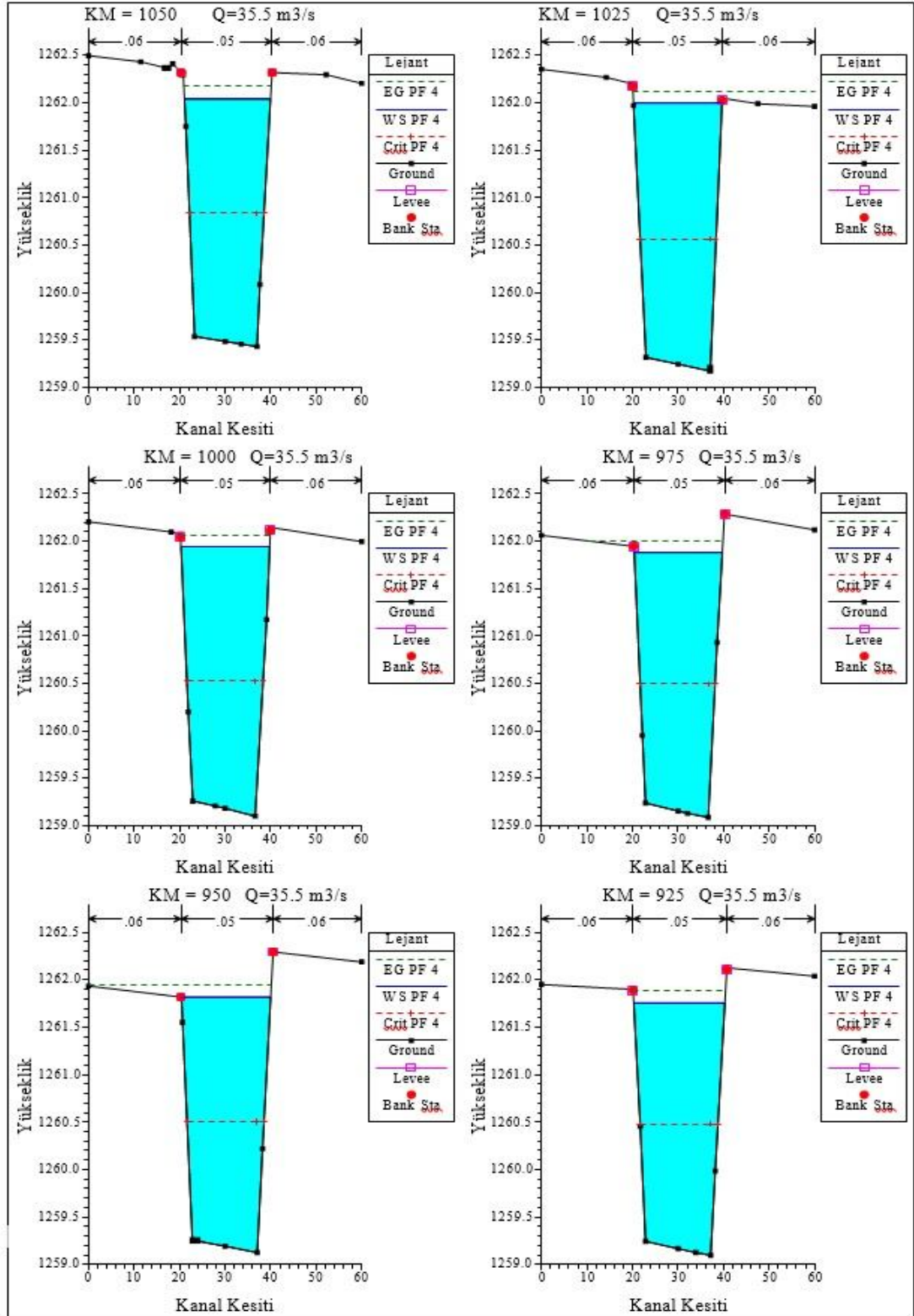
Şekil Ek.2.1. Mısmırlmak'a Ait Hidrolik Analizler



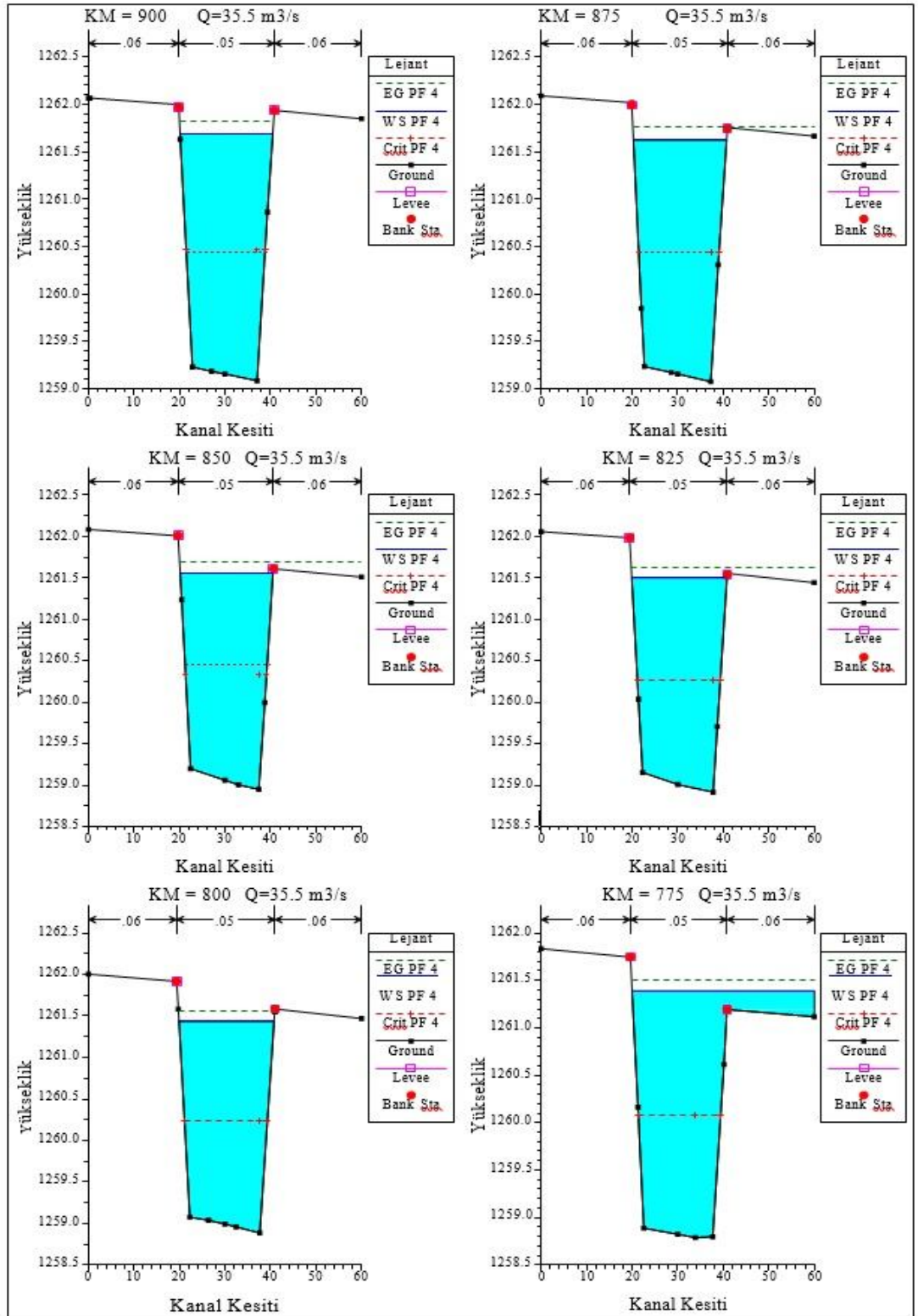
Şekil Ek.2.2. Mısmırmak'a Ait Hidrolik Analizler



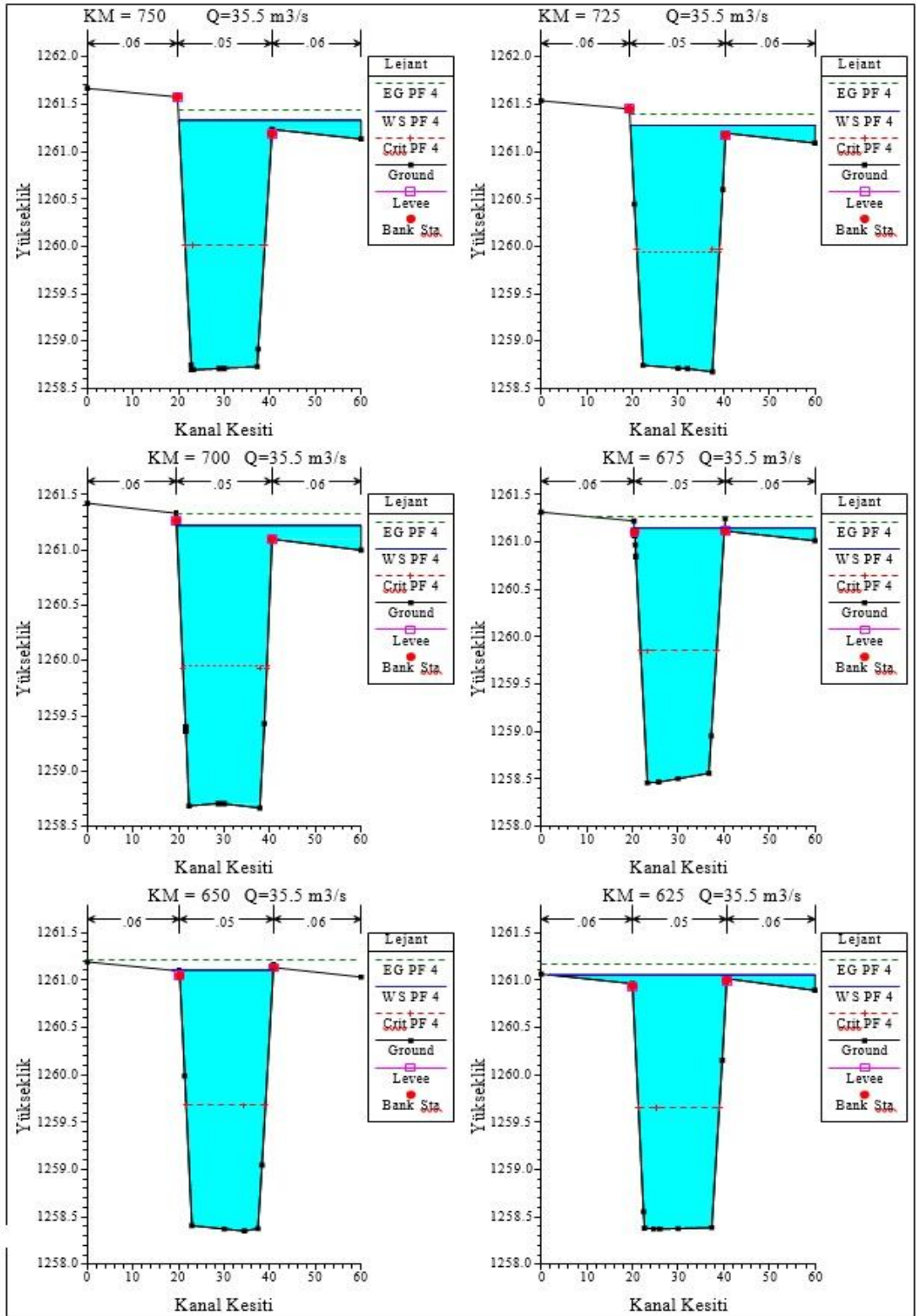
Şekil Ek.2.3. Mısırmak'a Ait Hidrolik Analizler



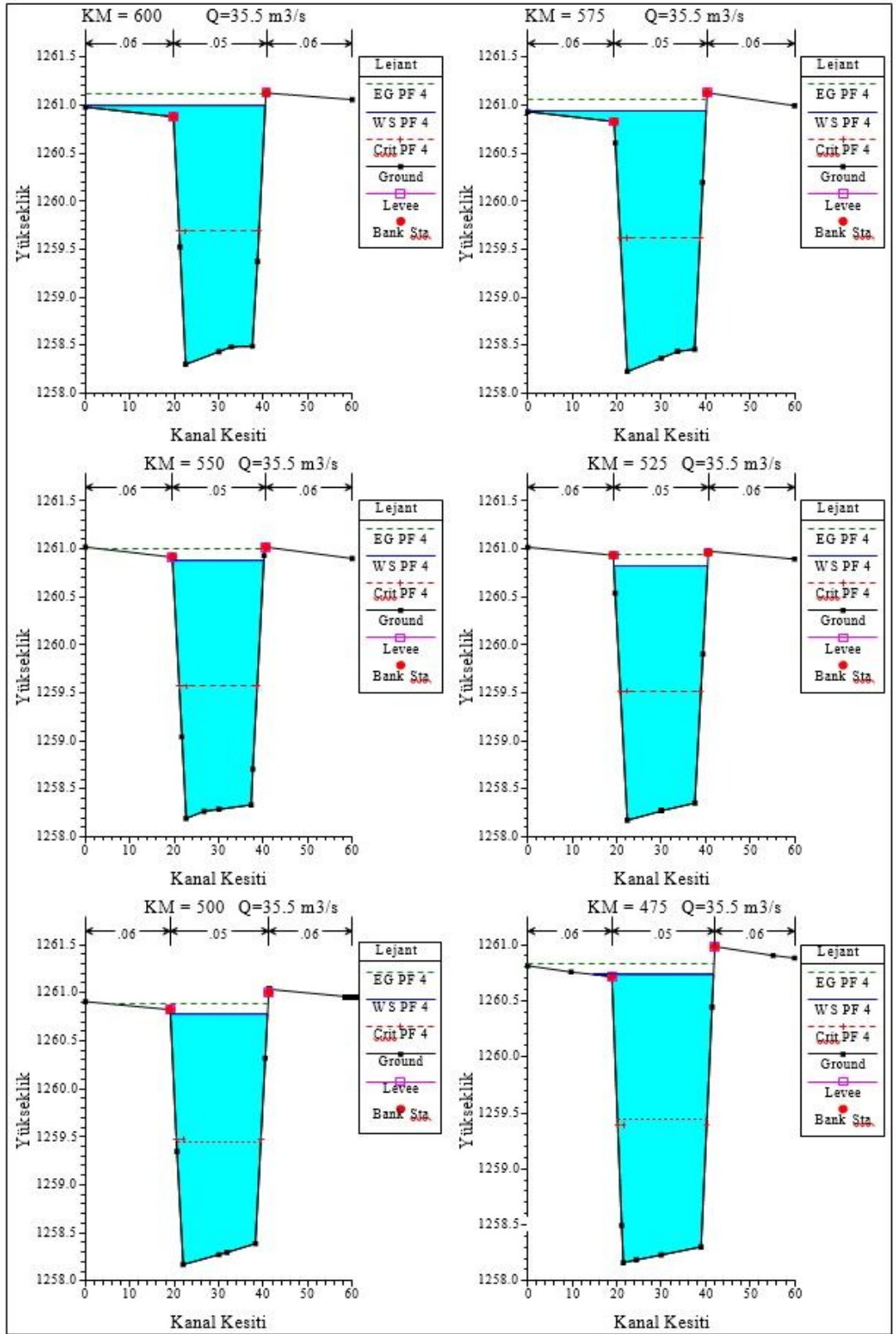
Şekil Ek.2.4. Mısırlırmak'a Ait Hidrolik Analizler



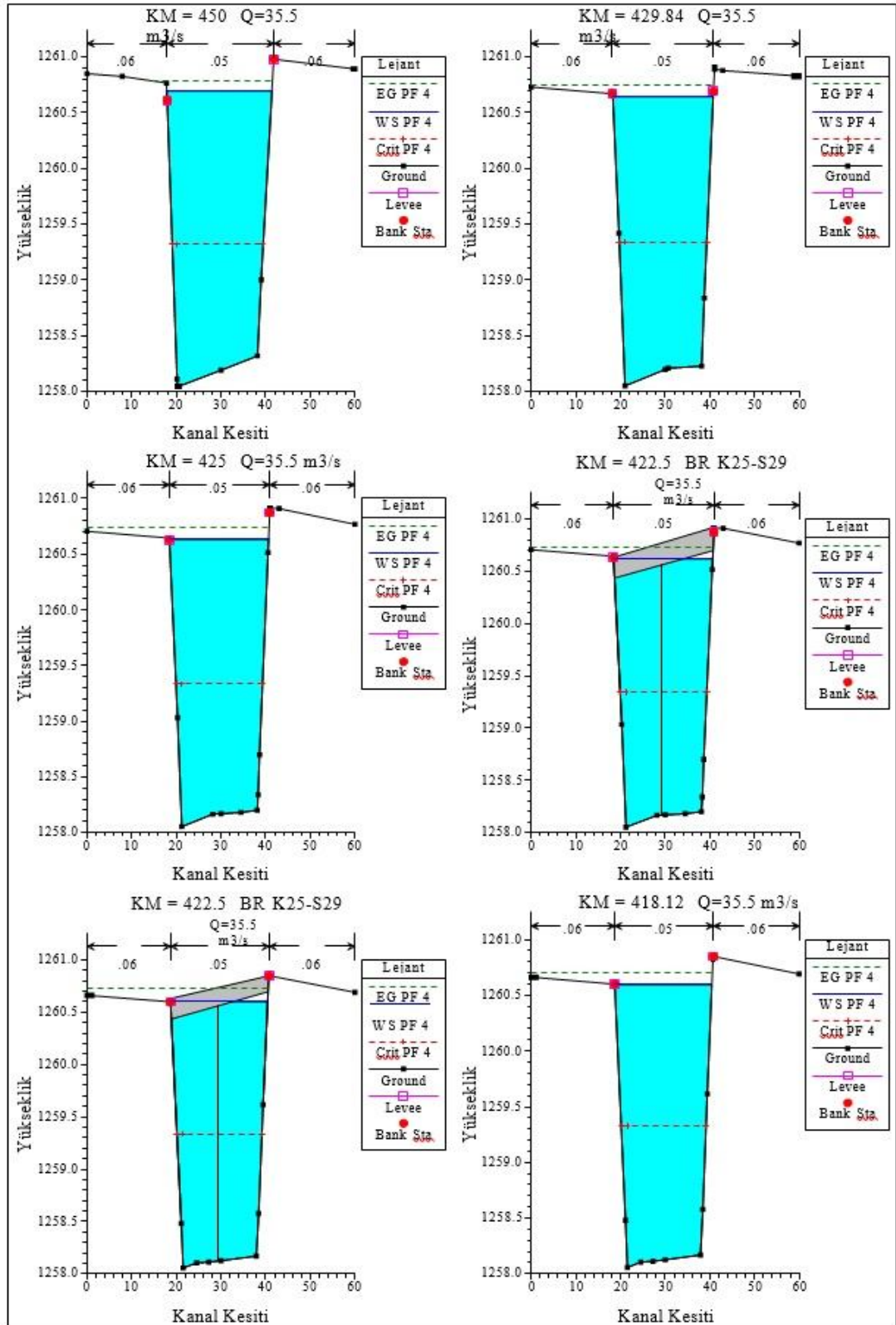
Şekil Ek.2.5. Mısırlırmak'a Ait Hidrolik Analizler



Şekil Ek.2.6. Mısmılırmak'a Ait Hidrolik Analizler

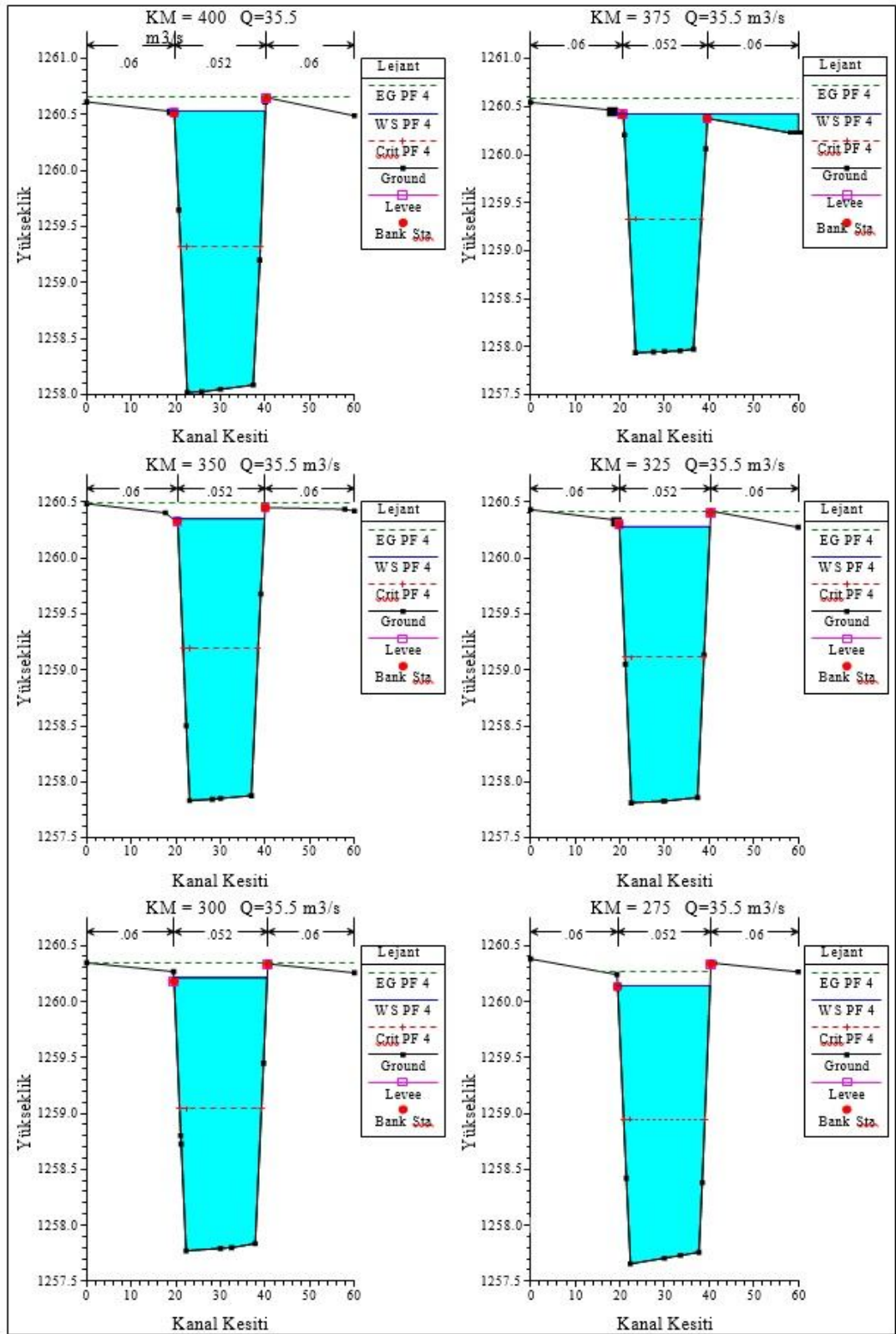


Şekil Ek.2.7. Mısırlırmak'a Ait Hidrolik Analizler

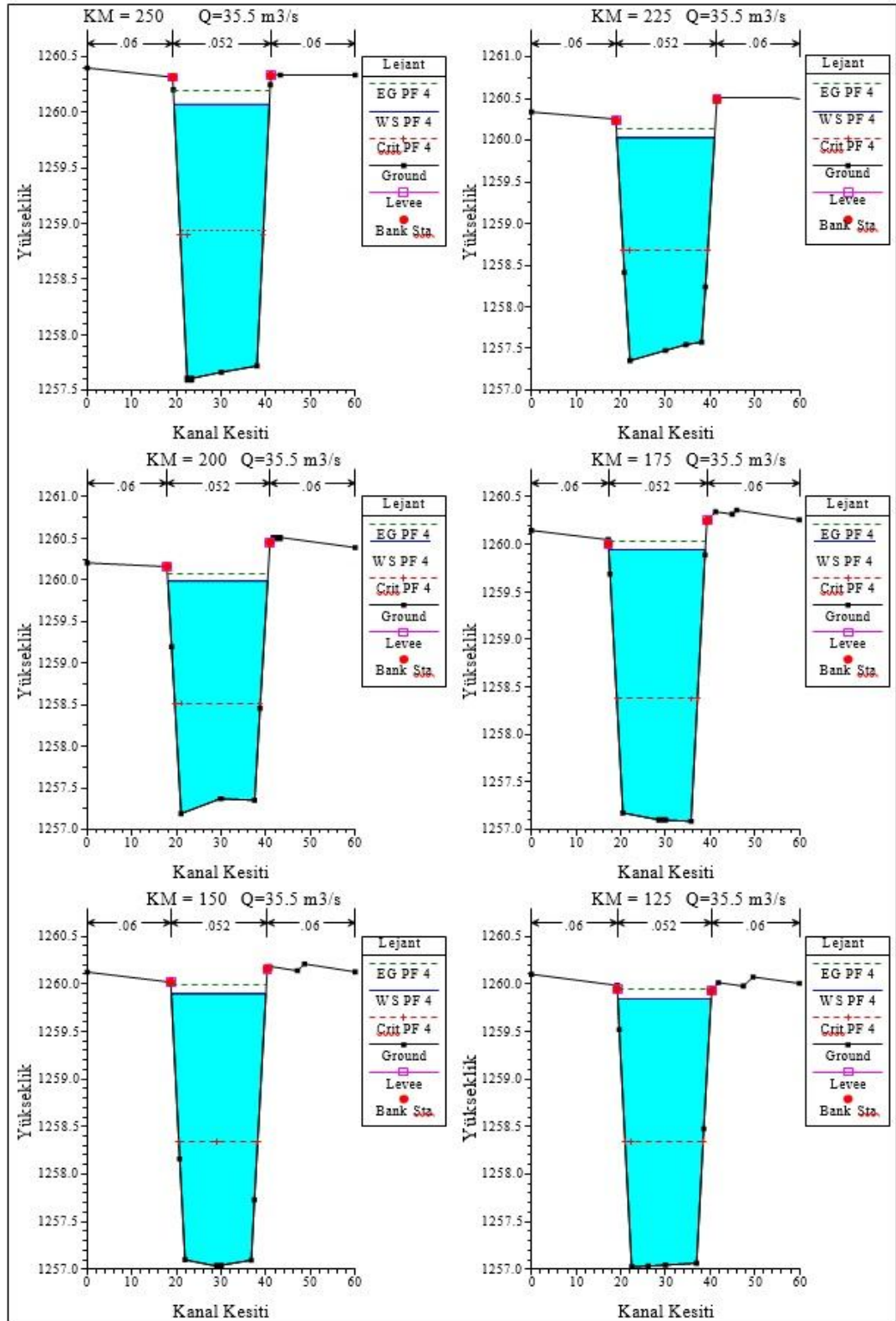


Şekil Ek.2.8. Mısırlırmak'a Ait Hidrolik Analizler

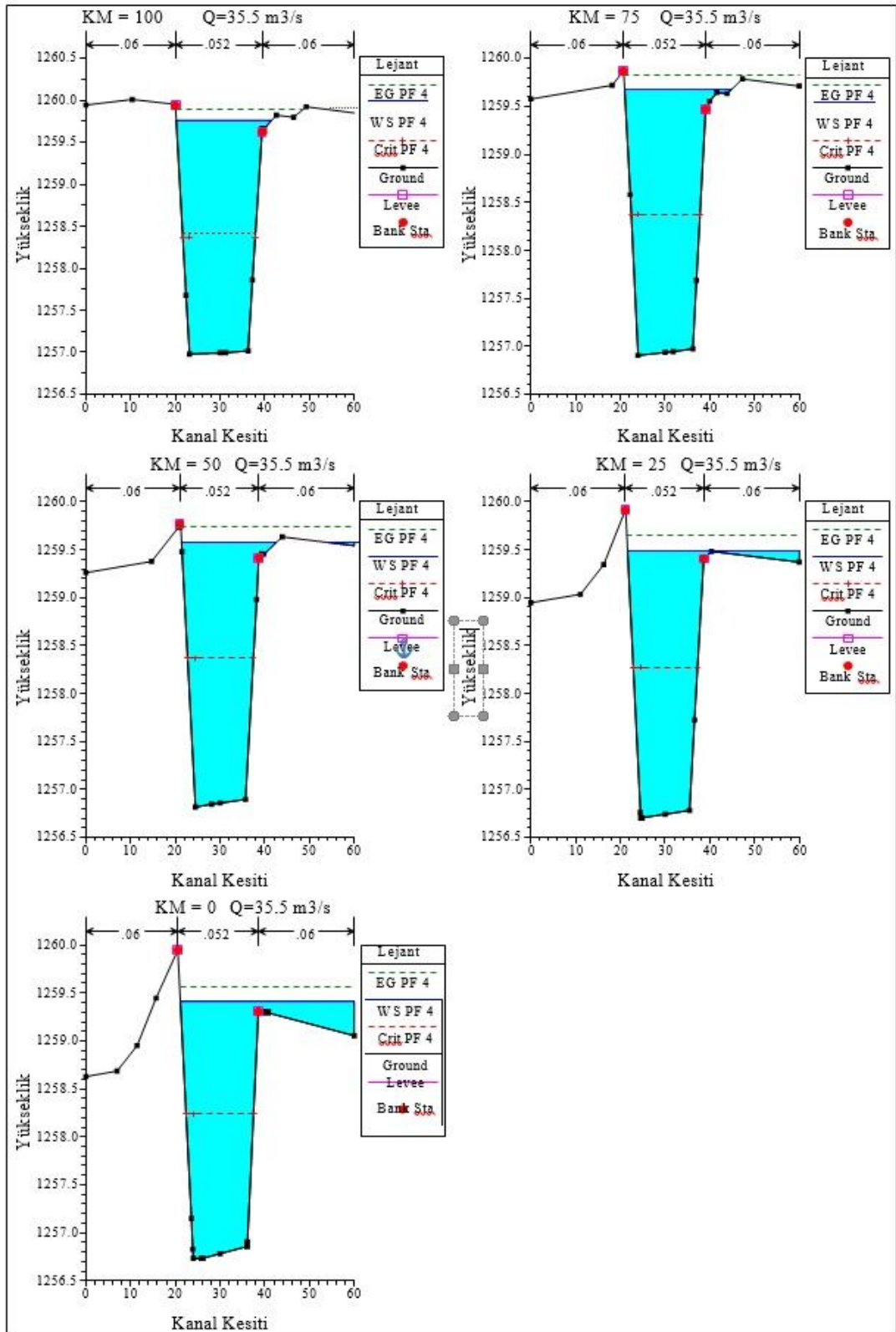




Şekil Ek.2.9. Mısırlırmak'a Ait Hidrolik Analizler



Şekil Ek.2.10. Mısırlırmak'a Ait Hidrolik Analizler



Şekil Ek.2.11. Mısırlırmak'a Ait Hidrolik Analizler

## ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Sivas'ta doğan Bayram KARATAŞ, ilköğrenimini ve lise öğrenimini sırasıyla Gazipaşa İlköğretim Okulu ve Cumhuriyet Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2008 yılında kazandığı Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında başarıyla bitmiştir.

2012-2013 yılları arasında özel sektörde çalışmış olup 2013 yılından beri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 19. Bölge Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi olarak çalışmakta olan Bayram KARATAŞ, evli ve 1 çocuk babasıdır.

### İletişim Bilgileri

Adres: DSİ 19. Bölge Müdürlüğü Mimar Sinan Mah. Muhsin Yazıcıoğlu  
Bulvarı

Merkez/SİVAS

Telefonlar: 0 (346) 227 09 05

0 (505) 922 19 35

E-postalar: karatas\_bayram@hotmail.com

bayramkaratas@dsi.gov.tr