

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEBİ- SEVİYE İZLEME VE TAŞKIN UYARI MAKSATLI
GERÇEK ZAMANLI NEHİR GÖZLEM İSTASYONU İMALATI:
AŞAĞI SAKARYA NEHRİ UYGULAMASI**

DOKTORA TEZİ

Fatma DEMİR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Bilim Dalı

TEMMUZ 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEBİ- SEVİYE İZLEME VE TAŞKIN UYARI MAKSATLI
GERÇEK ZAMANLI NEHİR GÖZLEM İSTASYONU İMALATI:
AŞAĞI SAKARYA NEHRİ UYGULAMASI

DOKTORA TEZİ

Fatma DEMİR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Osman SÖNMEZ

TEMMUZ 2024

Fatma Demir tarafından hazırlanan “DEBİ- SEVİYE İZLEME VE TAŞKIN UYARI MAKSATLI GERÇEK ZAMANLI NEHİR GÖZLEM İSTASYONU İMALATI: AŞAĞI SAKARYA NEHRİ UYGULAMASI” adlı tez çalışması 12.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Bilim Dalı’nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Doç. Dr. Osman SÖNMEZ (Danışman)
	Sakarya Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Prof. Dr. Emrah DOĞAN
	Sakarya Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Temel TEMİZ
	Yalova Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet SANDALCI
	Sakarya Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi A. İyad CEYHUNLU
	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “DEBİ- SEVİYE İZLEME VE TAŞKIN UYARI MAKSATLI GERÇEK ZAMANLI NEHİR GÖZLEM İSTASYONU İMALATI: AŞAĞI SAKARYA NEHRİ UYGULAMASI” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(12/07/2024).

Fatma DEMİR





Anneme,eşime ve kızlarıma



TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, bu çalışmanın belirlenmesinden yazılmasına her aşamasında beni yönlendiren, bilgisini ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Osman SÖNMEZ'e sabrı ve anlayışı için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca çalışmama sağladıkları katkı ve desteklerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Emrah DOĞAN ve Dr. Öğr. Üyesi Temel TEMİZ'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına sağladıkları veri desteği için AKFEN Yenilenebilir Enerji'ye içten teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca fedakarlık gösteren sevgili anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu doktora tez çalışması Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 2016-50-02-16 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Fatma DEMİR



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Taşkın	2
1.1.1. Ani taşkınlar	3
1.1.2. Nehir taşkınları	3
1.1.3. Kıyı taşkınları	4
1.1.4. Kentsel taşkınlar	4
1.2. Taşkınların Etkileri ve Ekonomik Zararları	5
1.3. Taşkın Koruma Yöntemleri	6
1.3.1. Yapısal taşkın koruma yöntemleri	7
1.3.2. Yapısal olmayan taşkın koruma yöntemleri	7
1.3.2.1. Erken uyarı sistemleri	8
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	11
3. ÇALIŞMA ALANI	17
3.1. Çalışma Alanında Meydana Gelen Taşkınlar	19
4. MATERYAL VE YÖNTEM	25
4.1. Gerçek Zamanlı Nehir Gözlem İstasyonu Tasarımı ve İmalatı	25
4.2. Nehir Gözlem İstasyonu için Kullanılan Entegre ve Entegre Elemanlarının Özellikleri	27
4.2.1. Ultrasonik sıvı seviye sensörü	28
4.2.2. GSM modül	28
4.2.3. 12 volt kuru tip akü	29
4.2.4. MPPT şarj kontrol cihazı ve güneş paneli	29
4.2.5. Mikroişlemci kart	30
4.3. Arduino Yazılımı	33
4.4. Sensör Kabin Tasarımı	35
4.5. Debi-Seviye İzleme	36
4.6. Debi Anahtar Eğrisi	40
4.7. Hidrolik Model	41
4.7.1. Hidrolik Model Girdileri	44
4.7.1.1. Sayısal Yükseklik Modeli	44
4.7.1.2. Arazi kullanım haritası	50
4.7.1.3. Akım verileri	51

4.8. İstatistiksel Yöntemler.....	53
4.8.1. Normal dağılım	53
4.8.2. Log-Normal dağılım.....	54
4.8.3. 3 parametrelili log-normal dağılım.....	54
4.8.4. Log-Pearson tip 3 dağılımı.....	55
4.8.5. Gumbel dağılımı.....	56
4.9. Taşkın Tehlike Haritaları.....	56
5. UYGULAMA VE SONUÇ	59
5.1. Gerçek Zamanlı Nehir Gözlem İstasyonu İmalatı.....	59
5.2. Arduino Programı İçin Yazılan Kodlar ve Haberleşme Protokolleri	59
5.3. Nehir Gözlem İstasyonu Laboratuvar ve Arazi Kalibrasyonu	62
5.4. Ölçüm İstasyonu Debilerinin Sisteme Aktarılması	68
5.5. Nehir Gözlem İstasyonu Verilerinin Doğrulanması.....	69
5.5.1. 2023 Su yılının gerçek zamanlı akım gözlem verileri ile değerlendirilmesi	72
5.6. Debi Anahtar Eğrisinin Belirlenmesi	78
5.7. Taşkın Debilerinin Belirlenmesi.....	79
5.8. Hidrolik Modelleme	81
5.9. Taşkın Yayılım Haritaları.....	84
5.9.1. 2023 yılı maksimum ölçüm debisi ait taşkın yayılım haritası.....	85
5.9.2. 2 yıllık tekerrürlü taşkın yayılım haritaları	88
5.9.3. 5 yıllık tekerrürlü taşkın yayılım haritaları	91
5.9.4. 10 yıllık tekerrürlü taşkın yayılım haritaları	94
5.9.5. 25 yıllık tekerrürlü taşkın yayılım haritaları	97
5.9.6. 50 yıllık tekerrürlü taşkın yayılım haritaları	100
5.9.7. 100 yıllık tekerrürlü taşkın yayılım haritaları	103
5.9.8. 500 yıllık tekerrürlü taşkın yayılım haritaları	106
5.10. Verilerin Web Arayüzüne Aktarılması ve Tasarlanan Web Arayüzü	110
6. DEĞERLENDİRME.....	113
KAYNAKLAR.....	115
ÖZGEÇMİŞ.....	121

KISALTMALAR

1B	: 1 boyutlu model
2B	: 2 boyutlu model
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetmimi Başkanlığı
AGİ	: Akım gözlem istasyonu
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CLC	: Corine Land Cover
CN	: Curve number
CORINE	: Coordination of Information on the Environment
DEM	: Digital Elevation Model
DSİ	: Devlet Su İşleri
ESA	: European Space Agency
ESRI	: Environmental Systems Research Institute
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FLEMO	: Flood Loss Estimation Model
FRM	: Flood Risk Method
G	: Gumbel Dağılımı
GIS	: Geographic Information System
HEC-RAS	: Hydrological Engineering Center River Analysis System
LP-T3	: Log Pearson Tip III Dağılımı
MGİ	: Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
N	: Normal Dağılım
ODF	: Olasılık Dağılım Fonksiyonu
P-T3	: Pearson Tip III Dağılımı
Q2	: 2 Yıllık Tekerrürlü Taşkın Debisi
Q5	: 5 Yıllık Tekerrürlü Taşkın Debisi
Q10	: 10 Yıllık Tekerrürlü Taşkın Debisi
Q25	: 25 Yıllık Tekerrürlü Taşkın Debisi
Q50	: 50 Yıllık Tekerrürlü Taşkın Debisi
Q100	: 100 Yıllık Tekerrürlü Taşkın Debisi

Q500 : 500 Yıllık Tekerrürlü Taşkın Debisi
SYM-DEM : Sayısal Yükseklik Modeli
USACE : United States Army Corps of Engineers
USGS : United States Geological Survey
YAMA : Yıllık Anlık Maksimum Akım



SİMGELER

A	: Havza Alanı
C_s	: Çarpıklık Katsayısı
d	: derinlik [m]
g	: Yer Çekimi İvmesi
H	: Tehlike
h	: Su derinliği
K	: Frekans Faktörü
L	: Dere Uzunluğu
N	: Veri Sayısı
n	: Manning Pürüzlülük Katsayısı
P	: Olasılık Değeri
Q	: Debi
S	: Harmonik Eğim
S, σ_x	: Standart Sapma
t	: Zaman
t_c	: Toplanma Süresi
u	: x Yönündeki Akım Hızı
V	: Ortalama Hız
v	: y Yönündeki Akım Hızı
X₀	: Log-Normal Alt sınır Değeri
x, μ, μ_x	: Ortalama



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Çalışma alanında gözlenmiş taşkınlar	23
Tablo 4.1. Arazi kullanımına göre pürüzlülük katsayıları.....	51
Tablo 4.2. E12A021 Numaralı Doğançay AGİ akım değerleri.....	52
Tablo 4.3. Taşkın tehlike derecesi	57
Tablo 5.1. Olasılık dağılımında kullanılan istatistiksel parametreler.....	80
Tablo 5.2. E12A021 No'lu istasyona ait tekerrülü taşkın debileri.....	80
Tablo 5.3. Hidrolik modelde kullanılan taşkın debileri.....	80



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dünya genelinde 2000-2019 yılları ve 2020 yılı afet sayısı (CRED, 2021)	5
Şekil 3.1. Çalışma alanı konumu	17
Şekil 3.2. Çalışma alanı sayısal yükseklik modeli	18
Şekil 3.3. Sakarya Nehri Sakarya il geçiş güzergahı	19
Şekil 3.4. Sakarya Havzasında yaşanmış taşkınlar (Sakarya Havzası Taşkın Yönetim Planı, 2017)	20
Şekil 4.1. Gözlem istasyonunun yerleştirildiği lokasyon	26
Şekil 4.2. Örencik Köprüsü.....	26
Şekil 4.3. Gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu (köprü kabin) bileşenleri	27
Şekil 4.4. Ultrasonik mesafe sensörü.....	28
Şekil 4.5. GSM modül	28
Şekil 4.6. Kuru tip akü	29
Şekil 4.7. Kontrol cihazı ve güneş paneli	29
Şekil 4.8. Mikroişlemci kart şematik gösterim	30
Şekil 4.9. Mikroişlemci kart baskı devre	31
Şekil 4.10 Mikroişlemci kart ve sensör bağlantı ağı.....	32
Şekil 4.11. Arduino-sensör bağlantısı akış şeması.....	34
Şekil 4.12. Arduino programı arayüzü.....	35
Şekil 4.13. Sensör kabin standı	36
Şekil 4.14. Batimetri haritası	37
Şekil 4.15. Örencik Köprüsü için batimetrik analizle oluşturulan enkesit	38
Şekil 4.16. Batimetri değerleri için oluşturulan ıslak çevre fonksiyonu.....	39
Şekil 4.17. Örencik Köprüsü proje kesit görüntüsü.....	39
Şekil 4.18. Debi anahtar eğrisi (Usul, 2021).....	40
Şekil 4.19. HEC-RAS Programı	41
Şekil 4.20. Harita iyileştirme aşamaları	45
Şekil 4.21. Bina poligonlarının çalışma alanındaki görünümü.....	47
Şekil 4.22. Bina üst kotları nitelik tablosu.....	48
Şekil 4.23. Bina üst kotlarının değer olarak tanımlanması	48
Şekil 4.24. Sayısal yükseklik modeli QGIS görünümü	49
Şekil 4.25. Sayısal yükseklik modeli görünümü (HEC-RAS).....	49
Şekil 4.26. Arazi kullanım haritası	50
Tablo 4.1. Arazi kullanımına göre pürüzlülük katsayıları.....	51
Tablo 4.2. E12A021 Numaralı Doğançay AGİ akım değerleri.....	52
Tablo 4.3. Taşkın tehlike derecesi	57
Şekil 5.1. Gözlem istasyonu entegre elemanları.....	59
Şekil 5.2. Arduino programı arayüzü ve protokoller	60
Şekil 5.3. Php fonksiyonları.....	61
Şekil 5.4. Arduino programı sensör haberleşme protokolü	62
Şekil 5.6. Nehir gözlem istasyonu laboratuvar kalibrasyonu	64
Şekil 5.7. Arazi kalibrasyon çalışması.....	65

Şekil 5.8. Cihaz kabin tasarımı ve imalatı	66
Şekil 5.9. Sensör koruma aparatı	66
Şekil 5.10. Nehir gözlem istasyonu entegre elemanları kabin görünümü	67
Şekil 5.11. Gerçek zamanlı akım gözlem istasyonu kabin montajı	67
Şekil 5.12. Sensör ölçümü.....	68
Şekil 5.13. Ölçüm debisinin saatlik değişiminin karşılaştırılması	70
Şekil 5.14. Ölçüm debisinin günlük değişiminin karşılaştırılması	71
Şekil 5.15. Ölçüm debisinin aylık değişiminin karşılaştırılması	72
Şekil 5.16. Nehir gözlem istasyonu 2023 su yılı Debi-seviye değişimi	73
Şekil 5.17. Günlük toplam yağış miktarı(2023 su yılı).....	74
Şekil 5.18. Nehir gözlem istasyonu mevsimlik su seviye değişimi	75
Şekil 5.19. Nehir gözlem istasyonu mevsimlik debi değişimi	77
Şekil 5.20. 17662 No’lu Meteoroloji İstasyonu mevsimlik yağış miktarı değişimi ..	78
Şekil 5.21. Örencik Köprü kesiti debi anahtar eğrisi	79
Tablo 5.1. Olasılık dağılımında kullanılan istatistiksel parametreler	80
Tablo 5.2. E12A021 No’lu istasyona ait tekerrürlü taşkın debileri	80
Tablo 5.3. Hidrolik modelde kullanılan taşkın debileri	80
Şekil 5.22. Tekerrürlü taşkın debileri.....	81
Şekil 5.23. Taşkın model sınırı	82
Şekil 5.24. SYM RAS Mapper arayüzü	83
Şekil 5.25. Hidrolik model hücre ağı görüntüsü	84
Şekil 5.26. Taşkın su derinliği haritası (Ölçüm Debisi).....	86
Şekil 5.27. Taşkın su hızı haritası (Ölçüm Debisi)	87
Şekil 5.28. Taşkın tehlike haritası (Ölçüm Debisi)	88
Şekil 5.29. Taşkın su derinliği haritası (Q_2).....	89
Şekil 5.30. Taşkın su hızı haritası (Q_2)	90
Şekil 5.31. Taşkın tehlike haritası (Q_2)	91
Şekil 5.32. Taşkın Su Derinliği Haritası (Q_5)	92
Şekil 5.33. Taşkın Su Hızı Haritası (Q_5).....	93
Şekil 5.34. Taşkın Tehlike Haritası (Q_5).....	94
Şekil 5.35. Taşkın Su Derinliği Haritası (Q_{10}).....	95
Şekil 5.36. Taşkın su hızı haritası (Q_{10})	96
Şekil 5.37. Taşkın tehlike haritası (Q_{10}).....	97
Şekil 5.38. Taşkın su derinliği haritası (Q_{25})	98
Şekil 5.39. Taşkın su hızı haritası (Q_{25})	99
Şekil 5.40. Taşkın tehlike haritası (Q_{25}).....	100
Şekil 5.41. Taşkın su derinliği haritası (Q_{50})	101
Şekil 5.42. Taşkın su hızı haritası (Q_{50})	102
Şekil 5.43. Taşkın tehlike haritası (Q_{50}).....	103
Şekil 5.44. Taşkın su derinliği haritası (Q_{100})	104
Şekil 5.45. Taşkın su hızı haritası (Q_{100}).....	105
Şekil 5.46. Taşkın tehlike haritası (Q_{100})	106
Şekil 5.47. Taşkın su derinliği haritası (Q_{500})	107
Şekil 5.48. Taşkın su hızı haritası (Q_{500}).....	108
Şekil 5.49. Taşkın tehlike haritası (Q_{500})	109
Şekil 5.50. Farklı tekerrürler için taşkın etkisi altında kalan alan ve bina sayısı.....	110
Şekil 5.51. Sakarya Nehri veri takip sistemi arayüzü	111
Şekil 5.52. Sakarya Nehri veri takip ve temin arayüzü.....	112

DEBİ- SEVİYE İZLEME VE TAŞKIN UYARI MAKSATLI GERÇEK ZAMANLI NEHİR GÖZLEM İSTASYONU İMALATI: AŞAĞI SAKARYA NEHRİ UYGULAMASI

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında, köprü kesitlerinde ultrasonik mesafe sensörü kullanılarak, insan gücüne ihtiyaç duymadan doğru ve sürekli gerçek zamanlı debi-seviye ölçümleri yapabilen bir nehir gözlem istasyonu geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde nehir üzerindeki hidrolik analizler için güvenilir veri sağlanmış ve olası taşkınlar için erken uyarı sistemi oluşturularak taşkın risklerinin en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Ultrasonik mesafe sensörleriyle ölçülen seviye verileri, köprü kesitlerinde kritik düzeylere ulaştığında ilgili kişi ve kurumlara uyarı ve bilgi mesajları gönderebilen bir sistem oluşturulmuştur.

Gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu entegre elemanları, dakikada iki kez nehir seviyesini ölçen ultrasonik sıvı seviye sensörü, Sim 800L GSM modülü, akü, mikroişlemci kartı, RS485 dönüştürücü ve entegre güneş panelinden oluşmaktadır. Bu sistemde, güneş paneli ve MPPT solar enerji kontrol ünitesi sayesinde harici bir besleme kaynağına ihtiyaç duymadan enerji bağımsızlığı sağlanmıştır. Ölçüm verileri GSM modülü aracılığıyla merkezi bir sunucuya aktarılmakta ve web sayfası üzerinden anlık olarak erişilebilmektedir.

Entegre sistemin yazılım kısmında, açık kaynak kodlu Arduino yazılımı kullanılmıştır. Ultrasonik mesafe sensöründen alınan veriler, GSM modülü aracılığıyla internet üzerinden sunucuya iletilmektedir. Bu işlemler, Arduino IDE kullanılarak kodlanmıştır. Verilerin alınması ve görüntülenmesi için PHP dili kullanılmıştır. Arduino platformu, sensörlerden gelen dijital ve analog sinyalleri işlemek için tercih edilmiştir.

Tasarlanan gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu, laboratuvar ve arazi kalibrasyonunun tamamlanmasının ardından Sakarya Nehri üzerindeki Örencik Köprüsü'ne monte edilmiştir. Sensör kabininin araç geçişlerinden ve dış koşullardan etkilenmemesi için özel olarak tasarlanan destek yapısı ve sensör yuvası, sensörün güvenli bir şekilde yerleştirilmesini sağlamıştır.

Gerçek zamanlı akım gözlem istasyonu tarafından toplanan veriler, Doğançay HES 1 verileri ile karşılaştırılmış ve %99 doğrulukla uyum sağladığı belirlenmiştir. Hesaplanan %97.9 determinasyon katsayısı, ölçülen verilerle HES akımlarının büyük bir kısmının açıklandığını göstermiştir. Bu yüksek uyum ile verilerin güvenilirliği ve doğruluğu teyit edilmiştir.

Tez çalışmasının taşkın modelleme çalışmalarında HEC-RAS programı kullanılarak iki boyutlu hidrolik taşkın hesaplamaları yapılmıştır. Çalışma alanındaki taşkın yayılımları, taşkın tekerrür debileri kullanılarak modellenmiştir. Tez çalışması kapsamında imal edilen akım gözlem istasyonu ile nehir yatağı içerisinde ölçüm yapılan periyottaki en yüksek debi değeri ve 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 yıllık tekerrürlü debi değerleri belirlenmiş ve model oluşturulmuştur. Bu modellerden elde edilen

veriler, taşkın derinlik, hız ve tehlike haritalarının oluşturulması amacıyla coğrafi bilgi sistemi yazılımlarından biri olan ArcGIS programına aktarılmıştır.

Bu tez çalışması ile geliştirilen sistemin web sayfası arayüzü üzerinden, gerçek zamanlı debi-seviye bilgilerine ve farklı tekerrür sürelerine ait HEC-RAS programı kullanılarak oluşturulan taşkın yayılım haritalarına erişim sağlanmıştır. Bu sayede, kullanıcılar anlık verileri takip edebilir ve olası taşkın risklerini değerlendirebilir. Sistem, taşkın yönetimi ve erken uyarı süreçlerinde, taşkın zararlarının en aza indirilmesinde kritik bir rol oynayacaktır.



MANUFACTURING OF A REAL-TIME RIVER MONITORING STATION FOR DISCHARGE-LEVEL MONITORING AND FLOOD WARNING: LOWER SAKARYA RIVER APPLICATION

SUMMARY

In this thesis, a river monitoring station has been developed that can perform accurate and continuous real-time discharge-level measurements at bridge cross-sections using an ultrasonic distance sensor, without the need for human intervention. This system provides reliable data for hydraulic analyses on the river and aims to minimize flood risks by establishing an early warning system for potential floods. The level data measured with ultrasonic distance sensors form a system that can send alert and information messages to relevant individuals and institutions when the levels at the bridge cross-sections reach critical thresholds.

The real-time river monitoring station's integrated components include an ultrasonic liquid level sensor that measures the river level twice per minute, a Sim 800L GSM module, a battery, a microprocessor card, an RS485 converter, and an integrated solar panel. In this system, energy independence is achieved without the need for an external power source, thanks to the solar panel and the MPPT solar energy control unit. Measurement data is transmitted to a central server via the GSM module and can be accessed instantly through a web page.

In the software part of the integrated system, open-source Arduino software is utilized. The data collected from the ultrasonic distance sensor is transmitted to the server over the internet via the GSM module. These operations have been coded using the Arduino Integrated Development Environment (IDE). The PHP language has been used for receiving and displaying the data. The Arduino platform is preferred for processing digital and analog signals from sensors.

After completing the laboratory and field calibration, the designed real-time river monitoring station was mounted on the Örencik Bridge over the Sakarya River. A specially designed support structure and sensor housing ensure the sensor cabin is protected from vehicle traffic and external conditions, allowing the sensor to be securely installed. This cabin is designed to protect electronic equipment in a waterproof environment and to minimize malfunctions caused by external factors.

A special protection device has been designed for the sensor cabin stand. This device protects the sensor from falls and is manufactured with a structure that can be moved upwards, allowing for easy removal when necessary. The design has been developed to ensure that there are no obstacles in front of the sensor, to facilitate installation and removal processes. This design supports the effective use of the sensor and minimizes potential problems.

The developed river monitoring station was successfully mounted on the Örencik Bridge over the Sakarya River, and the accuracy of the data obtained has been tested using various methods. The station plays a significant role in flood risk management by making real-time water level and discharge measurements. The calibration of the

developed system was meticulously carried out through laboratory and field studies, confirming the accuracy and reliability of the data obtained.

Calibration studies conducted in a laboratory environment were meticulously executed through the integration of manual and automatic measurement techniques. These studies were carried out to make the necessary adjustments to ensure accurate measurements by the sensors. Field calibration studies were conducted at the pipe transmission bridge connected to Hanlı district over the Sakarya River and at the Örencik Bridge where the station was to be installed. At the Örencik Bridge, the distance measured by the sensor was recorded as 1098 cm, while the measurement made with a laser meter was determined to be 1097 cm. This resulted in a margin of error of 0.1%, confirming that the sensor settings were correctly adjusted and the calibration was successful.

The data collected by the real-time streamflow monitoring station were compared daily, hourly, and monthly with the data from Doğançay HES 1 and were found to align with 99% accuracy. The calculated determination coefficient of 97.9% indicates that a significant portion of the measured data can explain the flow rates of the HES. This high conformity confirms the reliability and accuracy of the data.

In the thesis work, a discharge rating curve was developed using regular level measurements taken at the Örencik Bridge section of the Sakarya River from 2022 to 2023 for the river monitoring station constructed. The high determination coefficient ($R^2 = 0.9981$) of this curve demonstrates that the curve fits the data very well and accurately represents the relationship between water level and discharge.

For the verification of data from the real-time river monitoring station, values from the 2023 water year were analyzed. It was determined that the annual average water level measured by the river monitoring station, at 2.06 meters, exceeded the average water level of the summer months but fell below that of the spring months. In terms of seasonal discharge variations, the average discharge was 50.71 m³/s, which was above the average discharge value for the autumn months but below that for the spring months.

The 2023 water year values, including water level and discharge measurements, were analyzed alongside the total daily precipitation data obtained from the Turkish State Meteorological Service's station number 17662. During periods of increased rainfall, corresponding rises in water levels and discharge were noted, providing strong validation for the accuracy of these measurements. Particularly during times of heavy rainfall, notable increases in both discharge and water levels were observed. This responsiveness highlights how well the basin reacts to changes in rainfall amounts and illustrates the high degree of alignment between the real-time river monitoring station's measurement data and the hydrological characteristics of the basin.

For the flood modeling in the thesis work, the HEC-RAS software was employed. The necessary digital elevation model and building polygon information for the HEC-RAS program infrastructure were obtained from the Ministry of Environment Urbanization and Climate Change, while the land use map was sourced from the CORINE dataset. Flood discharge calculations for the two-dimensional hydraulic analysis were computed using probability distribution functions. For these calculations, the annual maximum instantaneous peak discharges (YAMA) from the Doğançay station, identified by code E12A021, were utilized. The flood discharges were derived using various distributions, including Normal Distribution, Log-Normal with 2 Parameters,

Log-Normal with 3 Parameters, Pearson Type 3, Log-Pearson Type 3, and Gumbel Distribution.

During the thesis work, the flow monitoring station that was manufactured was used to measure the highest discharge value during the measurement period in the riverbed, as well as the recurring discharge values for 2, 5, 10, 25, 50, 100, and 500 years. Models were developed based on these measurements. Data derived from these models were then transferred to ArcGIS, a geographic information system software, for the purpose of creating flood depth, velocity, and hazard maps. This integration facilitated the detailed analysis and visualization of potential flood impacts, enhancing the effectiveness of flood risk management and planning.

This thesis work has developed a system that allows access to real-time discharge-level information and flood inundation maps created using the HEC-RAS program through a web page interface. This enables users to monitor instantaneous data and assess potential flood risks. The system has played a critical role in flood management and early warning processes, significantly aiding in the minimization of flood damages. Through this integrated platform, stakeholders can respond more effectively to emergent flood events, optimizing mitigation strategies based on real-time data and predictive modeling.



1. GİRİŞ

Küresel iklim değişimine bağlı olarak yağışların şiddetinde ve miktarında oluşan ani değişimler taşkınların meydana gelme sıklığında artışa neden olmuştur. Taşkınlar, topoğrafik ve jeoteknik özelliklere bağlı olarak önemli boyutlarda can ve mal kaybıyla sonuçlanan doğal afettir. Dünya genelinde büyük sosyo-ekonomik kayıplara sebep olan taşkınları sadece meteorolojik bir afet olarak ifade etmek mümkün değildir. Artan ekonomik faaliyetler, sanayileşmeyle oluşan kentleşme ve akarsu havzalarındaki insan faaliyetleri hidrolojik dengeyi tahrip etmekte ve taşkınların etkisini arttırmaktadır.

Günümüzde oluşturulacak teknolojik altyapı ile taşkınları önceden tahmin etmek, taşkın öncesinde taşkın anında ve taşkın sonrasında gerekli önlemlerin alınmasını sağlamak, oluşabilecek can ve mal kaybı riskini azaltmak mümkündür. Nehir seviyesinin zamanında ve doğru takip edilmesi oluşabilecek risklerin daha erken fark edilmesine ve buna bağlı önlemlerin alınmasını sağlamaktadır. Fakat günümüzde kullanılan mevcut ölçüm yöntemleriyle elde edilen sonuçlar, nehir üzerinde yapılacak bir yapının boyutlandırılmasında ya da taşkın yayılım alanlarının belirlenmesinde yeterli veri doğruluğu sağlanamamaktadır. Mevcut ölçüm yöntemleri olumsuz hava koşullarından arazi şartlarından ve yoğun iş gücü gereksiniminden etkilenmekte ve ölçüm sıklığını azaltmaktadır. Taşkın yayılım alanlarının doğru belirlenmesi için sürekli ve düzenli yapılmış debi-seviye ölçümleri gerekmektedir.

Günümüz imkanları fiziksel iş gücü gereksiniminden bağımsız istenilen sıklıkta yüksek doğrulukta ölçüm yapılabilecek teknolojik altyapının oluşturulmasına imkân sağlamaktadır. Hassas ve sürekli veri ölçümüyle yapılan projelendirmeler ve taşkın risk analizleri daha doğru sonuçlar vermektedir.

Bu tez çalışması ile köprü kesitlerinde ultrasonik mesafe sensörleri ile insan gücünden bağımsız istenilen sıklıkta doğru ve eksiksiz verilerle debi-seviye ölçümü yapabilen bir nehir gözlem istasyonu kurulmuştur. Böylece nehir üzerinde planlanan birçok proje için güvenilir debi hesabı yapılabilecektir. Ayrıca bu sistemde ultrasonik mesafe sensörü ile ölçülen seviyenin köprü kesitlerinde belirlenen kritik düzeye ulaşması durumunda ilgili kurumlara uyarı ve bilgi mesajı gönderilerek olası taşkınlara karşı

erken uyarı sistemi oluşturulmuştur. Böylelikle olası can ve mal kayıplarının azaltılması amaçlanmaktadır. Tez çalışması ile imal edilen sistemin web sayfası ile birlikte gerçek zamanlı debi-seviye bilgisine ve farklı tekerrürlerdeki debiler için HEC-RAS programıyla oluşturulan taşkın yayılım haritalarına ulaşılmasına imkân sağlanmıştır.

1.1. Taşkın

"Taşkın" terimi, suyun normal yatağını terk ederek, sınırlarını aşarak çevresine yayılması anlamına gelmektedir. Taşkınlar genellikle nehirlerin, dere yataklarının veya diğer su kaynaklarının aşırı yağış, kar erimesi, baraj patlaması gibi nedenlerle normalden daha fazla su taşıması durumunu ifade etmektedir. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) ile Afetlerin Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi (CRED) tarafından yapılan araştırmalara göre, taşkınlar, canlıları etkileyen ve onlara zarar veren en yaygın ve en yıkıcı doğal tehlikelerden biridir. (OECD, 2016) (CRED, 2017)

Taşkınlar çoğunlukla yoğun yağışlara bağlı olarak nehirlerin taşıma kapasitesinin üstünde çıkarak akması olarak tanımlansa da (Macchione ve ark., 2019 ve Ahmed ve diğ. 2018) özellikle kıyı bölgelerinde, tsunami veya yüksek dalga ve deprem nedenli baraj yıkımı gibi diğer olaylardan da kaynaklanabilmektedir. Göller, göletler, rezervuarlar, akiferler ve haliçlerin su seviyelerinin kritik bir değeri aşması ve bitişik arazileri sular altında bırakması da taşkın olarak tanımlanmaktadır. (Akbari ve ark., 2014; Trung ve ark., 2018; Walalite ve ark., 2018).

Yağış miktarı, toprak yapısı, coğrafi konum ve su yönetimi sistemlerinin durumu gibi faktörler, taşkın olaylarının oluşumunda etkili olan unsurlardır. (Sein, 2016; Shao ve ark., 2019) Taşkın oluşumu için belirli coğrafi karakteristiklerin yanında drenaj havzasının alan genişliği, eğimi, kanal boyunca kesit alanı değişimleri de taşkınların oluşumunda önemli unsurlardır (Şen, 2018).

Taşkın, hidrolojik ve meteorolojik faktörlerin bir kombinasyonunun neden olduğu doğal bir tehlikedir (Abdelkarim ve ark., 2019; Yousuf Gazi ve ark., 2019) ve doğal afetler içinde en yıkıcı, ölüme en fazla neden olanıdır (Maskong, 2019). Taşkınlar, sadece meteorolojik olaylarla değil, aynı zamanda insan etkisiyle de doğrudan ilişkilidir. Yerleşim alanlarının genişlemesi, plansız kentleşme, ormansızlaşma ve su yollarının düzenlenmesindeki hatalı uygulamalar, taşkın riskini artırmaktadır (Abebe ve ark., 2019a). Özellikle betonlaşma, su drenaj sistemlerinin yetersizliği ve doğal su

havzalarının manipölasyonu gibi insan müdahaleleri, yağışların normalden fazla olması durumunda suyun hızla ve kontrolsüz bir şekilde taşmasına neden olmaktadır (Chen ve ark., 2019). Bu sebeple, taşkın yönetimi açısından sadece doğal etmenlere odaklanmak değil, aynı zamanda insan etkilerini de dikkate alan kapsamlı bir yaklaşım benimsemek önemlidir.

Taşkın, meydana geldiği yere ve bunlara neyin sebep olduğuna bağlı olarak farklı türlere ayrılmıştır. Taşkın türleri aşağıda açıklanmıştır.

1.1.1. Ani taşkınlar

Ani taşkınlar, genellikle yoğun yağış, kar erimesi, fırtına veya benzeri doğal olaylar sonucunda nehirler, göller veya diğer su kütlelerinde hızla yükselen su seviyelerinin meydana getirdiği taşkın türüdür (Taha ve ark, 2017; Abdulrazzak ve ark.,, 2019). Ani taşkınlar özellikle kentleşmenin olduğu bölgelerde engellenen drenaj sistemleri ve aşırı yağışlar nedeniyle oluşan su birikintileriyle kentsel bir felakete neden olabilmektedir (Sönmez 2013; Wang, Z.ve ark., 2019).

Ani taşkınlar, yüzeysel sularda hızla artan su seviyesi ve oluşturduğu şiddetli akış ile erozyona, altyapı zararlarına hatta can kaybına sebebiyet vermektedir. Kısa süreli yoğun yağışlar, sürekli yağış almayan bölgelerde dahi ani taşkınlara neden olmaktadır (Mahmoud ve Gan, 2018).

Ani taşkınlardan korunmak amacıyla yapılan risk planlamalarında, gerçek zamanlı meteorolojik verilerin izlenmesi ve arazi kullanım bilgilerinin dikkate alınması büyük önem arz etmektedir. Bu veriler, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi ve etkilenen bölgelerde koruyucu önlemlerin planlanması için temel bilgi niteliği taşımaktadır. Ani taşkınların oluşumunu anlamak ve bu tür olaylara karşı etkili bir şekilde hazırlıklı olmak, hem çevresel hem de insan sağlığı açısından kritik bir önem arz etmektedir.

1.1.2. Nehir taşkınları

Nehir taşkınları, nehirdeki su seviyesinin yükselip havzanın taşıma kapasitesini aşması ve çevresine yayılmasıyla meydana gelen bir taşkın türüdür. Bu durum yoğun yağışlar, kar ve buzulların erimesi, nehrin doğal akışını engelleyen insan faaliyetleri gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır (Akbari ve ark., 2014; Trung ve ark., 2018; Walalite ve ark., 2018). Ayrıca yüzey geçirimsizliği, bitki örtüsü ve taşkın yatağındaki kontrolsüz yerleşimler nehir taşkınlarının etkisini arttırmaktadır.

1.1.3. Kıyı taşkınları

Kıyı taşkınları okyanus veya deniz sularının iç kısımlara doğru hareket etmesiyle kıyı bölgesinde meydana gelen taşkınlardır (Buchori ve ark., 2018; Yin ve ark., 2019).

Tropik fırtınalar, kasırgalar ve açık denizdeki yoğun alçak basınç gibi doğal olaylar, büyük miktarda okyanus suyunun karaya doğru itilmesine neden olarak kıyı taşkınlara yol açmaktadır. (Coquet ve ark., 2019; Hadipour ve ark., 2019). Denizdeki volkanik hareketler veya depremlerden kaynaklanan gelgit deniz dalgaları da kıyı taşkınlara sebep olabilmektedir (Doyle, 2003). Kıyı taşkınları, insan, çevre ve ekonomi açısından olası kayıpları nedeniyle temel bir risk kategorisi olarak değerlendirilmektedir. Bu riski anlamak ve yönetmek amacıyla yapılan kıyı taşkın tehlike haritalaması, fırtına dalgaları, iklim değişikliğinin etkisiyle deniz seviyesinin yükselmesi, şiddetli yağışlar gibi nedenlerle kıyı taşkınlara maruz kalan alanlarda taşkın sınırlarını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir (Batista, 2018).

1.1.4. Kentsel taşkınlar

Kentsel taşkınlar, genellikle arazinin büyük bir kısmının beton, asfalt ve benzeri geçirimsiz malzemelerle kaplandığı ve şehirlenmenin olduğu alanlarda meydana gelen taşkın türüdür. Lokal taşkınlar olarak da bilinen kentsel taşkınlar, şiddetli ve yoğun yağışlarla beraber yüzey geçirimsizliğin az olduğu ya da olmadığı alanlarda yağışın yüzeysel akışa neden olmasıyla meydana gelmektedir (Park ve Lee, 2019; Zhou ve ark., 2019).

Kentsel taşkınlar, şehir altyapısındaki ulaşım, kanalizasyon, iletişim ve elektrik arızası gibi ciddi sosyoekonomik etkilere yol açmaktadır. Bu sorunları önlemek ve etkilerini azaltmak için kentsel drenaj sistemleri, fazla suyun kentsel alanlardan uzaklaştırılması ve taşkınların kontrol altına alınması amacıyla tasarlanmış önemli bir şehir altyapısıdır (Rojas ve ark., 2017; Zhao ve ark., 2019).

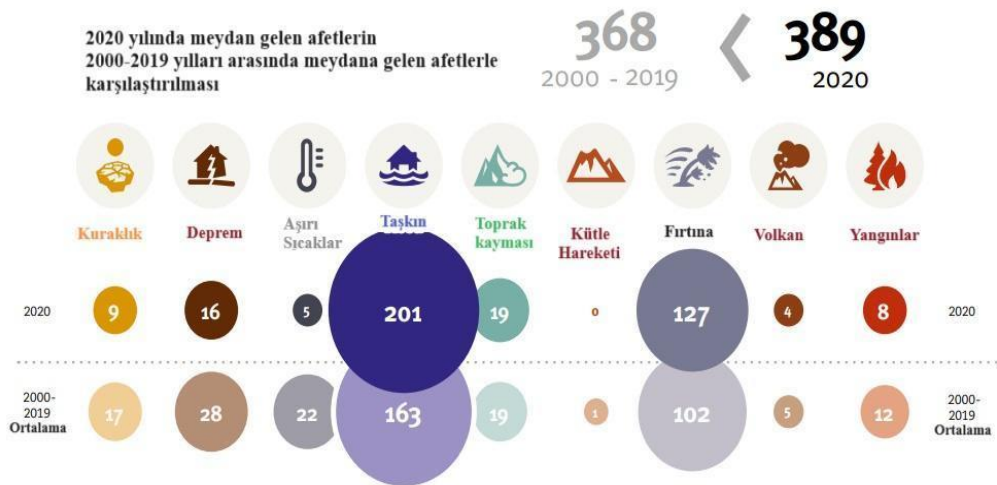
Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, kentsel taşkınlar giderek artan bir sorun haline gelmektedir. Bu durumun temel nedeni, şehir planlamasının yeterince yapılmadan inşaat faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi ve taşkın riskinin doğru bir şekilde değerlendirilmemesi olarak öne çıkmaktadır. Lokal taşkınları önlemek için olası taşkın senaryolarının belirlenmesi, bu bilgilerin raporlanması, erken uyarı sistemlerinin kurulması ve kentsel drenaj ağlarının etkin bir şekilde işletilmesi büyük önem taşımaktadır.

1.2. Taşkınların Etkileri ve Ekonomik Zararları

Taşkın doğal hidrolojik döngünün bir parçası olarak her zaman var olmuştur. Ancak son yıllarda, iklim değişikliğinin tetiklediği aşırı hava olayları sebebiyle dünya genelinde taşkınların sayısı ve etkileri artmıştır. Küresel ısınma, buzulların erimesine ve deniz seviyelerinin yükselmesine yol açarken, aynı zamanda yağış desenlerinde de önemli değişikliklere neden olmaktadır. Bu durum, hem beklenmedik mevsim dışı yağmurların hem de önceden nadir görülen şiddetli yağışların daha sık yaşanmasına sebep olmakta, nehirlerin taşmasına ve kentsel alanlarda su baskınlarına yol açmaktadır. Taşkınların sayısında ve sıklığında meydana gelen bu artış hem ülkemizde hem dünyada, taşkınların meydana getirdiği zararın boyutunu da arttırmıştır. Türkiye’de 1975-2015 yılları arasında 1209 taşkın olayı yaşanmış, 720 kişi hayatını kaybetmiş ve 893933 hektarlık alan sular altında kalmıştır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Taşkın Yönetimi, 2017).

Türkiye Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı’nın (AFAD) 2020 ve 2022 yıllarında verdiği olay istatistiklerine bakıldığında ise meydana gelen taşkın sayısının sadece 2020 yılı için 177, 2022 yılı için 450 olduğu görülmektedir (AFAD, 2023).

Dünyada meydana gelen taşkınların diğer afetler içindeki durumuna Şekil 1.1’de bakıldığında ise; Taşkınlar, 2020 yılında en fazla meydana gelen doğal afet türü olarak öne çıkmaktadır. 2020’de 201 adet taşkın olayı yaşanmışken, 2000-2019 yılları arasındaki yıllık ortalama 163 olay yaşanmıştır. Afet sayıları karşılaştırıldığında belirgin bir artış görülmektedir. Bu artış, taşkınların diğer afet türlerine göre daha yaygın ve sık meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 1.1. Dünya genelinde 2000-2019 yılları ve 2020 yılı afet sayısı (CRED, 2021)

Doğal afetler arasında en yaygın olan taşkınlar, neden olduğu doğrudan ve dolaylı ekonomik kayıplar ile toplumsal düzeni bozabilmektedir. Bu felaketlerin yol açtığı ekonomik etkiler, tarım arazilerinin tahribatından altyapı ve sanayi tesislerinin hasarlarına kadar uzanmaktadır. Özellikle taşkınların ekinleri yok etmesi toprak kalitesini azaltması, verimliliği düşürmesi tarım sektöründe ciddi ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Taşkınlar su ekosistemlerinin bozulmasına, biyolojik çeşitliliğin zarara uğramasına ve toprak erozyonu ile çevre kirliliğinin artmasına neden olabilmektedir

Taşkınlar depremlerden sonra ülke ekonomimizi en fazla zarara uğratan doğal afettir. Ülkemizde taşkınlardan kaynaklı her yıl yaklaşık 300 milyon TL ekonomik kayıp yaşanmaktadır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Taşkın Yönetimi, 2017). EM-DAT (Emergency Events Database) verilerine göre ise 2000-2023 yılları arasında Türkiye’de meydana gelen taşkınlar yaklaşık 49.5 milyar TL ekonomik kayba neden olmuştur. Dünya genelinde de önemli kayıplara sebep olan taşkınlar, Dünya Kaynakları Enstitüsü (World Resources Institute) tarafından yapılan bir çalışmaya göre 2018-2022 yılları arasında 299 milyar dolarlık ekonomik kayba yol açmıştır (World Resources Institute, 2023). Bu veriler, taşkınların ekonomik etkilerinin ne denli büyük olduğunu göstermektedir.

Taşkınların etkilerini ve ekonomik kayıplarını azaltmada alınacak önlemler arasında taşkın kontrol yapıları (barajlar, bentler), nehir yataklarının düzenlenmesi, afetlere dayanıklı altyapı ve bina inşası, toplumun bilinçlendirilmesi ve acil durum planlaması gibi adımlar yer almaktadır. Taşkın riski olan alanlarda yapılaşmanın sınırlandırılması, doğal su havzalarının korunması, taşkın tahmin ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi önemlidir. Bu tedbirlerin uygulanması, taşkın riskinin azaltılmasında ve olası zararların minimize edilmesinde kritik öneme sahiptir.

1.3. Taşkın Koruma Yöntemleri

Taşkın koruma yöntemleri, taşkından kaynaklanan olası zararları azaltmak amacıyla geliştirilmiş strateji ve uygulamalar bütünüdür. Taşkın koruma yöntemleri, genellikle yapısal ve yapısal olmayan olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Yapısal yöntemler, fiziksel engeller inşa etme veya mevcut su yollarını değiştirme gibi doğrudan müdahaleleri içerir. Bunlar arasında barajlar, setler, sel duvarları, taşkın kanalları ve

su depolama havzaları bulunur. Bu yapılar, taşkın sularını kontrol altına almak, yönlendirmek veya depolamak için tasarlanmaktadır. (Kerim ve Süme, 2019)

Yapısal olmayan yöntemler ise, taşkın riskini azaltmak için toplumun davranış ve yönetim stratejilerini değiştirmeyi içermektedir. Bu kapsamda, arazi kullanım planlaması, taşkın riski olan alanlardan kaçınma, taşkın öncesi hazırlık planları, erken uyarı sistemleri yer almaktadır.

1.3.1. Yapısal taşkın koruma yöntemleri

Yapısal taşkın koruma yöntemleri, taşkın sularının yönetilmesi ve kontrol edilmesi amacıyla fiziksel altyapıların inşa edilmesini içermektedir (Kundzewicz, 2003). Bu yöntemler, genellikle suyun hareketini engellemek, yönlendirmek veya depolamak için tasarlanmıştır. Barajlar ve rezervuarlar, taşkın sularını tutarak aşırı yağışlar sırasında suyun kontrolsüz bir şekilde akmasını önlerken; setler, sel duvarları ve taşkın savunma duvarları, suyun belirli alanlara yayılmasını engelleyerek yerleşim yerlerini ve tarım arazilerini korur. Taşkın kanalları ve yeniden yönlendirme kanalları ise, fazla suyun güvenli bir şekilde boşaltılmasını sağlar, böylece suyun neden olduğu baskın ve erozyon riskini azaltır. Bu yapısal müdahaleler, mühendislik ve teknolojinin birleşimiyle, risk altındaki bölgelerdeki toplulukların güvenliğini ve korunmasını sağlamayı amaçlar. (Kerim ve Süme, 2019)

1.3.2. Yapısal olmayan taşkın koruma yöntemleri

Yapısal olmayan taşkın koruma yöntemleri, fiziki altyapı müdahalelerinin ötesine geçmekte olup, taşkın risklerini yönetme ve azaltma stratejilerini kapsamaktadır (Akman, 2021). Bu yöntemler arasında, özellikle taşkın olaylarının önceden tahmin edilmesi ve ilgili bölgelerdeki insanlara zamanında bilgi verilmesi açısından hayati öneme sahip olan erken uyarı sistemleri (EWS), ön plana çıkmaktadır. Erken uyarı sistemleri, meteorolojik veriler, hidrolojik modellemeler ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi çeşitli teknolojik araçların entegre edilmesiyle geliştirilen kompleks yapılar olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemlerin başarısı, sadece teknolojik kapasitelerle değil, aynı zamanda toplulukların bu uyarıları alabilme ve anlayabilme kapasiteleriyle de yakından ilişkilidir. Etkili bir erken uyarı sistemi, taşkın riskinin yüksek olduğu bölgelerde yaşayan insanların, tahmin edilen taşkın olaylarına karşı hazırlıklı olmalarını ve gerekli önlemleri alabilmelerini sağlayarak, can ve mal kaybını önemli ölçüde azaltabilir. Bu nedenle, eğitim ve bilinçlendirme faaliyetleri, erken uyarı

sistemlerinin bir parçası olarak ele alınmalı ve bu sistemlerin toplumun tüm kesimlerine ulaşabilmesi için çaba gösterilmelidir. Ayrıca, yerel halkın katılımı ve geri bildirimleri, sistemlerin sürekli iyileştirilmesi ve uyarıların yerel koşullara uygun şekilde özelleştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, yapısal olmayan taşkın koruma yöntemleri, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda entegre su kaynakları yönetimi ve iklim değişikliğine adaptasyon stratejileri ile uyumlu olarak ele alınmalıdır. Erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması, bu geniş çerçevede, multidisipliner bir yaklaşım gerektirmekte olup, mühendislik, meteoroloji, coğrafya, sosyoloji ve iletişim teknolojileri gibi farklı disiplinlerin bilgi ve deneyimlerinin birleştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

1.3.2.1. Erken uyarı sistemleri

Taşkınlar için geliştirilen erken uyarı sistemlerinin, doğal afetlerin yol açtığı zararları minimize etmede ve insan hayatını korumada kritik bir öneme sahip olduğu bilinmektedir. Bu sistemlerin tasarımı ve uygulaması, disiplinlerarası bir yaklaşımı gerektirmekte, hidrolojik ve meteorolojik verilerin toplanması, işlenmesi ve analiz edilmesini kapsamaktadır. Bu bağlamda, sürekli bilimsel araştırma ve teknolojik yenilik süreci, bu sistemlerin gelişiminde temel bir rol oynamaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalar, erken uyarı sistemlerinin, afet yönetimi süreçlerini daha etkin ve verimli hale getirerek, doğrudan ve dolaylı faydalar sağladığını ortaya koymaktadır. Bu sistemler, afetlere karşı müdahale sürelerini kısaltarak, su baskını zararlarını önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir (Carsell ve ark, 2004). Veriye erişimin sınırlı olduğu bölgelerde bile, yerel bilgi ve uzman görüşlerinin nicel verilerle bütünleştirilmesi, etkili erken uyarı mekanizmalarının oluşturulmasını mümkün kılmaktadır (Cools ve ark, 2012).

Taşkın uyarı maksatlı geliştirilen çeşitli sistemlerin, yağış tabanlı, yağış-akış modeli tabanlı karşılaştırılması, geniş havza alanlarında ve ekstrem hidrolojik olaylarda benzer performans sergilediğini göstermektedir (Corral ve ark, 2019). Aynı zamanda kıyı bölgeleri için geliştirilen erken uyarı sistemlerinin ve sayısal modellerin taşkın tahmini yapılmasında ve olası taşkın durumunda gerekli önlemlerin alınmasında taşkın risk yönetimine önemli katkılar sağladığını ortaya koymaktadır (Doong ve ark 2012).

Taşkın erken uyarı sistemlerinin etkinliğinin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar, model çeşitliliğinin ve toplum bilincinin, sistemlerin performansı üzerinde kritik bir

etkiye sahip olduğunu vurgulamaktadır (Cloke ve ark, 2017). Bireylerin, alınan uyarılar karşısında nasıl harekete geçeceklerini bilmeleri, sistemlerin maddi kayıpları azaltma kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadır (Kreibich ve ark, 2021).

Etkili bir erken uyarı sistemi, doğru ve zamanında tahminler yapmalı, bu tahminleri ilgili kişi veya kurumlara etkin bir şekilde ulaştırmalı ve ardından uygun müdahalelerin yapılmasını sağlamalıdır (Plate, 2007).

Sonuç olarak, taşkın erken uyarı sistemleri, afet risk yönetiminde temel bir bileşen olarak değerlendirilmektedir. Bu sistemlerin etkinliği, teknolojik altyapı ve modellerin yanı sıra, toplumun bu sistemlere olan duyarlılığı ve hazırlık düzeyi ile de yakından ilişkilidir.





2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Taşkınlarla ilgili akademik çalışmalar, hidroloji, jeomorfoloji, çevre mühendisliği, su kaynakları yönetimi, coğrafi bilgi sistemleri gibi çeşitli disiplinlerde yürütülmektedir. Bu çalışmalar, taşkınların nedenlerini, etkilerini, yönetimini ve azaltılmasını ele almaktadır.

Taşkınların nedenleri arasında aşırı yağışlar, kar erimeleri, fırtınalar ve yükselen deniz seviyeleri sayılabilir. Bu faktörlerin yanı sıra insan faaliyetleri de taşkın riskini artırabilir. Örneğin, yüzey suyu drenaj sisteminin bozulması, doğal su kaynaklarının tüketimi, ormanlık alanların yok edilmesi, şehirleşme ve yapılaşma gibi insan faaliyetleri, taşkın riskini artırabilir.

Taşkınların etkileri arasında insan sağlığına zarar verme, özellikle de yaşlılar, çocuklar ve hastalar için tehlike oluşturma, ev ve iş yerlerinde hasara yol açma, tarım arazilerinin zarar görmesi, su kalitesinde azalma, çevre kirliliği, habitat kaybı ve doğal kaynakların tahrip olması sayılabilir.

Taşkın yönetimi ve azaltılması için birçok strateji ve teknoloji geliştirilmiştir. Bu stratejiler arasında sel tahmin ve uyarı sistemleri, çevresel düzenlemeler, yüzey sularının yönetimi, yerel toplulukların katılımı, yapay ıslahlar ve taşkın sigortası gibi yöntemler yer almaktadır.

Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) taşkın yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. CBS kullanarak, taşkın riski taşıyan alanlar belirlenebilir ve bu alanlarda yapılabilecek koruyucu önlemler ve stratejiler geliştirilebilir. Ayrıca, CBS sayesinde, taşkınların yönetimi ve azaltılması için gereken kaynakların tahmin edilmesi ve yönetimi de kolaylaştırılabilir.

Sonuç olarak, taşkınlarla ilgili yapılmış akademik çalışmalar, taşkınların nedenlerini, etkilerini ve yönetimini ele almaktadır. Bu çalışmaların sonucunda elde edilen bilgi ve stratejiler, taşkın riskini azaltmak ve toplumları taşkın felaketlerinden korumak için kullanılabilir.

Taşkınlar, küresel iklim değişikliği nedeniyle dünya genelinde giderek artan bir tehlike haline gelmektedir. Son 20 yılda yapılan birçok akademik çalışma, taşkınların nedenleri, etkileri ve yönetimi konularında önemli bulgular sunmuştur.

Taşkınlar üzerine yürütülen akademik çalışmalar, hidroloji, jeomorfoloji, çevre mühendisliği ve su kaynakları yönetimi gibi alanlarda oldukça geniş bir bilimsel çerçeveye sahiptir ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi modern teknolojilerin kullanımıyla desteklenmektedir. Bu multidisipliner çalışmalar, taşkınların nedenlerini, etkilerini, yönetimini ve azaltılmasını kapsamlı bir şekilde ele almaktadır.

Taşkınların nedenleri, doğal süreçler ve insan kaynaklı faaliyetler olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal süreçler arasında aşırı yağışlar, kar erimeleri, fırtınalar ve deniz seviyelerinin yükselmesi bulunurken (Talbot ve ark., 2018), insan kaynaklı faaliyetler ise yüzey suyu drenajının bozulması, doğal su kaynaklarının aşırı tüketimi, ormanlık alanların yok edilmesi ve şehirleşme gibi faktörleri içermektedir (Morris ve Brewin, 2014). Bu faktörlerin bir araya gelmesi, taşkın riskini önemli ölçüde artırmaktadır.

Taşkınların insan sağlığı üzerindeki etkileri oldukça ciddi olabilmekte, ölümlere, yaralanmalara, psikolojik streslere ve çeşitli hastalıklara neden olabilmektedir (Alderman ve ark., 2012). Crawford ve arkadaşlarının (2021) çalışması, aşırı sel olaylarının, insan ve çevre sağlığı için ciddi riskler taşıyan kirleticilerin yeniden harekete geçirilmesine yol açabileceğini ortaya koymuştur. Du ve arkadaşları (2010) ise, sel felaketlerinin sağlık üzerindeki kısa, orta ve uzun vadeli etkilerini detaylı bir şekilde incelemiştir.

Taşkınların çevresel etkileri de göz ardı edilemez. Talbot ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan bir çalışma, taşkın olaylarının hemen hemen her ekosistem hizmetinde kayıplara yol açabileceğini belirtirken, Kozlowski (1984), sel altında kalan toprağın bitki metabolizmasını nasıl değiştirebileceğini ve büyümeyi engelleyebileceğini vurgulamıştır.

Taşkın yönetimi ve risk azaltma stratejileri, etkili sel tahmin ve uyarı sistemlerinden, çevresel düzenlemelere, yüzey sularının yönetiminden, yerel toplulukların katılımına kadar geniş bir yelpazede değerlendirilmektedir (Hegger ve ark., 2016). CBS'nin taşkın yönetimindeki rolü, risk taşıyan alanların belirlenmesinden koruyucu önlemlerin planlanmasına kadar hayati önem taşımaktadır (Shah ve ark., 2018).

Taşkın risklerinin daha doğru, anlaşılabilir ve yönetilebilir olması amacıyla gerçekleştirilen birçok akademik çalışma, risk haritalaması üzerine odaklanmıştır. Özellikle, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Uzaktan Algılama (UZAL) ve hidrolik modelleme tekniklerinin bir arada kullanılması, taşkın risk yönetimi stratejilerini önemli ölçüde geliştirmiştir. Bu bütünsel yaklaşımın değeri, Özdemir (2008) tarafından vurgulanmıştır; çalışma, bu teknolojilerin birleştirilmesinin, taşkın modelleme ve analiz süreçlerindeki doğruluğu ve etkinliği nasıl artırdığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Bladé ve ark. (2012) doğal kanallardaki su akışı hesaplamaları için bir ve iki boyutlu akış dinamiklerinin modelleme ve analiz yöntemlerinin iyileştirilmesinde kritik bir rol oynadığını belirtmiştir.

Bu ve benzeri çalışmaların ışığında, havzada meydana gelmiş tarihi bir taşkın olayının modellemesi (Armain ve ark., 2021), bilgisayarlı hidrolojik modellerin taşkın tahminlerinde karşılaştırılması (Filianoti ve ark., 2020) ve GIS tabanlı programların hidrolik modellere entegrasyonu (Haghizadeh ve ark., 2012) gibi ileri araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar, taşkın modellemesi ve risk değerlendirmesi alanındaki yenilikçi yaklaşımları ve teknikleri vurgulamakta, böylece taşkın risk yönetimi stratejilerinin nasıl geliştirilebileceğine dair değerli bilgiler sunmaktadır.

Khattak ve ark. (2016) tarafından Kabul Nehri üzerinde yapılan taşkın risk haritalaması çalışması, HEC-RAS ve GIS'in entegrasyonunun başarısını göstermiştir. Bu çalışma, nehir yatağının taşkın risklerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyarak, kentsel alanlardaki taşkın risklerinin yönetimine yönelik yeni yöntemler sunmuştur (Rangari ve ark., 2019). Ayrıca, Costabile ve ark. (2020) tarafından HEC-RAS'ın performansının değerlendirilmesi ve Huţanu ve ark. (2020) tarafından LiDAR verileri ile 1D HEC-RAS modellemesinin kullanılması gibi çalışmalar, taşkın modellemesi ve tahminindeki programların sürekli gelişimine işaret etmektedir. Ülkemizde de yapılan bir çok akademik çalışmada HEC-RAS yazılımının taşkın haritalama ve hidrolojik modelleme çalışmalarında önemli bir rol oynadığı görülmektedir (Akar ve ark., 2009; Baga, 1999; Demir, 2014; Demirkesen, 2011; Doğan ve ark., 2013; Kaleycı, 2004; Onuşluel, 2005; Özdemir, 2007; Usul ve Turan, 2006; Uçar, 2010; Yazıcılar ve Önder, 1998).

Bu geniş çaplı araştırmalar, taşkın risklerinin daha doğru bir şekilde anlaşılmasına, analiz edilmesine ve yönetilmesine katkıda bulunmuştur. CBS, UZAL ve hidrolik modellemenin birleştirilmesiyle elde edilen bu bütünsel yaklaşımlar, afetlere karşı

daha dirençli toplumların oluşturulmasına yardımcı olacak stratejilerin geliştirilmesinde hayati bir öneme sahiptir. Bu akademik çalışmalar, taşkın risk yönetimi ve afet hazırlığında teknolojik ve metodolojik entegrasyonun potansiyelini gözler önüne sermektedir

Taşkın uyarı sistemleri üzerine yapılan son dönem çalışmalar, taşkın riskinin erken tespiti ve yönetimi alanında teknolojik ilerlemelerin potansiyelini vurgulamaktadır. Bu alandaki araştırmalar, özellikle ultrasonik sensörlerin kullanımının, sel tehlikesine karşı zamanında uyarılar sağlama konusunda nasıl bir dönüşüm yaratabileceğine dikkat çekmektedir.

Mobil Sel Dedektörü Uyarı Sistemi, hareket halindeki araçlara monte edilen ultrasonik sensörler aracılığıyla sürücülere gerçek zamanlı sel seviyesi bilgileri sunarak, sürüş güvenliğinin artırılmasını hedeflemektedir. Bu sistem, sürücülerin potansiyel tehlikelere karşı önceden hareket etmelerine olanak tanıyarak, sel risklerinin yönetilmesinde yenilikçi bir çözüm sunmaktadır (Ayob ve Rahim, 2022).

IoT tabanlı Erken Sel Tespit Sistemi ise, Arduino ve ultrasonik sensörlerin entegrasyonu yoluyla, sel riski taşıyan bölgelerde su seviyelerinin sürekli olarak izlenmesi ve kritik eşiklere ulaşıldığında ilgili kişilere otomatik bildirimler gönderilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu sistem, hem yerel otoritelerin hem de bölge sakinlerinin olası taşkınlar karşısında daha hazırlıklı olmalarını sağlayarak, afet yönetimine stratejik bir katkı sağlamaktadır (Darwis ve ark., 2023).

Ultrasonik sensörler ve kablosuz teknolojinin birleştirilmesiyle geliştirilen bir diğer erken uyarı sistemi, sel felaketleri konusunda hızlı ve doğru uyarılar sağlayarak, afet öncesi hazırlıkların ve tahliye operasyonlarının zamanında yapılmasını mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım, afet yönetiminde etkinliği ve hızı artırmayı hedeflemektedir (Indrasari ve ark., 2018).

Geliştirilen sistemlerin genelinde, ultrasonik sensörlerin kullanımı sayesinde, su seviyesi tespitinde yüksek doğruluk ve düşük hata oranı gibi önemli avantajlar elde edilmiştir. Bu teknolojik ilerlemeler, sel uyarı sistemlerinin geliştirilmesi ve etkinliğinin artırılması konusunda önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir (Tawalbeh ve ark., 2023).

Sonuç olarak, taşkın uyarı sistemleri üzerine yapılan bu çalışmalar, sel riski yönetiminde teknolojinin rolünü güçlendirmekte ve afetlere karşı direnç kapasitesini

artırmaktadır. Ultrasonik sensörler ve IoT gibi teknolojilerin entegrasyonu, afet yönetim stratejilerinin daha önceden planlanmış ve etkili bir hale gelmesine olanak tanımaktadır, bu da toplumların sel gibi doğal afetlere karşı daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır.

Taşkınlarla ilgili yapılan akademik çalışmalar, taşkınların nedenlerini ve etkilerini kapsamlı bir şekilde ele almakta, toplumların bu doğal afetlere daha etkili bir şekilde mücadele edebilmesi için gerekli bilgi ve araçları sağlamaktadır. Bu çalışmalar, taşkın yönetimi ve risk azaltma çabalarının başarısında kritik öneme sahip multidisipliner yaklaşımların ve teknolojik araçların entegrasyonun önemini vurgulamaktadır.

Bu tez, multidisipliner yaklaşımlar ve teknolojik araçların entegrasyonu kapsamında geliştirilen gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu ile taşkın yönetimi ve risk azaltma çalışmalarına katkı sağlamaktadır. Geliştirilen gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu, ultrasonik mesafe sensörleri ve GSM modülü kullanarak sürekli veri akışı sağlamaktadır. İki boyutlu hidrolik modelleme ve erken uyarı mekanizmalarıyla taşkın risklerinin etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır. Web tabanlı erişim imkanı sunarak kullanıcıların anlık verileri takip edebilmesi ve taşkın risklerini etkin bir şekilde değerlendirebilmesi sağlanmaktadır.



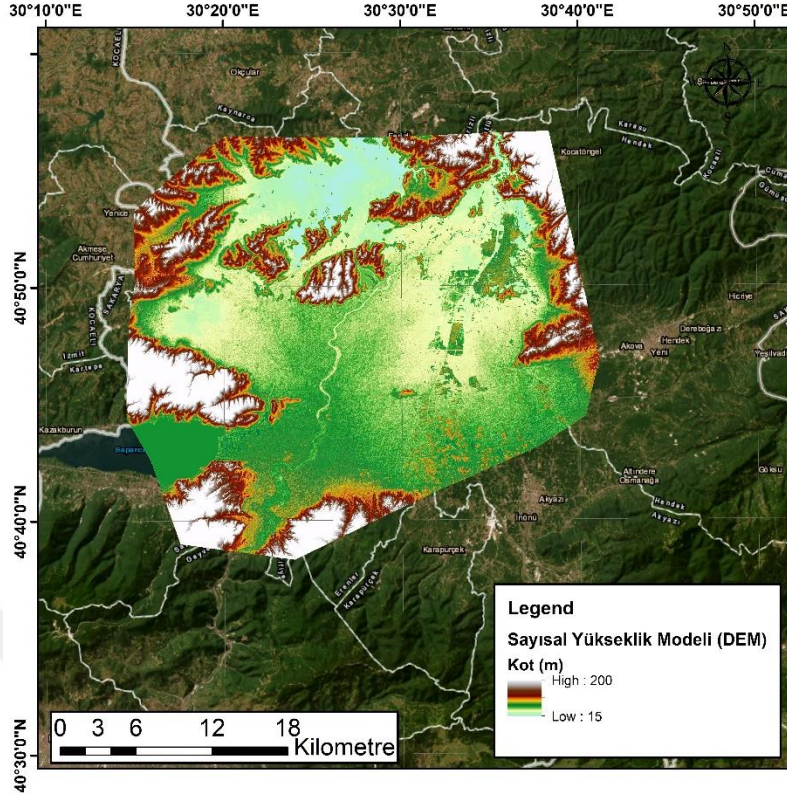
3. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı olarak seçilen Sakarya Nehri Adapazarı kesimi Aşağı Sakarya Havzasında yer almaktadır (Şekil 3.1). Havza, Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde yer alan ve Sakarya Nehri'nin Karadenize döküldüğü alanı kapsayan bir havzadır.



Şekil 3.1. Çalışma alanı konumu

Aşağı Sakarya Havzası, genellikle düz bir arazi yapısına sahiptir ve yüksek rakımlara sahip alanlar bulunmamaktadır (Şekil 3.2). Bu nedenle, taşkın suları yayılmaya başladığında, bölgenin büyük bir bölümü etkilenmektedir.



Şekil 3.2. Çalışma alanı sayısal yükseklik modeli

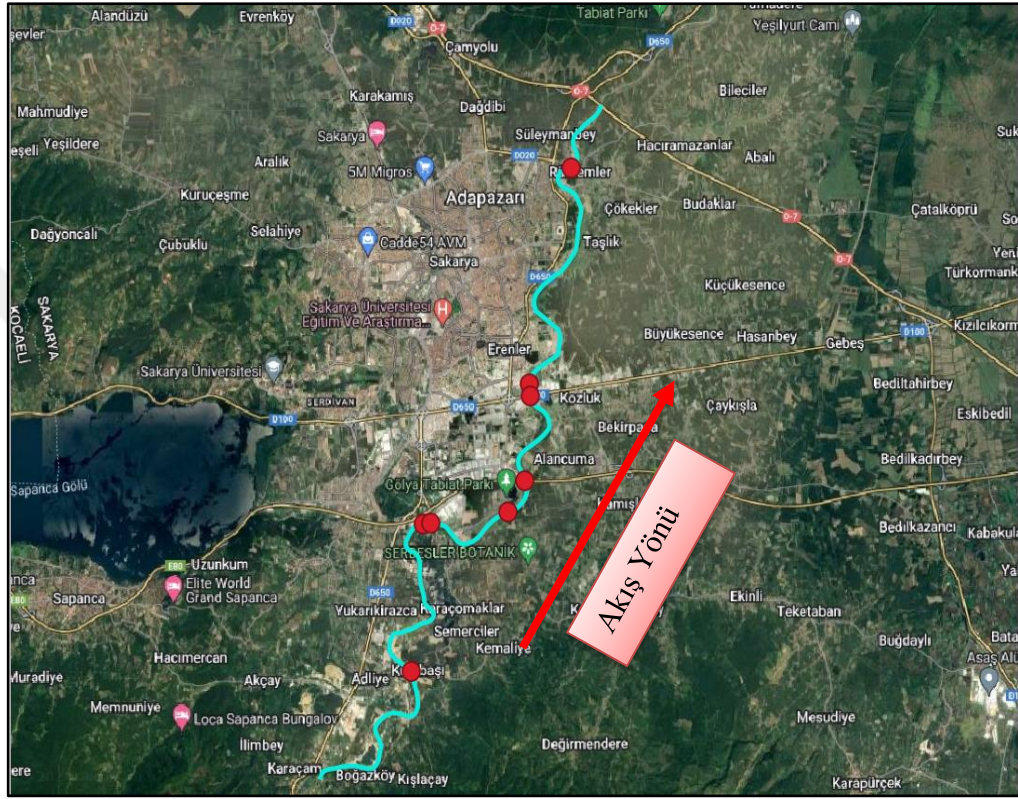
Havzanın Marmara Denizi'ne yakın konumu, deniz seviyesinden yüksekliğinin düşük olması ve kara iklimine sahip olması, taşkınların oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Havza, yer altı su kaynakları ve yüzey suları bakımından zengindir. Bu durum, yağışlı dönemlerde su seviyesinde hızlı yükselmelere neden olabilmektedir.

Havzanın büyük bir bölümü tarım alanlarından oluşmaktadır. Tarım alanları, toprağın su tutma kapasitesini azaltmakta ve taşkın sularının etkisini artırmaktadır. Havzanın iklimi ılıman ve yağışlıdır. Kış aylarında görülen yoğun yağışlar, taşkınların sıklıkla oluşmasına neden olmaktadır.

Havza, yoğun bir nüfusa sahiptir. Bu nedenle taşkınların etkisi insanlar üzerinde daha fazla hissedilmektedir. Yerleşim yerlerinin yanı sıra, sanayi tesisleri, barajlar ve diğer insan faaliyetleri de taşkın riskini artırmaktadır. Tüm bu faktörler, Aşağı Sakarya Havzası'nın taşkın yayılım alanı özelliklerini etkilemekte, taşkınların meydana gelme sıklığını ve etkisini artırmaktadır. Bu nedenle, bölgede taşkın yönetimi ve kontrolüne yönelik önlemler alınması hayati bir öneme sahiptir.

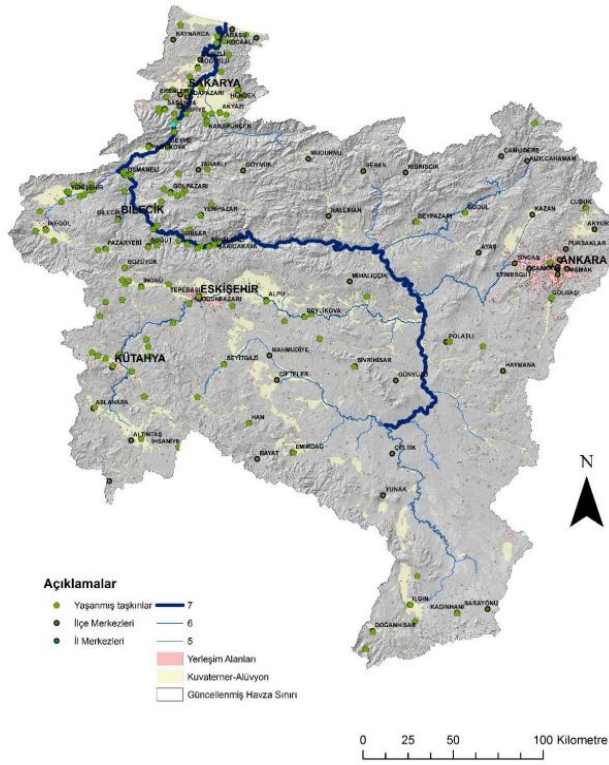
3.1. Çalışma Alanında Meydana Gelen Taşkınlar

Taşkın çalışma alanı, Aşağı Sakarya Havzası sınırları içinde, Sakarya Nehri'nin, Sakarya il merkezinin de içinde bulunduğu yaklaşık 30 km'lik kısmını kapsamaktadır. Nehrin, il geçişindeki güzergahı incelendiğinde sol sahilinde yerleşim yerlerinin, sanayi tesislerinin, kamu kurumlarına ait binaların, sağ sahilinde ise tarım arazilerinin bulunduğu Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Sakarya Nehri Sakarya il geçiş güzergahı

Tez çalışma alanı olan Aşağı Sakarya Nehri Havzası, yerleşim alanları, sanayi bölgeleri ve verimli tarım arazileri ile önemli ölçüde taşkın riski potansiyeline sahip olduğu Şekil 3.4'te yaşanmış taşkınların lokasyon bilgisinden ve gazete haberlerine yansıyan tarihi taşkınlardan da anlaşılmaktadır.



Şekil 3.4. Sakarya Havzasında yaşanmış taşkınlar (Sakarya Havzası Taşkın Yönetim Planı, 2017)

Havza genelinde cumhuriyet döneminde meydana gelmiş, gazete arşivlerinden derlenmiş geçmiş yıllara ait taşkınlar ve zararları şu şekildedir.

20 Şubat 1953 tarihinde, Sakarya Nehri tekrar taşarak Geyve'den hemen sonra başlayan Kumbaşı köyünden itibaren, Adapazarı'nın doğusunda yer alan Taşlık, Karaköy ve kuzeyinde yer alan Trabzonlar, Süleymanbey ve güneydoğusunda yer alan Poyrazlar, Maksudiye, Beylikkışla köylerinde özellikle tarım arazilerinin sular altında kalmasına neden olmuştur. Hasarın boyutunu belirlemek amacıyla askeri uçaklar kullanılarak tespit çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Can kaybının yaşanmadığı bu taşkında, yaklaşık 10.000 dekar arazinin sular altında kaldığı tespit edilmiştir.

03.03.1953 tarihinde aralıksız yağan kar ve ardından yağan şiddetli yağmurun etkisiyle birlikte Sakarya Nehri, kenarlarındaki bentleri patlatmış ve Geyve ilçe merkezi ve civar köyleri sular altında bırakmıştır. Geyve ilçesi ve köyleri ile irtibat kesilmiş ve Geyve ilçesine bağlı Tavuklar ve Alifuatpaşa köprüsü Sakarya Nehrinin taşması neticesinde ciddi hasar görmüş ve çift taraflı yaya ve taşıt trafiğine kapatılmıştır. Aynı zamanda onlarca hektar arazi sular altında kalmıştır.

8 Mart 1953 tarihinde meydana gelen aşırı yağışlar sonucunda Sakarya Nehri taşarak Adapazarı merkeze yakın olan Kömürlük köyünün tamamen sular altında kalmasına neden olmuştur

17 Şubat 1963 tarihinde aşırı yağışlar nedeniyle Ankara Nallıhan'da bulunan Sarıyar Barajı 600 m³ su almış ve barajdan 515 m³ su tahliye edilmiştir. Bu tahliye neticesinde Sakarya Nehri'nde bölgesel taşkınlar meydana gelmiştir. Bilecik-Bursa yolu kapanmış ve Adapazarı'nın kuzey kesiminde yer alan Kavaklıorman köyü tamamıyla sular altında kalmıştır.

18 Şubat 1963 tarihinde Sakarya Nehri'nin suları çok fazla yükselmiş ve tüm Adapazarı merkezi ile Sakarya Nehri kıyısındaki köyler tahliye edilmiştir. Özellikle Pamukova ilçesinde birçok yerde taşkın meydana gelmiştir. Sakarya Nehri'nin su seviyesi, tarihte ilk defa Sakarya Köprüsü'nün gözlerini tamamen doldurarak neredeyse köprü yol kotuna kadar yükselmiştir.

19 Şubat 1963 tarihinde, su seviyesinin yüksek olması ve bentlerin sürekli olarak yıkılması nedeniyle onarım çalışmaları yapılmıştır. Sel sularının özellikle Adapazarı merkezde Güneşler ve Yağcılar mahallelerine kadar ulaştığı belirlenmiştir.

8 Şubat 1964 tarihinde, aşırı yağışlar sonucunda Sakarya Nehri taşmış ve Sakarya Ovası'nı tamamen sular altında bırakmıştır.

19 Şubat 1965 tarihinde, yağan karların erimesi ve yağışların etkisiyle Sakarya Nehri'nin su seviyesi 65 cm yükselmiş ve özellikle nehir kenarındaki köyler için risk oluşturmıştır.

31 Mart 1965 tarihinde, Sakarya Nehri'nin su seviyesinin yeniden yükselmesiyle Sakarya Ovası'nda yer alan 30 köy sel felaketiyle karşı karşıya kalmıştır.

29 Nisan 1965 tarihinde, sağanak yağışlar sonucunda Sakarya Nehri'nin suları yaklaşık 150 cm yükselerek Aşağı Sakarya ve Pamukova bölgelerinde yer yer taşkınlara neden olmuştur. Taşkın sırasında şehir merkezinde kayıklarla kişilerin taşınması sağlanmıştır. Bu taşkında mal kaybının yanı sıra can kaybı da yaşanmıştır.

27 Şubat 1967 tarihinde, karların erimesi sonucunda Sakarya Nehri taşarak Sakarya Ovası'nda 10 bin dekarlık alanın sular altında kalmasına neden olmuştur.

21 Mart 1968 tarihinde, yağan yağmurlar nedeniyle Sakarya Nehri taşmış ve Sakarya-Karasu yolu sular altında kalmıştır. Bu taşkın sonucu, 10 köye ait 20 bin dönüm tarım arazisi sular altında kalmıştır.

16 Şubat 1970 tarihinde, uzun süre yağan yağmurlar neticesinde Sarıyar Barajı'nın doluluk oranının artması nedeniyle baraj kapakları açılmış ve bu durum Sakarya Nehri'nin debisinin artmasına yol açmıştır. Sakarya Nehri çevresindeki köylerde su seviyesinin yükselmesi sonucunda taşkınlar meydana gelmiş, Sakarya merkeze 6 km uzaklıkta bulunan Doğancılar köyünün bentleri yıkılmıştır.

21 Şubat 1970 tarihinde, uzun süren yağmurların etkisiyle Sakarya Nehri taşmış ve 20 bin dekar alan sular altında kalmıştır. Sakarya Nehri kıyısındaki bentlerin düzeltilmesiyle karşı kıyıdaaki bentler zorlanmış ve Demirbey, Beylikkışla, Yusuf Molla, Kırçalı, Maksudiye, Kurudil ve Küçüksöğütlü köylerini basmıştır.

22 Haziran 1972 yılında, şiddetli yağışlardan dolayı Adapazarı merkez köylerinde su baskınları yaşanmış ve bazı köylerde evler yıkılmıştır.

22 Mayıs 1998 tarihinde Batı Karadeniz'de gerçekleşen sel felaketinde toplamda 14 kişi hayatını kaybetmiş, Sakarya ilinde meydana gelen selde ise 1 kişi yaşamını yitirmiştir.

26 Haziran 1999 tarihinde meydana gelen sel felaketinde, İstanbul-Ankara demiryolu hattı ve Sakarya-Bilecik karayolu trafiğe kapatılmıştır. Sakarya Nehri'nin taşması sonucunda Geyve'de bulunan 10 köy sular altında kalmıştır.

3 Şubat 2010 tarihinde Sakarya Nehri'nin taşmasıyla nehir kenarında bulunan bazı evler ile Söğütlü, Ferizli ve Karasu ilçelerindeki yüzlerce dönüm tarım arazisi sular altında kalmıştır.

6 Haziran 2014 tarihinde meydana gelen yağışlar sonucunda, Akyazı, Hendek ve Karapürçek ilçelerinde bulunan Mudurnu, Kargalıhanbaba, Uludere, Mesudiye ve Dinsiz çaylarının taşması sonucu birçok ev, ekili alan ve bölgede bulunan 2. Organize Sanayi Bölgesi sular altında kalmıştır.

30 Eylül 2018 tarihinde, Kaynarca ilçesinde aşırı yağıştan dolayı Seyran Deresi'nin taşması sonucunda ilçenin büyük bir kısmı sular altında kalmıştır. İlçede birçok binanın giriş katları suyla dolmuş ve geniş tarım arazileri sular altında kalarak mahsullerin zarar görmesine yol açmıştır.

31 Aralık 2019 tarihinde, Karasu ve Kocaali ilçelerinde aşırı yağışlardan dolayı Karasu Darıçayırı Mahallesi'nde yer alan bendin taşması neticesinde, Kocaali'de 15 ev ve tarım arazileri sular altında kalmıştır.

Gazete arşivlerinden derlenen taşkınlar Tablo 3.1'de özetlenmiştir

Tablo 3.1. Çalışma alanında gözlenmiş taşkınlar

Tarih	Sebep	Tarih	Sebep
20.02.1953		08.03.1953	Aşırı Yağış
17.02.1963	Aşırı Yağış	31.03.1965	
18.02.1963		21.03.1968	Yağmur
19.02.1963		29.04.1965	Sağnak Yağış
08.02.1964	Aşırı Yağış	22.05.1998	
19.02.1965	Kar Yağışı Ve Yağmur	22.06.1972	Şiddetli Yağış
27.02.1967	Kar Erimesi	26.06.1999	
16.02.1970	Uzun Süren Yağmur	06.06.2014	Yağış
21.02.1970		30.09.2018	
03.02.2010		31.12.2019	Aşırı Yağış

1970'li yıllardan önceki dönemde taşkınların genellikle Şubat, Mart ve Nisan aylarında meydana gelirken, 1970'ten itibaren gözlemlenen değişim dikkat çekicidir. Bu değişimle birlikte, taşkın olaylarının çoğunlukla Mayıs, Haziran ve sonraki aylarda meydana geldiği gözlenmiştir.

Bu durumun iklim değişiklikleri, yağış desenlerindeki değişimler veya diğer çevresel faktörlerin etkisi altında, taşkın mevsimlerinde bir kayma yaşandığı olarak düşünülmektedir. Bu kayma, doğal olarak taşkın riskini etkileyerek, su rejimi ve yağış dağılımındaki değişikliklere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, su kaynaklarının ve akarsuların daha farklı bir şekilde tepki verdiğini ve taşkın meydana gelme zamanlamasının değiştiğini göstermektedir.

Bu tür bir değişim, su yönetimi, kentsel planlama ve altyapı geliştirme süreçlerinde dikkate alınmalıdır. İklim değişikliği ile mücadele stratejileri ve su yönetimi politikaları, taşkın riskini azaltmak ve şehirlerin bu değişen koşullara uyum sağlamasını sağlamak amacıyla güncellenmelidir. Ayrıca, gelecekteki taşkın olasılıklarını değerlendirmek ve bu değişen trendlere uygun olarak önlemler almak, şehir planlamasında önemli bir rol oynamaktadır.



4. MATERYAL VE YÖNTEM

Günümüzde oluşturulacak teknolojik altyapı ile taşkınları önceden tahmin etmek, taşkın öncesinde taşkın anında ve taşkın sonrasında gerekli önlemlerin alınmasını sağlamak, oluşabilecek can ve mal kaybı riskini azaltmak mümkündür. Nehir seviyesinin zamanında ve doğru takip edilmesi oluşabilecek risklerin daha erken fark edilmesine ve buna bağlı önlemlerin alınmasını sağlamaktadır.

Ancak, günümüzde kullanılan mevcut ölçüm yöntemleriyle elde edilen sonuçlar, nehir üzerinde yapılacak bir yapının boyutlandırılmasında veya taşkın yayılım alanlarının belirlenmesinde yeterli veri doğruluğunu sağlayamamaktadır. Mevcut ölçüm yöntemleri olumsuz hava koşullarından arazi şartlarından ve yoğun iş gücü gereksiniminden etkilenmekte ve ölçüm sıklığını azaltmaktadır. Taşkın yayılım alanlarının doğru belirlenmesi için sürekli ve düzenli yapılmış seviye ölçümleri gerekmektedir.

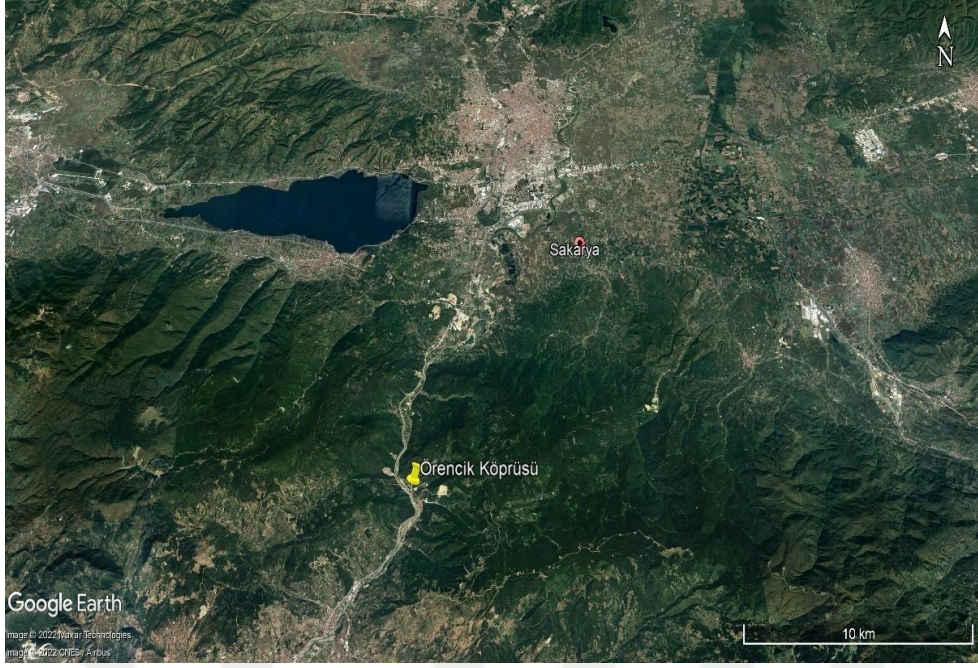
Bu tez çalışması ile iş gücünden bağımsız istenilen sıklıkta ölçüm yapabilen gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu imal edilmiştir.

İmal edilen gözlem istasyonu aracılığıyla elde edilen veriler bir web sayfası aracılığıyla ilgili kişilerin ve kurumların paylaşımına sunulmuştur. Ayrıca belirlenen çalışma alanı için oluşturulan taşkın yayılım haritaları da yine bu sayfa aracılığıyla paylaşılmıştır.

Bu bölümde öncelikle nehir gözlem istasyonunun tasarım ve imalatı için kullanılan materyal ve yöntemlerden daha sonra taşkın yayılım haritalarının oluşturulmasında kullanılan materyal, yöntem ve programlardan bahsedilecektir.

4.1. Gerçek Zamanlı Nehir Gözlem İstasyonu Tasarımı ve İmalatı

Tez çalışmasıyla imal edilen Gerçek Zamanlı Nehir Gözlem İstasyonu Aşağı Sakarya Nehri üzerinde 40°35'2.33"K 30°19'56.21"D koordinatlarında bulunan Örencik Köprüsüne kurulmuştur (Şekil 4.1.)



Şekil 4.1. Gözlem istasyonunun yerleştirildiği lokasyon

Gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonunun kurulduğu Örencik Köprü lokasyonunun, merkezi yerleşim yeri, sanayi kuruluşları ve fabrikalardan önce bulunması taşkın uyarılarında önlemlere yönelik süre kazanılması açısından önem arz etmektedir (Şekil 4.2.).



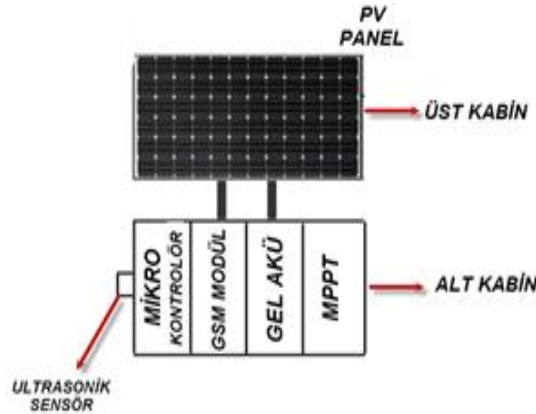
Şekil 4.2. Örencik Köprüsü

Gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu, bünyesinde barındırdığı ultrasonik sıvı seviye sensörü aracılığıyla nehir seviye bilgisini dakikada iki kez ölçecektir. Tez kapsamında

belirlenen Örencik Köprü kesitinde ölçülen su seviyelerinden hesaplanan debi değerleri ve seviye bilgisi, GSM modülü aracılığıyla hücresel haberleşme modülü üzerinden merkezi bir sunucuya aktarılacaktır.

4.2. Nehir Gözlem İstasyonu için Kullanılan Entegre ve Entegre Elemanlarının Özellikleri

Gerçek Zamanlı Nehir Gözlem İstasyonu, ultrasonik sıvı seviye sensör, Sim 800L GSM modül, 12 volt 7Ah akü, mikroişlemci kart, RS485 dönüştürücü ve entegre güneş panelinden oluşmaktadır (Şekil 4.3). İmal edilen istasyon, MPPT solar enerji kontrol ünitesi ve akü grubu ile enerji bağımsızlığına sahiptir ve harici bir besleme ünitesine ihtiyaç duymamaktadır. İstenilen zamanlama periyodu dahilinde nehir seviye ölçümü gerçekleştirilebilmektedir. Elde edilen ölçüm verileri hücresel haberleşme altyapısı kullanarak merkezi bir sunucuya aktarılabilir.



Şekil 4.3. Gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu (köprü kabin) bileşenleri

Nehir Gözlem İstasyonu bünyesinde barındırdığı elektronik ekipmanlar dolayısıyla su geçirmez bir kabinin muhafazası içine alınmıştır. İstasyonun enerjisi üst kabin üzerine entegre edilmiş güneş paneli üzerinden sağlanmaktadır. Panelden doğru akım olarak üretilen elektrik enerjisi MPPT elektrik düzenleyici modülü üzerinden kabin içerisinde yer alan gel aküleri beslemektedir. Bu sayede mikrokontrolör, ultrasonik seviye sensörü ve GSM modülü gibi enerji ihtiyacına sahip bileşenler ilave bir besleme ihtiyacı olmaksızın enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir. İmal edilen sistem yaklaşık bir hafta güneş enerjisi olmadan akü ile çalışabilmektedir.

4.2.1. Ultrasonik sıvı seviye sensörü

Ultrasonik seviye sensörü, ses dalgalarının frekansının akışkan ortamda meydana getirdiği değişiklik ilkesine göre çalışmaktadır. Bu uygulama, Doppler etkisine dayanmaktadır. Bilinen bir frekansta ultrasonik ses dalgaları akışkanın içine gönderilmektedir. Bu dalgalar, akışkan içerisindeki partiküller ve hava kabarcıkları gibi yansıtıcı yüzeylerden geri yansımakta ve sensör tarafından algılanmaktadır.

Tez çalışmasında kullanılan ultrasonik sıvı seviye sensörü, 15.2 metre menzil uzunluğu, az enerji tüketimi, uzaktan izleme uygulamalarına uyum ve dayanıklılık değişkenleri göz önüne alınarak seçilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Ultrasonik mesafe sensörü

4.2.2. GSM modül

Çalışmada kullanılan GSM modül, bant frekans desteği, maliyeti, az yer kaplaması, kullanılan yazılım ve programlara uyumu dikkate alınarak SIM800L olarak belirlenmiştir. Kullanılan SIM800L modülü, açık kaynak kodlu yazılım programlarıyla geliştirilebilen, haberleşmeyi sağlayan, uzun menzilli, dört bant frekans destekli minyatür bir hücresel modüldür (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. GSM modül

4.2.3. 12 volt kuru tip akü

VRLA akü, yalıtılmış (kapalı) veya bakımsız akü olarak adlandırılan, şarj edilebilir kurşun asit akü türlerinden biridir. Yapısal özellikleri gereği havalandırmaya ihtiyaç duymaz ve her türlü pozisyonda monte edilebilmektedir. Kuru tip akülerin havalandırmaya ihtiyaç duymaması, kapalı ve az havalandırılan ortamlarda kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 4.6'da görseli verilen bu aküler, taşınabilir elektrikli makineler, aletler ve şebeke bağımsız güç sistemleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.



Şekil 4.6. Kuru tip akü

4.2.4. MPPT şarj kontrol cihazı ve güneş paneli

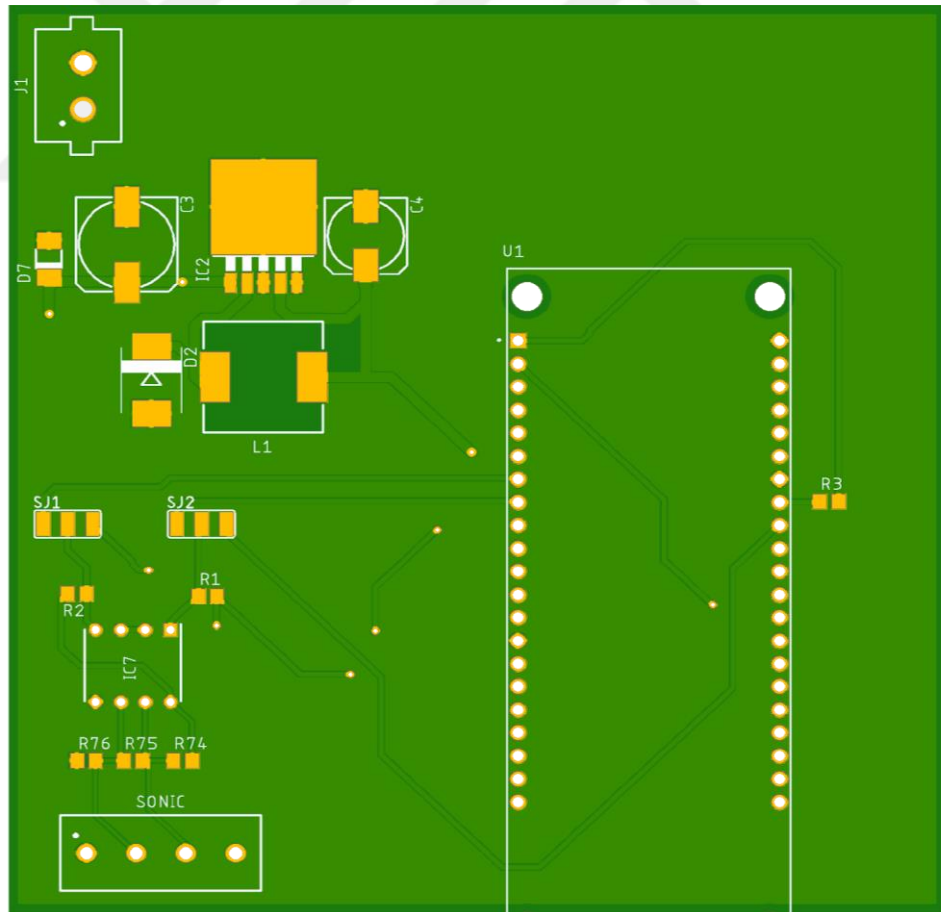
Güneş panel voltajını sürekli izlemekte ve üretilen elektriği en uygun gerilim ve akım seviyelerine dönüştürerek aküleri şarj etmektedir. Güneş paneli ölçüleri ve ağırlığı bakımından taşınması kolay ve seçilen aküyü şarj etme süresi dikkate alınarak tercih edilmiştir. Bu panel ile yaklaşık 3.5 saatte akü şarj edilebilmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Kontrol cihazı ve güneş paneli

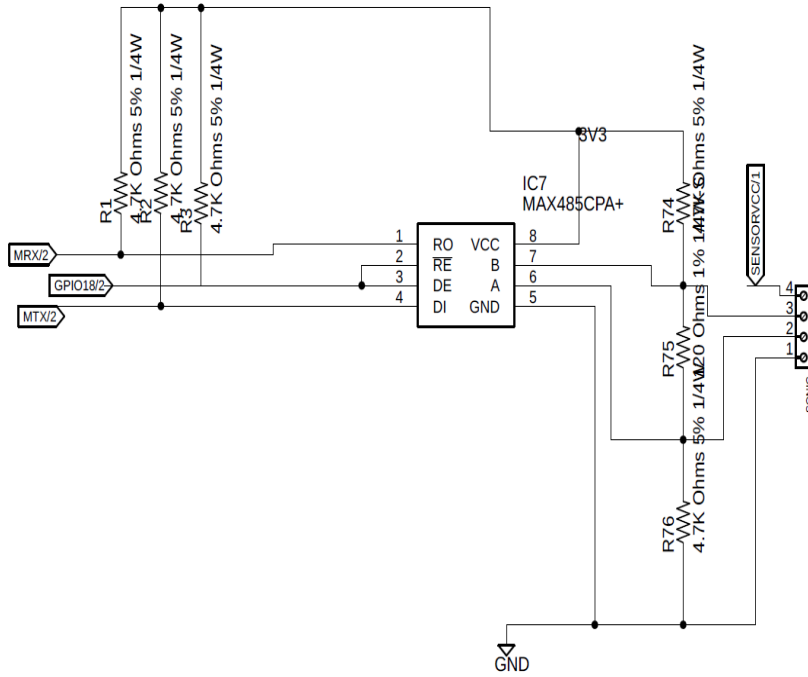
Bu diyagram, tasarımda kullanılan SIM800L GSM modülü olan U1'in tüm bağlantı pinlerini göstermektedir. Şemada, mikroişlemciye bağlı çeşitli GPIO pinleri, "Genel Amaçlı Giriş/Çıkış" (General Purpose Input/Output), güç kaynakları ve haberleşme arayüzlerinin pin konfigürasyonları belirtilmiştir. Örneğin, GPIO23, GPIO32, ve GPIO33 pinleri sensörlerle haberleşme için kullanılmakta olup, bu pinlerin hangi fonksiyonları yerine getirdiği şematik görsel üzerinde işaretlenmiştir.

Şekil 4.9'da mikroişlemci kartının baskı devre kartı (PCB) tasarımı gösterilmektedir. Bu tasarım, bileşenlerin fiziksel yerleşimini ve devre bağlantılarını detaylandırmaktadır. PCB üzerinde, mikroişlemci, GSM modülü, dirençler ve diğer pasif bileşenler gibi çeşitli bileşenlerin montaj noktaları ve bağlantı yolları görülebilmektedir. Bu tasarım, özellikle ultrasonik mesafe sensöründen alınan seviye okumalarını işlemek üzere düzenlenmiş olup, verilerin GSM modülü üzerinden uzaktaki bir sunucuya aktarılmasını sağlamaktadır. Böylece, ölçülen seviye bilgileri daha geniş bir ağ üzerinden izlenebilir ve yönetilebilir hale gelmektedir.



Şekil 4.9. Mikroişlemci kart baskı devre

Şekil 4.10’da mikroişlemci kart bağlantı ağı ve sensör veri aktarım devre şeması verilmiş olan tasarım, nehir seviyesinin izlenmesi ve GSM ağları yoluyla elde edilen verilerin iletimini sağlamakta olan özelleştirilmiş bir sistemdir. Sistemde kullanılan ultrasonik mesafe sensörü nehrin su seviyesini ölçmekte ve dakikada 2 ölçüm olacak şekilde veriler toplamaktadır. Toplanan bu değerler, mikrodenetleyici üzerinden işlenmekte ve RS-485 iletişim protokolü aracılığıyla uzun mesafelere güvenli bir şekilde iletebilmektedir. RS-485 protokolü, MAX485 entegre devresi sayesinde uygulanmakta ve etkili iletişim kurabilmektedir



C3	12.07	73.66	270.00	470uF	35V	10X10.5	20%	153CLV-1012
C4	36.51	74.61	270.00	220uF	35V	8x10	85C	153CLV-0810
D2	14.61	58.74	270.00	SS34-HT	SMC			
D7	4.13	72.07	90.00	M7_R2_00001		DO-214AC		
IC2	26.04	73.62	0.00	LM2596R-5.0-HTC	T0263-5			
L1	26.04	59.05	180.00	33uH	WE-PD_1280			
R1	20.32	34.93	0.00	4.7K	Ohms	5%	1/4W	R0805
R2	6.99	35.24	180.00	4.7K	Ohms	5%	1/4W	R0805
R3	83.82	45.40	0.00	4.7K	Ohms	5%	1/4W	R0805
R74	17.78	16.83	0.00	4.7K	Ohms	5%	1/4W	R0805
R75	12.70	16.83	0.00	120	Ohms	1%	1/4W-S	R0805
R76	7.94	16.83	0.00	4.7K	Ohms	5%	1/4W	R0805
SJ1	6.03	42.86	0.00		SJ_2W			
SJ2	19.69	42.86	0.00		SJ_2W			

Şekil 4.10 Mikroişlemci kart ve sensör bağlantı ağı

Sistemin enerji ihtiyacı, Şekil 4.10'da akım değerleri gösterilen voltaj regülatörü IC2 (LM2596R-5.0) tarafından karşılanmakta ve bu regülatör vasıtasıyla sistem için gerekli düzenli akım değeri olan stabil bir 5V çıkış voltajı sağlanmaktadır. Güç kaynağı devresindeki C3 ve C4 kapasitörleri, enerji depolayarak ve voltaj dalgalanmalarını minimize ederek sistemin güvenilirliğini artırmaktadır.

GSM modülü, mikrodenetleyici tarafından işlenen verileri mobil ağlar üzerinden iletmektedir ve bu sayede ölçülen nehir seviye verileri merkezi bir sunucuya aktarılmaktadır. Devredeki R1, R2 ve R3 gibi dirençler ve D2, D7 gibi diyotlar akım kontrolü yaparak, sistem elemanlarının korunmasına ve devrenin doğru çalışmasına katkıda bulunmaktadır.

Bağlantı şeması üzerinde bulunan SJ1 ve SJ2 anahtarları (jumperları), cihazın farklı çalışma modları arasında geçiş yapabilmesini sağlamaktadır. Bu anahtarlar sayesinde, sistem gerekli durumlarda hızlı bir şekilde ayarlanabilmekte ve farklı işletme şartlarına adapte edilebilmektedir.

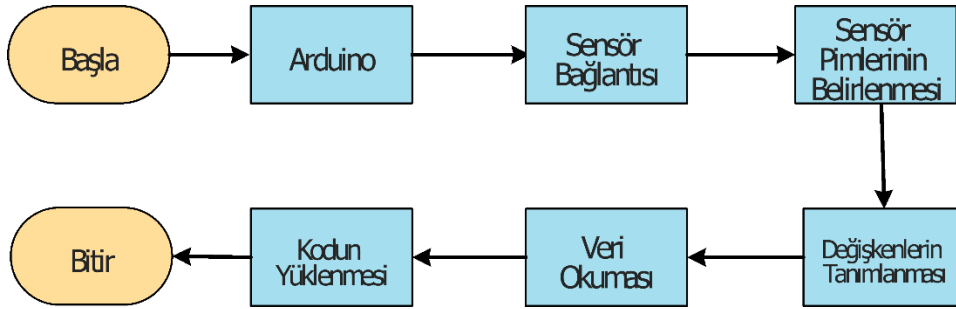
4.3. Arduino Yazılımı

Nehir gözlem istasyonunun haberleşme modülü sensörlerle çalışabilen bir Arduino programı ile programlanmış ve bir web adresi (URL) üzerinden gönderilen verileri almak için PHP (Hypertext Preprocessor, Üstünyazı Önişlemcisi) get fonksiyonları kullanılmıştır. Arduino programı, açık kütüphaneleri olan dijital ve analog sinyallerin işlenebileceği açık kaynaklı bir geliştirme platformudur (Çavuş ve ark., 2017).

Arduino programlama, açık kaynaklı bir platform olarak elektronik prototipler oluşturmak ve robotik projeler geliştirmek için popüler bir araçtır. Bu platform, kullanıcıların basit bir şekilde kod yazmalarına ve mikrodenetleyiciler (MCU, Microcontroller Unit, Mikrodenetleyici Birimi) aracılığıyla donanımın kontrolünü sağlamalarına olanak tanımaktadır.

Arduino programlama, C++ tabanlı bir dil kullanmakta ve yüksek seviyeli bir arayüz sunmaktadır. Böylece kullanıcılar karmaşık elektronik devreleri ve projeleri oluşturabilmektedir. Ayrıca, Arduino programlama araçları, kullanıcıların arayüzler, sensörler, motorlar ve diğer cihazlar gibi çeşitli bileşenleri kullanarak projeleri kolayca tasarlamalarına ve özelleştirmelerine olanak tanımaktadır (Demir, 2016).

Genel akış şeması Şekil 4.11’de verilen Arduino programıyla ultrasonik sıvı seviye sensörü arasındaki bağlantıların ve okumaların anlamlandırılması için aşağıdaki adımlar izlenmelidir.



Şekil 4.11. Arduino-sensör bağlantısı akış şeması

- Arduino programı bilgisayara kurulup ve Arduino geliştirme ortamı açılmalıdır.
- Seviye sensörünün bağlantı şemasına ve bağlantı talimatlarına bakılarak Seviye sensörünün nasıl bağlanması gerektiğini belirlenmelidir.
- Seviye sensörünü Arduino'ya bağlamak için gerekli kablolama yapılarak farklı pim konfigürasyonları (güç, toprak ve sinyal pimleri) için talimatlar kontrol edilmelidir.
- Arduino programı açılarak yeni bir boş proje oluşturulmalıdır.
- Sensörün sinyal pimini Arduino'ya bağladıktan sonra, sensörün giriş ve çıkış pimleri belirlenmelidir.
- Arduino’da, sensörün çıkışını okuyacak bir değişken tanımlanmalı ve dijital giriş piniyle ilişkilendirilmelidir. Örneğin;

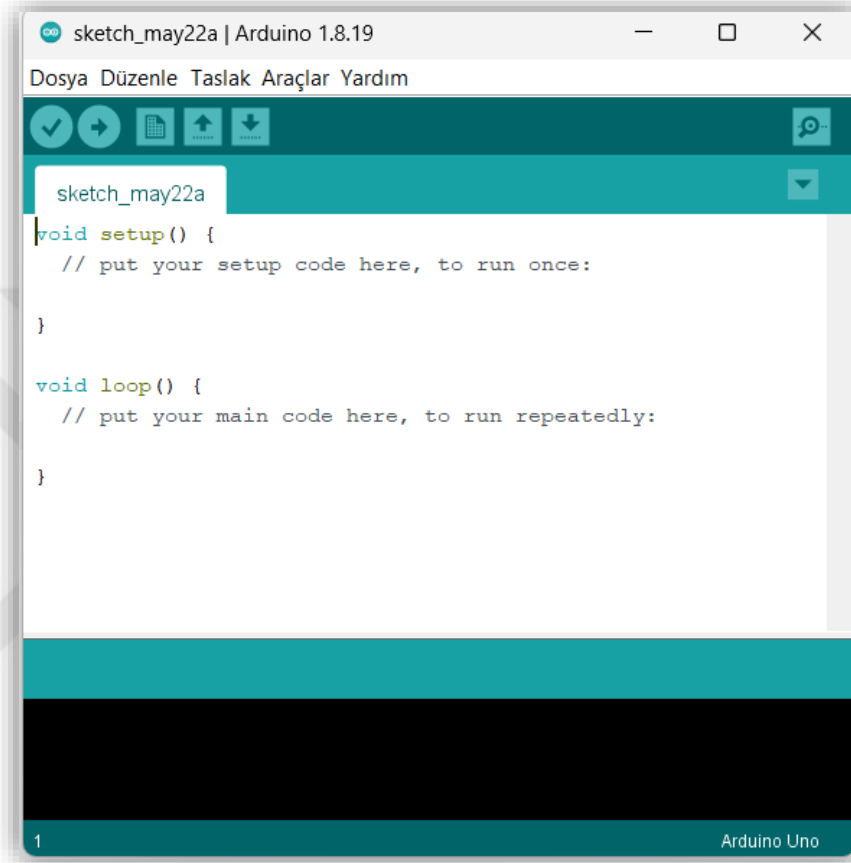
```
int sensorPin = 2; // Seviye sensörü sinyal pimi D2'ye bağlı
int sensorValue; // Sensör değerini saklamak için değişken
```
- setup() fonksiyonunda, sensör pimini giriş olarak ayarlanmalıdır.:

```
void setup() {
  pinMode(sensorPin, INPUT);
}
```
- loop() fonksiyonunda, sensör değerini okunabilir ve üzerinde işlemler yapılabilir. Örneğin, sensör çıkışını seri monitöre yazdırılabilir:

```
void loop() {
  sensorValue = digitalRead(sensorPin);
  Serial.println(sensorValue);
}
```

```
delay(500); // İstenilen bir gecikme süresi  
}
```

- Arduino üzerinden yazılan kodlama karta yüklenmeli ve Şekil 4.12’de görseli verilen program ara yüzünde bulunan araçlar menüsünden "Seri Monitör" ile sensör çıkış değerleri görüntülenebilir.



Şekil 4.12. Arduino programı arayüzü

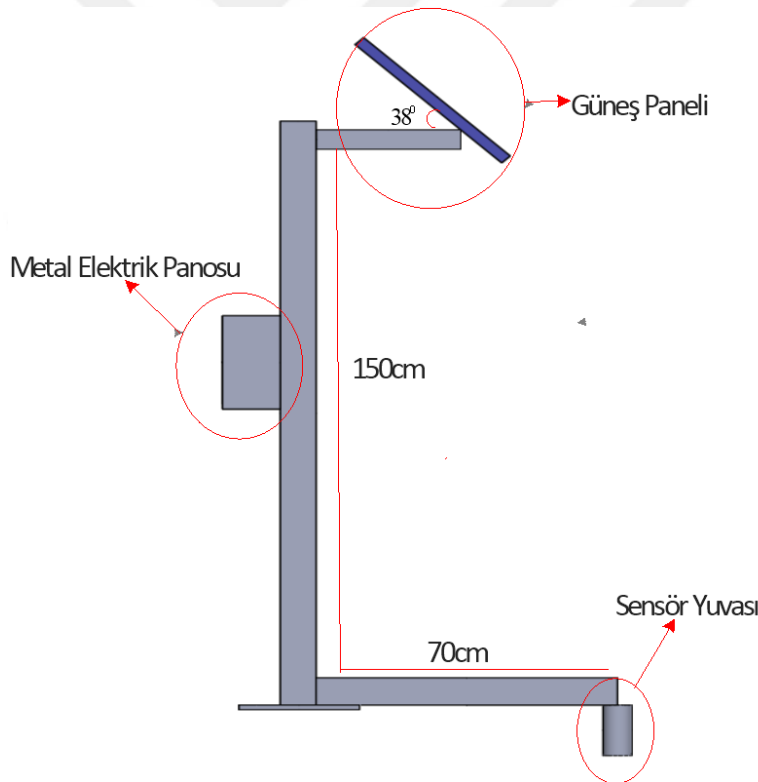
4.4. Sensör Kabin Tasarımı

Ultrasonik mesafe sensörünün köprü üzerine etkin bir şekilde monte edilebilmesi için, sensörün boyutları dikkate alınarak özel bir yuva tasarlanmıştır (Şekil 4.13). Sensörün ultrasonik dalgaları yayabilen kısmının etrafına bir yüzük şeklinde tasarlanmış olan bu yuva, sensörün hem düşmesini engellemekte hem de gerektiğinde kolayca çıkarılabilmesi için yukarı doğru hareket ettirilebilmekte olan bir yapıya sahiptir. Bu tasarım sayesinde, sensörün önündeki herhangi bir engel olmaması garanti altına alınmış ve hem montaj hem de söküm işlemleri için büyük kolaylık sağlanmıştır. Dış faktörlere karşı maksimum korunma hedefiyle, metal bir elektrik panosu tercih edilmiştir ve bu pano içerisine; bir mikroişlemci kart, GSM modülü, MPPT inverter

ve kuru tip bir akü entegre edilmiştir. Pano, 20 cm genişlik ve derinlikte, 10 cm kalınlıkta ölçülerde tasarlanmıştır.

Köprü üzerindeki araç geçişleri esnasında meydana gelebilecek sarsıntılara karşı dirençli olabilmesi amacıyla, 70 mm x 70 mm boyutlarında L şeklinde bir metal destek tasarlanmış ve imal edilmiştir. Sensör montajını mümkün kılmak için destek yapısına özel bir yuva entegre edilmiştir. Bu yuvanın montajı için destek yapısının yüksekliği 150 cm olarak tasarlanmış, sensör yuvası ise 70 cm aşağıya uzanan bir ek parça ile destek yapısına sabitlenmiştir.

Güneş panelinin optimal konumlandırılması amacıyla, 40 cm'lik bir ek parça ile güney yönünde ve Sakarya'nın solar pozisyonuna en uygun olan 38 derece açıyla montaj işlemi tamamlanmıştır. Ayrıca, destek yapısının kutu profil yapısı sayesinde, güneş paneli ile pano ve sensör arasındaki elektrik kabloları, iç bölümde düzenli ve emniyetli bir biçimde yerleştirilmiştir.



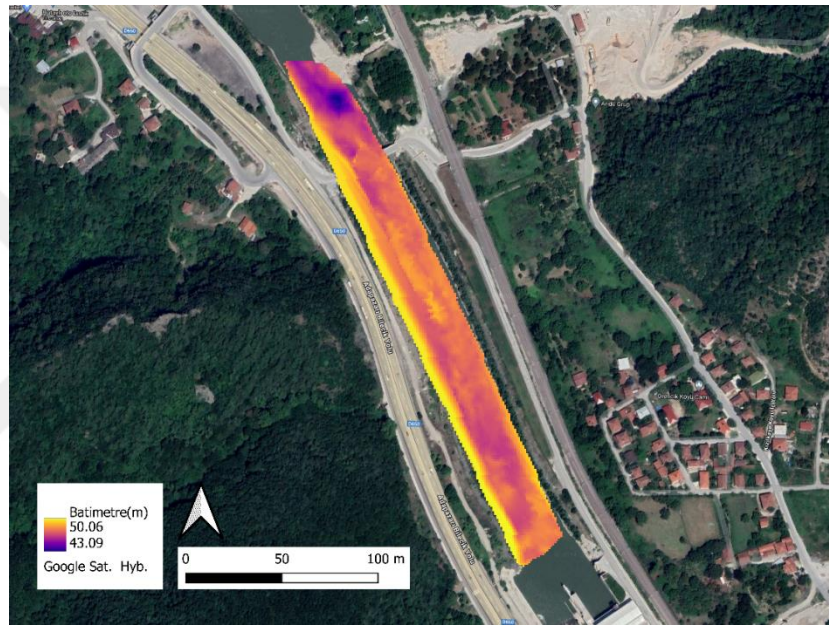
Şekil 4.13. Sensör kabin standı

4.5. Debi-Seviye İzleme

Nehirlerin hidrolojik özelliklerinin incelenmesi, su kaynakları yönetimi, taşkın kontrolü ve ekosistem korunması gibi birçok alan için temel bir öneme sahiptir. Bu

Çalışmaların başarısı için nehir debisinin hassas bir şekilde ölçülmesi, kritik bir rol oynamaktadır. Bu metodoloji, nehrin belirli bir kesitinde suyun derinliği ve genişliği gibi fiziksel boyutlarının yanı sıra akış hızının da dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu parametrelerin ölçülmesi, su seviyesinin değişiminde ıslak alanın ve ıslak çevresinin hesaplanması ile mümkün hale gelebilmektedir.

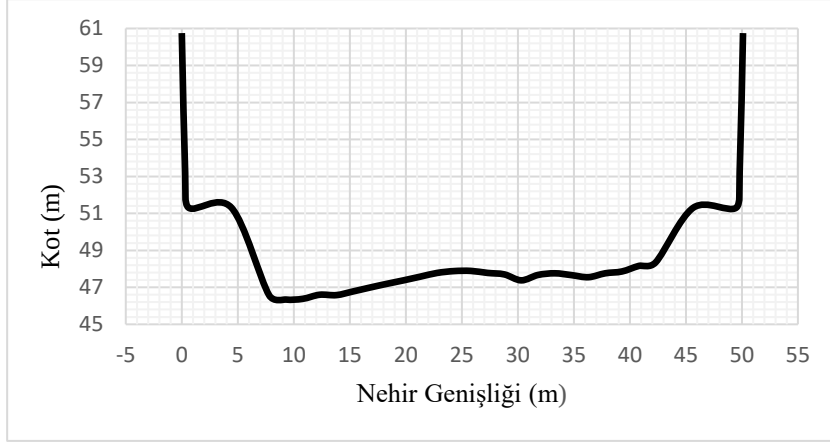
Nehir gözlem istasyonun yerleştirileceği rencik Köprü enkesitinin belirlenmesi için nehir batimetri haritası ve köprü proje enkesitinden faydalanılmıştır. şekil 4.14’de görseli verilen nehir batimetri haritası, köprü menbaında bulunan Doğançay HES I işletmesinden temin edilmiştir.



şekil 4.14. Batimetri haritası

Nehir batimetrisi, bir nehrin veya akarsuyun su altı topografyasının ölçülmesi ve haritalanmasıdır. Bu işlem, nehir yatağının derinliği, tabanın şekli ve su altındaki diğer yapıların belirlenmesini içermektedir. Nehir batimetrisi, suyun altındaki detayları anlamak ve akarsu yönetimi, taşkın riski analizi, habitat değerlendirmesi ve hidroelektrik potansiyel gibi çeşitli uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır.

Köprü enkesitinin hesaplanması için belirlenen lokasyonda, batimetri değerleri ile oluşturulan enkesit profili şekil 4.15’te görülmektedir.



Şekil 4.15. Örencik Köprüsü için batimetrik analizle oluşturulan enkesit

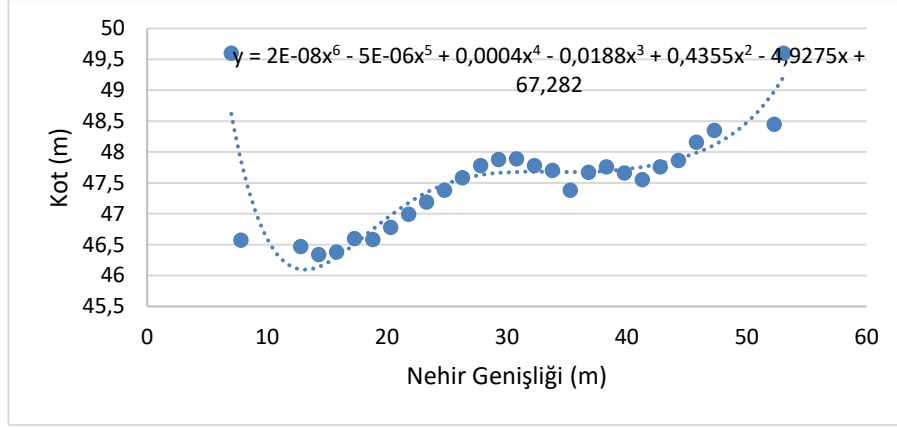
Çıkarılan enkesitte, su seviyesi değişimine bağlı olarak oluşan ıslak alan ve ıslak çevre hesaplanmıştır. Arazide yapılan çalışmalarla belirlenen taban eğimi ve pürüzlülük değeri kullanılarak Manning formülü ile debi hesabı yapılmıştır.

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (4.1.)$$

Burada Q debiyi, n Manning n pürüzlülük katsayısını, A ıslak alanı, R hidrolik yarıçapı, ve S kanal eğimini temsil etmektedir.

Manning pürüzlülük katsayısı manning tablosundan nehir yatağı ve kıyı boyunca mevcut şartlar gözönünde bulundurularak hesaplanmıştır. Hesaplama yönteminde ölçülen kesitteki su seviye değişiminin kesitteki alansal değişime etkisi hesaplanmıştır. Kanal eğimi ise sayısal yükseklik modeli ve arazi çalışmaları yapılarak sensör noktası için elde edilmiştir.

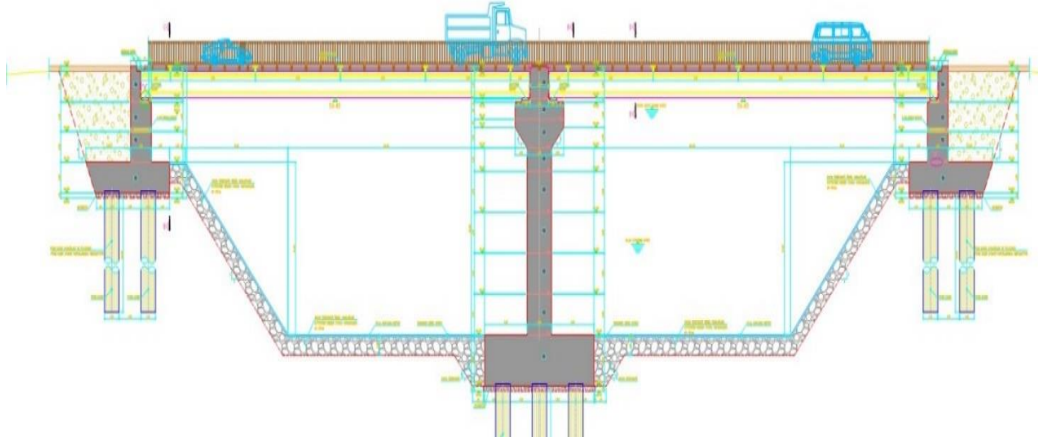
Belirlenen kesitte debi hesaplamasının yapılabilmesi için hidrolik yarıçapın hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplama, ıslak çevre ve ıslak alan bilgileri ile mümkündür. Islak çevre, su derinliği ile doğrudan ilişkili olarak değişmekte ve bu durum, suyun nehir yatağı boyunca nasıl dağıldığını belirleyen kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Batimetri verilerine dayanarak oluşturulan ıslak çevre fonksiyonu, Şekil 4.16'da gösterilen grafikte belirtilmiştir.



Şekil 4.16. Batimetri değerleri için oluşturulan ıslak çevre fonksiyonu

Bu fonksiyon, nehir genişliği ile ıslak çevre arasındaki ilişkiyi modellemekte ve her bir su seviyesi ölçümü için farklı bir fonksiyon kullanmayı gerektirmektedir. Dolayısıyla ıslak alan ve hesaplanacak debi değerleri su seviyesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Tez kapsamında, debi hesabı için gerekli olan ıslak çevre fonksiyonunun tek bir fonksiyon olarak sisteme entegre edilmesi amaçlanmıştır. Bu entegrasyon sürecinde, Şekil 4.17’de kesit görüntüsü verilen proje kesit değerleri ile batimetri haritası kesit değerlerine bağlı olarak hesaplanan debiler arasında karşılaştırma yapılmıştır.



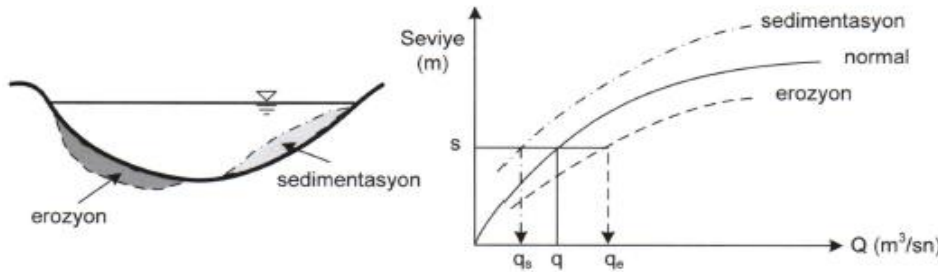
Şekil 4.17. Örencik Köprüsü proje kesit görüntüsü

Yapılan karşılaştırma sonucunda yaklaşık %1.1 gibi düşük hata payı ile proje kesiti için tanımlanan hidrolik yarıçap fonksiyonu kullanılmıştır.

4.6. Debi Anahtar Eğrisi

Debi anahtar eğrisi, bir akarsuyun belirli bir kesitindeki su seviyesi ile o kesitteki debi arasındaki ilişkiyi grafik olarak göstermektedir. Hidroloji ve su kaynakları mühendisliği alanlarında temel bir araç olarak kabul edilmekte olup, su seviyesinin artışına bağlı olarak debinin nasıl değiştiğini ortaya koymaktadır. Bu ilişki her zaman lineer olmayabilir; çünkü çeşitli doğal ve insan kaynaklı faktörler debi üzerinde etkili olmaktadır.

Debi anahtar eğrisinin oluşturulması, ölçüm istasyonlarında yapılan uzun süreli gözlemler ve ölçümler sonucunda elde edilen verilere dayanmaktadır. Belirli zaman dilimlerinde kaydedilen akış hızları ve su seviyeleri, akış hızı ve su seviyesi arasındaki ilişkiyi anlamak ve bu ilişkiyi matematiksel bir fonksiyon olarak ifade etmek üzere analiz edilmekte ve bir eğriye dönüştürülmektedir. Şekil 4.18’de normal, erozyon ve sedimentasyon durumlarında nehir kesitindeki su seviyesi ve debi arasındaki ilişki karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Erozyon ve sedimentasyon durumları, nehir yatağının değişken yapısını ve bu yapının debi üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 4.18. Debi anahtar eğrisi (Usul, 2021)

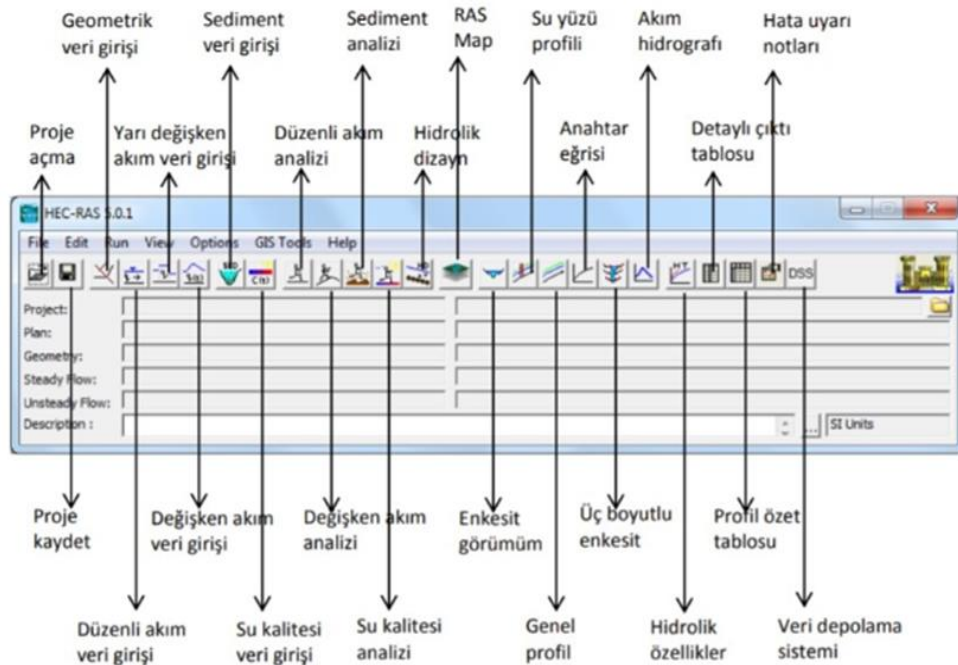
Taşkın modellemesi ve akarsu kaynaklarının planlanması gibi çeşitli alanlarda debi anahtar eğrisi kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle su yönetimi uygulamalarında, debi anahtar eğrisi, nehirlerden ne kadar su çekilebileceği veya nehirlerin taşıma kapasitesinin ne olduğunu belirlemede temel bir araç olarak kullanılmaktadır. Taşkın modellemesi ve risk analizi için de bu eğriler, nehirlerde meydana gelebilecek taşkın olaylarını modellemek ve potansiyel riskleri analiz etmek amacıyla önem taşımaktadır.

Tez çalışmasında Sakarya Nehri Örencik Köprü kesiti için gerçek zamanlı akım gözlem istasyonu ölçüm verileriyle elde edilen debilere ait debi anahtar eğrileri oluşturulacaktır.

4.7. Hidrolik Model

Tez çalışmasında taşkın yayılım haritalarının oluşturulması için HEC-RAS programı kullanılmıştır. HEC-RAS programı, hidrolik modelleme ve akış analizi için kullanılan bir yazılımdır. Su akışının karakteristiklerini incelemek, taşkınları ve nehir erozyonu gibi olayları simüle etmek, suyun yolunu değiştiren yapıların etkilerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Program, gelişmiş matematiksel algoritmalar kullanarak hidrolik hesaplamalar yapmakta ve sonuçları grafikler, tablolar ve raporlar şeklinde sunmaktadır. Kullanıcılar, arayüz üzerinden su akışını simüle etmek için akış yollarını ve su kaynaklarını modelleyebilmekte, yapılar ekleyebilmekte ve suyun niteliklerini ayarlayabilmektedir. HEC-RAS, analitik araçlara sahip olmasıyla hidrolik modelin oluşturulmasını, sonuçların analizini ve yorumlanmasını kolaylaştırmaktadır (Şekil 4.19).

Bu program, nehir ve dere sistemlerinin hidrolik analizlerinde sıkça kullanılan bir araçtır ve su kaynaklarının yönetimi, taşkın riski analizi ve su taşkınlarının etkilerinin değerlendirilmesi gibi konuları incelemek için tercih edilmektedir. HEC-RAS, su akışının analizini daha anlaşılır ve etkili hale getirerek su kaynaklarının daha iyi anlaşılmasını ve yönetilmesini amaçlamaktadır.



Şekil 4.19. HEC-RAS Programı

Akarsuların hidrolik modellemelerinin yapılabilmesi için akarsu yataklarına ait geometrik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler, genellikle akarsu sistemlerinin

bağlantılarının kurulması, yatak en kesitlerinin belirlenmesi, bağlantı noktalarının tanımlanması, hidrolik yapılara ait veriler ve en kesit enterpolasyonlarından oluşmaktadır. İki boyutlu akış, nehir yatağının bir boyutlu, taşkın yatağının iki boyutlu ağ yapısı ile modellendiği bir yaklaşım türüdür (Ardıçlıoğlu, 2017).

HEC-RAS, hidrolik modelleme için gelişmiş matematiksel ve fiziksel denklemler kullanmaktadır. Program, taşkınların ve akışın simülasyonunu yaparken Saint-Venant denklemlerine dayanmaktadır. Bu denklemler, süreklilik denklemi ve momentum denklemi olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. HEC-RAS, bu denklemleri sayısal yöntemlerle çözmekte ve optimal sonuçlar elde etmektedir.

HEC-RAS programında kullanılan matematiksel denklemler:

HEC-RAS'ın 1 boyutlu (1B) modeli, kanal akışını ve taşkın yayılımını hesaplamak için süreklilik ve momentum denklemlerini kullanmaktadır. Bu denklemler, kanal boyunca akışın ilerleyişini tanımlamaktadır. Süreklilik denklemi, akışkanın kütlelerinin korunmasını ifade etmektedir. Bu denklem, sıkıştırılamaz akışkanlar için akışkanın kütlelerinin zaman içinde değişmediğini belirtmektedir. Süreklilik denklemi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_t = 0 \quad (4.2)$$

Burada, A kesit alanını, t zamanı, Q debiyi, x akış yönündeki mesafeyi, q ise birim uzunluk başına yanal akışı ifade etmektedir.

Momentum denklemi, akışkanın momentumunun korunmasını ifade etmektedir. Bu denklem, suyun hareketini etkileyen kuvvetlerin toplamının momentum değişimi ile dengede olduğunu belirtmektedir. Momentum denklemi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (4.3)$$

Burada, Q debiyi, A kesit alanını, g yerçekimi ivmesini, h su yüzeyi yüksekliğini ve S_f ise sürtünme eğimini ifade etmektedir.

HEC-RAS'ın 2 boyutlu (2B) modeli, suyun yatay düzlemdeki hareketini hesaplamak için daha karmaşık denklemler kullanmaktadır. 2B modelleme, Saint-Venant denklemlerinin iki boyutlu versiyonunu kullanmaktadır ve suyun hem x hem de y eksenlerindeki hareketini tanımlamaktadır.

Süreklilik denklemi, iki boyutlu akış alanında suyun kütesinin korunmasını sağlamakta ve akış alanındaki herhangi bir noktada suyun derinliğinde ve hızında zamanla meydana gelen değişiklikleri dikkate almaktadır. Bu denklem, suyun yatay düzlemdeki hareketini ve yanal akış kaynaklarını (örneğin, yağmur veya drenaj suyu) hesaba katmaktadır.

Süreklilik denklemi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad (4.4)$$

Burada, h su derinliğini, t zamanı, u x eksenindeki hızı, v y eksenindeki hızı, x ve y koordinat düzlemindeki mesafeyi, q ise birim alana düşen yanal akışı ifade etmektedir. Bu denklem, suyun derinliğindeki ve yatay akış hızındaki değişiklikleri dikkate almaktadır.

2B modelde, momentum denklemleri, suyun momentumunun korunmasını sağlamakta ve x eksenini ile y eksenini için ayrı ayrı yazılmaktadır. Bu denklemler, suyun her iki doğrultuda nasıl hareket ettiğini ve kuvvetlerin (örneğin, yerçekimi, basınç gradyanları, sürtünme) suyun hızını ve yönünü nasıl etkilediğini açıklamaktadır. Bu denklemler, suyun yatak eğimi ve sürtünme eğimi gibi faktörlerle nasıl etkileşime girdiğini ve sonuçta suyun hızını ve akış yönünü belirlemektedir.

X eksenini için momentum denklemi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial uh}{\partial t} + \frac{\partial u^2 h}{\partial x} + \frac{\partial uvh}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial x} = gh(S_0 - S_f) \quad (4.5)$$

Burada, u x eksenindeki hızı, h su derinliğini, t zamanı, v y eksenindeki hızı, g yerçekimi ivmesini, S_0 yatak eğimini ve S_f ise sürtünme eğimini ifade etmektedir.

Y eksenini için momentum denklemi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial vh}{\partial t} + u \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + v \frac{\partial v^2 h}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial y} = gh(S_0 - S_f) \quad (4.6)$$

Burada, u x eksenindeki hızı, v y eksenindeki hızı, h su derinliğini, g yerçekimi ivmesini, S_0 yatak eğimini ve S_f ise sürtünme eğimini ifade etmektedir.

İki boyutlu model alt yapısı için, çalışma alanını temsil edecek sayısal verilerin oluşturulması gerekmektedir. HEC-RAS programında, sayısal yükseklik verisi olarak raster veriler kullanılmaktadır.

4.7.1. Hidrolik model girdileri

4.7.1.1. Sayısal yükseklik modeli

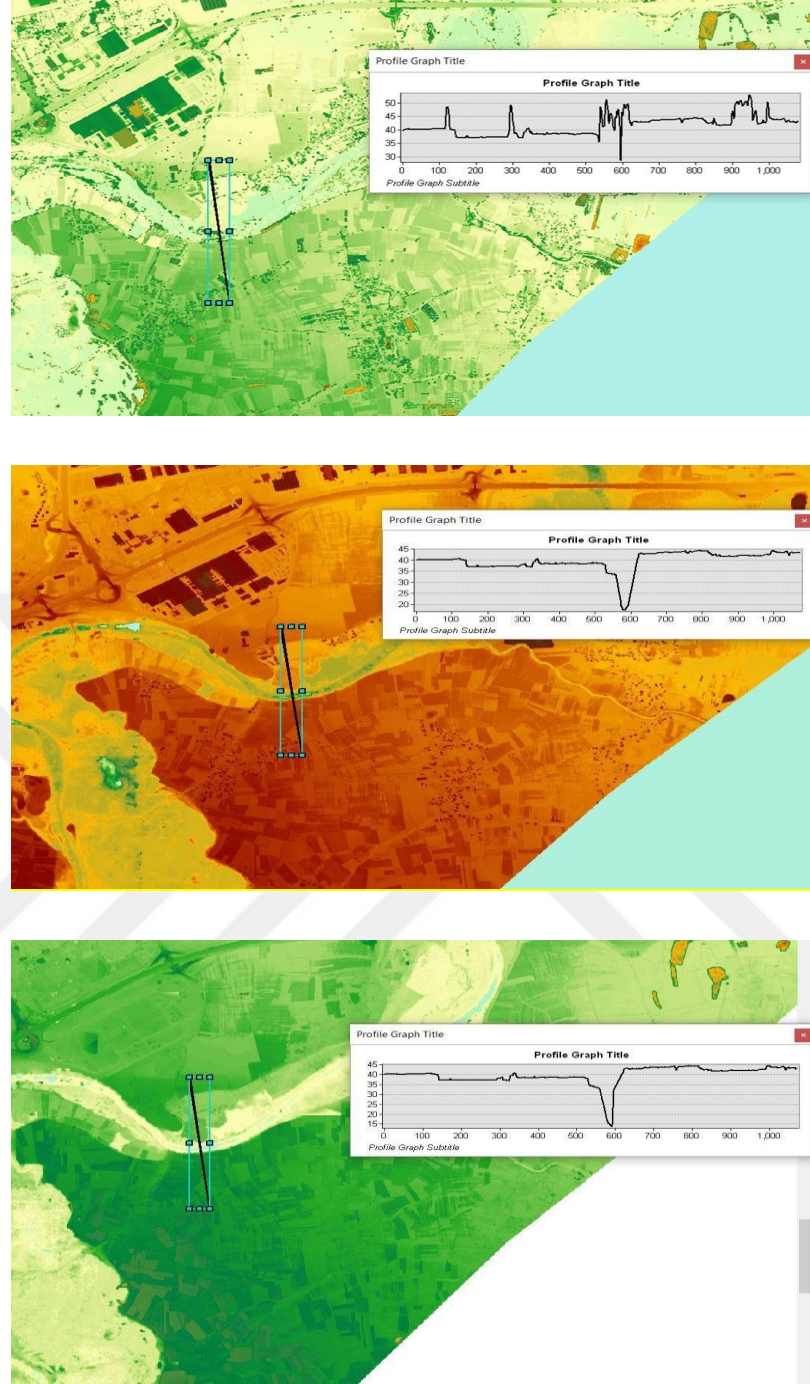
HEC-RAS programı iki boyutlu model alt yapısı için çalışma alanının sayısal yükseklik haritasına (DEM) ihtiyaç duyulmaktadır. Modelleme için gerekli olan harita ve bina poligonları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü Coğrafi Veri Satış Portalından, Sakarya Nehri'nin .LAZ formatında 3 boyutlu nokta bulutu olarak temin edilmiştir. Modellemede gerekli olan sayısal yükseklik haritasının model alt yapısına uygun hale getirilmesi için Envi Lidar ve ArcMAP programları kullanılmıştır.

LiDAR teknolojisi, yüzey özelliklerinin hızlı ve hassas bir şekilde elde edilmesini sağlayan önemli bir araçtır. Bu teknoloji ile toplanan nokta bulutları, .LAZ veya .LAS formatları gibi dosya formatlarında depolanabilmektedir. Bu formatlar, yüksek yoğunluklu nokta bulutu verilerini etkili bir şekilde saklamak ve paylaşmak için kullanılmaktadır (ESRI, 2021).

ENVI LiDAR, düzenleme süreci için çeşitli araçlar sunmaktadır. Nokta bulutlarının temizlenmesi ve düzeltilmesi için filtreler ve dengeleme yöntemleri kullanılmaktadır. Veriler sınıflandırılmakta ve farklı nesneler (örneğin, toprak, bina, ağaç) ayrıştırılmaktadır. (ESRI, 2021).

Yükseklik verileri, yüzey modelleri oluşturarak elde edilmektedir. Bu modeller, topografyanın daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Gerektiğinde, jeoid düzeltmesi yapılır ve yükseklik değerleri deniz seviyesine göre ayarlanmaktadır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğünden temin edilen çalışma alanı nokta bulutu verileri Envi Lidar yazılımında toprak bina ağaç ve yapı gibi sınıflandırmalarla filtrelendirilerek haritalandırılmıştır. Oluşturulan haritalardaki eksik düzenlemeler de ArcMap programında TIN Editing sekmesiyle yeniden düzenlenmiştir. Haritanın düzenleme aşamaları Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20. Harita iyileştirme aşamaları

ArcMap'in "TIN Editing" sekmesi, yüzey verilerinin düzenlenmesi amacıyla kullanılan bir araçtır. Bu özellik, Terrain (Yüzey) verileri üzerinde gerçekleştirilen düzenlemelerin yönetimini kolaylaştırmak için tasarlanmıştır. TIN (Triangular Irregular Network) veya Üçgen Düzensiz Ağ, yüzeyleri üçgen şekilleriyle temsil eden bir coğrafi veri yapısıdır. Bu yapı, yüzeyin değişken yüksekliklerini hassas bir şekilde modellemek için kullanılmaktadır (Esri, 2021).

Özellikle topografik veya yükselti verilerinin düzenlenmesi ve analizi söz konusu olduğunda, "TIN Editing" sekmesi önemli bir rol oynamaktadır. Bu sekme, kullanıcılara yüzey verilerini etkili bir şekilde düzenleme ve analiz etme kapasitesi sunmaktadır. Yükseklik değerlerinin hassas bir şekilde değiştirilmesi, üçgenlerin şeklinin ayarlanması ve veri noktalarının optimize edilmesi gibi işlemler, bu sekme aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir.

"TIN Editing" sekmesi, ArcMap kullanıcılarına yüzey verilerinin üçgen ağı yapısını düzenleme ve yönetme olanağı sağlar. Bu özellik, özellikle coğrafi analizlerde ve yükselti verilerinin hassas düzenlemelerinde yararlı bir araç olarak kabul edilir (Esri, 2021).

Taşkın yayılım alanlarının belirlenmesi bilgisayar modelleri üzerinde gerçekleştiği için Sayısal Arazi Modeline (SAM) her zaman ihtiyaç vardır. Kullanılan verilerin arazinin özelliklerini yansıtmaları ölçüsünde olası taşkınların yayılım alanları daha gerçekçi belirlenebilmektedir (Özdemir, 2009).

Taşkınların 2 boyutlu analiz çalışmalarında yapıların kullanılan altlık verilere işlenmesi ve yapıların yayılıma etkisinin gösterilmesi gerekmektedir. İki boyutlu çalışmada taşkınların arazi üzerindeki ilerleyişinde hücreler arası etkileşim ile hesap yapıldığından arazi modelinin doğruluğu yapılan çalışmanın hata oranını düşürecektir.

HEC-RAS programı, sayısal yükseklik modellerinde raster verisini kullanmaktadır. Çalışma alanındaki yapıların raster veriye dahil edilmesi ve arazinin tam olarak temsil edilmesi için bir sayısal yükseklik modeli oluşturulması gerekmektedir.

Taşkın analizinde kullanılacak arazi modelinin hazırlanması için çalışma alanı arazi raster dosyası ve önceden hazırlanan bina bilgisi veri katmanı ArcGIS programının ArcScene alt modülüne aktarılmış ve projeksiyon ayarı yapılarak raster dosyası ve bina katmanı çakıştırılmıştır (Şekil 4.21).



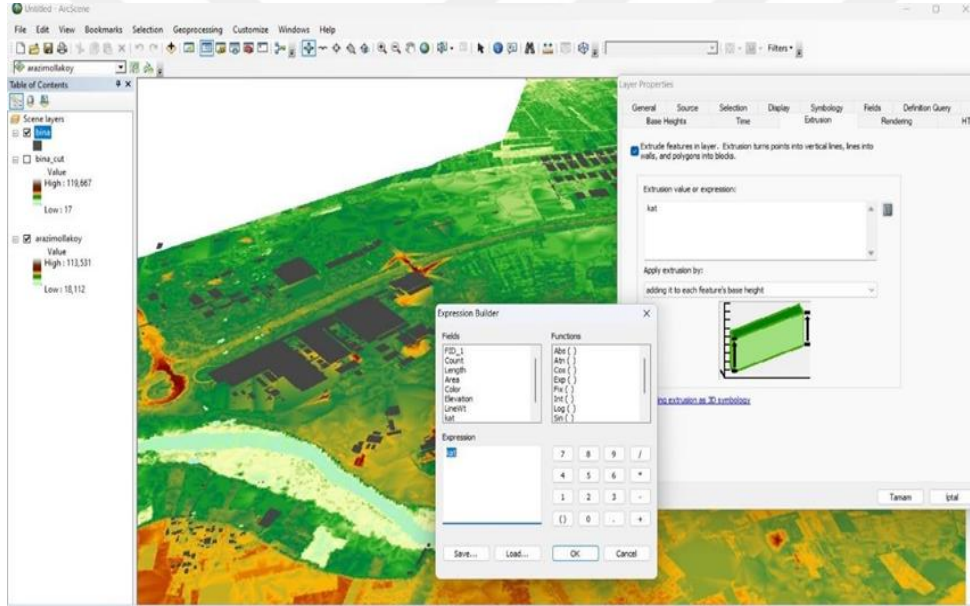
Şekil 4.21. Bina poligonlarının çalışma alanındaki görünümü

Yapı yükseklikleri, binaların en üst noktalarındaki yükseklik değeri (elevation) baz alınarak oluşturulmuş ve nitelik tablosuna (attribute table) sütun olarak eklenmiştir (Şekil 4.18). Böylelikle kullanım amacına göre (mesken, endüstriyel, ticarethane, kamu) sınıflandırılan yapıların gerçeğe en yakın şekliyle haritaya eklenmesi amaçlanmıştır.

Taşkın yayılımının haritalarının modellenebilmesi için bina yükseklik verileri ve sayısal arazi verisinin bir bütün altlık olarak çalışması gerekmektedir (Şekil 4.19). Çalışma alanındaki binaların yükseklik verisinden elde edilmiş bina raster dosyası ve düzenlenmiş harita verisi, GIS programlarıyla bütünleştirilmiş ve araziye temsil eden sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.22, Şekil 4.23).

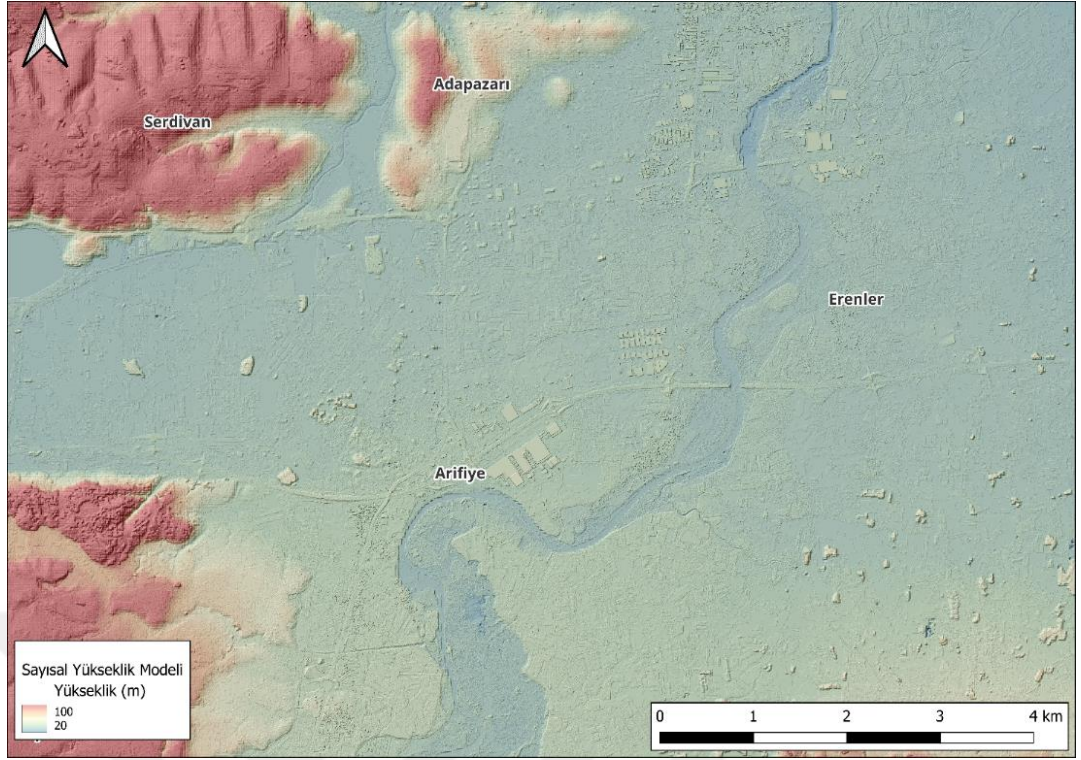
FID	Shape	FID_1	Count	Length	Area	Entity	Layer	Color	Linetype	Elevation	LineWt	RefName	kat
723	Polygon ZM	33869	5	48.915515	144.930941	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	41.4963	0		41.4963
724	Polygon ZM	33870	5	46.839348	133.846931	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	41.923302	0		41.938553
725	Polygon ZM	33871	5	46.129104	129.020227	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	42.0453	0		42.0453
726	Polygon ZM	33872	9	49.280066	136.774448	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	38.278553	0		38.278553
727	Polygon ZM	33873	7	31.527239	59.508937	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	36.921303	0		36.921303
728	Polygon ZM	33874	6	53.314847	161.954065	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	37.470303	0		37.470303
729	Polygon ZM	33875	9	51.822211	147.580684	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	40.625302	0		40.625302
730	Polygon ZM	33876	15	51.019174	135.816252	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	38.202301	0		38.202301
731	Polygon ZM	33877	5	52.647553	171.727804	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	43.5093	0		43.5093
732	Polygon ZM	33878	11	39.412023	84.308949	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	37.226303	0		37.226303
733	Polygon ZM	33879	5	47.475345	140.503012	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	42.914551	0		42.914551
734	Polygon ZM	33880	8	63.04933	248.900213	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	41.267551	0		41.267551
735	Polygon ZM	33881	7	42.669499	101.483229	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	39.452801	0		39.452801
736	Polygon ZM	33882	7	29.033754	49.650245	3DPolyline	B_MESKEN	251	Continuous	38.217552	0		39.178303
737	Polygon ZM	33883	7	44.828813	97.500785	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	41.956844	0		41.956844
738	Polygon ZM	33884	5	75.938839	279.659516	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	38.765324	0		38.765324
739	Polygon ZM	33885	12	120.170102	724.575176	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	37.696602	0		38.518445
740	Polygon ZM	33886	9	72.016593	239.340262	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	38.355404	0		38.413963
741	Polygon ZM	33887	5	53.081404	151.354838	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	40.653885	0		40.653885
742	Polygon ZM	33888	5	52.525763	147.262224	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	40.683163	0		40.771004
743	Polygon ZM	33889	5	35.746222	79.613066	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	40.785645	0		40.785645
744	Polygon ZM	33890	5	36.885348	75.236255	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	42.103245	0		42.103245
745	Polygon ZM	33891	5	73.898185	194.755127	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	41.883644	0		41.883644
746	Polygon ZM	33892	5	50.567762	110.765698	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	38.911724	0		38.911724
747	Polygon ZM	33893	5	71.029256	135.771843	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	40.756363	0		40.756363
748	Polygon ZM	33894	9	108.157632	545.781131	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	39.028843	0		39.028843
749	Polygon ZM	33895	5	75.611252	337.409642	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	40.448925	0		40.448925
750	Polygon ZM	33896	5	120.23734	458.853849	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	37.916203	0		37.916203
751	Polygon ZM	33897	9	125.48435	576.992439	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	37.916203	0		37.916203
752	Polygon ZM	33898	5	119.512688	447.372162	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	37.945484	0		37.945484
753	Polygon ZM	33899	7	124.419474	570.058132	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	37.945484	0		37.945484
754	Polygon ZM	33900	5	119.250306	432.518908	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	37.945484	0		37.945484
755	Polygon ZM	33901	9	140.741752	347.79203	3DPolyline	B_FABRIKA	27	Continuous	37.681965	0		38.262204
756	Polygon ZM	33902	5	31.487272	57.872951	3DPolyline	B_SUNDURMA	150	Continuous	37.570789	0		37.949539
757	Polygon ZM	33907	5	28.803908	50.231082	3DPolyline	B_BETONZEMIN	27	Continuous	37.756756	0		37.807255
758	Polygon ZM	33908	7	18.400947	18.4055	3DPolyline	B_SUNDURMA	150	Continuous	37.435902	0		37.435902
759	Polygon ZM	33909	5	18.289585	19.965361	3DPolyline	B_SUNDURMA	150	Continuous	37.890404	0		38.016651
760	Polygon ZM	33910	5	18.413674	19.776971	3DPolyline	B_SUNDURMA	150	Continuous	37.713654	0		37.789402

Şekil 4.22. Bina üst kotları nitelik tablosu

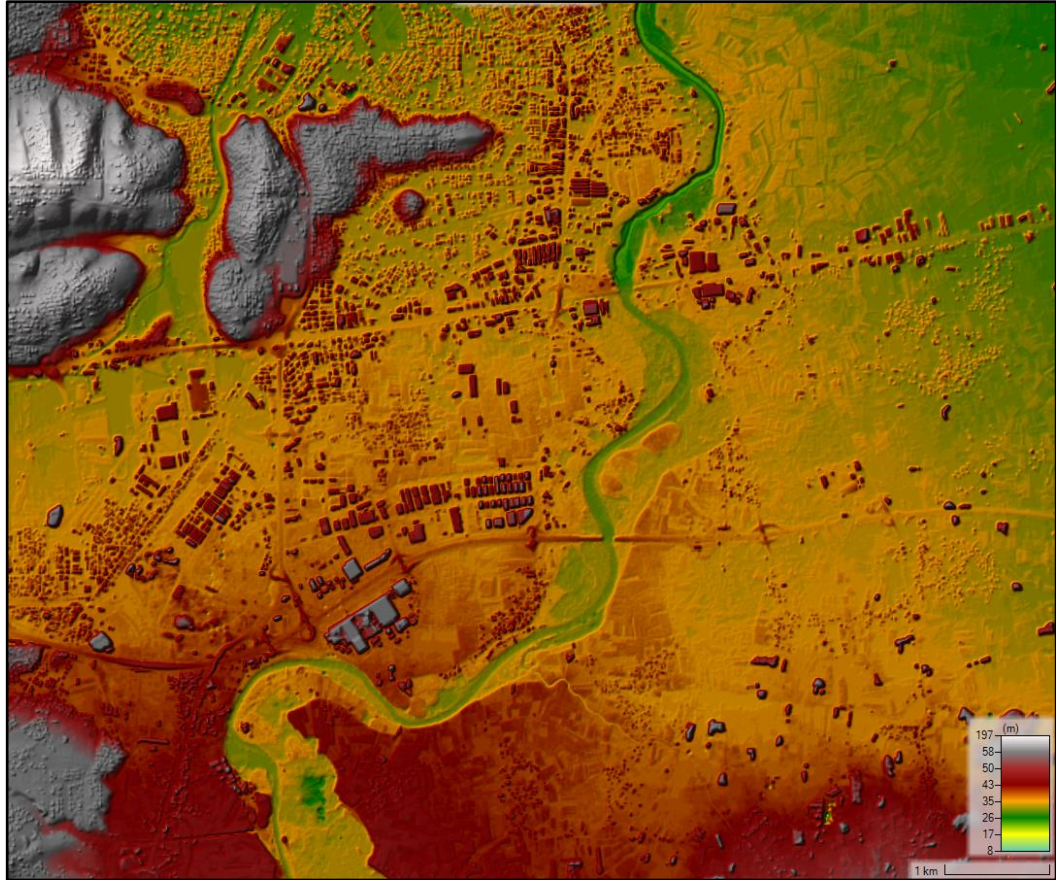


Şekil 4.23. Bina üst kotlarının değer olarak tanımlanması

Yapılan GIS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) programları ile elde edilen sayısal yükseklik modeline ait genel bir görünüm Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.24. Sayısal yükseklik modeli QGIS görünümü



Şekil 4.25. Sayısal yükseklik modeli görünümü (HEC-RAS)

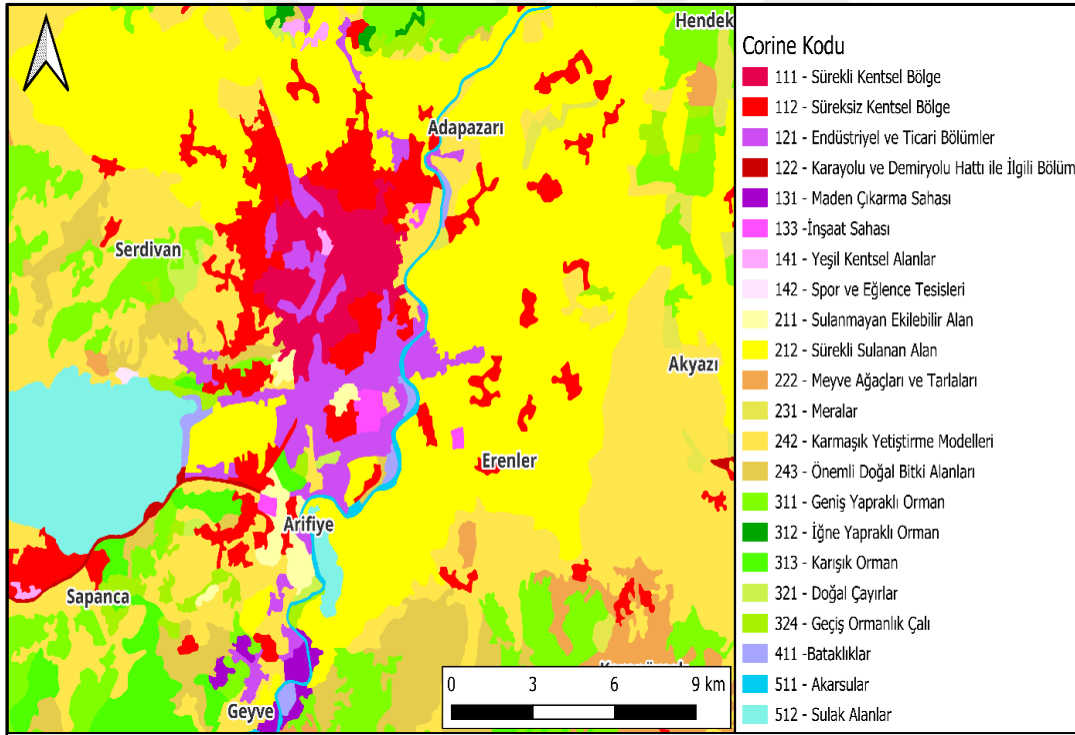
4.7.1.2. Arazi kullanım haritası

Tez çalışması kapsamında hidrolik modelde nehir yatağı dışında kalan alanlar için pürüzlülük katsayısının belirlenmesinde CORINE–2018 verisinden yararlanılmıştır.

CORINE (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilgi Koordinasyonu), Avrupa Çevre Ajansı tarafından oluşturulmuş arazi örtüsü sınıflandırmasına dayanmaktadır. Bu veri seti, uydu görüntülerinin bilgisayar destekli görsel yorumlama yöntemi kullanılarak üretilen arazi kullanım verilerini içermektedir.

Bu veri seti, çeşitli arazi kullanım sınıflarını içermekte olup, tarım alanları, ormanlar, su yüzeyleri, yapılı alanlar gibi farklı kategorilere ayrılmaktadır. Bu veriler, çevresel yönetim, şehir planlaması, tarım, ormancılık ve su kaynakları yönetimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Tarım Orman Bakanlığı, 2024).

Hidrolik model çalışma alanı için taşkın yatağı dışında kalan alanların arazi kullanım sınıflarına göre pürüzlülük katsayıları Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.26. Arazi kullanım haritası

Arazi kullanım haritasına göre sınıflandırılmış alanlara ait pürüzlülük değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Arazi kullanımına göre pürüzlülük katsayıları.

Corine Kodu	Arazi Tanımlaması	Pürüzlülük Değeri
111	Sürekli Kentsel Bölge	0,013
112	Süreksiz Kentsel Bölge	0,013
121	Endüstriyel ve Ticari Bölümler	0,013
122	Karayolu ve Demiryolu Hattı ile İlgili Bölüm	0,013
131	Maden Çıkarma Sahası	0,013
133	İnşaat Sahası	0,013
141	Yeşil Kentsel Alanlar	0,025
142	Spor ve Eğlence Tesisleri	0,025
211	Sulanmayan Ekilebilir Alan	0,030
212	Sürekli Sulanan Alan	0,030
222	Meyve Ağaçları ve Tarlaları	0,080
231	Meralar	0,035
242	Karmaşık Yetiştirme Modelleri	0,040
243	Önemli Doğal Bitki Alanları	0,050
311	Geniş Yapraklı Orman	0,100
312	İğne Yapraklı Orman	0,100
313	Karışık Orman	0,100
321	Doğal Çayırılar	0,040
324	Geçiş Ormanlık Çalı	0,060
411	Bataklıklar	0,040
511	Akarsular	0,050
512	Sulak Alanlar	0,050 – 0,060

4.7.1.3. Akım verileri

Taşkın modelleme çalışmasında akım verileri havzayı temsil eden ve taşkın çalışma alanına en yakın konumda olan E12A021 istasyon numaralı Doğançay akım gözlem istasyonu (AGİ) verileri kullanılmıştır.

E12A021 numaralı AGİ, Sakarya Nehri üzerinde, Doğançay yerleşimine ulaşım sağlayan karayolu köprüsü üzerinde yer almaktadır. AGİ'nin yağış alanı 52.531,60 km² olup, AGİ 1952 yılında işletmeye açılmıştır. Gözlenmiş akımlar incelendiğinde, akımların 2009 yılına kadar sürekli olarak ölçüldüğü tespit edilmiştir. Akım gözlem istasyonuna ait yıllık anlık maksimum akım (YAMA) değerleri Tablo 4.2'de sunulmuştur.

Tablo 4.2. E12A021 Numaralı Doğançay AGİ akım değerleri.

Yıl	Debi (m ³ /s)	Yıl	Debi (m ³ /s)
1963	977	1987	629
1964	601	1988	496
1965	938	1989	359
1966	575	1990	414
1967	391	1991	701
1968	800	1992	661
1969	761	1993	351
1970	711	1994	283
1971	471	1995	475
1972	767	1996	484
1973	445	1997	580
1974	503	1998	746
1975	498	1999	593
1976	396	2000	740
1977	457	2001	325
1978	498	2002	815
1979	509	2003	371
1980	572	2004	736
1981	600	2005	433
1982	624	2006	564
1983	425	2007	323
1984	622	2008	422
1985	405	2009	522
1986	444	-	-

Havzayı temsil eden yeterli miktarda gözlenmiş akım verilerinin bulunması hidrolik modelde kullanılacak tekerrürlü taşkın debilerinin istatistiksel çalışmalarını yapmaya olanak tanımaktadır.

Gözlenmiş akımlar ile taşkın hesabında; akım gözlem istasyonlarının (AGİ) yıllık anlık maksimum akım değerleri frekans analizine tabii tutulmakta, farklı tekerrür periyotlarına sahip taşkın pik debileri hesaplanmaktadır. Frekans analizi, AGİ'nin bulunduğu kesit için yapılabileceği gibi (Noktasal Taşkın Frekans Analizi – NTFA), havza çevresindeki birden fazla AGİ'nin verileri kullanılarak da yapılabilmektedir (Bölgesel Taşkın Frekans Analizi - BTFA).

Tez çalışmasında, Doğançay AGİ verileri kullanılarak noktasal taşkın frekans analizi gerçekleştirilmiş ve Momentler Metodu kullanılmıştır. Bu analizde, Normal, 2 Parametrelili Log-Normal, 3 Parametrelili Log-Normal, LogPearson Tip-3 ve Gumbel dağılımları yıllık maksimum taşkın akış değerlerine uygulanmıştır. Sonuç olarak, 2, 5,

10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık tekerrür debileri hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerlerin hangi dağılıma uyduğu, Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi ile belirlenmiştir.

4.8. İstatistiksel Yöntemler

4.8.1. Normal dağılım

Normal dağılım, hidrolojik değişkenlerin istatistiksel analizinde geniş bir kullanım alanına sahip olup, Gauss Tipi dağılım olarak da bilinmektedir. Bu dağılım, birçok bilim dalında uygulandığında genellikle başarılı sonuçlar vermektedir. Normal dağılım, belirtilen ortalama (μ) ve standart sapma (σ) değerlerine göre şekillenmektedir ve bu durum merkez limit teoremiyle açıklanmaktadır. Merkez limit teoremine göre, eğer bir rastgele değişken (x), n adet bağımsız değişkenin toplamından oluşmaktaysa, n arttıkça x 'in dağılımı, temel değişkenlerin dağılımı ne olursa olsun hızla normal dağılıma yaklaşmaktadır. Bu dağılım $-\infty$ ile $+\infty$ aralığında olup, parametreleri standart sapma (σ) ve ortalama (μ) dır.

Normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu (pdf) denklem 4.7’de verilmiştir:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right] \quad (4.7)$$

Bu dağılımın alttan ve üstten sınırsız olduğu, aritmetik ortalamasının (μ) ve varyansının (σ^2) olduğu belirtilmelidir. Belirli tekerrür aralıkları (T) için beklenen olası taşkın miktarları denklem 4.8. ile hesaplanabilir:

$$X_T = \mu_x + K_T \cdot \sigma_x \quad (4.8)$$

Burada,

X_T : T dönüş aralığında beklenen muhtemel taşkın miktarıdır.

μ_x : Gözlenen veri değerlerinin ortalamasıdır.

K_T : Frekans faktörüdür ve ortalamadan sapmayı veya değişimi ifade eder. Denklem 4.9’teki gibi hesaplanabilir.

$$K_T = \frac{(2.515517+0.802853*w+0.010328*w^2)}{(1+1.432788*w+0.189269*w^2+0.001308*w^3)} \quad (4.9)$$

Burada w denklem 4.10’teki gibi hesaplanabilir

$$w = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{p^2}\right)} \quad (4.10)$$

Burada p, dönüş aralığının aşılma olasılığı olup şu şekilde hesaplanır:

$$p = \frac{1}{T}$$

Bu işlemler her bir dönüş aralığı için tekrarlanır ve normal dağılıma göre beklenen olası taşkın miktarları hesaplanabilir. Normal dağılım, hidrolojik analizlerde taşkın tahminleri, yağış ve akış verilerinin değerlendirilmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

4.8.2. Log-normal dağılım

Rastgele bir değişken olan Y değişkeni, X değişkeninin logaritması ile tanımlanıyorsa ve Y normal dağılıma sahipse, bu durumda X değişkeni log-normal dağılıma sahiptir. Bu durum, X'in sadece pozitif değerler için tanımlanabileceği anlamına gelir ve bu nedenle hidrologide birçok pozitif değişkene iyi uyum sağlar ve tatmin edici sonuçlar verir. Merkez limit teoremi, bir x değişkeninin normal dağılıma sahip olabilmesi için, x'i etkileyen faktörlerin birbirinden bağımsız olması gerektiğini belirtmektedir. Benzer şekilde, eğer x birçok faktörün etkisinin sonucu ise, $\ln(x)$ normal dağılıma sahiptir. Bu durumda, $y = \ln(x)$ hesaplaması $y = \ln(x_1 x_2 \dots x_n)$ şeklinde olacaktır.

Tekerrürlü debiler denklem 4.11 ile hesaplanabilir.

$$Q = x_{ort} + k \sqrt{\left(\frac{\sum x^2}{N} - \left(\frac{\sum x}{N} \right)^2 \right) x \left(\frac{N}{N-1} \right)} = x_{ort} + K x S_n \quad (4.11)$$

$$K = \frac{e^{\sqrt{a} \cdot z - a/z - 1}}{\sqrt{b}/x_{ort}} \quad (4.12)$$

a ve b katsayıları aşağıda verilen denklem 4.13 ve denklem 4.14 ile hesaplanır (Bayazit ve Önöz, 2008).

$$a = \ln \left[1 + \left(\sqrt{b}/x_{ort} \right)^2 \right] \quad (4.13)$$

$$b = \left(\frac{\sum x^2}{N} - x_{ort}^2 \right) * \frac{N}{N-1} \quad (4.14)$$

4.8.3. 3 parametrelı log-normal dağılım

Çoğu zaman x rastgele değişkenin logaritmalarını almak değişkenin normal dağılıma uyum göstermemektedir. Fakat Denklem 4.15'teki gibi bir x_0 alt sınır değeri çıkarılıp logaritmik dönüşüm yapılırsa değişken normal dağılıma uyum göstermektedir (Bayazit ve Önöz, 2008).

$$y = x - x_0 \quad (4.15)$$

Taşkın debisi denklem 4.16 ile hesaplanabilir.

$$Q = x_{ort} + k \sqrt{\left(\frac{\sum x^2}{N} - \left(\frac{\sum x}{N} \right)^2 \right) \times \left(\frac{N}{N-1} \right)} \quad (4.16)$$

K ferakans faktörü ise;

$$K = \frac{e^{\sqrt{a} * z - a/z} - 1}{f} \quad (4.17)$$

Denklem 4.17’de geçen katsayılar aşağıda eşitlikleri verilen denklem 4.18, denklem 4.19, denklem 4.20 ve denklem 4.21 ile hesaplanır (Bayazıt ve Önöz, 2008).

$$a = (\ln z^2 + 1) \quad (4.18)$$

$$f = \frac{1 - d^{(2/3)}}{d^{(1/3)}} \quad (4.19)$$

$$d = \frac{-c + \sqrt{c^2 + 4}}{2} \quad (4.20)$$

$$C = \frac{\left(\frac{\sum x^3}{N} \right) + 2x_{ort}^3 - 3x_{ort} * \left(\frac{\sum x^2}{N} \right)}{\left(\frac{\sum x^2}{N} - x_{ort}^2 \right)^{1,5}} \quad (4.21)$$

4.8.4. Log-Pearson tip 3 dağılımı

Log-Pearson Tip III dağılım fonksiyonu, yıllık maksimum akım verilerine uygulanan bir istatistiksel yöntem olup, nehirlerdeki farklı taşkın olasılıklarını tahmin etmek amacıyla kullanılmaktadır..

Bu dağılım için kullanılan eşitlikler denklem 4.22, denklem 4.23, denklem 4.24 ve denklem 4.25’de verilmiştir.

$$\overline{\log x} = \frac{\sum \log x}{N} \quad (4.22)$$

$$\sigma_{\log x} = \frac{\sum (\log x - \overline{\log x})^2}{N-1} \quad (4.23)$$

$$C_s = \frac{N * \sum (\log x - \overline{\log x})^3}{(N-1) * (N-2) * (\sigma_{\log x}^3)} \quad (4.24)$$

$$\log x = \overline{\log x} + k * (\sigma_{\log x}) \quad (4.25)$$

Formülde yer alan değişkenler şunlardır: log x, yıllık akım verilerinin logaritmalarının ortalamasını temsil etmektedir; K, taşkın sıklık faktörü olup çarpıklık (Cskew) ve tekrarlama aralığının (T) bir fonksiyonudur; $\sigma_{\log x}$ ise, yıllık akım verilerinin logaritmalarının standart sapmasını ifade etmektedir.

4.8.5. Gumbel dağılımı

Yıllık ekstrem akım değerlerine dayanan bir istatistiksel yöntem olan Gumbel dağılımı, 1958'de taşkın analizi için Gumbel tarafından kullanıldığı için bu isimle anılmaktadır. Hidrolojide meydana gelen pek çok olayın en büyük veya en küçük değerleri benzerlik göstermektedir. Ekstrem değerler teorisine göre değişkenlerin sonsuza gitmesi durumunda, ekstrem değer dağılımına yakınsadığı kabul edilmektedir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[\frac{x-\beta}{\alpha}\right] \exp\left(-\frac{x-\beta}{\alpha}\right) \quad (4.26)$$

Dağılım alttan ve üstten sınırsız ($-\infty \leq x \leq \infty$) olup; $\alpha = 1.282/\sigma$, $\beta = \mu (0.577/\alpha)$ şeklinde ifade edilmektedir.

4.9. Taşkın Tehlike Haritaları

Taşkın tehlike haritalama, taşkın risklerini belirlemek ve yönetmek amacıyla kullanılan kritik bir araçtır. Bu haritalar, taşkın olaylarının mekansal dağılımını ve potansiyel etkilerini görselleştirmekte, yerel yönetimlerin ve afet müdahale ekiplerinin daha etkin planlama yapmasına olanak tanımaktadır. Taşkın tehlike haritalarının oluşturulma süreci, veri toplama, analiz ve modelleme aşamalarını içermektedir.

Kentsel alanlarda taşkın tehlikesi haritalama çalışmaları, büyük ölçekli havzalarda değerlendirme yapmayı gerektirmektedir. Bu çalışmalarda Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) ve hidrolik modeller kullanılmaktadır (Demir ve Kişi, 2016; Parsian ve ark., 2021). Kentsel alanlarda taşkın tehlikesi değerlendirilirken, topografik veriler, arazi kullanımı, su yolları ve altyapı gibi çeşitli faktörler dikkate alınmaktadır. Bu faktörler, taşkın sularının yayılımını ve potansiyel zararlarını tahmin etmek için entegre edilmektedir (Zhao ve ark., 2019). Benzer şekilde, uydu verileri ve GIS teknikleri kullanılarak taşkın tehlikesi haritaları oluşturulmakta ve bu yöntemler, taşkın riskinin daha doğru bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Forkuo, 2011).

Dünya genelinde taşkın tehlikelerinin belirlenmesinde çeşitli yöntemler ve taşkın tehlike sınıflandırılmaları kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemler arasında Avrupa Birliği'nin Taşkın Direktifi, Amerika Birleşik Devletleri'nde FEMA'nın Ulusal Taşkın Sigorta Programı (NFIP), Asya'da yüksek çözünürlüklü dijital yükseklik modelleri (DEM) ve küresel düzeyde Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi'nin (ECMWF) modelleri bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ilgili yerleşimlerin daha kolay uyarılabilmesi, muhtemel etkilerin tahmin edilebilmesi ve olay gerçekleşmeden gerekli tedbirlerin alınabilmesi amacıyla, taşkın tehlikelerinin haritalandırılmasında Avustralya Afet Dayanıklılığı Enstitüsü (Australian Institute for Disaster Resilience, AIDR) yöntemi kullanılmaktadır. AIDR, taşkın tehlike haritalarının oluşturulmasında yenilikçi ve etkili bir yöntem sunmaktadır (Urzica ve ark., 2021).

AIDR, afet risklerini azaltma ve toplumların afetlere karşı dirençli hale getirilmesi amacıyla geliştirilen yöntem ve araçları içermektedir. Tehlike Derecesi (TD), hidrolik modelleme sonucunda elde edilen hız ve derinlik değerlerinin doğrudan çarpılması ile elde edilmektedir ($TD = \text{Derinlik} \times \text{Hız}$). Bu yöntemde tehlike derecesi, Tablo 4.3'te görüldüğü gibi 6 farklı gruba ayrılmaktadır (Avustralya Afet Dayanıklılığı Enstitüsü, 2017).

Tablo 4.3. Taşkın tehlike derecesi

Tehlike Derecesi	D x V (m²/s)	Açıklama
T1	$\leq 0,3$	İnsanlar, araçlar ve yapılar için genel uyarı durumu
T2	$\leq 0,6$	Küçük araçlar için güvensiz durum
T3	$\leq 1,2$	Araçlar, çocuklar ve yaşlılar için güvensiz durum
T4	$\leq 2,0$	Araçlar ve insanlar için güvensiz durum
T5	$\leq 4,0$	Araçlar ve insanlar için güvensiz durum, kargir, ahşap gibi dayanıklılığı daha az yapı tiplerinin hasar görebilme ihtimali mevcuttur
T6	$> 4,0$	Araçlar ve insanlar için güvensiz durum, tüm yapı tiplerinin hasar görebilme ihtimali mevcuttur

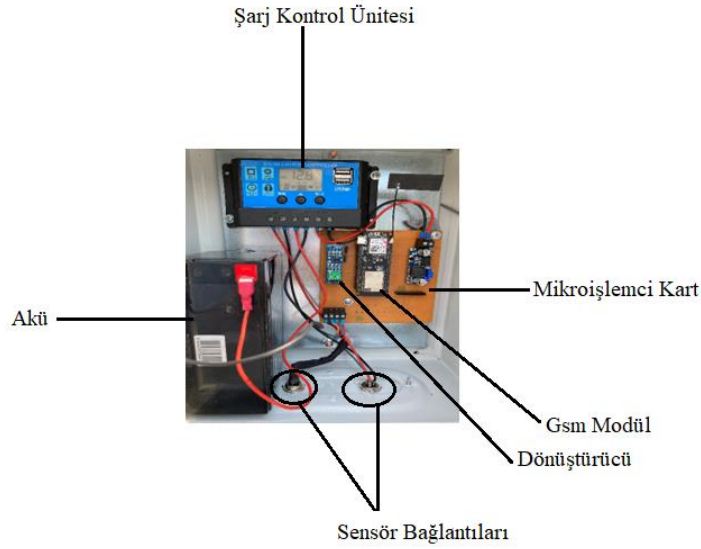
Tez çalışmasında kullanılan bu sınıflandırma yöntemi, tehlike haritalarının kapsamlı ve detaylı bir şekilde oluşturulmasını sağlamaktadır. Tekerrürlü taşkın debileriyle oluşturulan hidrolik model sonuçlarından elde edilen hız ve derinlik haritaları, tehlike haritalarının ve tehlike derecelerinin ayrıntılı sınıflandırılmasında temel olarak kullanılmaktadır. Taşkın tehlike haritalarının kapsamlı ve detaylı tehlike derecelerini içermesi, afet yönetimi süreçlerinde daha doğru ve etkili kararların alınmasına olanak tanımaktadır.



5. UYGULAMA VE SONUÇ

5.1. Gerçek Zamanlı Nehir Gözlem İstasyonu İmalatı

Gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu entegre elemanlarının bağlantıları, yazılım sistemi ve haberleşme protokolleri kontrol edilerek birleştirilmiştir (Şekil 6.1.) Bağlantı elemanlarının birleşimi ve sensör okuma değerlerinin anlamlandırılması için gerekli kodlamalar ve bağlantılar Bölüm 4’te anlatılan Arduino programı ile yazılmıştır.



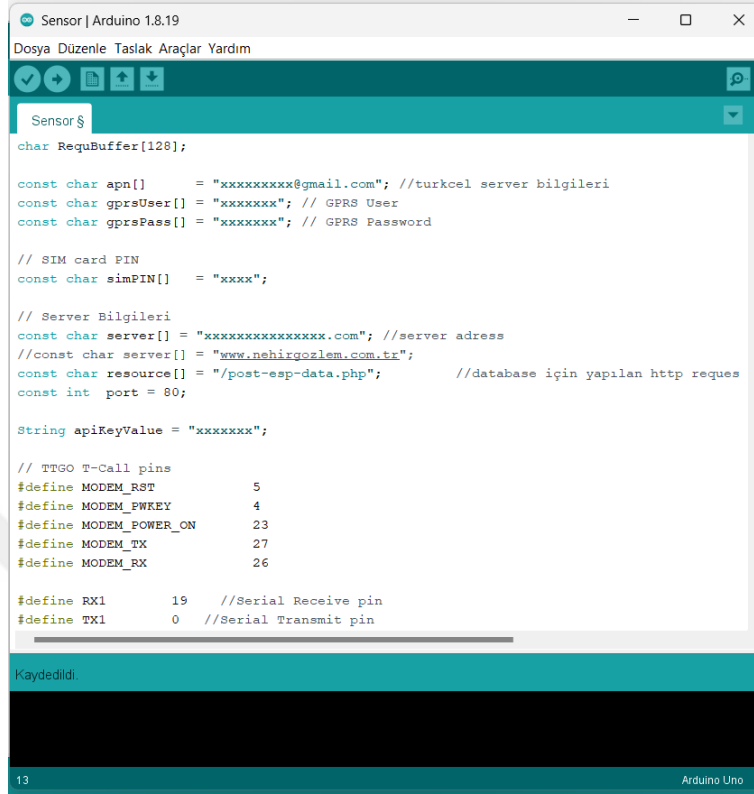
Şekil 5.1. Gözlem istasyonu entegre elemanları

5.2. Arduino Programı İçin Yazılan Kodlar ve Haberleşme Protokolleri

Arduino programı, nehir gözlem istasyonu entegre elemanlarının haberleşme modülü için kullanılmıştır. Arduino IDE kullanılarak SIM800 modülüyle ultrasonik mesafe sensöründen alınan verilerin internet üzerinden bir sunucuya iletilmesi amacıyla kodlama yapılmıştır. Kodlama sistemin enerji verimliliği ve uzaktan veri iletimi gibi temel özellikleri de içermektedir.

Kodlamada öncelikle gerekli kütüphaneler (TinyGSM library), sensör değerleri , sunucu bilgileri ve diğer değişken parameterler tanımlanmıştır. Bu değişkenler APN ayarları, GPRS kullanıcı adı ve şifresi, SIM kart PIN kodu ve sunucu adresidir.

Değişken parametrelerinin tanımlandığı Arduino program arayüzü Şekil 5.2’de sunulmuştur.



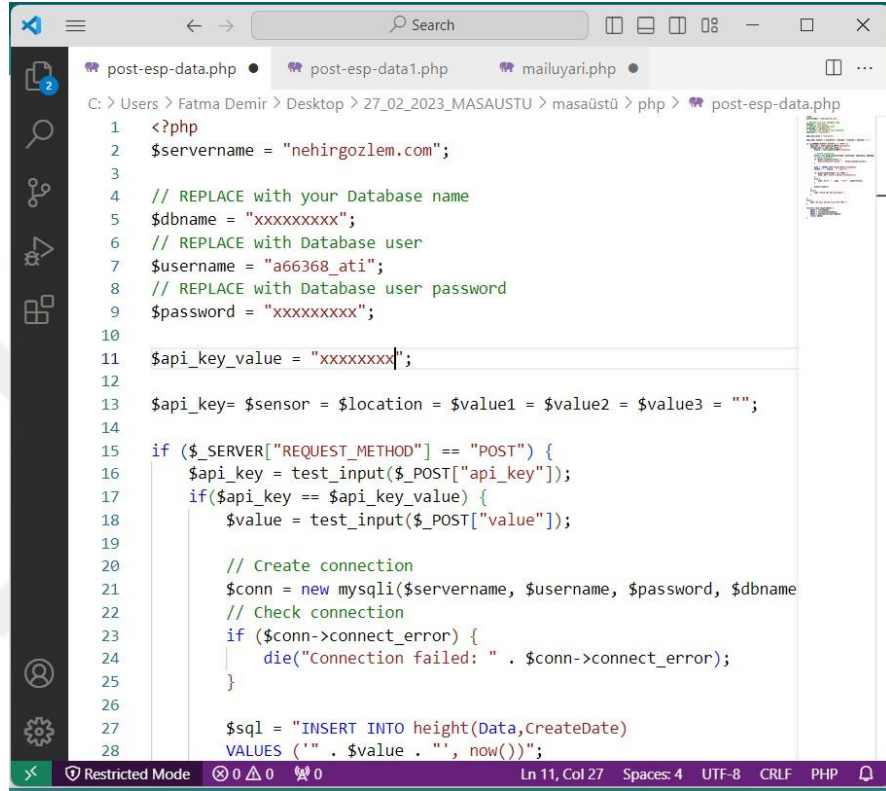
Şekil 5.2. Arduino programı arayüzü ve protokoller

Sistemde, GSM modülü aracılığıyla GPRS üzerinden internete bağlanma işlemi yapılmaktadır. Sisteme tanımlanan PIN, modem ile SIM kartın kilidini açmaktadır. Ardından, RS485 arabirimi üzerinden modbus protokolü kullanılarak ultrasonik mesafe sensöründen veri okuma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Veri toplama işlemi tamamlandığında, elde edilen mesafe bilgisi bir API anahtarı ve mesafe değerini içeren bir veri dizisi şeklinde sunucuya HTTP POST isteği ile gönderilmektedir. Bu istek, PHP get fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilmekte ve sunucuya başarılı bir bağlantı kurulduğunda, veri gönderildikten sonra GSM modülünün internet bağlantısı enerji tasarrufu amacıyla kesilerek, belirlenen süre boyunca ESP32 mikrodenetleyici kartın derin uyku moduna alınmaktadır. Ölçülen bu verilerin doğru ve etkin bir şekilde yönetilmesi, su yönetimi ve çevre koruma çalışmaları için büyük önem taşımaktadır.

Sensörden okunan değerler, RS485 aracılığıyla işlenmiş ve seri port üzerinden görüntülenmektedir. Elde edilen veriler, ardından GPRS bağlantısı kurularak bir HTTP POST isteği ile sunucuya iletilmektedir. Sisteme entegre edilen SIM800L GSM

modül ve ESP32 mikrodnetleyici kart, haberleşme protokolleri ve kodlamalar yazılmıştır. Veri akışı, bu kodlama ve protokoller sayesinde sağlanmakta ve sürekli veri toplama ve analiz işlemleri için PHP kodu yazılarak, sensörden alınan verilerin internet üzerinden bir sunucuya aktarılması sağlanmaktadır (Şekil 5.3). Bu veriler merkezi bir veritabanında toplanarak, nehir gözlem istasyonlarının verimliliği artırılmış ve su kaynaklarının yönetimine ilişkin karar verme süreçleri desteklenmiştir.



```
1 <?php
2 $servername = "nehirgozlem.com";
3
4 // REPLACE with your Database name
5 $dbname = "xxxxxxx";
6 // REPLACE with Database user
7 $username = "a66368_ati";
8 // REPLACE with Database user password
9 $password = "xxxxxxx";
10
11 $api_key_value = "xxxxxxx";
12
13 $api_key= $sensor = $location = $value1 = $value2 = $value3 = "";
14
15 if ($_SERVER["REQUEST_METHOD"] == "POST") {
16     $api_key = test_input($_POST["api_key"]);
17     if($api_key == $api_key_value) {
18         $value = test_input($_POST["value"]);
19
20         // Create connection
21         $conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname)
22         // Check connection
23         if ($conn->connect_error) {
24             die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
25         }
26
27         $sql = "INSERT INTO height(Data,CreateDate)
28             VALUES ('" . $value . "', now())";
```

Şekil 5.3. Php fonksiyonları

Sisteme takılan sensör, RS-485 ve Modbus protokolünü desteklemektedir. Veri dönüşümü için MAX485 entegrasyonu kullanılmıştır. Kullanılan Modbus RTU haberleşme protokol fonksiyonları ve sensörün kullanım kılavuzunda belirtilen 520 adresinde ne kadarlık mesafede ölçüm yapıldığı, verilen formülle hesaplanmıştır.

Örneğin, Modbus protokolü kullanılarak yapılan istek:

{0x01, 0x03, 0x02, 0x08, 0x00, 0x01, 0x04, 0x70} şeklinde formüle edilmiştir ve 8 byte'tan oluşmaktadır. Burada, sensörün ağdaki adresi, kayıtları okuma komutu ve okunacak verinin başlangıç adresi gibi bilgiler yer almaktadır.

1. Byte (0x01): Sensörün ağdaki adresi.
2. Byte (0x03): Kayıtları okuma komutu.

3. ve 4. Byte (0x02, 0x08): Okunacak verinin başlangıç adresi (520).

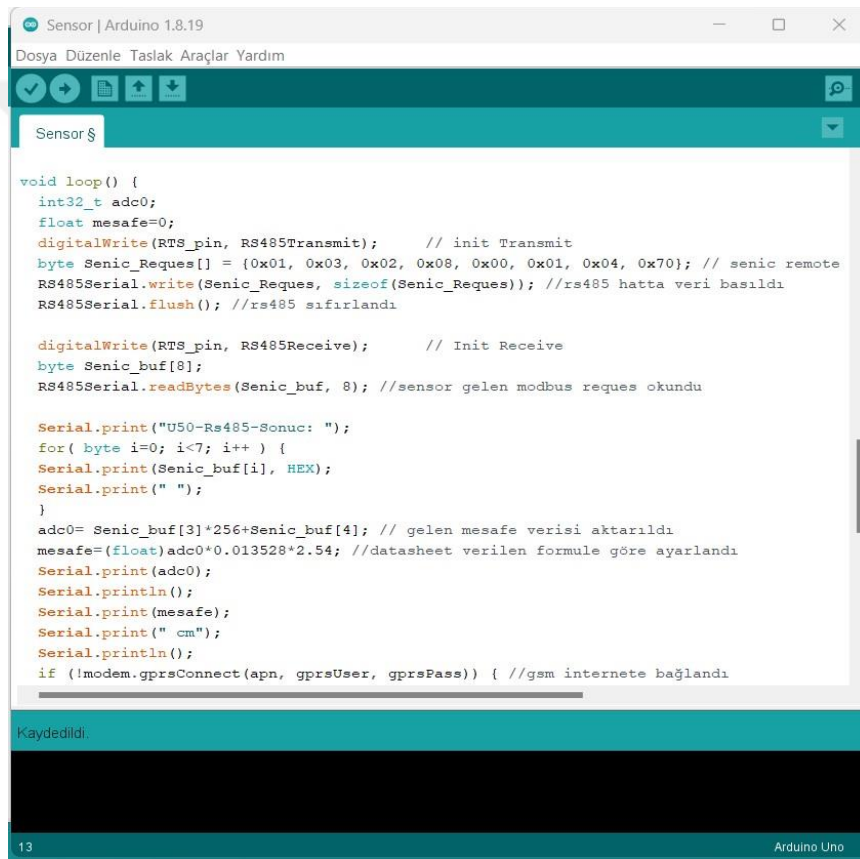
5. ve 6. Byte (0x00, 0x01): Okunacak veri miktarı (1 kayıt).

7. ve 8. Byte (0x04, 0x70): Hata kontrolü için kullanılmaktadır.

Okunan değer, sensör üreticisinden temin edilen kılavuz değerlerine göre dönüştürülmüş ve santimetre olarak sunucuya aktarılmıştır.

$$\text{mesafe} = (\text{float})\text{adc0} * 0.013528 * 2.54;$$

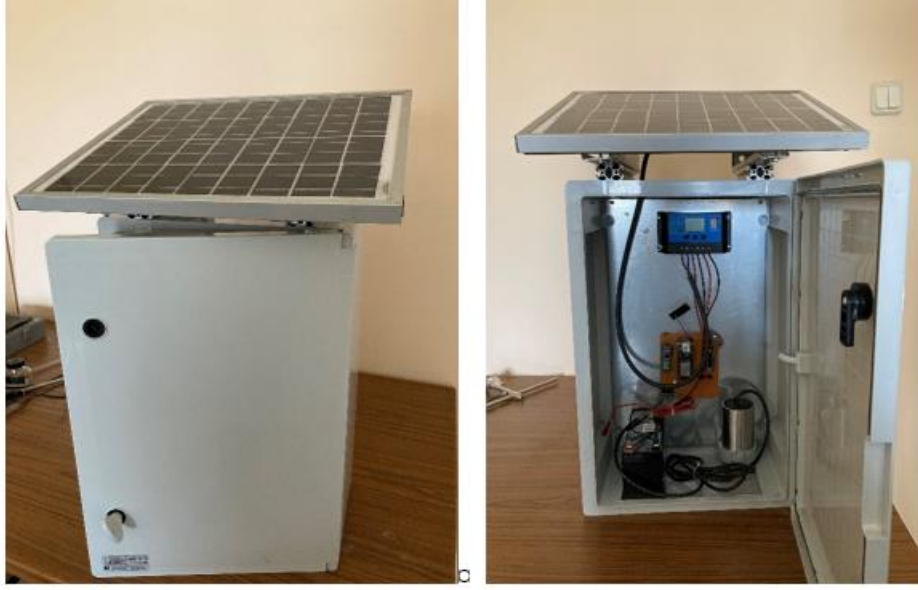
Arduino programına girilen sensör bağlantı ve haberleşme protokol fonksiyonları Şekil 5.4'te arayüz görseli olarak verilmiştir.



Şekil 5.4. Arduino programı sensör haberleşme protokolü

5.3. Nehir Gözlem İstasyonu Laboratuvar ve Arazi Kalibrasyonu

Gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu entegre elemanları ve yazılım sistemi kontrol edilerek birleştirilmiş ve olumsuz hava koşullarından etkilenmemesi için su geçirmez kabin içerisine yerleştirilmiştir (Şekil5.5).



Şekil 5.5. Su geçirmez kabin

Kalibrasyon çalışmaları, Sakarya Üniversitesi Hidrolik laboratuvarında bulunan açık kanal üzerinde gerçekleştirilmiştir.

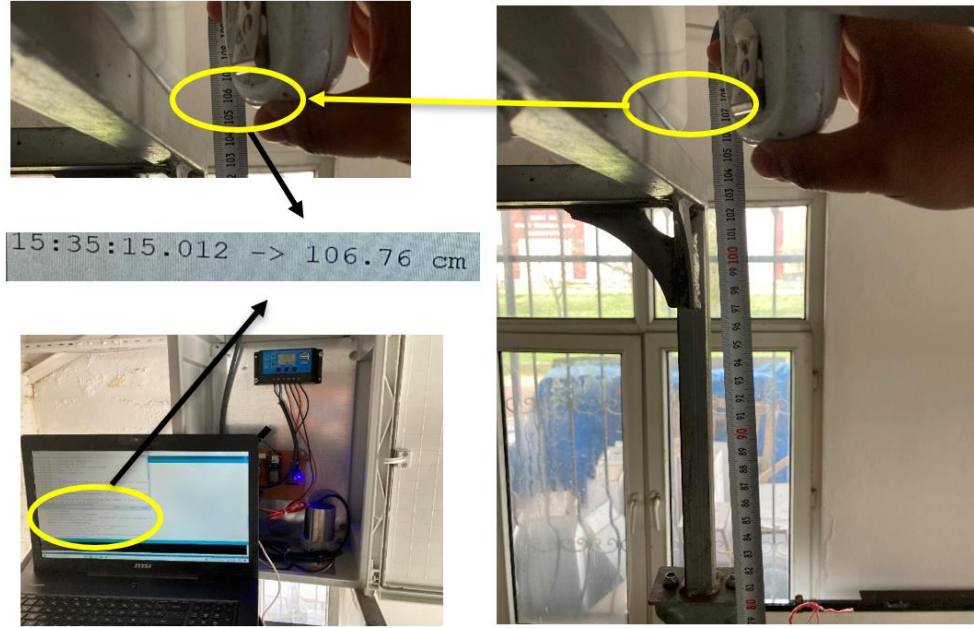
Kalibrasyon sırasında, sensör tarafından elde edilen mesafe okumaları, doğrudan su yüzeyinden mezura yardımıyla yapılan manuel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, sensörün ölçüm hassasiyetinin doğrulanması ve gerekli ayarların yapılması açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, sensörden alınan verilerin anlık olarak izlenmesi ve kaydedilmesi için tasarlanan web arayüzü ile takibi yapılmıştır.

Web arayüzü, kalibrasyon verilerinin kaydedilmesi, erişilmesi ve analiz edilmesi amacıyla entegre edilmiş olup, uzaktan erişim sağlayarak verilerinin gerçek zamanlı olarak değerlendirilmesine imkan tanımıştır.

Laboratuvar ortamındaki açık kanal üzerinde gerçekleştirilen kalibrasyon çalışmaları, imal edilen akım gözlem istasyonunun manuel ve otomatik ölçüm tekniklerinin entegrasyonu ile titizlikle yürütülmüştür.

Şekil 5.6'da laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ultrasonik mesafe sensörünün kalibrasyon çalışmasını gösterilmektedir. Görselde, mezura kullanılarak sensör ile su yüzeyi arasındaki mesafenin manuel olarak ölçüldüğü ve bu ölçümün sensör verileriyle doğrulandığı görülmektedir. Mezura ile yapılan manuel ölçümde mesafe 106.7 cm olarak okunmaktadır ve bu değer, ultrasonik sensörün otomatik olarak kaydettiği 106.76 cm'lik veri ile örtüşmektedir. Bilgisayar ekranında sensörden alınan veriler anlık olarak izlenmekte ve kaydedilmektedir. Bu, sensörün ölçümlerinin

doğruluğunu kontrol etmek ve gerekli kalibrasyon ayarlarını yapmak için kritik bir rol oynamaktadır. Manuel ölçüm ve sensör verilerinin tutarlılığı, sensörün doğru kalibre edildiğini ve güvenilir veri sağladığını doğrulamaktadır.



Şekil 5.6. Nehir gözlem istasyonu laboratuvar kalibrasyonu

Nehir gözlem istasyonunun laboratuvar ortamında yapılan kalibrasyon çalışmasından sonra arazi şartlarına uygunluğu ve dış etkilerin belirlenmesi için arazi çalışması yapılmıştır. Nehirlerde gerçek zamanlı seviye okuması amacıyla ultrasonik mesafe sensörü kullanılarak imal edilen nehir gözlem istasyonunun arazi kalibrasyon çalışmaları, Sakarya Nehri üzerinde bulunan ve Hanlı beldesine bağlanan boru iletim köprüsünde ve istasyonun kurulacağı Örencik Köprüsünde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar Şekil 5.7’de gösterilmektedir. Kalibrasyon süreci sırasında, sensörlerin doğruluğu ve dış etkenlere olan tepkileri bu iki köprü üzerinde yapılan ölçümlerle detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Kalibrasyonun doğrulanması aşamasında, Örencik Köprüsünde ve Hanlı beldesine bağlanan köprüde sensörden alınan mesafe ölçümlerinin web arayüzünden takibi, lazer metre ve manuel ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Sensör tarafından Örencik Köprüsünde ölçülen mesafe 1098 cm olarak kaydedilirken, lazer metre ile yapılan ölçüm 1097 cm olarak belirlenmiş, Hanlı köprüsünde ise sensör 1100 cm, manuel ölçüm ise 1099 cm olarak kaydedilmiştir. Bu ölçümlerin birbirine yakın çıkması, (%0.1 hata payı) sensör ayarlarının doğru yapıldığını ve kalibrasyonun başarılı olduğunu göstermektedir.

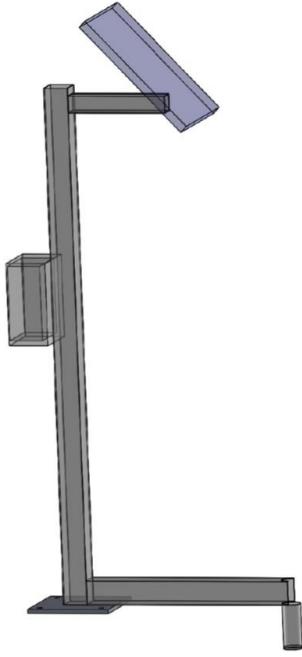


Id ▼	Data	Date
305	1098	12.04.2022 ...
304	1098	12.04.2022 ...
303	1099	12.04.2022 ...
302	1098	12.04.2022 ...
301	1098	12.04.2022 ...
300	1099	12.04.2022 ...
299	1098	12.04.2022 ...
298	1099	12.04.2022 ...

Şekil 5.7. Arazi kalibrasyon çalışması

Sonuç olarak, bu kalibrasyon çalışmaları, akım gözlem istasyonunun Sakarya Nehri üzerindeki belirli noktalarda etkili bir şekilde kullanılabilmesi için gerekli olan veri doğruluğunu ve cihazların dış etkenlere karşı dirençli olduğunu kanıtlamaktadır.

Arazi çalışması sonucunda istasyonun kurulacağı Örencik Köprüsünün fiziki koşulları göz önünde bulundurularak cihaza kolay ulaşım sağlanması, cihaz montajının yapılabilmesi için cihaz kabini yöntem kısmında anlatıldığı gibi yeniden tasarlanmış ve buna göre imal edilmiştir (Şekil 5.8).



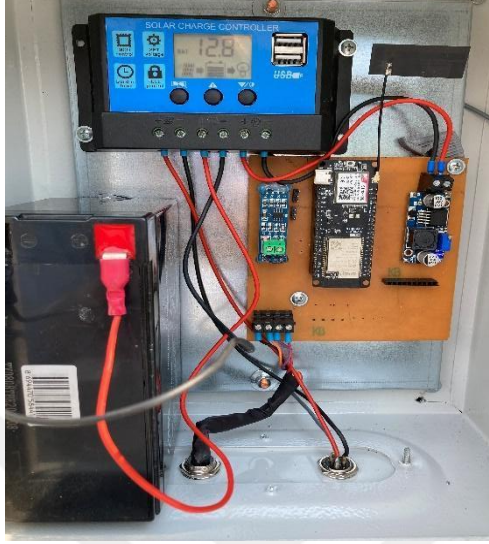
Şekil 5.8. Cihaz kabin tasarımı ve imalatı

Tasarımda sensör için özel bir koruma aparatı tasarlanmıştır. Bu aparat, Şekil 5.9’da da görüldüğü gibi sensörü düşmelere karşı korurken, gerektiğinde kolayca çıkarılabilmesine olanak tanıyacak şekilde yukarı doğru hareket ettirilebilir bir yapıya sahiptir. Tasarım, sensörün önünde herhangi bir engelin bulunmamasını garantilemektedir, bu da montaj ve söküm işlemlerini kolaylaştırmaktadır. Aparatın işlevselliği, sensörün etkin bir şekilde kullanılmasını desteklemekte ve kullanım esnasında karşılaşılabilecek olası problemleri minimize etmektedir.



Şekil 5.9. Sensör koruma aparatı

Gerçek Zamanlı Nehir Gözlem İstasyonu entegre elemanları tasarıma uygun 30*25*15 cm boyutundaki küçültülmüş su geçirmez kabine gerekli bağlantılar kontrol edilerek yerleştirilmiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Nehir gözlem istasyonu entegre elemanları kabin görünümü

Kabin altında sensör ve güneş paneli için soket girişleri tasarlanmıştır. Tasarımı tamamlanan gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu belirlenen lokasyona, Örencik Köprüsü'ne, Sakarya Büyükşehir Belediyesi'den gerekli izinler alınarak montajlanmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Gerçek zamanlı akım gözlem istasyonu kabin montajı

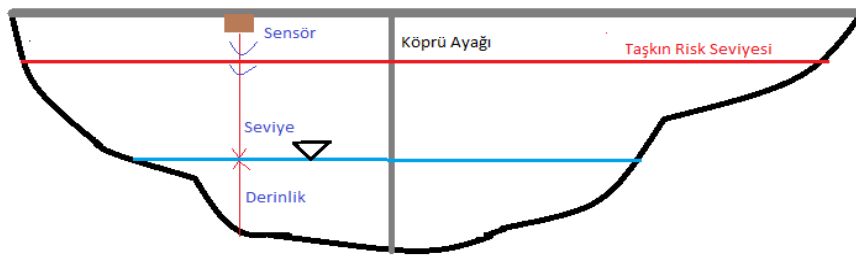
Montaj sonrasında sensör okumaları lazermetre yardımıyla tekrar kontrol edilmiş ve verilerin paylaşımının yapıldığı web sayfasından karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır.

5.4. Ölçüm İstasyonu Debilerinin Sisteme Aktarılması

Sakarya Nehri Örencik Köprüsüne monte edilen nehir gözlem istasyonu 13.06.2022 tarihi itibarıyla seviye ölçümü yapmaktadır. Bu tarihten itibaren elde edilen seviye verileri sensörün menbaasında bulunan Doğançay I hidroelektrik santrali akım verileri ile karşılaştırılmıştır. Hem sensör ölçümüne bağlı kesitteki debi miktarı manning n denklemi ile hesaplanmış hem de yerinde hız kontrolü yapılarak verilerin doğruluğu sağlanmıştır. Yapılan arazi çalışmasında okunan seviye ve hız değerleri doğrultusunda pürüzlülük katsayısı manning $n=0.15$ ($K=6.66$) olarak belirlenmiştir.

Çıkarılan enkesitte su seviyesi değişiminde kesitte oluşan ıslak alan ve ıslak çevre hesaplanarak arazi çalışmalarında belirlenen taban eğimi ($S=0.0025$) ve pürüzlülüğü Manning formülü (1) kullanılarak kesitten geçmekte olan debi hesaplanmıştır.

Ultrasonik mesafe sensörü köprünün orta ayaklı bir köprü olması sebebiyle köprünün orta noktasına yerleştirilmemiştir. Köprü orta ayağının akışı etkilememesi için orta ayak ile sol kıyı çizgisinin orta noktasına yerleştirilerek ölçüm alınması sağlanmıştır (Şekil 5.12). Bu ölçüm noktasındaki su seviyesi hesaplamaları için köprü enkesiti ve seviye ölçüm kalibrasyonu yapılmıştır. Ultrasonik mesafe sensörü ölçümüyle elde edilen nehir derinliğine bağlı anlık debi hesabı ve takibi PHP fonksiyonu ile sisteme tanımlanmıştır.



Şekil 5.12. Sensör ölçümü

Sunucuya aktarımda kullanılan fonksiyon aşağıdaki gibidir.

```
function debihesaplama($derinlik)
```

```
{
```

```
    $hesaplama=0;
```

```

if($derinlik<=0) return 0;

if($derinlik>=1290) return 0;

$data = (1290 - $derinlik)/100;

$alan = 49.85 * $data;

//return $alan;

$islakcevre = sqrt(71.4025 + (pow($data, 2))) * 2+41.4+(2*$data);

//return $islakcevre;

$hidyaricap = $alan / $islakcevre;

//return $hidyaricap;

$qdebi = (1/0.15) * (pow($hidyaricap, (2 / 3))) * pow(0.0025, 1/2) * $alan;

return (int)($qdebi *10000);

$sabit=15.84043665223068695610601646632;

$data2=pow((71.45+pow($data,2)),1/2)+43.4;

$data3 = (51.85 * $data) / $data2;

$data4 = pow($data3, 2);

$data5=pow($data4, (1/3));

$hesaplama = $data5*$data*$sabit;

$hesaplama = $hesaplama*100;

$yuvarlak ...

```

5.5. Nehir Gözlem İstasyonu Verilerinin Doğrulanması

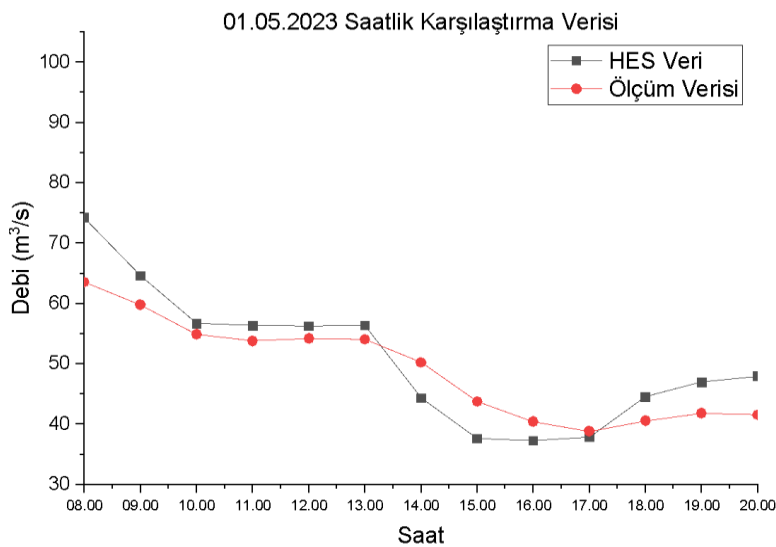
Ölçülen değerler imal edilen akım gözlem istasyonunun memba tarafında bulunan Doğançay HES I verileriyle saatlik, günlük ve aylık olmak üzere karşılaştırılmıştır. Ayrıca yerinde su seviyesi ölçümü ve manuel ölçüm yöntemleriyle (yüzen cisim yöntemi) de karşılaştırılarak anlık olarak ölçüm doğruluğu kontrol edilmiştir.

Nehir gözlem istasyonu verilerinin saatlik, günlük ve aylık değişimleri ile HES verilerinin karşılaştırılması Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te verilmiştir.

Şekil 5.13, 1 Mayıs 2023 tarihinde bir hidroelektrik santralinden (HES) alınan ve bir gerçek zamanlı akım gözlem istasyonundan kaydedilen saatlik ortalama debi değerlerinin karşılaştırmasını sunmaktadır. HES verileri ortalama olarak saatte 50.84 m³/sn ile ölçülmekteyken, gözlem verilerinde bu değer saatte 49.03 m³/sn olarak kaydedilmektedir. HES verilerinde gözlemlenen maksimum debi 74.24 m³/sn ile gözlem verilerindeki 63.54 m³/sn maksimum debiyi aşmaktadır. Buna karşın, HES'ten gelen minimum debi gözlem verilerinin 38.83 m³/sn minimum değerine göre daha düşük, 37.24 m³/sn olarak ölçülmektedir.

HES ve gözlem istasyonu arasındaki ortalama debi değerleri arasındaki fark %2.4 olarak belirlenmiştir ve ölçümler arasında $r^2=0.92$ gibi yüksek bir korelasyon değeri bulunmaktadır. Bu, her iki ölçüm setinin genel eğilimlerinin oldukça benzer olduğunu göstermektedir. HES verileri her 10 dakikada bir, gözlem istasyonundaki sensör ise her dakikada iki ölçüm yapacak şekilde kayıt gerçekleştirmektedir. Gözlem istasyonu günlük yaklaşık 2880 ölçüm yaparken hidroelektirik santrali 144 ölçüm yapmaktadır. Bu farklı ölçüm sıklıkları, özellikle hızlı değişen hidrolojik koşullar altında, debi değerlerindeki farklılıklara katkıda bulunmaktadır.

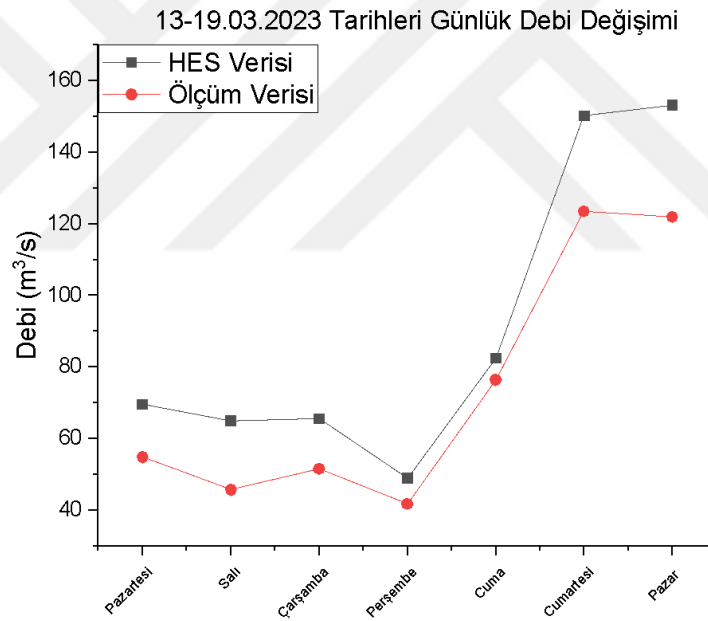
HES'in gözlem istasyonundan yaklaşık 450 metre menba tarafında konumlanması ve türbinlerden ölçülen debi miktarının bir kısmının işlem sonrası geri salınması, ölçülen toplam debi üzerinde düşürücü bir etki yapmaktadır. Bu dinamikler, ölçülen debi farklılıklarını açıklamada önemli faktörlerdir. Bu ölçümler, gözlem istasyonu tarafından sağlanan verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini pekiştirmektedir.



Şekil 5.13. Ölçüm debisinin saatlik değişiminin karşılaştırılması

Şekil 5.14'te verilen grafik, 13 Mart 2023 Pazartesi gününden başlayarak 19 Mart 2023 Pazar gününe kadar, HES günlük ortalama debi değerlerinin ve akım gözlem istasyonu günlük ortalama değerleri ile karşılaştırmasını göstermektedir.

13 Mart 2023 Pazartesi gününden başlayarak 19 Mart 2023 Pazar gününe kadar olan haftalık debi değerlerinin analizi, HES için haftalık ortalama debinin $90.70 \text{ m}^3/\text{sn}$, gözlem istasyonu için ise $73.65 \text{ m}^3/\text{sn}$ olduğunu göstermektedir. Haftalık değişim değerleri analiz edildiğinde, HES ve gözlem istasyonu arasındaki korelasyon katsayısı $r=0.99$ olarak belirlenmiştir. Bu da ölçüm değerlerinin son derece yüksek bir uyum içinde olduğunu ifade etmektedir. Hesaplanan %97.9 olan determinasyon katsayısı ise gözlem istasyonu ölçülen değerler vasıtasıyla HES akımlarının %97.9'luk kısmının açıklanabildiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, HES ve gözlem istasyonu arasında yapılan ölçümlerin tutarlılık ve güvenilirliğini vurgulamaktadır.

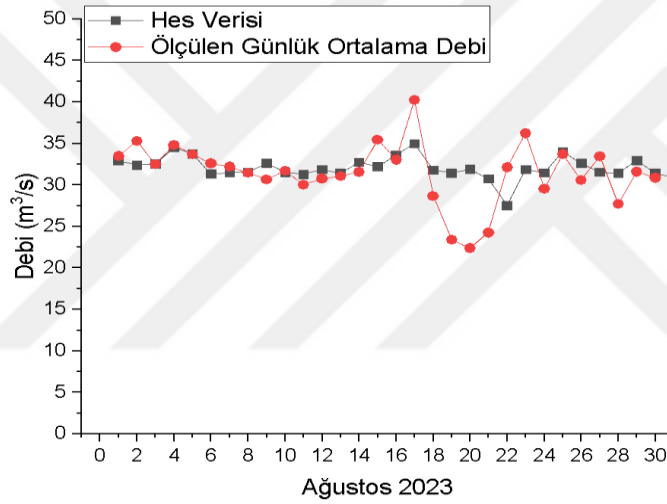


Şekil 5.14. Ölçüm debisinin günlük değişiminin karşılaştırılması

Şekil 5.15'te 2023 Ağustos ayı için HES ve nehir gözlem istasyonu arasındaki günlük ortalama debi değerlerinin karşılaştırılmasını verilmiştir. HES için günlük ortalama debi değeri yaklaşık $32 \text{ m}^3/\text{sn}$ iken, gözlem istasyonundan alınan değerler biraz daha düşük, yaklaşık $31,5 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak ölçülmüştür. Bu değerlerin benzerliği, her iki veri kaynağının da ortalama olarak güçlü bir doğrusal ilişki sergilediğini göstermektedir; bu ilişkinin korelasyon katsayısı 0.85 olarak hesaplanmıştır.

Ölçüm verileri arasındaki bu benzerlik, özellikle 16-20 Ağustos tarihleri arasında gözlenen belirgin farkların analizini de içermektedir. Bu dönemdeki farklılıkların ana sebebi, barajın su tutma işlemleri ve elektrik üretimi amacıyla yapılan ani su salımları olarak belirlenmiştir. HES verisinin daha geniş zaman adımlarında ölçülmesi, ölçüm verisinin standart sapmasının daha yüksek olmasına neden olmuştur. Ayrıca, gözlem istasyonu verilerinin doğruluğu, ek karşılaştırmalı analizler ile teyit edilmiştir.

Değerlendirilen veriler arasında, hesaplanan ortalama mutlak hata yaklaşık $1,5 \text{ m}^3/\text{sn}$ ve ortalama karekök hata ise $2 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak belirlenmiştir. Bu hatalar, günlük bazda dikkate değer farklılıkları yansıtmamakta olup, ölçümler arasındaki uyumu göstermektedir.



Şekil 5.15. Ölçüm debisinin aylık değişiminin karşılaştırılması

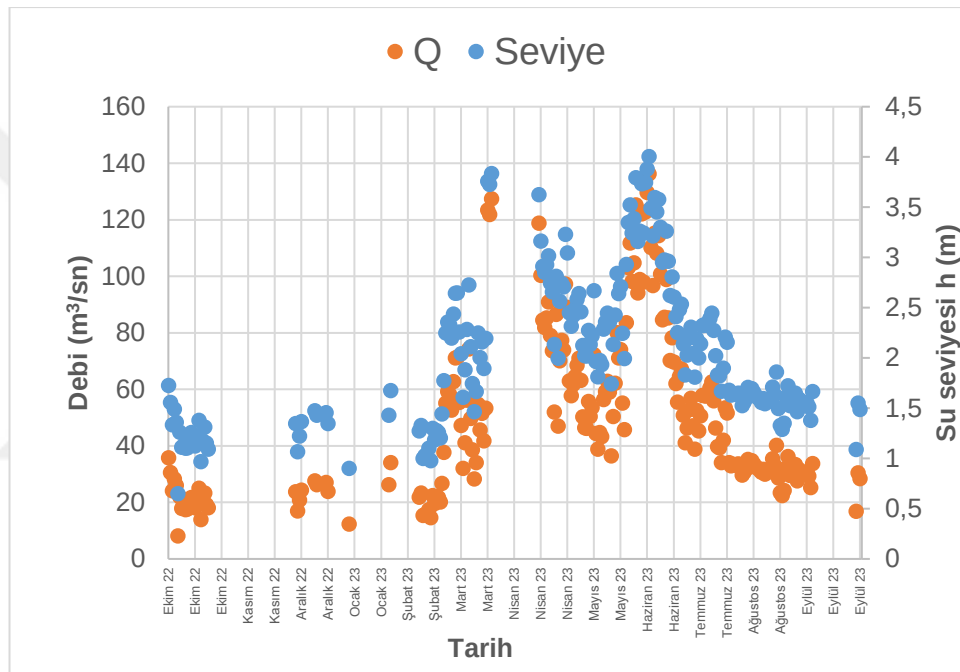
Genel olarak, sensör verilerinin ve HES verilerinin geniş bir uyum sergilemesi, sensör teknolojisinin güvenilirliğini ve bu tür ölçümlerin, su yönetimi uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

5.5.1. 2023 Su yılının gerçek zamanlı akım gözlem verileri ile değerlendirilmesi

Gerçek zamanlı akım gözlem istasyonlarından elde edilen verilerin doğrulanması sürecinde, yağış verileri kritik bir referans noktası olarak kullanılmaktadır. Yağış miktarlarının artışı veya azalışı, nehirdeki su seviyesi ve debi ölçümleriyle doğrudan ilişkilendirilerek analiz edilmektedir. Bu doğrulama, yağış ve nehir akışı arasındaki korelasyonun net bir şekilde görülmesini sağlamak ve ölçüm verilerinin doğruluğunu teyit etmek için önemli bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Böylece, akım gözlem

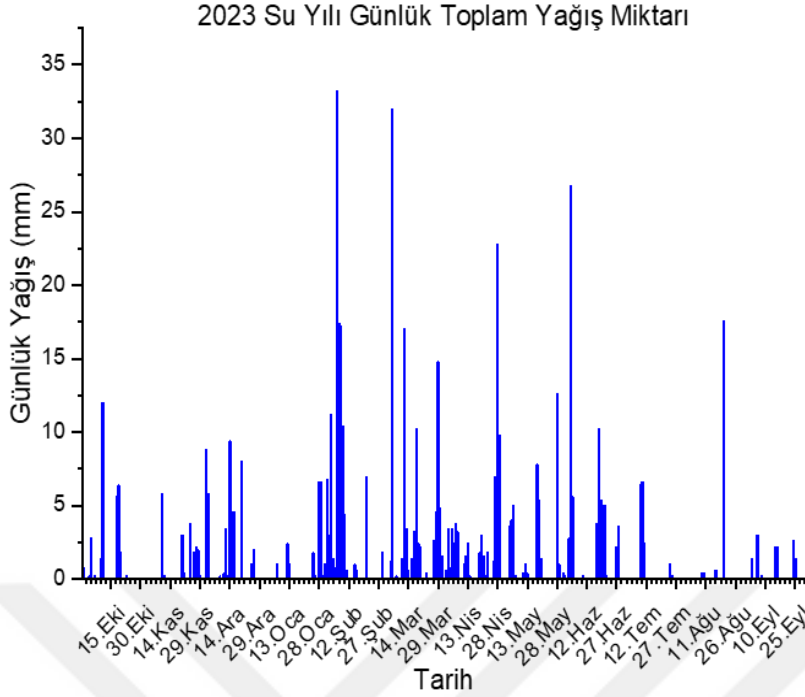
istasyonlarından sağlanan verilerin güvenilirliği artırılmakta ve hidrolojik modellerin daha doğru sonuçlar vermesi mümkün hale gelmektedir.

Gerçek zamanlı akım gözlem istasyonu verilerinin doğrulanması için 2023 su yılı değerleri incelenmiştir. Şekil 5.16'da gerçek zamanlı akım gözlem istasyonu ölçümleriyle elde edilen su seviyesi ve debi değerlerinin yıllık değişimi grafiği verilmiştir. Grafikteki değerler incelendiğinde su seviyesi ve debinin doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir. En düşük değerler genellikle yaz sonu ve sonbahar başlangıcında görülmektedir. Bu da su seviyesinin ve debinin, bu aylarda azalan yağışlar ve artan buharlaşma ile düştüğünü göstermektedir.



Şekil 5.16. Nehir gözlem istasyonu 2023 su yılı Debi-seviye değişimi

Gerçek zamanlı akım gözlem istasyonundan alınan su seviyesi ve debi ölçümleri, Şekil 5.17'de verilen ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 17662 nolu meteoroloji istasyonu günlük toplam yağış miktarları ile karşılaştırılmıştır. Yağış miktarının arttığı dönemlerde, su seviyesi ve debide gözlenen artışlar, bu verilerin doğruluğunu destekleyen önemli göstergedir. Örneğin, Haziran 2023'te yaşanan yağış artışları sonucu su seviyesi ve debinin belirgin şekilde yükselmesi, ölçüm verilerinin doğruluğunu teyit etmektedir.



Şekil 5.17. Günlük toplam yağış miktarı(2023 su yılı)

Özellikle yağışların yoğun olduğu dönemlerde, debi ve su seviyesi değerlerinde artış gözlemlemek mümkündür. Örneğin, yağış miktarının arttığı sonbahar aylarında, debi ve su seviyesinin de yükseldiği gözlemlenmektedir. Bu durum, havzanın yağış miktarındaki değişimlere ne kadar uyumlu tepki verdiğini ve gerçek zamanlı akım gözlem istasyonu ölçüm verilerinin havza karakteristikleri ile ne derece uyumlu olduğunu göstermektedir.

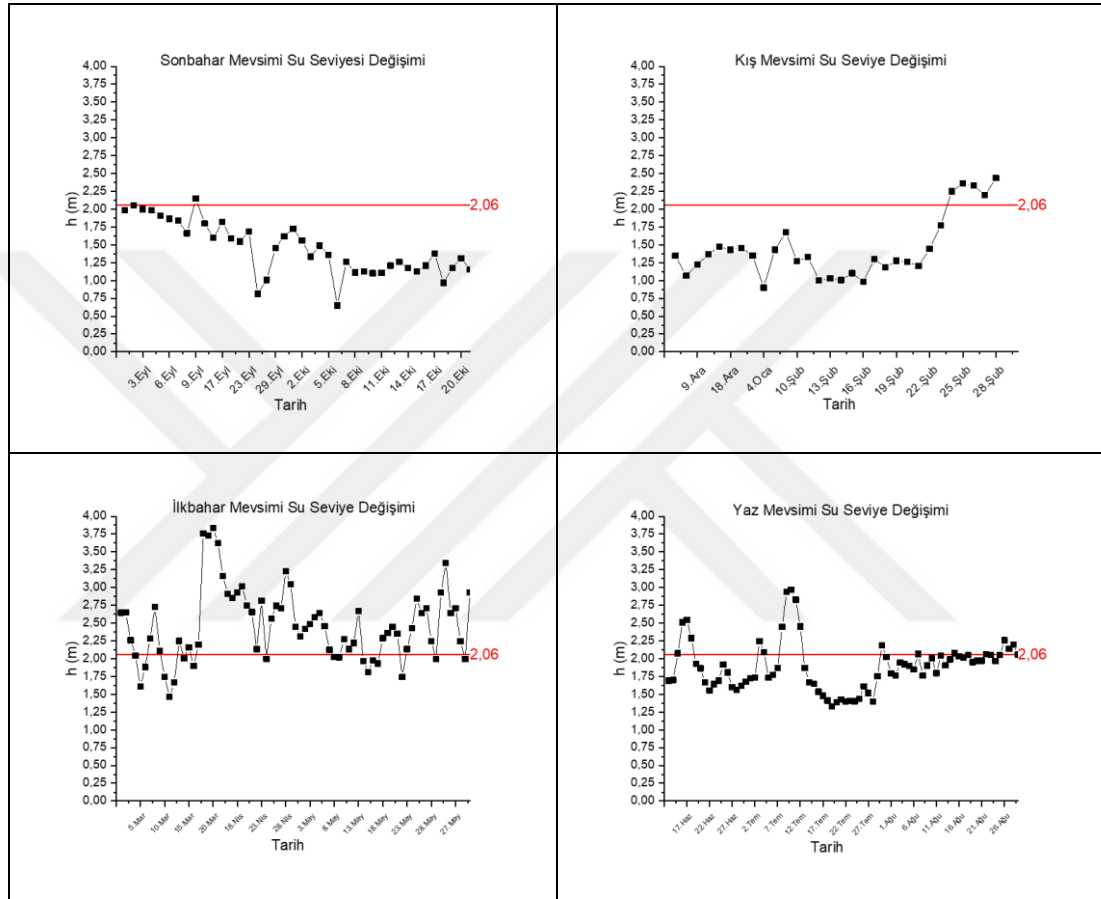
Şekil 5.18, Eylül 2022-Ağustos 2023 tarihleri arasında nehir gözlem istasyonundan alınan farklı mevsimlerdeki günlük su seviyelerinin nasıl değiştiğini göstermektedir. Kış aylarında su seviyesi genellikle 1,5 m ile 3 m arasında değişirken, bu dönemde ortalama su seviyesi 2,06 m'nin üzerindedir. En yüksek seviyeler 2,5 m'in üzerine çıkmakta ve en düşük seviyeler 1 m civarında gözlemlenmektedir.

Yaz aylarında ise su seviyesi çoğunlukla 1,5 m ile 2,5 m arasında değişmekte, ortalama ise 2,06 m'nin altında kalmaktadır. En düşük seviyeler 1 m civarında, en yüksek seviyeler ise yaklaşık 3 m'ye ulaşmıştır.

İlkbaharda su seviyesinin zaman içinde nasıl değiştiği grafikten anlaşılmakta; seviyeler sık sık 1 m ile 3 m arasında dalgalanmakta ve keskin zirveler ile düşüşler

gözlenmektedir. Bu dönemdeki su seviyesi değişimleri, eriyen karların ve mevsimsel yağışların etkisiyle oluşmaktadır.

Sonbahar ayları, yaz ayları gibi benzer dalgalanma desenleri göstermektedir, ancak kış mevsimi daha yüksek ortalama su seviyeleri ile dikkat çekmektedir. Örneğin, kış aylarında su seviyesi bu ortalama değerin üzerinde seyrederken, yaz aylarında genellikle bu değerin altında kalmaktadır.



Şekil 5.18. Nehir gözlem istasyonu mevsimlik su seviye değişimi

Gerçek zamanlı akım gözlem istasyonunun Eylül 2022-Ağustos 2023 tarihleri arasındaki ölçümler ile elde edilmiş günlük ortalama debilerin mevsimsel değişimi Şekil 5.19'da verilmiştir. Mevsimsel değişimdeki keskin zirveler, Şekil 5.20'de verilen günlük toplam yağış miktarı değişim grafiğindeki ile açıklanmıştır. Gerçek zamanlı akım gözlem istasyonu yıllık ortalama debi değerinin $50.71 \text{ m}^3/\text{sn}$ olduğu hesaplanmış ve grafiklere karşılaştırma eksenini olarak eklenmiştir.

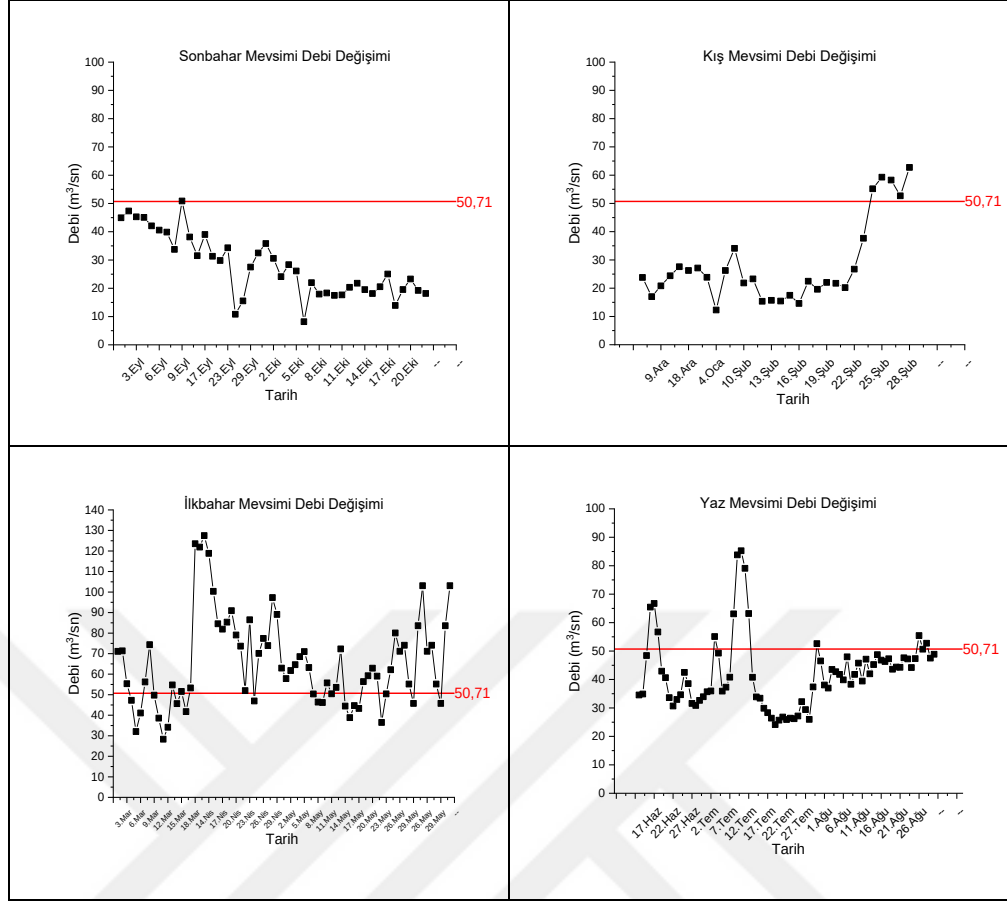
Kış aylarında debi değeri $20 \text{ m}^3/\text{sn}$ ile $70 \text{ m}^3/\text{sn}$ arasında değişmektedir. Ocak ve Şubat aylarında debi seviyelerinde belirgin artışlar görülmektedir. Bu dönemlerde, günlük toplam yağış grafiğinde de Ocak ve Şubat aylarında önemli yağış artışları

görülmektedir. Örneğin, 15 Ocak ve 20 Şubat tarihlerinde gözlemlenen yüksek debi değerleri, aynı tarihlerde yağış grafiğinde görülen pik yağış değerleri ile uyum göstermektedir. Kış aylarında debi seviyeleri genel olarak yıllık ortalama debi değerinin altında kalmaktadır.

Yaz aylarında debi değeri 30 m³/sn ile 90 m³/sn arasında değişmektedir. Temmuz ve Ağustos aylarında debi seviyeleri düşmektedir. Bu dönemde günlük toplam yağış grafiğinde düşük yağış miktarları gözlemlenmiştir. Özellikle 10 Temmuz ve 5 Ağustos tarihlerinde debi seviyelerindeki düşüşler, yağış grafiğinde de aynı tarihlerde görülen düşük yağış değerleri ile açıklanmaktadır. Yaz aylarında debi seviyeleri genel olarak yıllık ortalama debi değerinin civarında kalmaktadır.

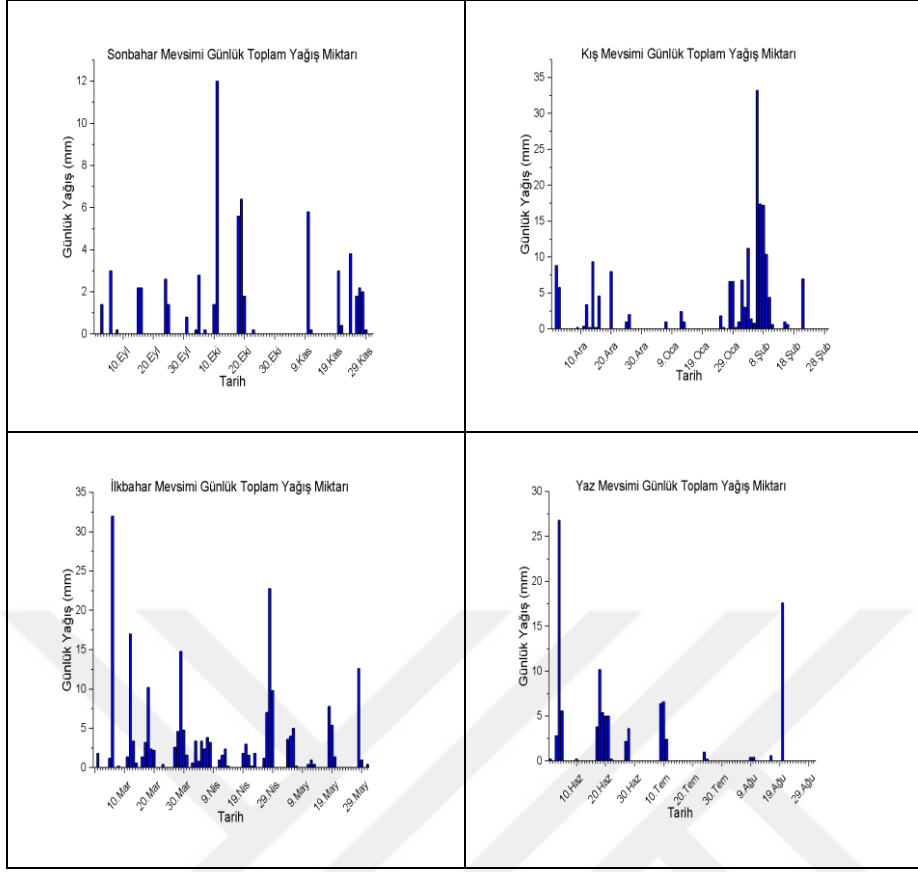
İlkbahar aylarında debi sık sık dalgalanmakta ve genellikle 30 m³/sn ile 130 m³/sn arasında değişmektedir. Mart ve Nisan aylarında debi seviyelerinde ani artışlar gözlemlenmektedir. Bu artışlar, aynı dönemde günlük toplam yağış grafiğinde kaydedilen ani yağış artışları ile uyum göstermektedir. Özellikle 25 Mart ve 15 Nisan tarihlerinde debi seviyelerinde görülen zirveler, yağış grafiğinde de aynı tarihlerdeki pik yağış değerleri ile örtüşmektedir. İlkbaharda debi seviyeleri genellikle yıllık ortalama debi değeri etrafında dalgalanmaktadır.

Sonbahar aylarında debi genellikle 20 m³/sn ile 50 m³/sn arasında değişmektedir. Eylül ve Ekim aylarında debi seviyelerinde artışlar gözlemlenmektedir. Bu dönemde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen verilerle oluşturulan yağış grafiğinde de yağış miktarlarının arttığı görülmektedir. Özellikle 10 Eylül ve 5 Ekim tarihlerinde debi seviyelerindeki artışlar, yağış grafiğinde aynı tarihlerde gözlemlenen yağış artışları ile ilişkilendirilmektedir. Sonbahar aylarında debi seviyeleri genellikle yıllık ortalama debi değerinin altında kalmaktadır.



Şekil 5.19. Nehir gözlem istasyonu mevsimlik debi değişimi

Genel olarak, nehir gözlem istasyonundan elde edilen debi ölçümleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan günlük toplam yağış verileri ile yüksek bir uyum sergilemektedir. Örneğin, kış aylarında gözlemlenen yüksek debi değerleri, yoğun yağış dönemleri ile örtüşmekte, yaz aylarındaki düşük debi seviyeleri ise azalan yağış miktarları ile paralellik göstermektedir. Bu durum gözlem istasyonunun ölçüm doğruluğunu ve güvenilirliğini göstermektedir.



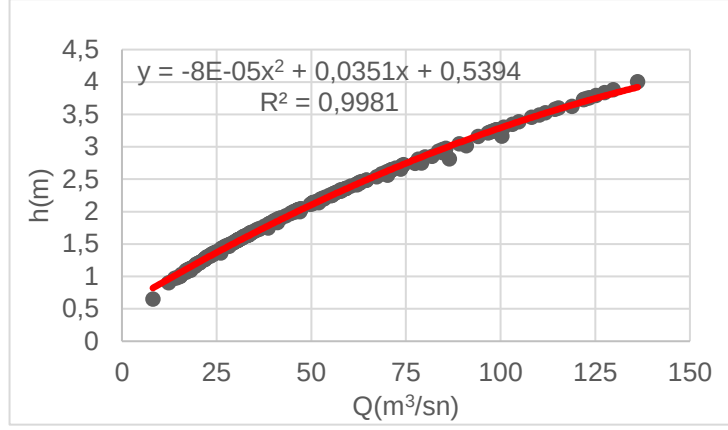
Şekil 5.20. 17662 No’lu Meteoroloji İstasyonu mevsimlik yağış miktarı değişimi

5.6. Debi Anahtar Eğrisinin Belirlenmesi

Debi anahtar eğrisi, bir akarsunun belirli bir kesimindeki su seviyesi ve debisi arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Bu eğri, su kaynaklarının yönetimi ve planlamasında kritik bir rol oynamaktadır. Debi anahtar eğrisi oluşturmak için veriler, su seviyesi ile debi arasındaki matematiksel ilişkiyi tanımlayan bir modele uyarlanmaktadır. Bu model, çoğunlukla polinom veya istatistiksel regresyon yöntemleriyle ifade edilir ve modelin doğruluğu toplanan verilere ne kadar iyi uyduğu ile değerlendirilmektedir (Şarlak ve Üstün 2020).

Oluşturulan debi anahtar eğrisi, akarsu yönetimi, taşkın tahmini, sulama suyu ihtiyaçlarının belirlenmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Akarsu debisinin doğrudan ölçülemediği durumlarda, bu eğri su seviyesinin ölçülmesiyle debi değerinin tahmin edilmesini sağlamaktadır.

Şekil 5.21, tez çalışması kapsamında imal edilen nehir gözlem istasyonunun, Sakarya Nehri’nin Örencik Köprü kesiti için 2022-2023 yılları arasında istasyondan düzenli olarak alınan seviye ölçümleriyle oluşturulan debi anahtar eğrisini göstermektedir.



Şekil 5.21. Örencik Köprü kesiti debi anahtar eğrisi

Eğri denklemi, ($y = -8E-05x^2 + 0,0351x + 0,5394$) su seviyesi (h) ve debiyi (Q) ilişkilendiren bir ikinci derece polinomdur. Denklemin yüksek bir determinasyon katsayısına ($R^2 = 0,9981$) sahip olması, eğrinin veriye çok iyi uyduğunu ve su seviyesi ile debi arasındaki ilişkiyi doğru bir şekilde temsil ettiğini göstermektedir.

Bu eğrinin gücü, su seviyesi ve debi arasındaki ilişkinin doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesini sağlamaktadır. Yüksek R^2 değeri, eğrinin veriyi çok iyi açıkladığını ve bu nedenle Sakarya Nehri'nin belirli bir kesimindeki su yönetimi ve planlaması için kritik bir rol oynayacağını göstermektedir. Polinom denklem, su seviyesi ve debi arasındaki ilişkiyi doğrusal olmayan bir biçimde ifade ederek, nehir akışının lineer olmayan özelliklerini yakalamaktadır.

Bu eğri, Sakarya Nehri için özellikle taşkın tahmini ve su kaynakları yönetimi gibi kritik uygulamalarda büyük bir önem taşımaktadır. Debi anahtar eğrisi, su seviyesindeki değişimlere bağlı olarak nehirdeki akış miktarını doğru bir şekilde tahmin ederek, olası taşkın risklerini belirlemek ve su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine katkıda bulunmaktadır.

5.7. Taşkın Debilerinin Belirlenmesi

Taşkın debilerinin hesabında E12A021 no'lu Doğançay istasyonu yıllık maksimum anlık feyezan akımları (YAMA) kullanılmıştır. Taşkın debileri, Gumbel Dağılımı, Log-Pearson Tip 3, Pearson Tip 3, Log-Normal 3 Parametrelili, Log-Normal 2 Parametrelili ve Normal Dağılım kullanılarak elde edilmiştir. Olasılık dağılım fonksiyonlarının istatistiksel parametreleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Olasılık dağılımında kullanılan istatistiksel parametreler

Yıl Sayısı	47
Lineer Ortalama	553,46809
Lineer Çarpıklık Katsayısı	0,63561
Lineer Standart Sapma	163,43897
Logaritmik Çarpıklık Katsayısı	0,03493
Logaritmik Standart Sapma	0,12703
Logaritmik Ortalama	2,72493

Olasılık dağılım hesabı ile elde edilen 2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık taşkın tekerrür debi değerleri Tablo 5.2’de sunulmuştur.

Tablo 5.2. E12A021 No’lu istasyona ait tekerrülü taşkın debileri

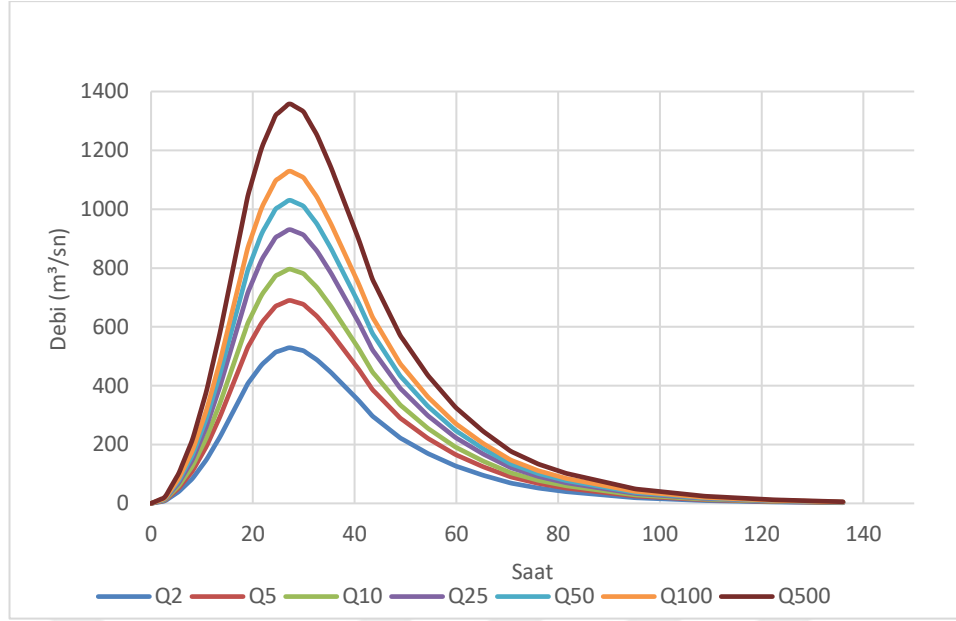
Dağılım Tipi	2	5	10	25	50	100	500
Normal Dağılım	553,47	691,02	762,93	839,67	889,14	933,69	1023,36
Log-Normal (2 Parametrel)	530,81	677,05	768,91	880,71	961,27	1040,11	1218,90
Log-Normal (3 Parametrel)	537,43	682,80	769,14	870,06	940,34	1007,38	1153,91
Pearson Tip-3	536,30	683,64	770,81	872,01	941,81	1007,76	1133,55
Log-Pearson Tip-3	529,88	678,62	773,08	888,93	973,19	1056,04	1227,36
Gumbel	527,91	688,22	794,36	928,46	1027,95	1126,70	1354,91

Bu olasılık dağılımlarının uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile değerlendirilmiş ve Gumbel Dağılımı’nın en uygun dağılım olduğu tespit edilmiştir. Hidrolik modellemede daha güvenilir ve kapsamlı sonuçlar elde edebilmek amacıyla, Tablo 5.3’te debi değerleri verilen, Gumbel Dağılımı fonksiyonu ile hesaplanan taşkın debileri kullanılmıştır.

Tablo 5.3. Hidrolik modelde kullanılan taşkın debileri

E12A021 No’lu AGİ Taşkın Debileri	
	Q(m³/s)
Q₂	527,91
Q₅	688,22
Q₁₀	794,36
Q₂₅	928,46
Q₅₀	1.027,95
Q₁₀₀	1.126,70
Q₅₀₀	1.354,91

Olasılık dağılım hesabı ile elde edilen 2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık taşkın hidrografları ise Şekil 5.22’te sunulmuştur.



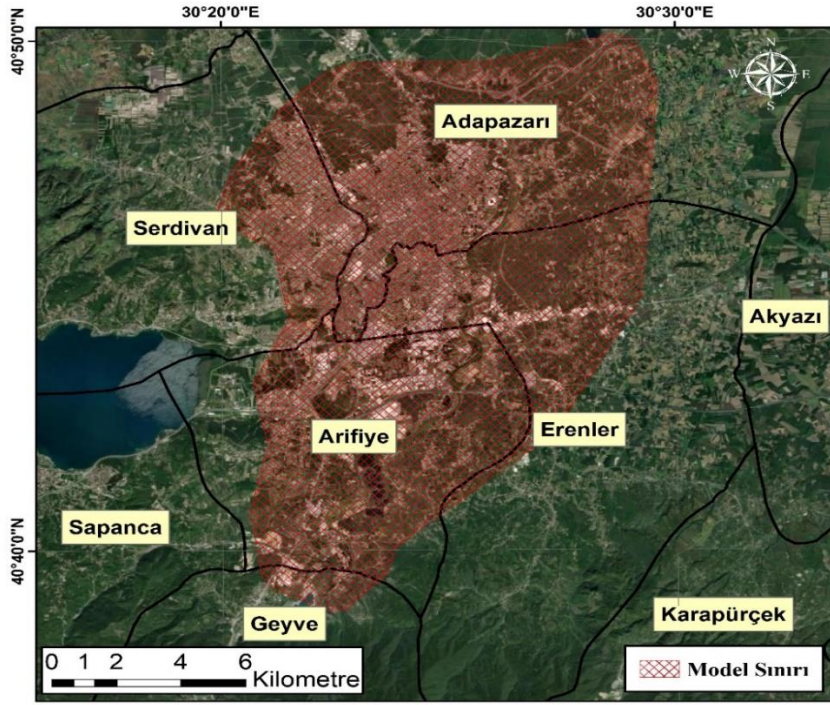
Şekil 5.22. Tekerrürlü taşkın debileri

5.8. Hidrolik Modelleme

Hidrolik modellemede kullanılan HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) yazılımı, nehir ve hidrodinamik modellemelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrolik model yaklaşımları değerlendirildiğinde, yerleşim yerlerindeki taşkınların modellenmesi için 2 boyutlu model çalışmaları daha hassas sonuçlar vermektedir. 1 boyutlu modeller, kesitler arasında çalışarak eksik kısımları enterpole ederken, 2 boyutlu modeller hücreler (gridler) üzerinden piksel bazında çalışarak tüm araziye hesaplamalara dâhil etmektedir.

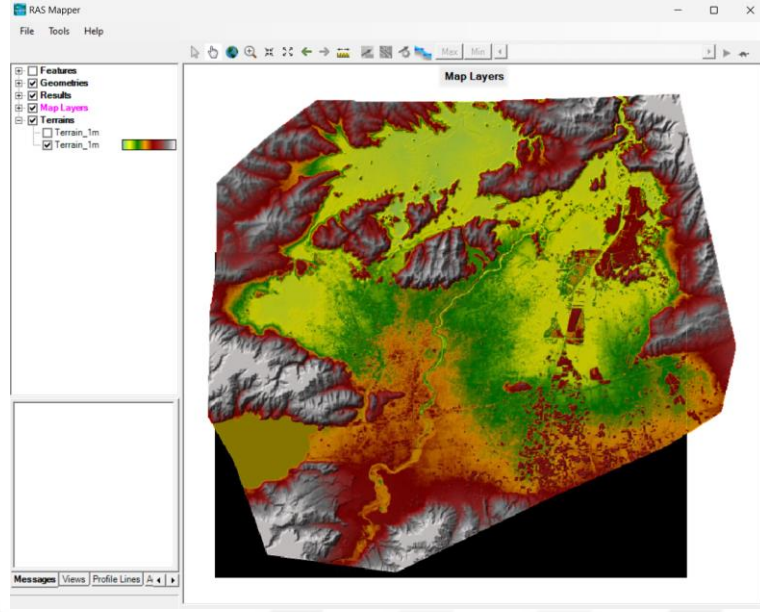
Taşkın yayılım alanlarında enine doğrultudaki yayılım, boyuna doğrultuya kıyasla daha yavaş ilerlemekte olup, bu yöndeki hız ve akış yüksekliklerini doğru bir şekilde modellemek için 2 boyutlu modellemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür modelleme, özellikle engellerin yoğun olduğu yerleşim alanlarında büyük önem taşımaktadır. 2 boyutlu modellerde, hem x hem de y koordinatları kullanılarak hesaplamalar yapılmakta ve taşkın alanlarındaki yayılım tespit edilmektedir.

Tez çalışması kapsamında çalışma alanı olarak, imal edilen gerçek zamanlı akım gözlem istasyonunun mansap kısmında bulunan Sakarya il merkezinin de içinde bulunduğu alan model sınırı olarak belirlenmiştir (Şekil 5.23).



Şekil 5.23. Taşkın model sınırı

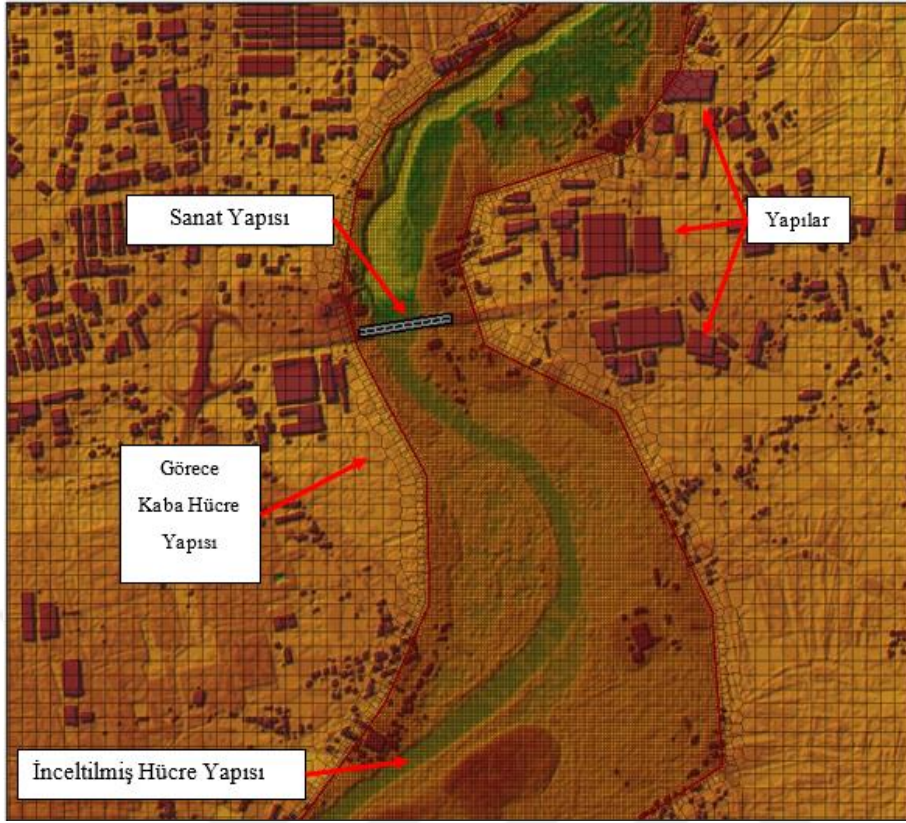
Modellemede altlık olarak kullanılacak sayısal yükseklik modeli için Sakarya Nehri'nin 1 km sağ ve 1 km sol sahilini kapsayacak arazi verisi ile çalışma alanı içerisindeki yapıları nokta bulutu verisi Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'ndan satın alınmıştır. Alınan nokta bulutu, CBS yazılımları ile düzensiz üçgen ağına (TIN: Triangulated Irregular Network) ve ardından piksel bazlı sayısal yükseklik modeline (SYM) dönüştürülmüştür. Doğal arazi için elde edilen SYM üzerine, yapılara ait poligon verileri işlenmiş, tüm yapılar için bina üst kot değerleri atanarak yapılar SYM üzerinde yükseltilmiştir. Elde edilen hassas sayısal yükseklik modeli taşkın sınırlarının belirlenmesinde yetersiz kalacağından web üzerinde temin edilen DEM ile birleştirilerek genişletilmiş sayısal yükseklik oluşturulmuştur. Böylelikle elde edilen nihai SYM, hidrolik modelde HEC-RAS programı RAS Mapper arayüzü ile modele aktarılmış ve altlık olarak kullanılmıştır (Şekil 5.24).



Şekil 5.24. SYM RAS Mapper arayüzü

2 boyutlu hidrolik modellemede çalışma alanı bilgisi, 2 boyutlu bir yüzeye hesaplama ağı (mesh) elemanları ile aktarılmaktadır. Akışın modellenmesi, her bir hesaplama ağı elemanında 2 boyutlu Saint-Venant denklemlerinin sayısal olarak çözülmesi ile gerçekleştirilmektedir. 2B hidrolik modelde grid geometrisi sekizgene kadar izin verilmektedir. Farklı geometride çözüm elemanları kullanılarak esneklik sağlanmakta ve arazi şartları en uygun şekilde temsil edilmektedir.

Yapılan modellemelerde, nehir yataklarındaki değişimlerin hassas bir şekilde modele katılabilmesi için nehir yatağındaki hücre yapısında özelleştirme yapılmıştır. Küçük boyutlu hücreler kullanılarak bu özelleştirme gerçekleştirilmektedir. Nehir yatağı dışında ise daha büyük hücreler ile modelleme yapılarak çözüm süresinin düşürülmesi hedeflenmiştir (Şekil 5.25).



Şekil 5.25. Hidrolik model hücre ağı görüntüsü

Hidrolik modellemede memba sınır şartı olarak, tekerrür periyodu 2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl olan taşkın hidrografları kullanılmıştır. Mansap sınır şartı olarak ise, çalışma yapılan nehrin mansabında akımın üniform akım koşuluna ulaşacağı kabulü yapılarak normal eğim kullanılmıştır. Manning pürüzlülük katsayısı (n) nehir yatağı içerisinde 0,060 olarak hesaplanmıştır. Nehir yatağı dışında ise CORINE arazi kullanım örtüsüne göre değişkenlik gösteren arazi haritası kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında tekerrür periyodu 2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl olan taşkınlar ile gerçek zamanlı akım gözlem istasyonun işletmeye girdiği tarihten itibaren ölçülen en yüksek debi değeri 142,32 m³/s (11.06.2023 tarihinde yapılan debi-seviye) kullanılarak 8 farklı senaryo çalışılmıştır.

5.9. Taşkın Yayılım Haritaları

Taşkın yayılım haritaları, hidrolik analizlerin görsel bir temsilini sunarak, farklı tekerrür periyotlarına sahip debi değerlerinin nehir yatağında ve çevresinde oluşturabileceği olası taşkınların detaylı bir şekilde incelenmesine olanak tanımaktadır. Bu haritalar, taşkınların yayılım alanlarını, su derinliklerini ve taşkın risk altındaki bölgeleri belirlemek için kritik öneme sahiptir. Haritalar, taşkın yönetimi, acil

durum planlaması ve su kaynakları yönetimi gibi alanlarda karar vericilere rehberlik edecek değerli bilgiler sunmaktadır.

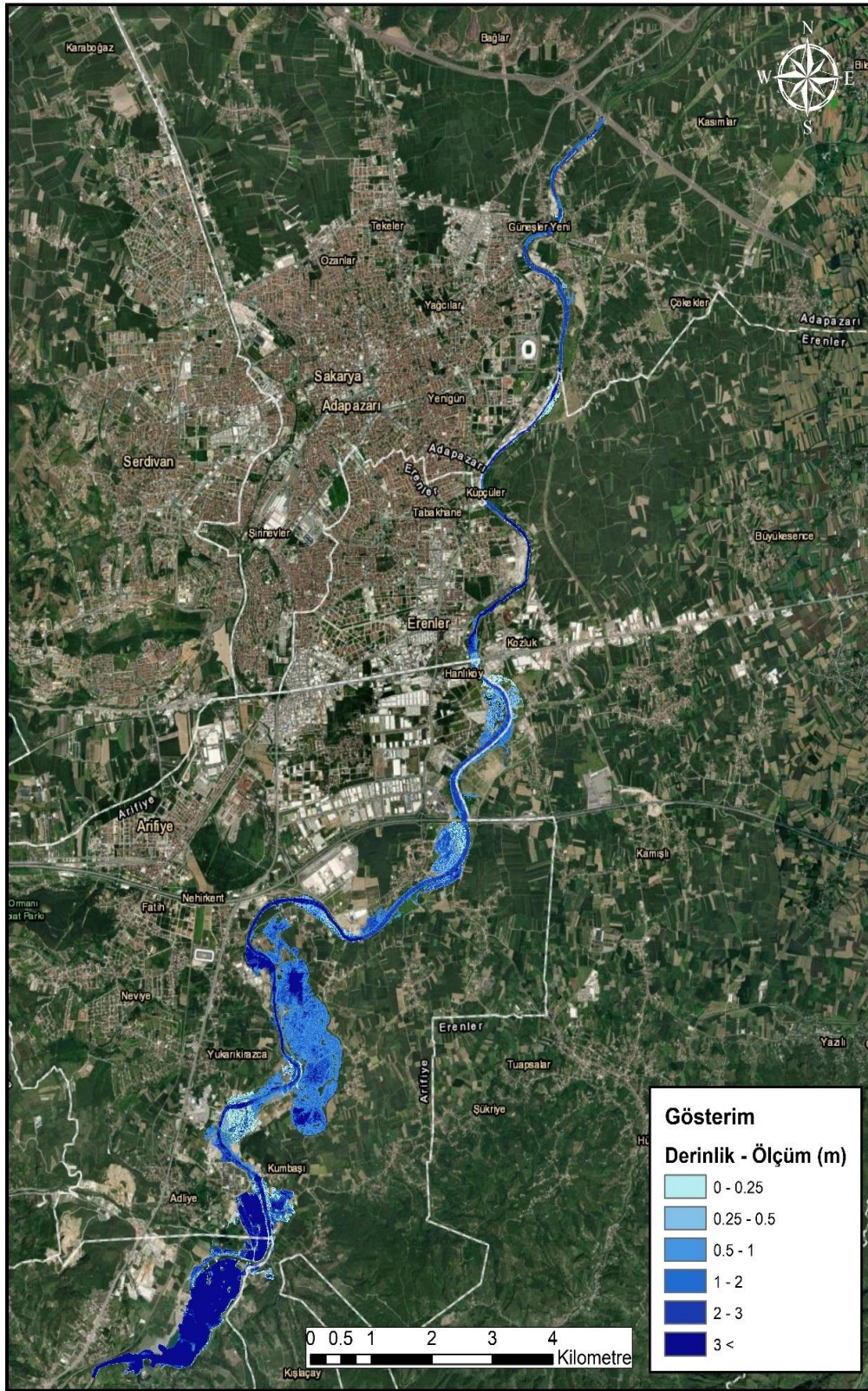
Tez çalışması kapsamında imal edilen akım gözlem istasyonu ile nehir yatağı içerisinde ölçüm yapılan periyottaki en yüksek debi değeri ve 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 yıllık tekerrürlü debi değerlerinin taşkın yatağındaki etkisi hidrolik modelle tespit edilmiştir.

Nehir yatağında meydana gelebilecek farklı tekerrürdeki debi değerleri için yapılan hidrolik analizler, ölçüm verilerinin paylaşılacağı web sayfasında sekme halinde kullanıcıların erişimine sunulmuştur.

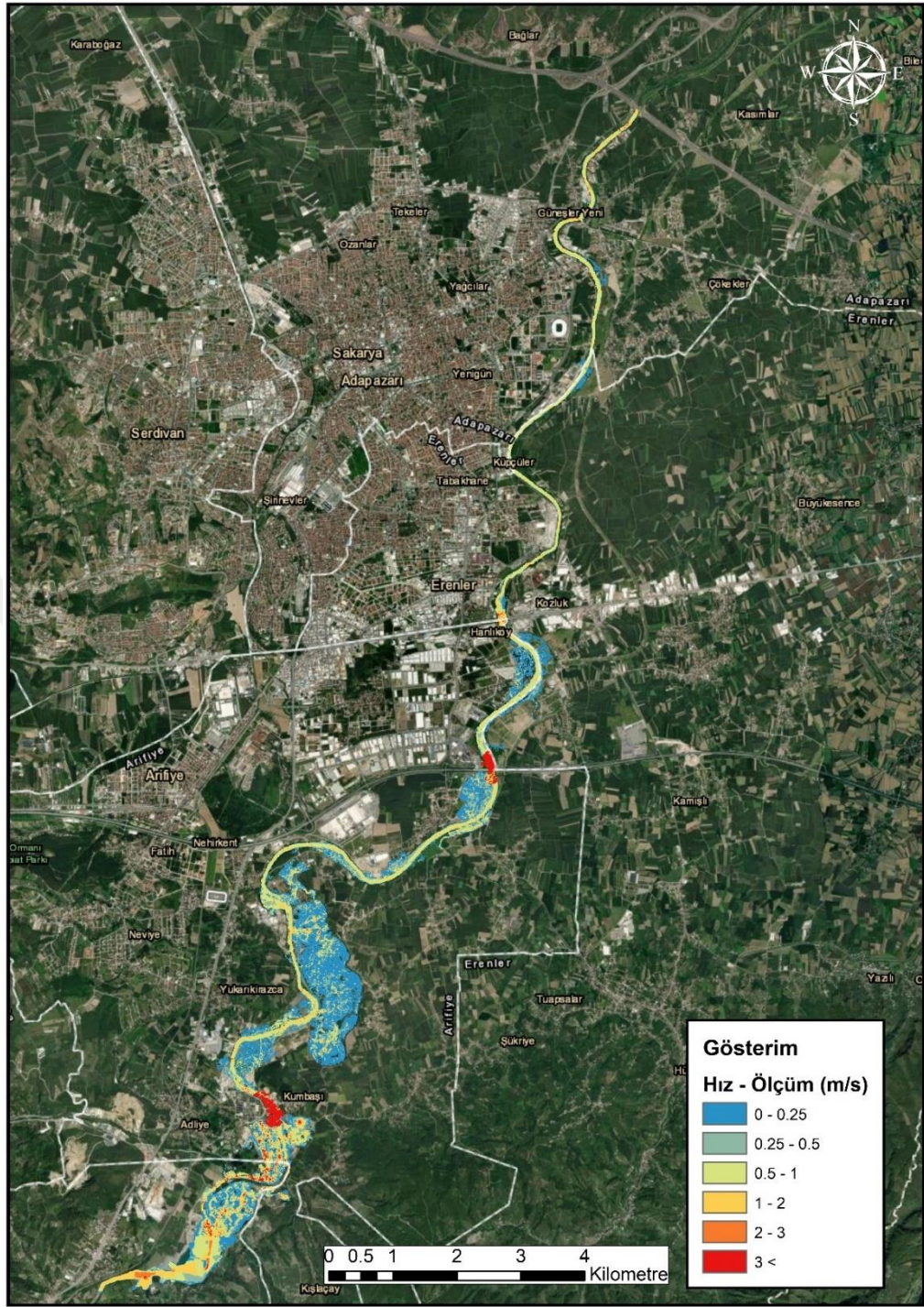
Ölçüm periyodu içerisinde maksimum debi değeri olan 142,32 m³/sn (11.06.2023 tarihi ölçümü) ile tekerrürlü taşkın debilerine ait hidrolik model sonuçları aşağıda başlıklar halinde açıklanmıştır.

5.9.1. 2023 yılı maksimum ölçüm debisi ait taşkın yayılım haritası

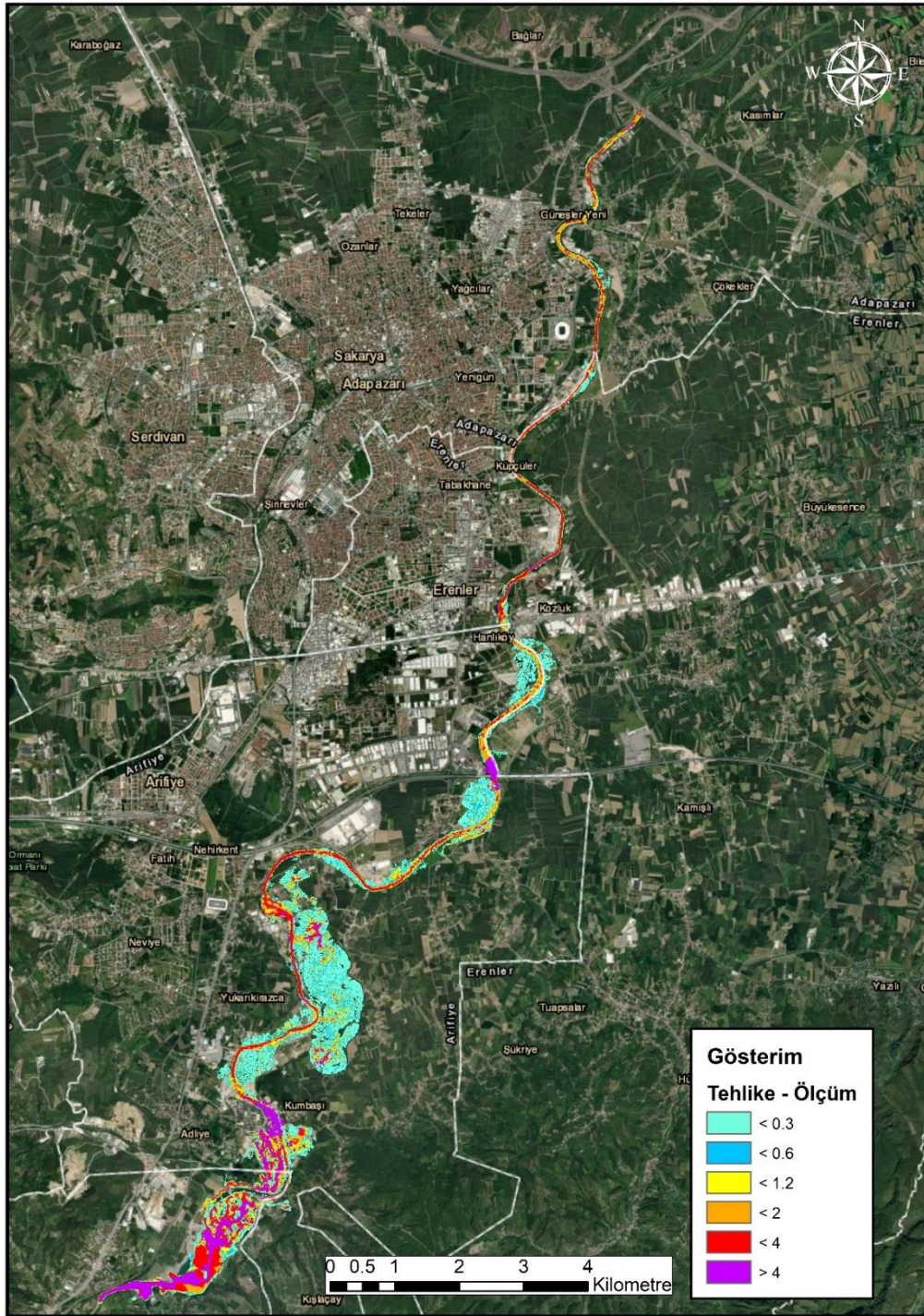
Modelde memba sınır şartı olarak, pik debisi 142,32 m³/sn olan taşkın hidrografi kullanılmıştır. Yapılan modelleme sonucunda, dere yatağında herhangi bir taşkın meydana gelmediği, suyun dere yatağı içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Dere yatağı içerisindeki maksimum su hızının, sanat yapılarının bulunduğu bölgelerde 5 m/s civarında olduğu, taşkın su derinliğinin ise ortalama olarak 1–1,50 m arasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.26- Şekil 5.28)



Şekil 5.26. Taşkın su derinliği haritası (Ölçüm Debisi)



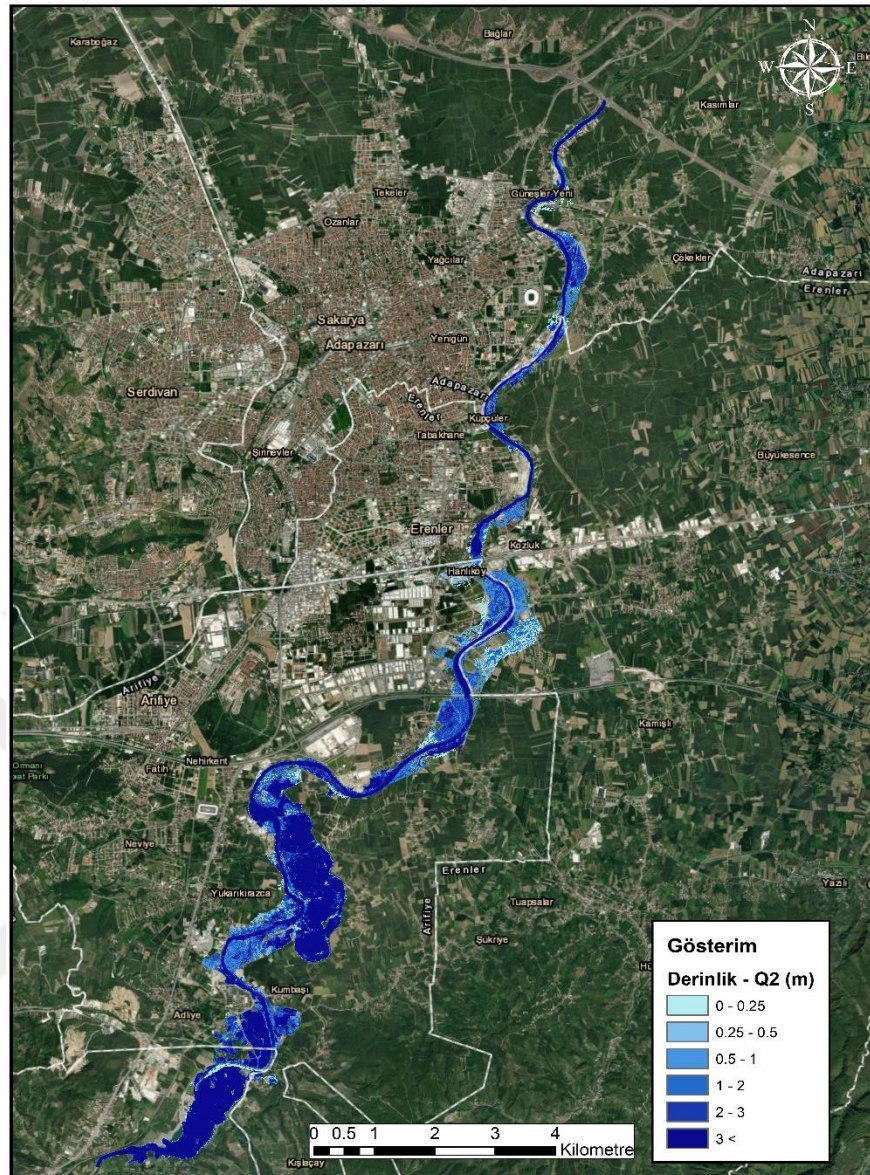
Şekil 5.27. Taşkın su hızı haritası (Ölçüm Debisi)

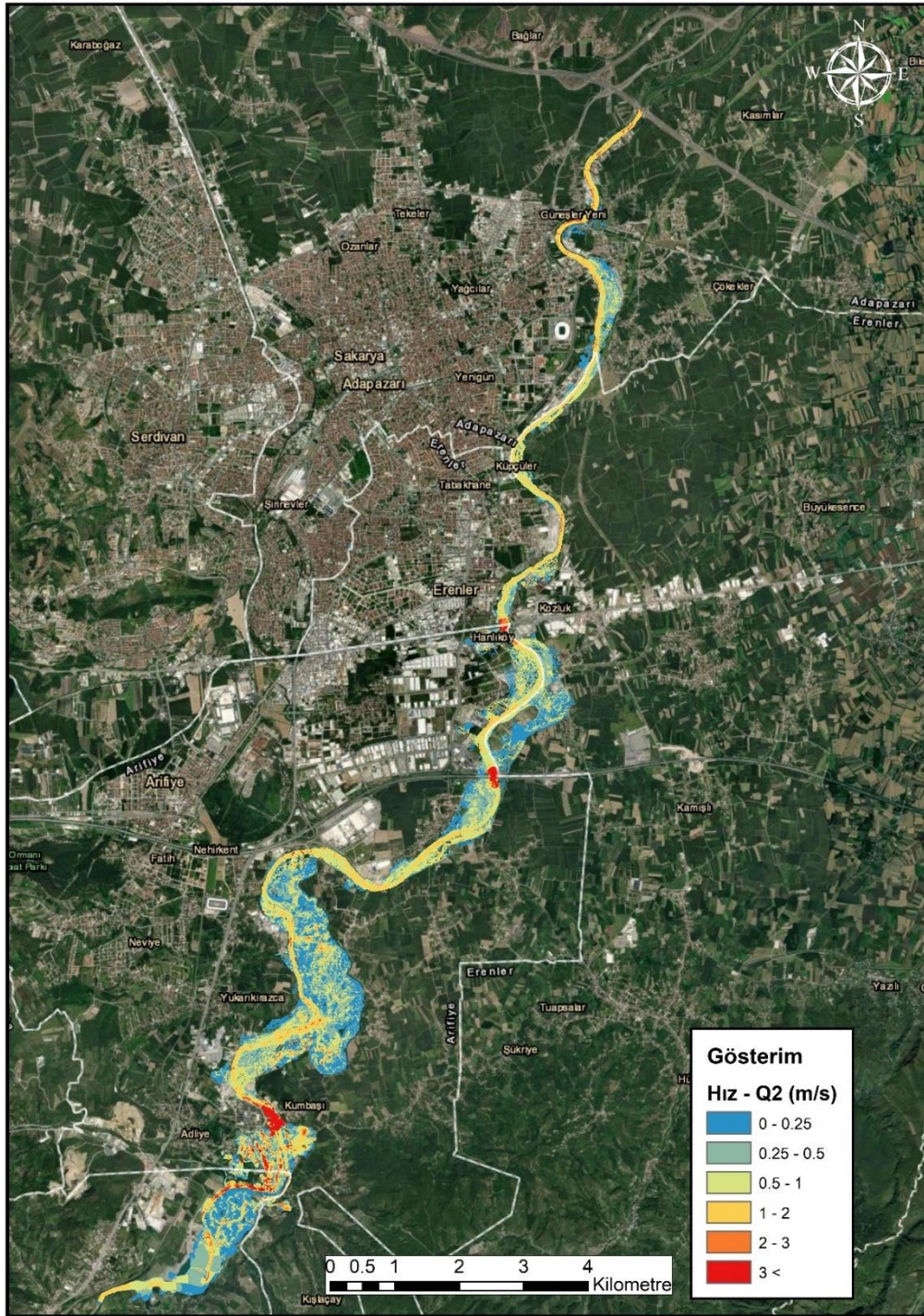


Şekil 5.28. Taşkın tehlike haritası (Ölçüm Debisi)

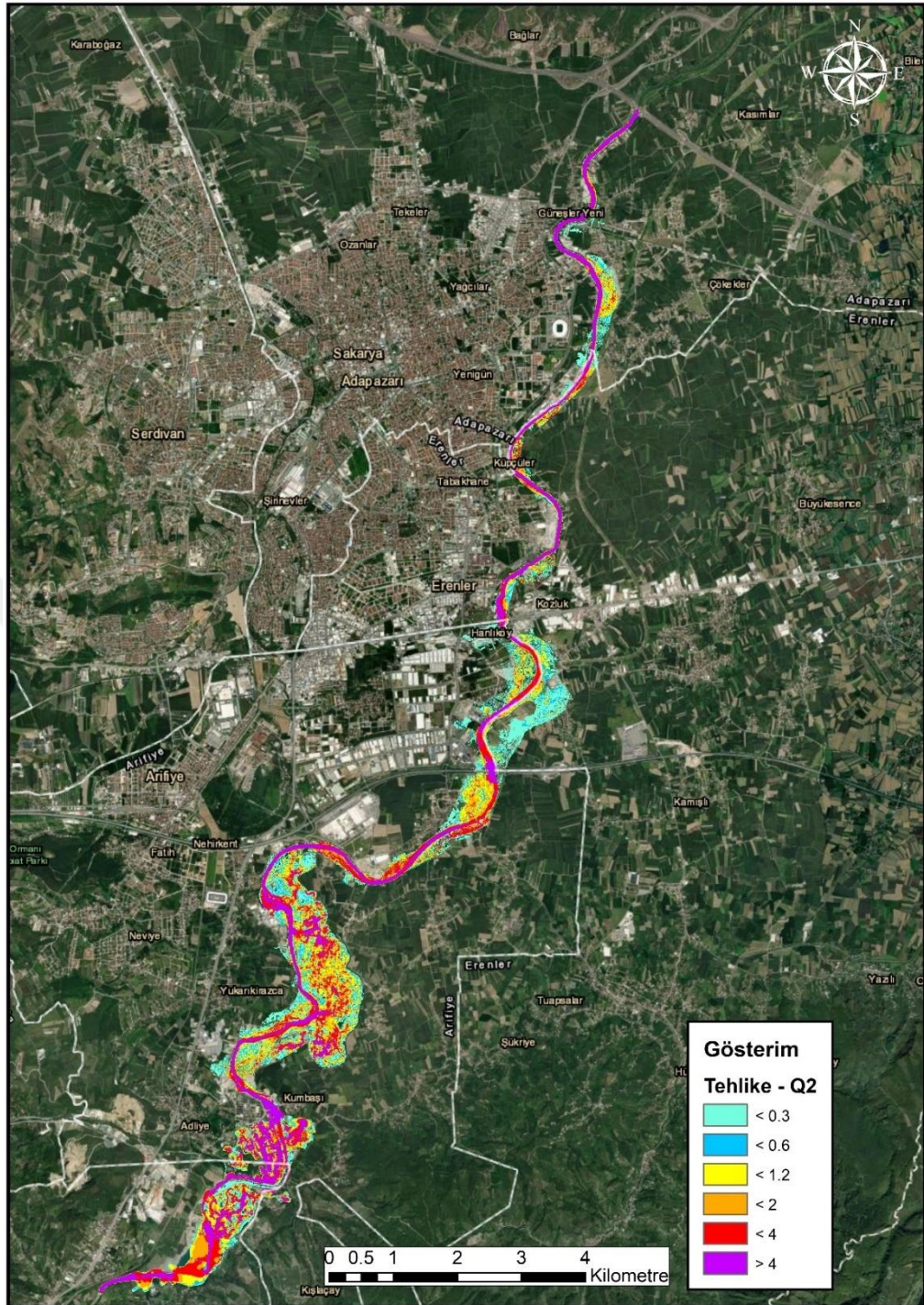
5.9.2. 2 yıllık tekerrürlü taşkın yayılım haritaları

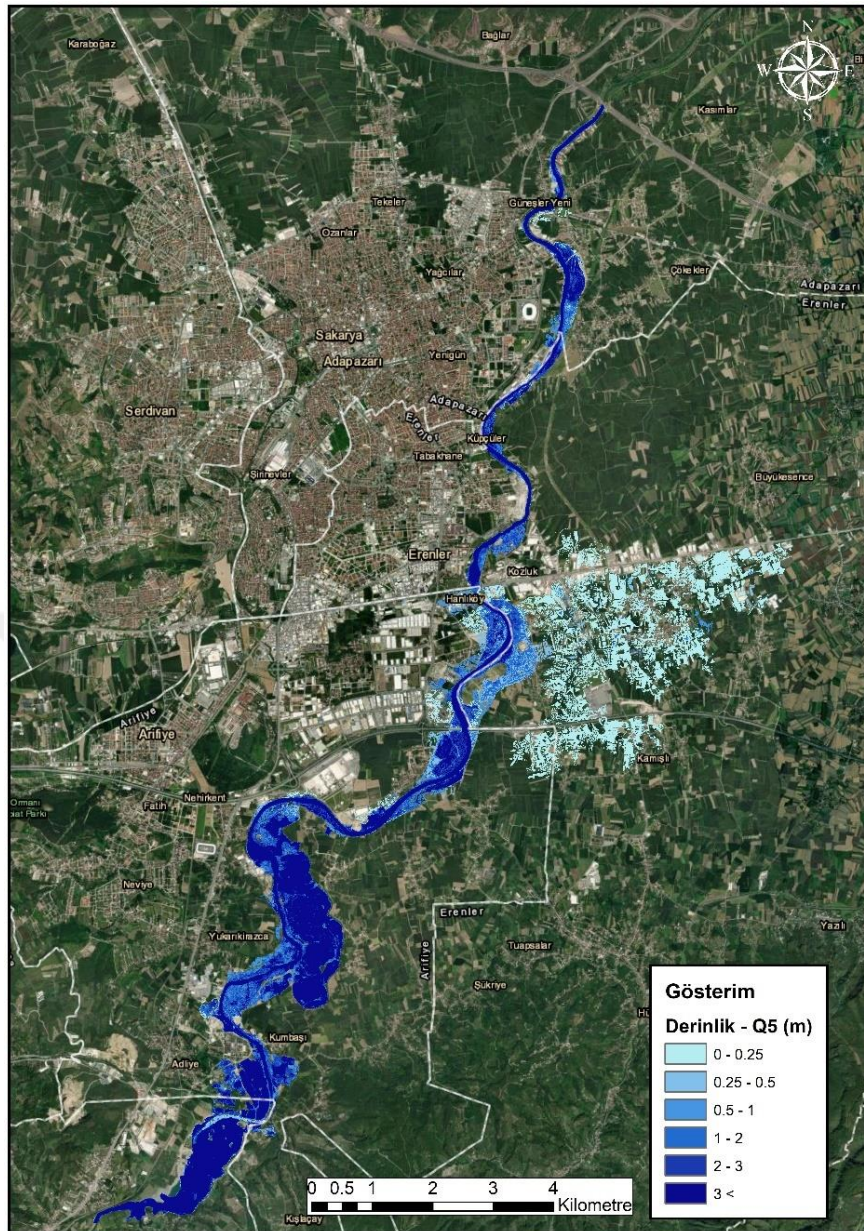
Modelde memba sınır şartı olarak, pik debisi 527,91 m³/s olan taşkın hidrografi kullanılmıştır. Yapılan modelleme sonucunda taşkın yayılım alanının 9,77 km² alana sahip olduğu görülmüştür. Olası taşkından 193 adet yapının etkilenmesi muhtemeldir. Yapıların çevresindeki taşkın su derinliğinin 0,5 m ile 1m arasında değiştiği, taşkın su hızının ise 0,5 m/s civarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.29- Şekil 5.31).

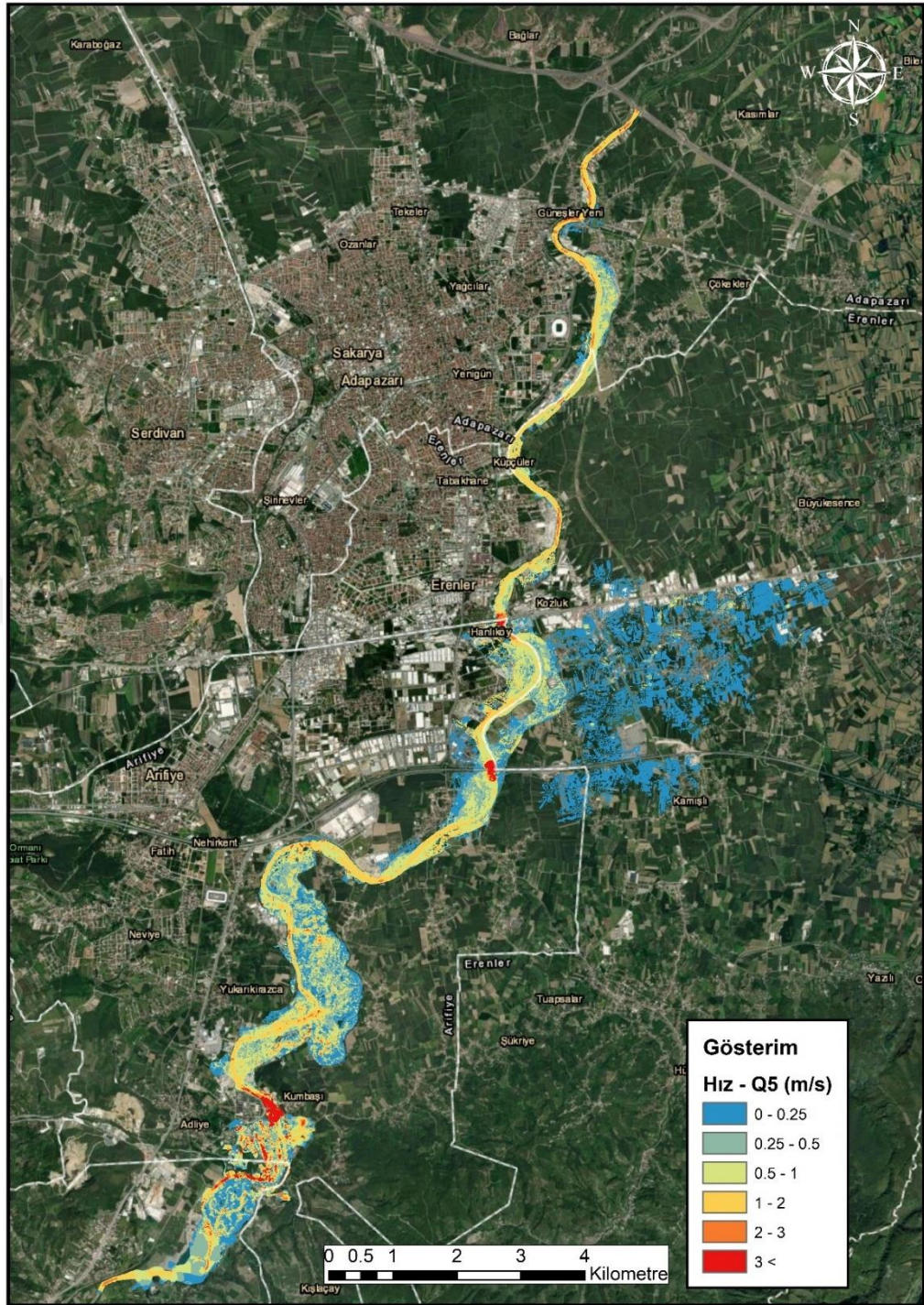




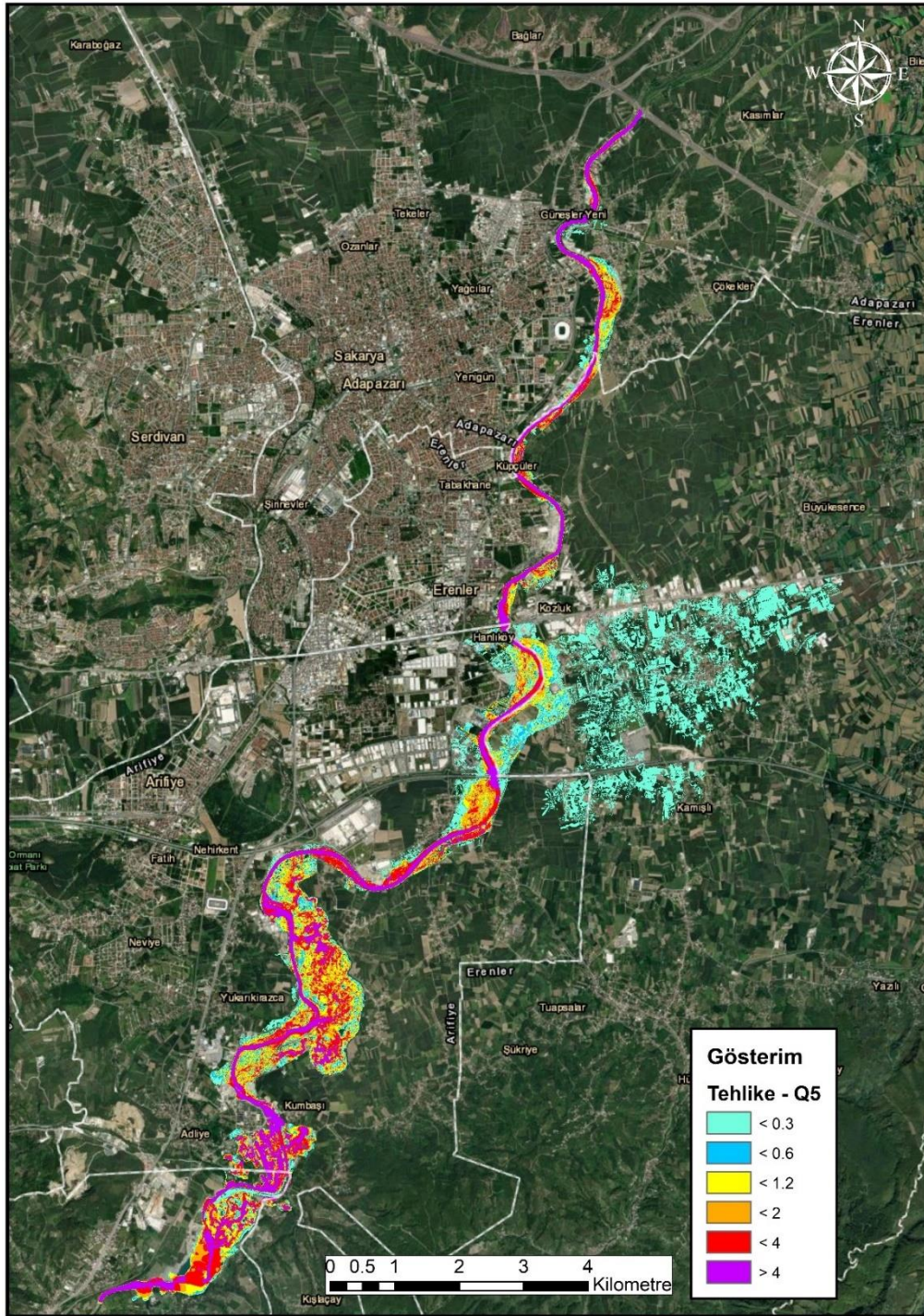
Şekil 5.30. Taşkın su hızı haritası (Q₂)







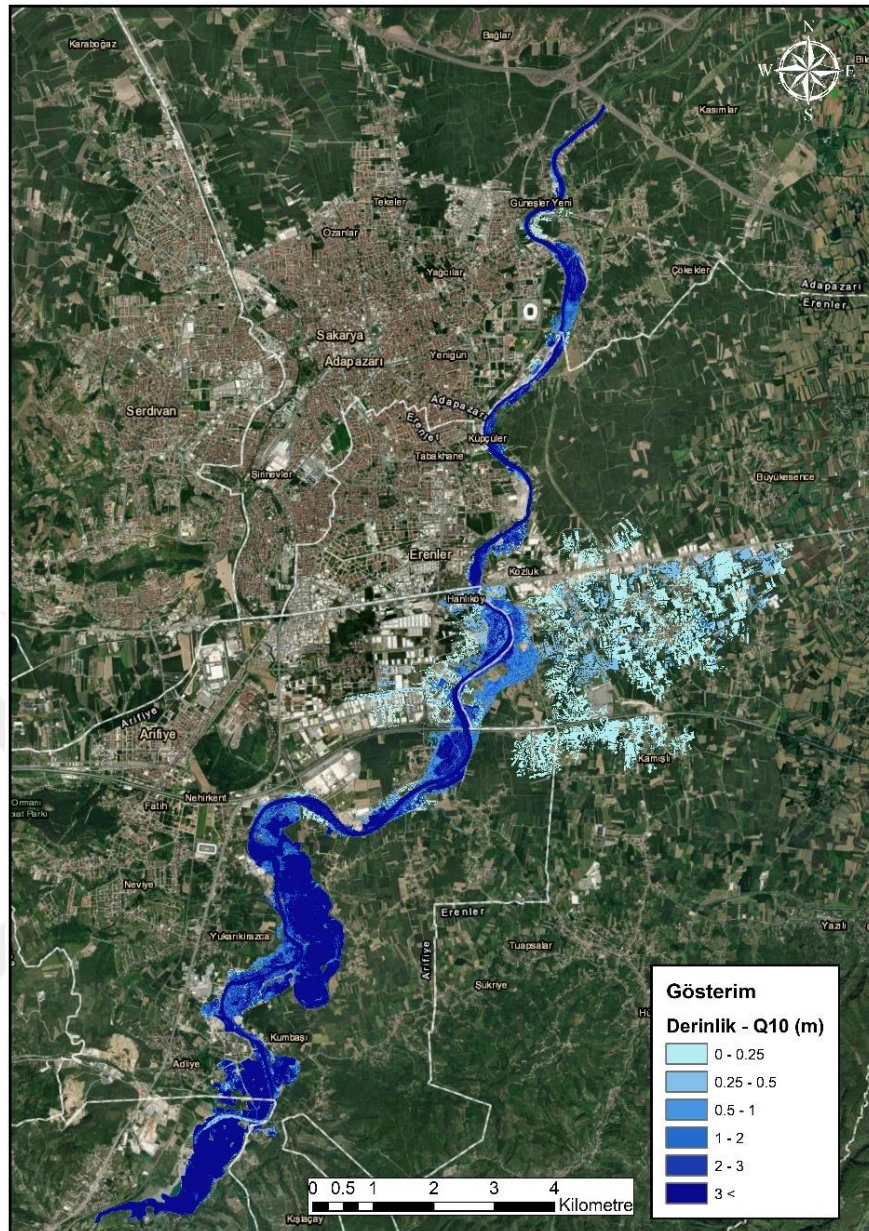
Şekil 5.33. Taşkın Su Hızı Haritası (Q₅)

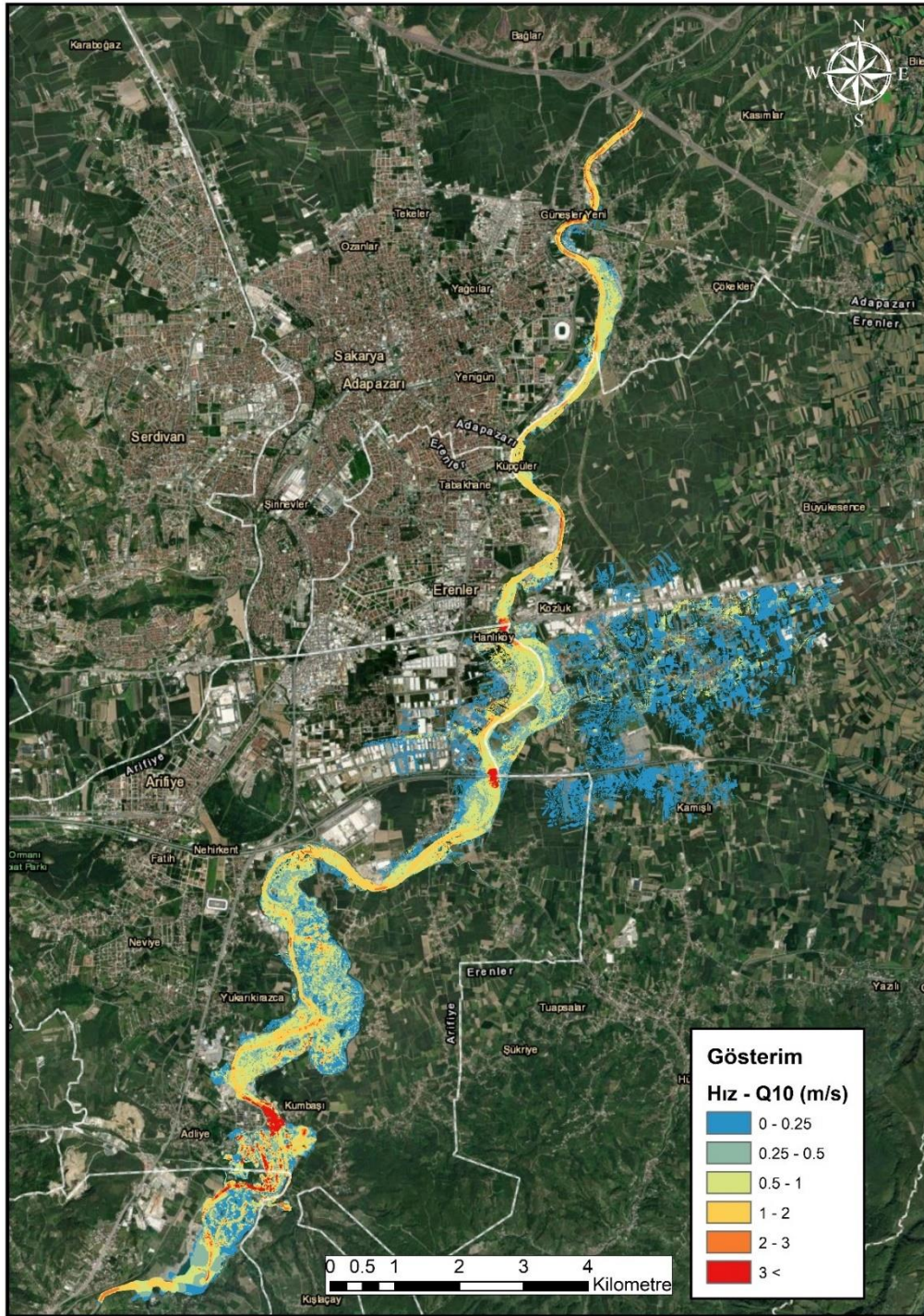


Şekil 5.34. Taşkın Tehlike Haritası (Q₅)

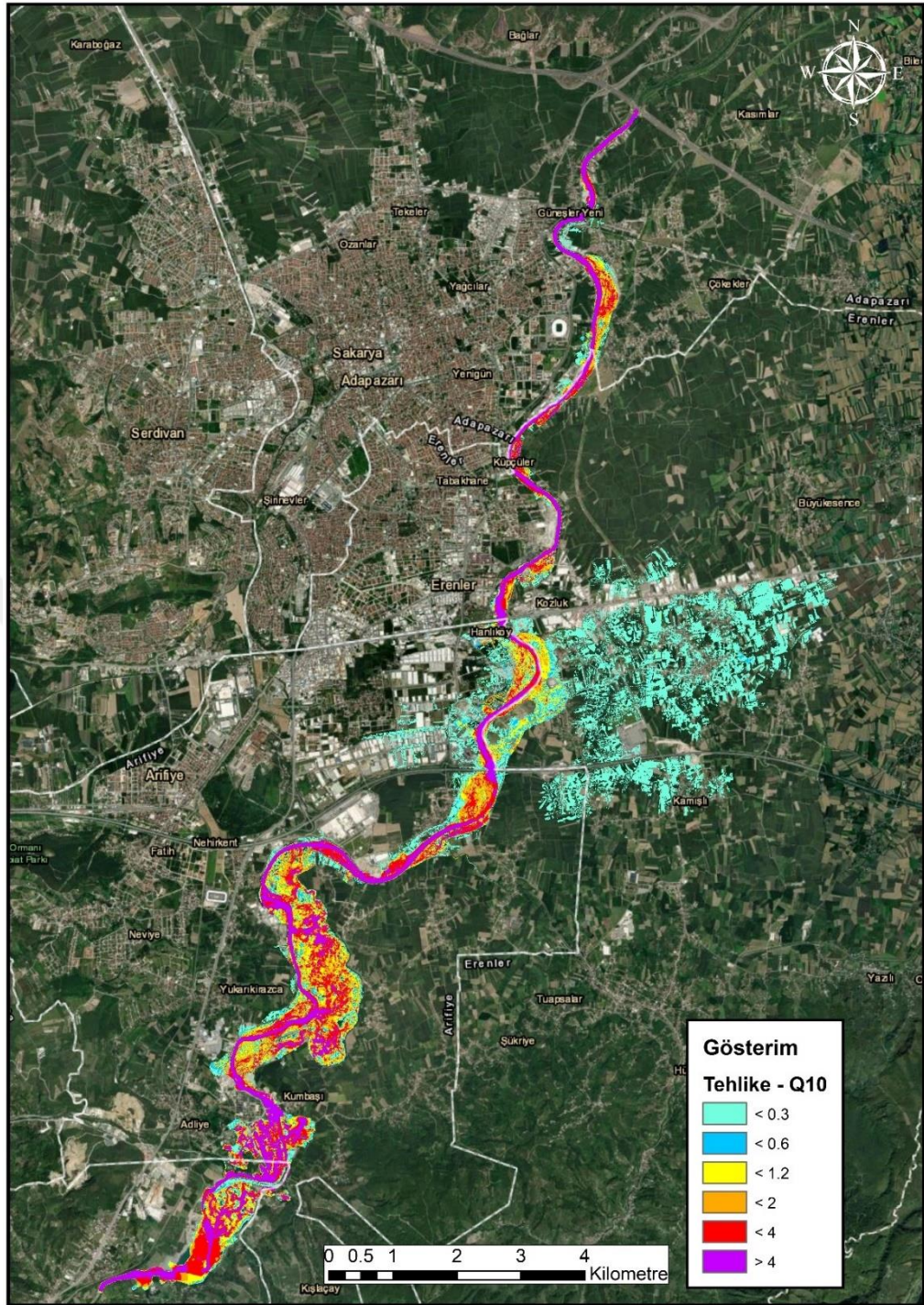
5.9.4. 10 yıllık tekerrürlü taşkın yayılım haritaları

Modelde memba sınır şartı olarak, pik debisi 794,36 m³/s olan taşkın hidrografi kullanılmıştır. Yapılan modelleme sonucunda taşkın yayılım alanının 15,14 km² alana sahip olduğu görülmüştür. Olası taşkından 695 adet yapının etkilenmesi muhtemeldir. Yapıların çevresindeki taşkın su derinliğinin 1,5 m civarında olduğu, taşkın su hızının ise 1,0 m/s ile 1,5 m/s arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 5.35- Şekil 5.37).





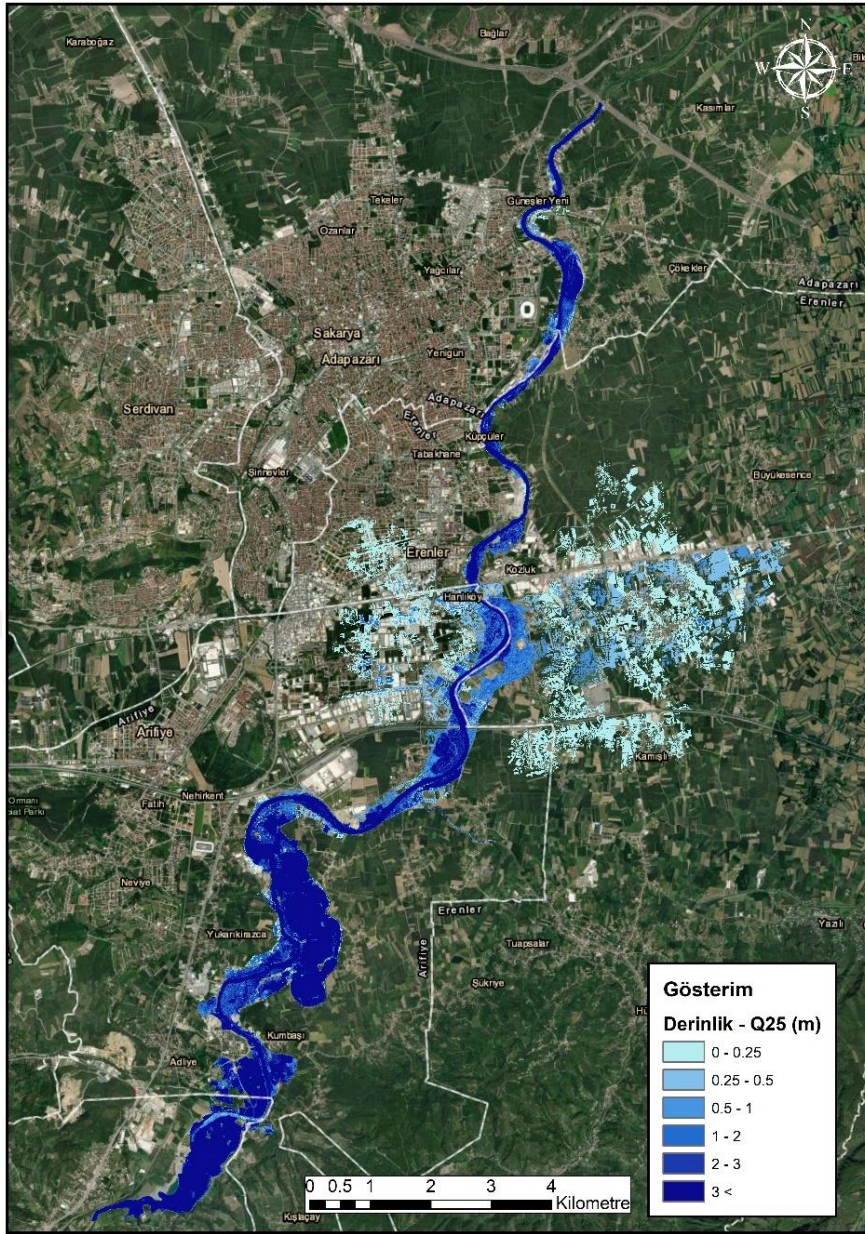
Şekil 5.36. Taşkın su hızı haritası (Q₁₀)



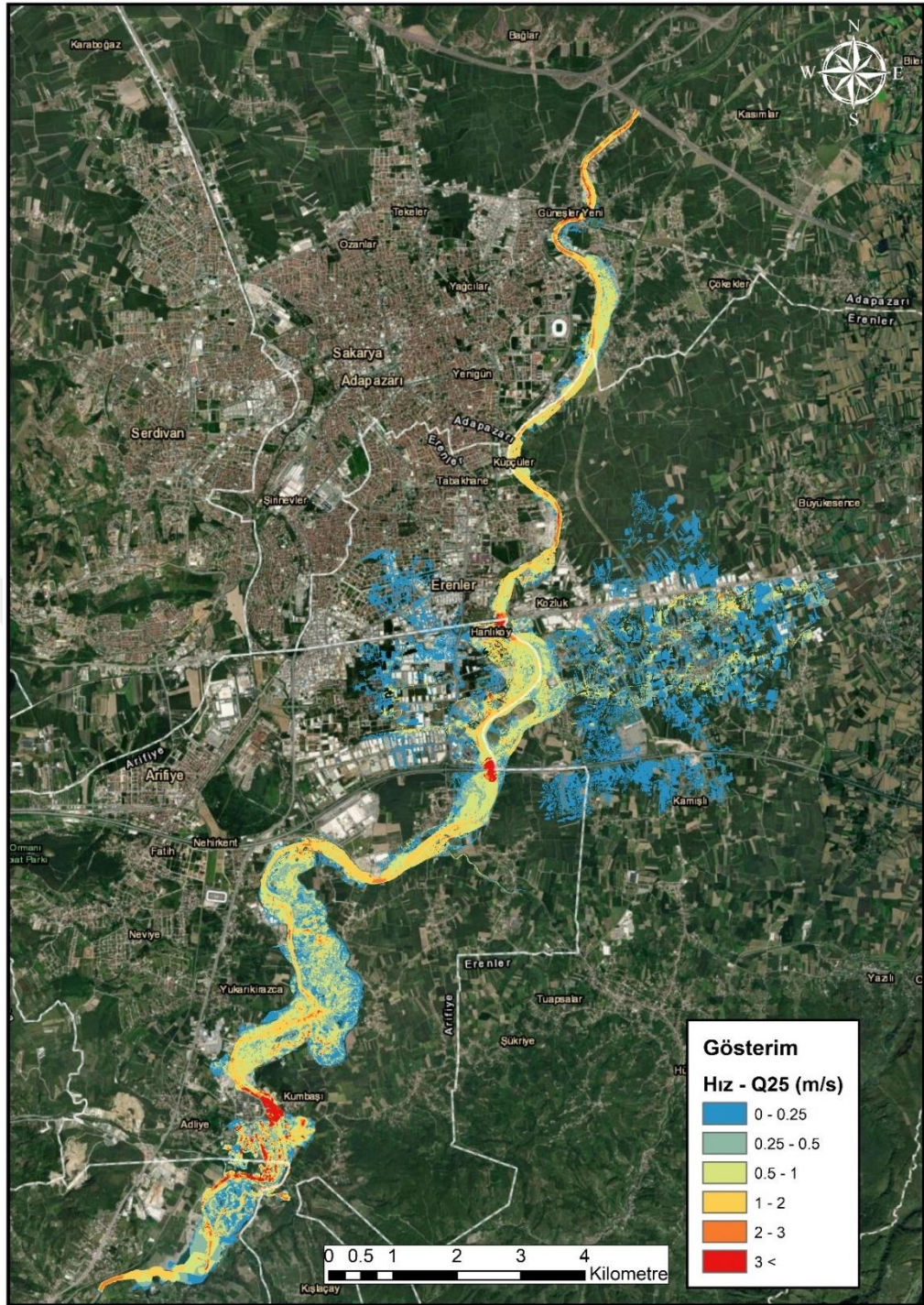
Şekil 5.37. Taşkın tehlike haritası (Q₁₀)

5.9.5. 25 yıllık tekerrürlü taşkın yayılım haritaları

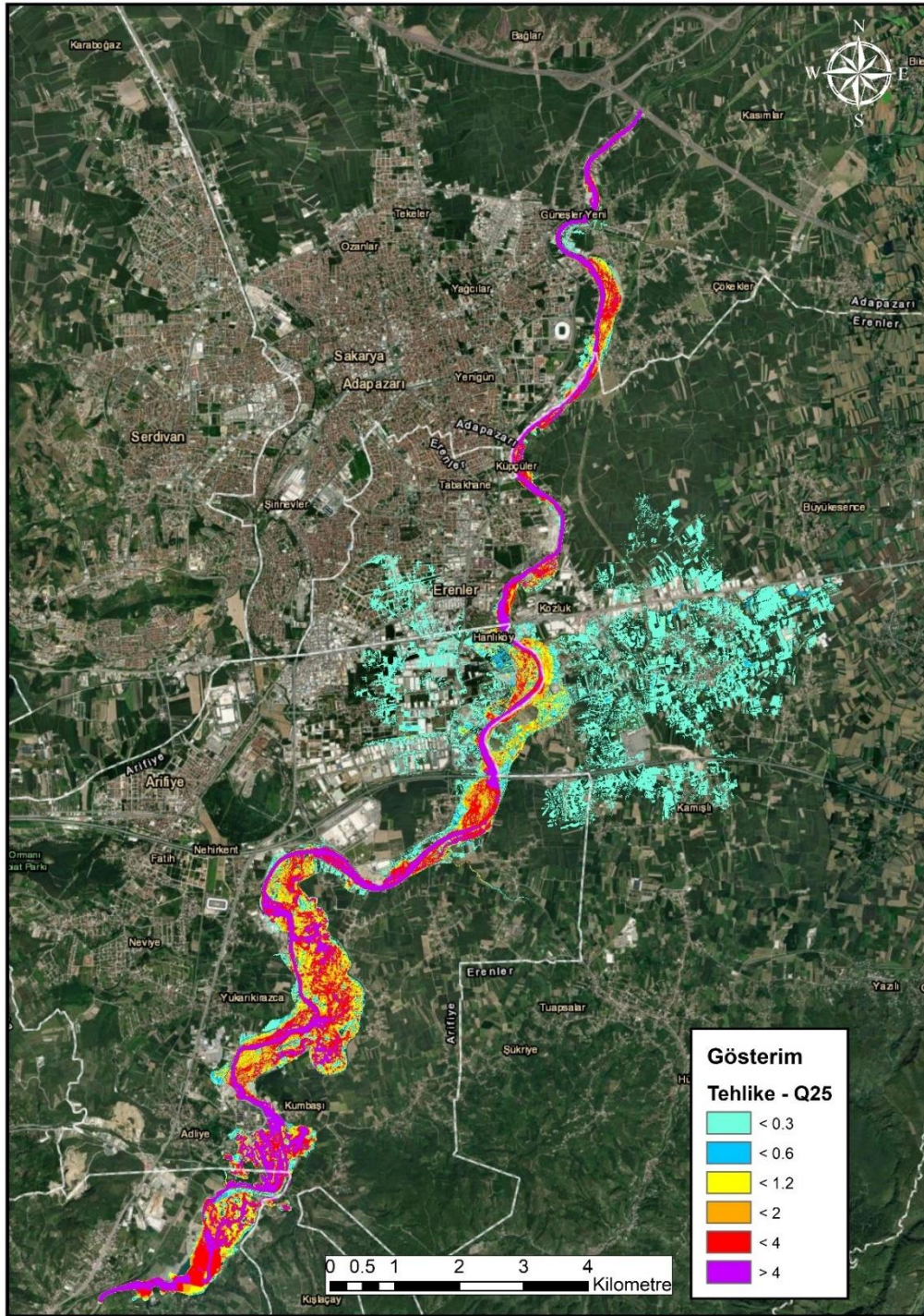
Modelde memba sınır şartı olarak, pik debisi 928,46 m³/s olan taşkın hidrografi kullanılmıştır. Yapılan modelleme sonucunda taşkın yayılım alanının 16,99 km² alana sahip olduğu görülmüştür. Olası taşkından 981 adet yapının etkilenmesi muhtemeldir. Yapıların çevresindeki taşkın su derinliğinin 1,5 m civarında olduğu, taşkın su hızının ise 1,0 m/s ile 1,5 m/s arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 5.38- Şekil 5.40).



Şekil 5.38. Taşkın su derinliği haritası (Q₂₅)



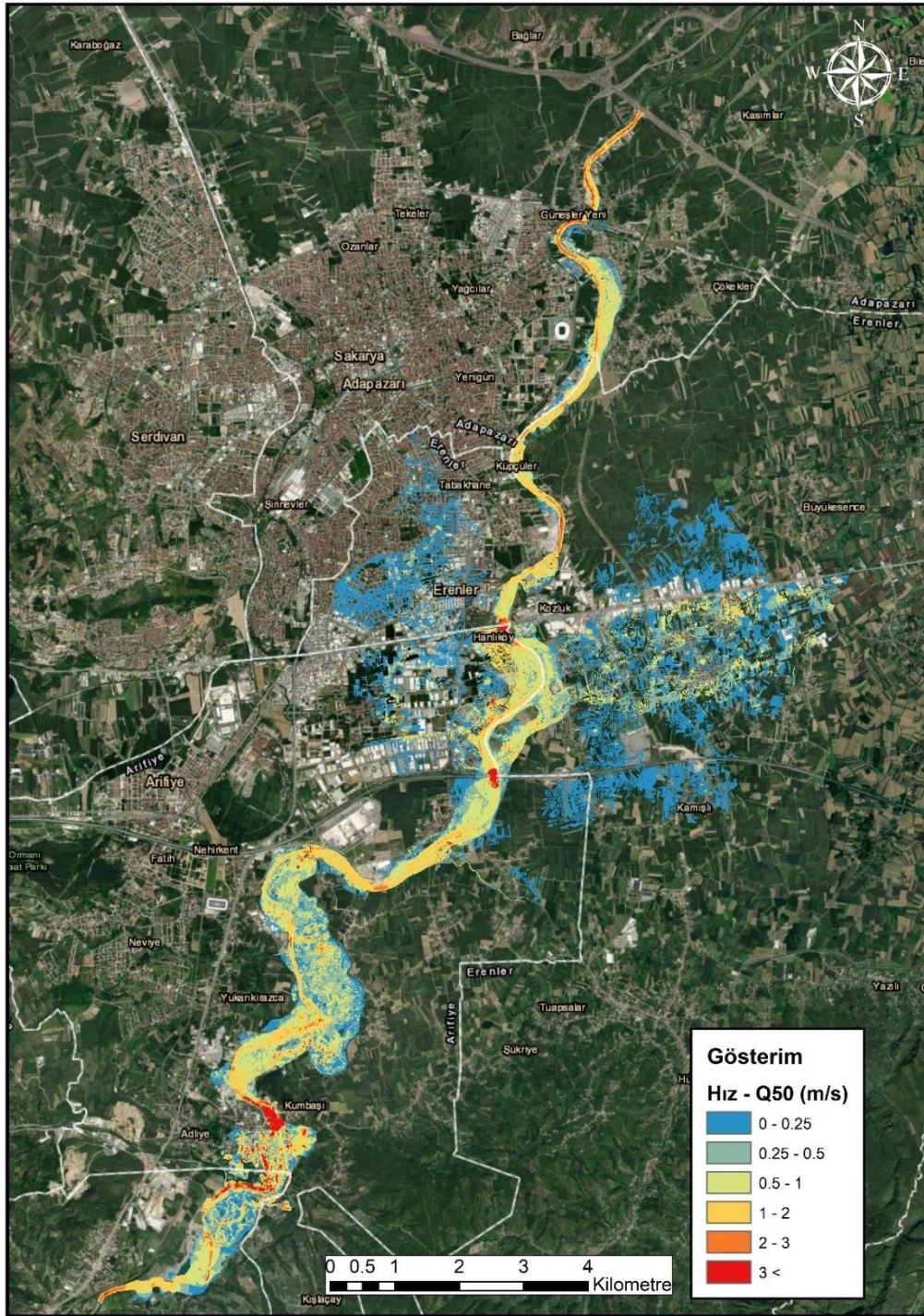
Şekil 5.39. Taşkın su hızı haritası (Q₂₅)



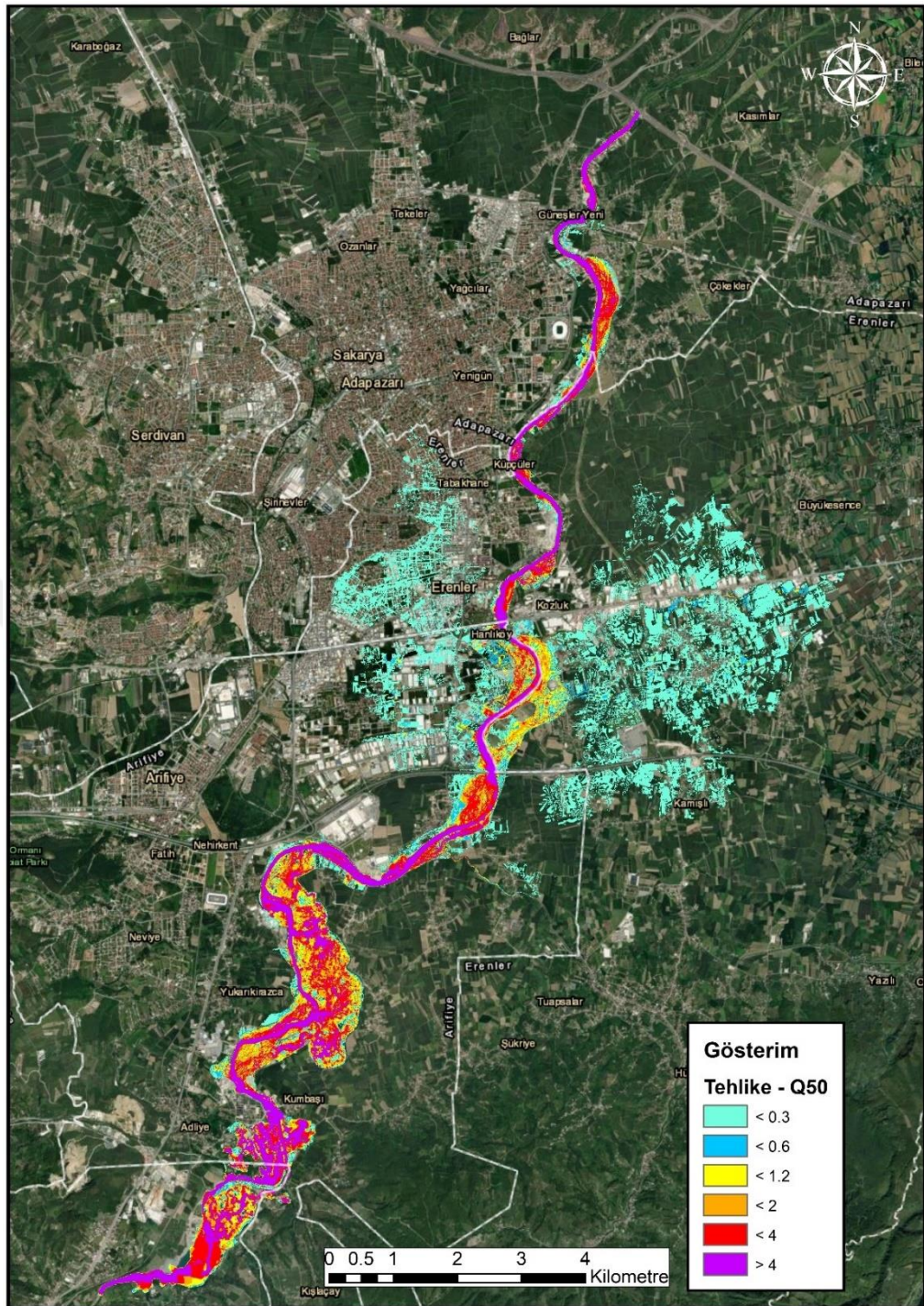
Şekil 5.40. Taşkın tehlike haritası (Q₂₅)

5.9.6. 50 yıllık tekerrürlü taşkın yayılım haritaları

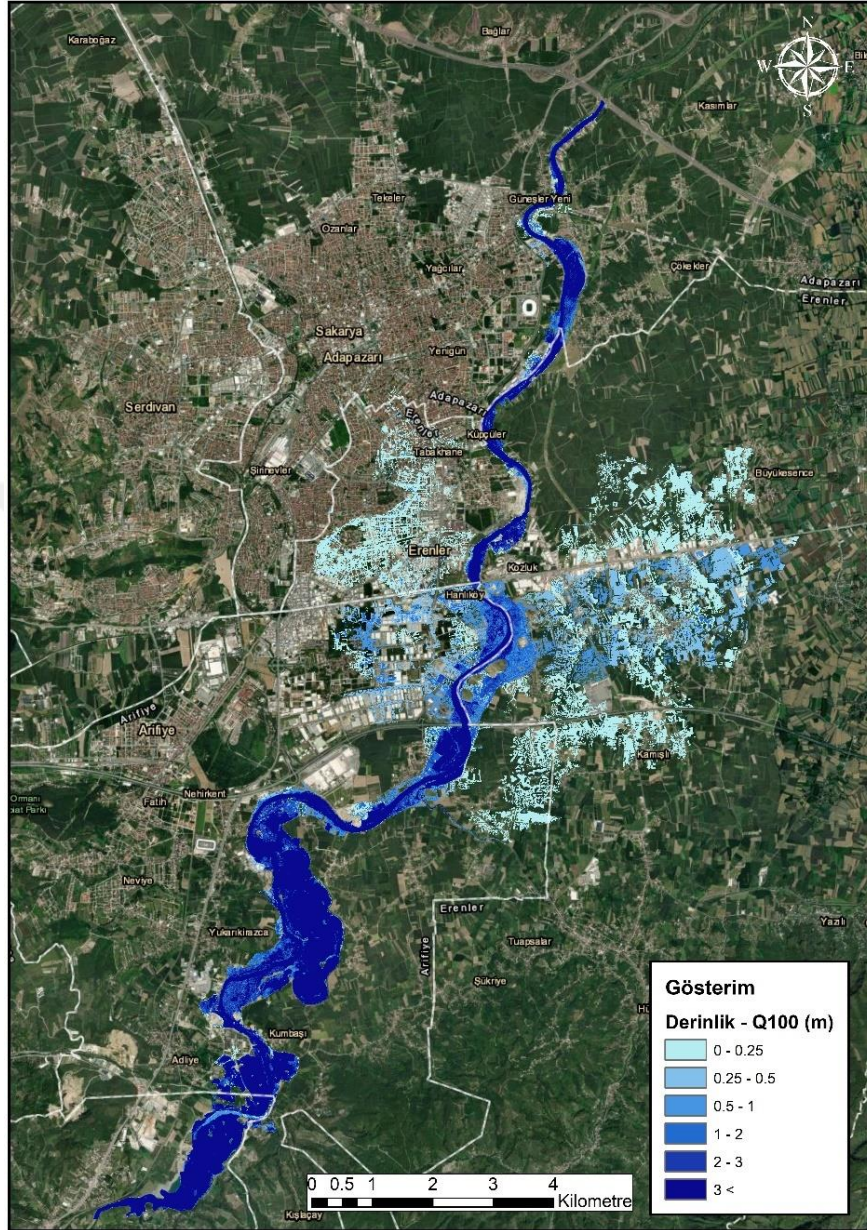
Modelde memba sınır şartı olarak, pik debisi 1.027,95 m³/s olan taşkın hidrografi kullanılmıştır. Yapılan modelleme sonucunda taşkın yayılım alanının 18,69 km² alana sahip olduğu görülmüştür. Olası taşkından 1.526 adet yapının etkilenmesi muhtemeldir. Yapıların çevresindeki taşkın su derinliğinin 1,5 m civarında olduğu,



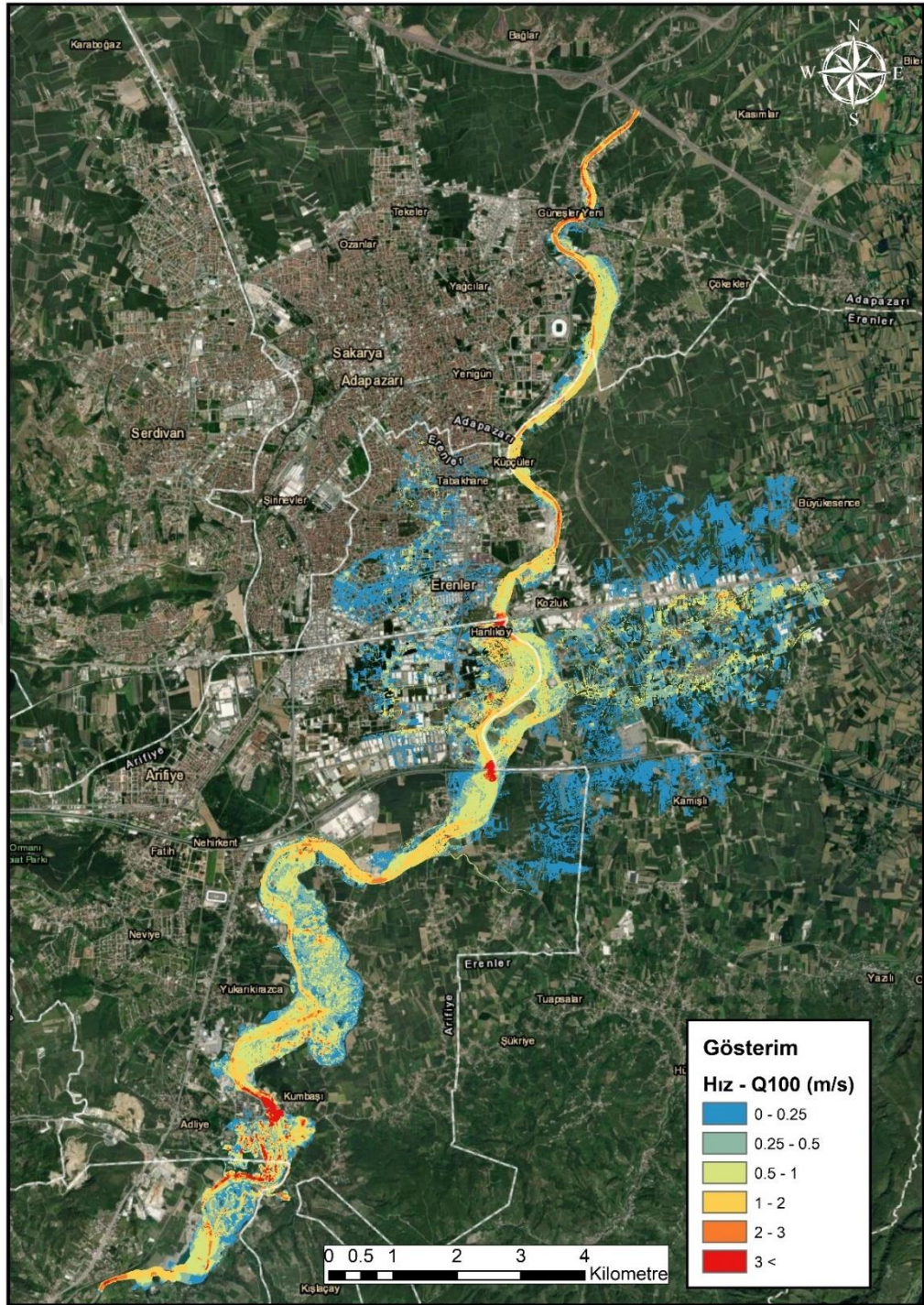
Şekil 5.42. Taşkın su hızı haritası (Q₅₀)



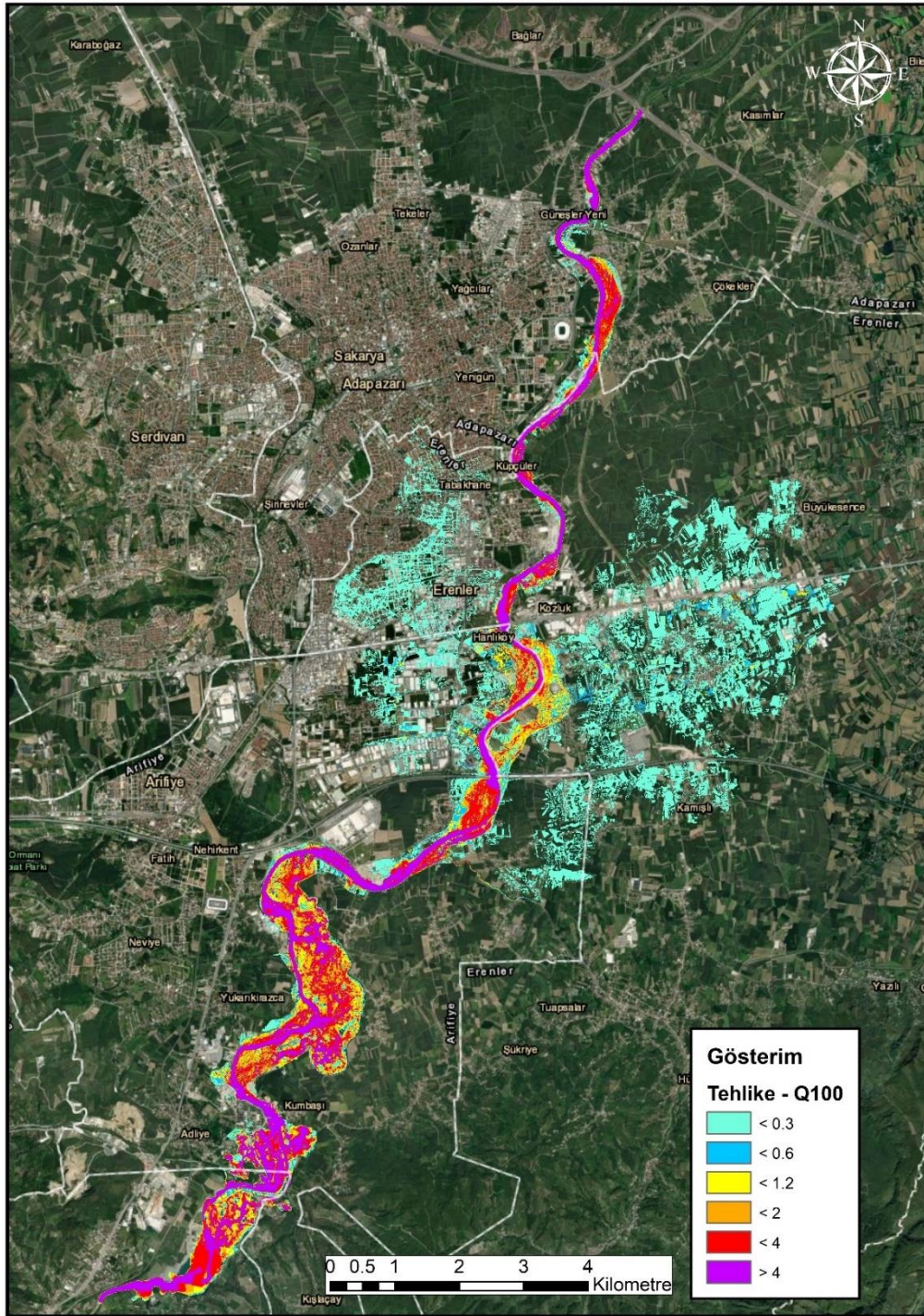
taşkın su hızının ise 1,0 m/s ile 1,65 m/s arasında değiştiği belirlenmiştir (şekil 5.44-şekil 5.46)



şekil 5.44. Taşkın su derinliği haritası (Q₁₀₀)



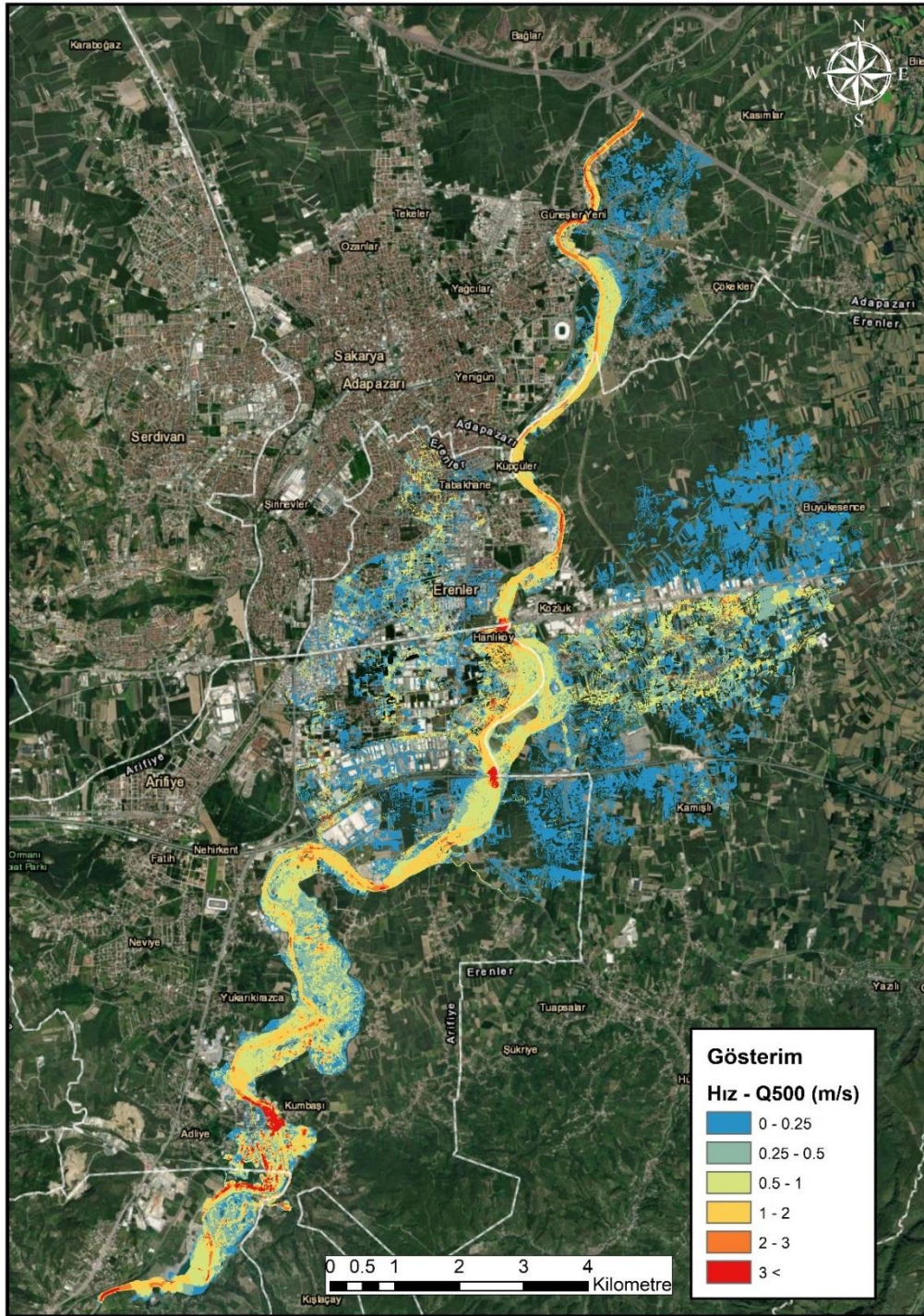
Şekil 5.45. Taşkın su hızı haritası (Q_{100})



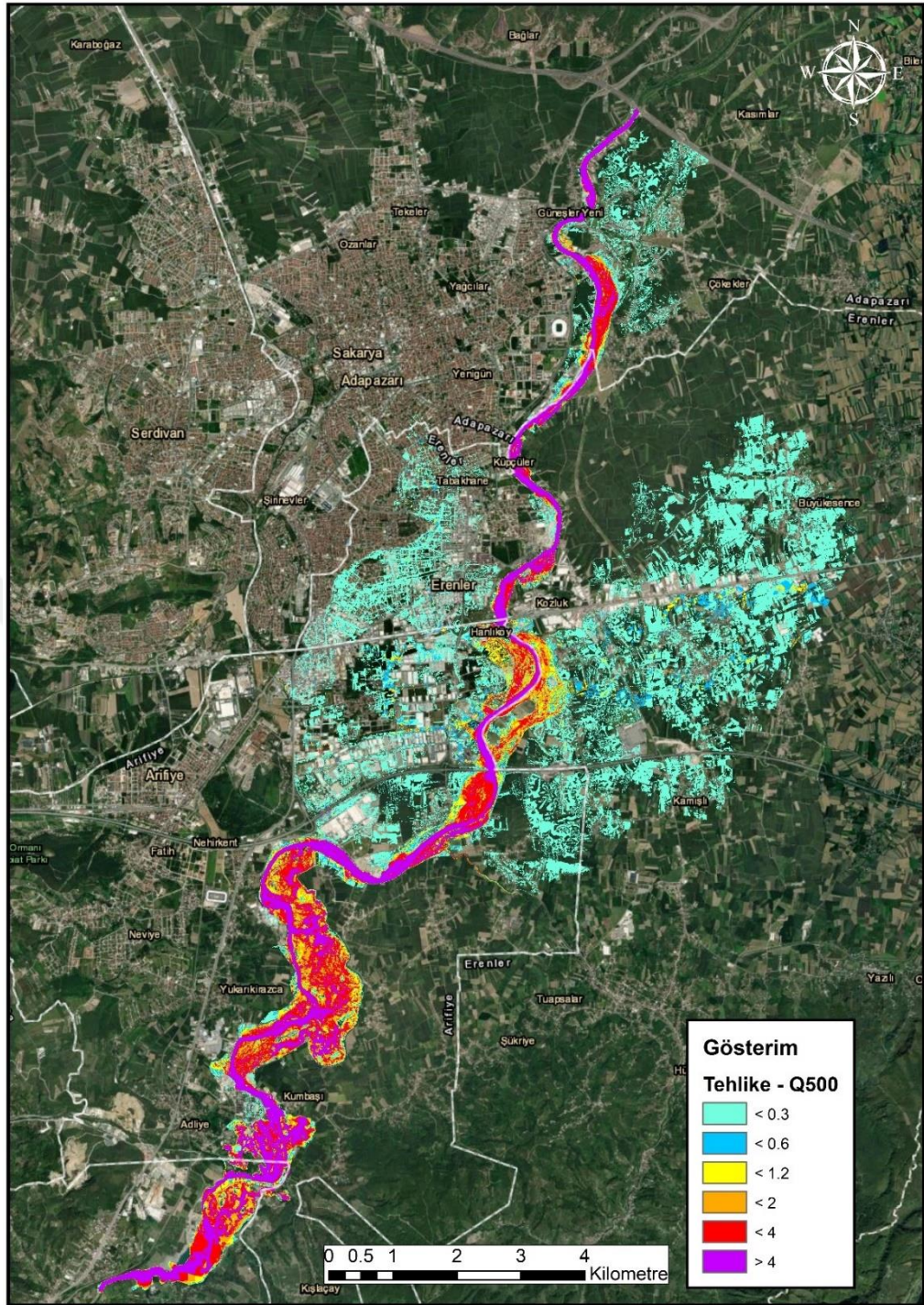
Şekil 5.46. Taşkın tehlike haritası (Q₁₀₀)

5.9.8. 500 yıllık tekerrürlü taşkın yayılım haritaları

Modelde memba sınır şartı olarak, pik debisi 1.354,91 m³/s olan taşkın hidrografi kullanılmıştır. Yapılan modelleme sonucunda taşkın yayılım alanının 25,09 km² alana sahip olduğu görülmüştür. Olası taşkından 2.858 adet yapının etkilenmesi muhtemeldir. Yapıların çevresindeki maksimum taşkın su derinliğinin 1,80 m

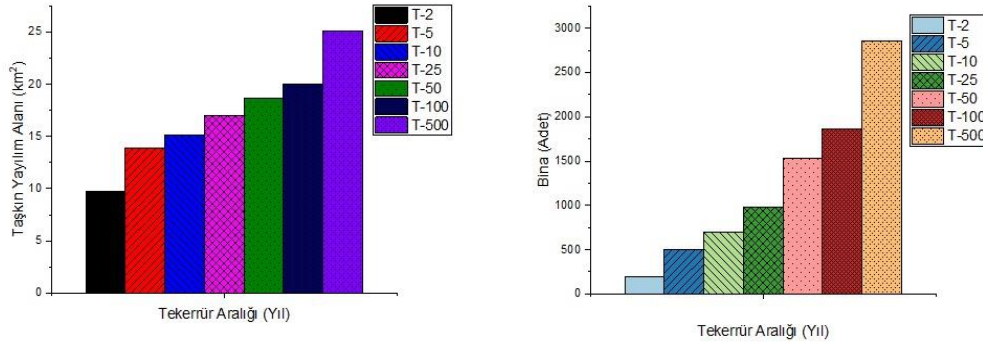


Şekil 5.48. Taşkın su hızı haritası (Q_{500})



Şekil 5.49. Taşkın tehlike haritası (Q₅₀₀)

Başlık 5.9.1-5.9.8 arasında verilen farklı tekerrürlerdeki taşkın analizleri incelendiğinde, Şekil 5.50 farklı taşkın debilerinin etkisi altında kalabilecek alanların büyüklüğünü ve bu alanlarda bulunan bina sayısını göstermektedir.



Şekil 5.50. Farklı tekerrürler için taşkın etkisi altında kalan alan ve bina sayısı

Taşkın debisinin artışı, taşkınlardan etkilenen alan ve bina sayısının önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Örneğin, Q_2 debisinde 9,77 km²'lik bir alan ve 193 bina etkilenirken, Q_{500} debisinde bu değerler sırasıyla 25,09 km² ve 2858 binaya yükselmektedir. Bu, en yüksek taşkın debisinde etkilenen alanın yaklaşık 2,5 katına, bina sayısının ise yaklaşık 15 katına çıktığını göstermektedir.

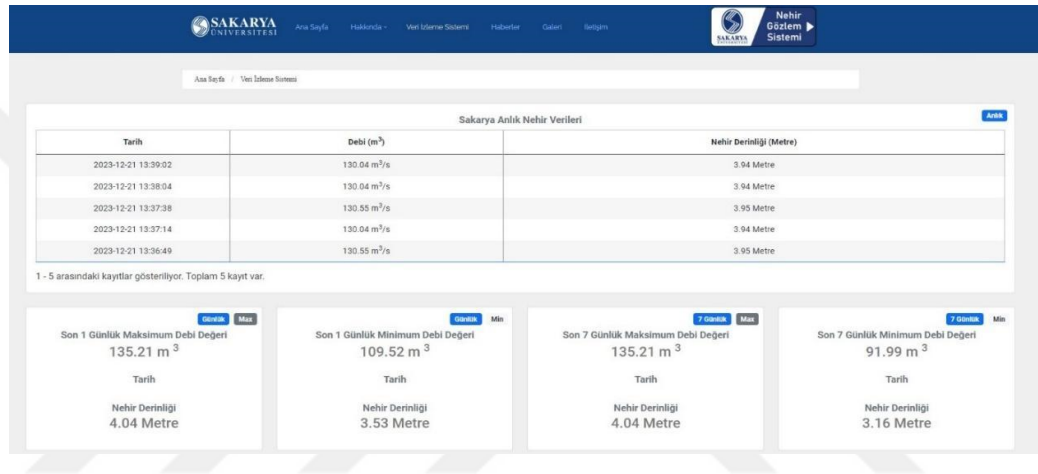
İmal edilen sistem için tasarlanan web sayfası ile birlikte gerçek zamanlı debi-seviye bilgisine ve farklı tekerrürlerdeki debiler için HEC-RAS programıyla oluşturulan taşkın yayılım haritalarına da ulaşılmasına imkân sağlanmıştır.

5.10. Verilerin Web Arayüzüne Aktarılması ve Tasarlanan Web Arayüzü

Gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu, ultrasonik sensör kullanarak nehrin su seviyesini doğru ve sürekli bir şekilde ölçmektedir. Bu ölçülen seviye verileri, mikrodenetleyici ile ağ protokolleri ve cihazların veri toplamasına, göndermesine olanak tanıyan "IoT" (Nesnelerin İnterneti) teknolojisi kullanılarak internet üzerinden sunucuya aktarılmaktadır.

Web üzerinde bir programlama dili olan PHP (Personal Home Page) ile oluşturulan bağlantılar, sensörden toplanan seviye verilerini işleyerek veritabanına kaydetmektedir. Sunucuda kaydedilen veriler, sisteme tanımlı olan hesaplama dosyası tarafından analiz edilmekte, gerekli hesaplamalar yapılmakta ve sonuçlar web sayfasında gösterilmek üzere düzenlenmektedir. Tasarlanmış olan web arayüzü, kullanıcıların verilere kolayca erişimini sağlamak ve gerçek zamanlı bilgi sunmaktadır.

Web sayfasının görselleştirilmiş hali Şekil 5.51’de görülmektedir. Web sitesinin ana sayfasında yer alan veri izleme sistemi başlığı altında ölçümler anlık olarak görülebilmektedir. Ölçümler yıl/ay/gün ve saat/dakika/saniye şeklinde tarih başlığı altında sunulmaktadır. Debi değeri m³ olarak hesaplanarak ekranda gösterilmektedir. Aynı zamanda, ölçüm yapılan noktadaki nehir derinliği metre cinsinden verilmektedir. Ekranın alt kısmında ise son 1 gün içerisindeki maksimum ve minimum debi değeri ve nehir derinliği, son 7 günlük maksimum ve minimum debi değeri ve nehir derinliği, son bir aylık maksimum ve minimum debi değerleri ve nehir derinliği anlık olarak görülebilmektedir.



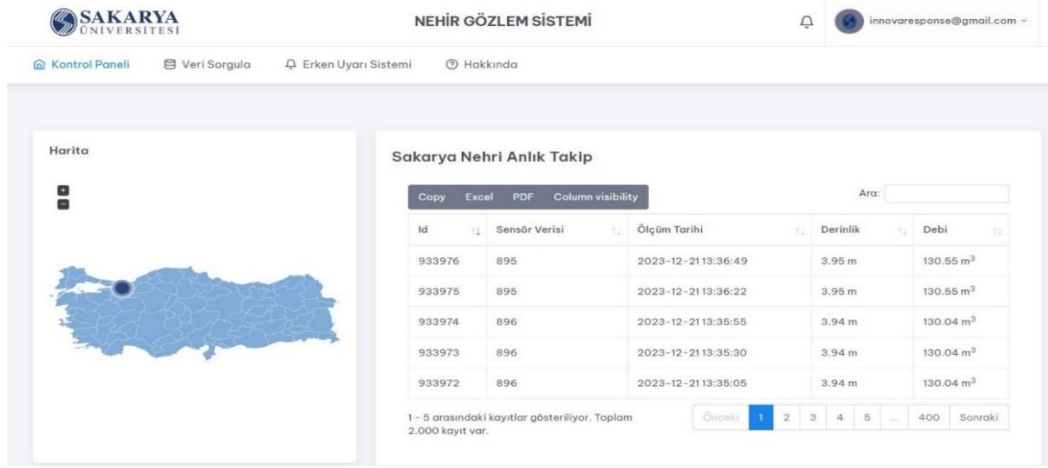
Tarih	Debi (m ³ /s)	Nehir Derinliği (Metre)
2023-12-21 13:39:02	130.04 m ³ /s	3.94 Metre
2023-12-21 13:38:04	130.04 m ³ /s	3.94 Metre
2023-12-21 13:37:38	130.55 m ³ /s	3.95 Metre
2023-12-21 13:37:14	130.04 m ³ /s	3.94 Metre
2023-12-21 13:36:49	130.55 m ³ /s	3.95 Metre

1 - 5 arasındaki kayıtlar gösteriliyor. Toplam 5 kayıt var.

Son 1 Günlük Maksimum Debi Değeri	Son 1 Günlük Minimum Debi Değeri	Son 7 Günlük Maksimum Debi Değeri	Son 7 Günlük Minimum Debi Değeri
135.21 m ³	109.52 m ³	135.21 m ³	91.99 m ³
Tarih:	Tarih:	Tarih:	Tarih:
Nehir Derinliği: 4.04 Metre	Nehir Derinliği: 3.53 Metre	Nehir Derinliği: 4.04 Metre	Nehir Derinliği: 3.16 Metre

Şekil 5.51. Sakarya Nehri veri takip sistemi arayüzü

Şekil 5.52’te ise veri takip sistemi ayrı bir web sitesi olarak sunucuya gelen verilerin burada görülmesi ve verilerin burdan anlık olarak istenilen aralıkta excel pdf veya farklı formatlarda verilerin indirilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca burada alt yapı hazırlık olarak Türkiye’nin herhangi bir noktasında kurulacak olan nehir gözlem istasyonunun da haritadan seçilerek istasyon verilerin temin edilmesini sağlayacak bir arayüz tasarlanmıştır.



Şekil 5.52. Sakarya Nehri veri takip ve temin arayüzü

Gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonunun temel amacı, taşkın risklerini erken tespit etmek ve ilgili tarafları zamanında uyarmaktır. Nehir gözlem istasyonu ve erken uyarı sistemi, Örencik Köprüsü'nün belirli bir seviyesinin üzerine çıktığında, yani su seviyesi köprünün $\frac{3}{4}$ 'lük yüksekliğine ulaştığında, otomatik olarak uyarı göndermektedir. Bu durumda, ultrasonik sensör tarafından okunan değerler hemen işlenmekte ve riskin boyutuna göre önceden belirlenmiş e-posta adreslerine acil durum uyarıları gönderilmektedir. Web arayüzüne <https://nehirgozlem.com/> adresinden ulaşılabilmektedir.

6. DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışması, küresel iklim değişiminin yol açtığı taşkın risklerinin artması bağlamında, özellikle su seviyesi izleme ve taşkın öncesi uyarı sistemlerinin geliştirilmesi alanında önemli bir katkı sağlamıştır. Ultrasonik mesafe sensörlerinin kullanımıyla, köprü kesitlerindeki debi ölçümleri, insan gücüne bağlı kalmadan ve yüksek ölçüm doğruluğu ile gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında geliştirilen sistem, sürekli ve güvenilir veri akışını sağlayarak, nehir üzerinde planlanan yapılara yönelik mühendislik ve hidrolojik çalışmaların daha fazla veri ile daha gerçekçi sonuçlar üretilmesine katkı sunaktır.

Debi ölçümleri, köprü kesitlerinin doğru boyutlandırılmasından, taşkın yayılım alanlarının belirlenmesine kadar birçok uygulamada kritik rol oynamaktadır. Mevcut ölçüm yöntemleriyle sağlanan verilerin ölçüm sıklığının, olumsuz hava şartlarından etkilenmesi, geliştirilen gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonun teknolojik alt yapısının önemini daha da artmaktadır. Ultrasonik mesafe sensörleri, olumsuz hava ve arazi şartlarından etkilenmeden düzenli veri sağlamakta, bu da hem maliyeti düşürmekte hem de taşkın yönetimi açısından farkındalık ve müdahale sürelerini iyileştirmektedir.

Ayrıca, sensörler tarafından ölçülen su seviyesinin taşkın riski taşıyan kritik düzeye ulaşması durumunda, ilgili kurumlara otomatik olarak uyarı ve bilgi mesajı gönderilmesi, bu sistemin erken uyarı kapasitesini gözler önüne sermektedir. Bu özellik, taşkın yönetimi stratejilerinde önceden planlanmış davranışı teşvik ederek, tedbir alma ve müdahale etme için zaman kazandırarak potansiyel can ve mal kayıplarını minimize etme potansiyelini büyük ölçüde artırmaktadır.

Tez çalışması kapsamında HEC-RAS programı kullanılarak üretilen taşkın yayılım haritaları hazırlanan web sayfası ile entegre edilerek, ilgili kişi ve kurumlara akış şartlarına dair gerçek zamanlı veri erişimi sunmakta ve potansiyel taşkın risk analizlerini daha interaktif hale getirmektedir. Bu entegrasyon, taşkın risk yönetimi ve kriz müdahalesi ekiplerinin, mevcut debinin arazide etki düzeyi hakkında bilgi

vererek, tekrar eden ya da beklenmedik hidrolojik olaylar karşısında bilinçli kararlar almalarına olanak tanımaktadır.

Bu erken uyarı mekanizması sayesinde, yerel yönetimler, acil servisler ve bölge sakinleri gibi ilgili kişi ve kurumlar hızla bilgilendirilmektedir. Böylece, olası bir taşkının neden olabileceği zararlar en aza indirgenmektedir. Sistem, aynı zamanda sürekli veri akışı sağlayarak, nehir seviyelerindeki değişimleri anlık olarak izlemekte ve analiz etmektedir. Bu bilgiler, taşkın riski yönetimi ve su kaynaklarının etkin kullanımı için kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla, bu web tabanlı sistem, hem toplum güvenliği hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük bir değer taşımaktadır.

Akım gözlem istasyonlarının kurulması ve işletilmesi ile görevli olan kurumların hali hazırda rasat istasyonu kurmadığı yan dereler ve taşkın potansiyeli olan yapay kanallar ile akım gözlem istasyonu olduğu halde daha sık veri okumasına ihtiyaç duyulan taşkın risk potansiyeli yüksek nehirler için bu sistemlerin kullanılması önerilmektedir.

Geliştirilen bu sistem, iklim değişikliği ve taşkın potansiyeli analizlerinde ihtiyaç duyulan akım verisinin sık aralıklar ve yüksek doğrulukla elde edilmesi ile bir veri bankasının oluşturulmasına da imkan sağlamıştır.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, taşkın yönetiminde teknolojik altyapının gelişimine önemli bir katkıda bulunmuş ve hidrolojik dengeyi koruma konusunda sürdürülebilir çözümler sunmuştur. Gelecek çalışmalar, bu sistemlerin daha geniş alanlarda uygulanabilirliğini ve etkileşimli taşkın yönetim stratejilerine entegrasyonunu değerlendirmelidir.

KAYNAKLAR

- Abdelkarim, A., Gaber, A. F. D., Youssef, A. M., & Pradhan, B. (2019). Flood Hazard Assessment of the Urban Area of Tabuk City, Kingdom of Saudi Arabia by Integrating Spatial-Based Hydrologic and Hydrodynamic Modeling. *Sensors*, 19(5), 1-23. doi: 10.3390/s19051024
- Abebe, Y. A., Ghorbani, A., Nikolic, I., Vojinovic, Z., & Sanchez, A. (2019a). A coupled flood-agent-institution modelling (CLAIM) framework for urban flood risk management. *Environmental Modelling & Software*, 111(2019), 483-492. doi: 10.1016/j.envsoft.2018.10.015
- Abebe, Y. A., Ghorbani, A., Nikolic, I., Vojinovic, Z., & Sanchez, A. (2019b). Flood risk management in Sint Maarten – A coupled agent-based and flood modelling method. *Journal of Environmental Management*, 248(2019), 109-317. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109317>
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). 2022 yılı doğa kaynaklı olay istatistikleri. Erişim adresi: https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Istatistikler/2022-Yili-Doga-Kaynakli-Olay-Istatistikleri.pdf
- Ahmad, T., Pandey, A. C., & Kumar, A. (2018). Flood hazard vulnerability assessment in Kashmir Valley, India using geospatial approach. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 105(2018), 59-71. doi: 10.1016/j.pce.2018.02.003
- Akbari, A., Mozafari, G., Fanodi, M., & Maliheh, H. S. (2014). Impact of Landuse Change on River Floodplain Using Public Domain Hydraulic Model. *Modern Applied Science*, 8(2014), 80-86. doi: 10.5539/mas.v8n5p80
- Akman, M. U. (2021). Assessment of flood protection and control structures. *Turkish Journal of Hydraulic*, 5(1), 25-31. <http://www.dergipark.gov.tr>
- Alderman, K., Turner, L., & Tong, S. (2012). Floods and human health: A systematic review. *Environment International*, 47, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.06.003>
- Armain, M., Hassan, Z., Rozainy, M., & Kamarudzaman, A. (2021). Hydrodynamic modelling of historical flood event using one dimensional HEC-RAS in Kelantan basin, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 920. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/920/1/012031>
- Ardıçlıoğlu, M. (2017). *Açık Kanal Akımları ve HEC-RAS Uygulamaları*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/320930665>
- Australian Institute for Disaster Resilience. (2017). *Managing the floodplain: A guide to best practice in flood risk management in Australia*. Retrieved from <https://knowledge.aidr.org.au/media/3518/adr-guideline-7-3.pdf>

- Ayob, M., & Rahim, M. (2022). Mobile Flood Detector Alert System. *2022 IEEE 8th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA)*, 48-52. <https://doi.org/10.1109/ICSIMA55652.2022.9928971>
- Baga, İ., Usul, N., Sorman, Ü., Application of MIKE 11 Model on Çayboğazı Basin in Turkey, *DHI Third User Conference*, Denmark, 1999.
- Batista, C. M. (2018). Coastal Flood Hazard Mapping. *Springer, Cham*, 1-11. doi: 10.1007/978-3-319-48657-4_356-1
- Bayazıt, M. & Önöz, B. (2008). *Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi*. Nobel Basımevi, Ankara.
- Buchori, I., Pramitasari, A., Sugiri, A., Maryono, M., Basuki, Y., & Sejati, A. W. (2018). Adaptation to coastal flooding and inundation: Mitigations and migration pattern in Semarang City, Indonesia. *Ocean & Coastal Management*, 163(2018), 445-455*. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2018.07.017
- Carsell, K., Pingel, N., & Ford, D. (2004). Quantifying the benefit of a flood warning system. *Natural Hazards Review*, 5, 131-140. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2004\)5:3\(131\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2004)5:3(131)).
- Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2021). *2020: The non-COVID year in disasters*. Retrieved from <https://www.undrr.org/publication/2020-non-covid-year-disasters>
- Chen, W., Hong, H., Li, S., Shahabi, H., Wang, Y., Wang, X., & Ahmad, B. B. (2019). Flood susceptibility modelling using novel hybrid approach of reduced-error pruning trees with bagging and random subspace ensembles. *Journal of Hydrology*, 575, 864-873. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.089>
- Cloke, H., Pappenberger, F., Smith, P., & Wetterhall, F. (2017). How do I know if I've improved my continental scale flood early warning system?. *Environmental Research Letters*, 12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa625a>.
- Coquet, M., Mercier, D., & Fleury-Bahi, G. (2019). Assessment of the exposure to coastal flood risk by inhabitants of French coasts: The effect of spatial optimism and temporal pessimism. *Ocean & Coastal Management*, 177, 139-147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.05.004>
- Corral, C., Berenguer, M., Sempere-Torres, D., Poletti, L., Silvestro, F., & Rebora, N. (2019). Comparison of two early warning systems for regional flash flood hazard forecasting. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.026>.
- Costabile, P., Costanzo, C., Ferraro, D., Macchione, F., & Petaccia, G. (2020). Performances of the New HEC-RAS Version 5 for 2-D Hydrodynamic-Based Rainfall-Runoff Simulations at Basin Scale: Comparison with a State-of-the Art Model. *Water*, 12(2326). <https://doi.org/10.3390/w12092326>

- Crawford, S., Brinkmann, M., Ouellet, J., Lehmkuhl, F., Reicherter, K., Schwarzbauer, J., Bellanova, P., Letmathe, P., Blank, L., Weber, R., Brack, W., Dongen, J., Menzel, L., Hecker, M., Schüttrumpf, H., & Hollert, H. (2021). Remobilization of pollutants during extreme flood events poses severe risks to human and environmental health. *Journal of Hazardous Materials*, 421, 126691. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126691>
- Çavuş, V., Tuna, R., & Duran, İ. U. (2017). Arduino Devreleri için Kod Üretme ve Veri İşleme Uygulaması Tasarımı. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 387-390. <https://doi.org/10.18586/msufbd.322388>
- Darwis, M., Banna, H., Aji, S., Khoirunnisa, D., & Natassa, N. (2023). IoT Based Early Flood Detection System with Arduino and Ultrasonic Sensors in Flood-Prone Areas. *JURNAL TEKNIK INFORMATIKA*. <https://doi.org/10.15408/jti.v16i2.32161>
- Demir, U. (2016). *Arduino Programlama Kitabı*. https://www.siirt.edu.tr/dosya/personel/arduino_programlama_kitabi-siirt-2020228162113585.pdf
- Demir, V., Kisi, O. (2016). Flood hazard mapping by using geographic information system and hydraulic model: Mert River, Samsun, Turkey. *Advances in Meteorology*, 2016, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2016/4891015>
- Demirkesen, A. C. (2012). Multi-risk interpretation of natural hazards for settlements of the Hatay province in the East Mediterranean region, Turkey using SRTM DEM. *Environmental Earth Sciences*, 65, 1895-1907.
- Doğan, E., Sönmez, O., Yapan, E., Othan, K., Özdemir, S., & Çitgez, T. (2013). Aşağı Sakarya Nehrinde taşkın yayılım haritalarının elde edilmesi. *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 17(3), 363-369.
- Du, W., Fitzgerald, G., Clark, M., & Hou, X. (2010). Health Impacts of Floods. *Prehospital and Disaster Medicine*, 25(3), 265-272. <https://doi.org/10.1017/S1049023X00008141>
- Doong, D., Chuang, L., Wu, L., Fan, Y., Kao, C., & Wang, J. (2012). Development of an operational coastal flooding early warning system. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 379-390. <https://doi.org/10.5194/NHESS-12-379-2012>
- Doyle, R. (2003). Flood-Random House UK. London: Random House.
- ESRI (2021) *LAStools - LiDAR veri işleme yazılımı*. ESRI'nin ArcGIS Pro. Erişim adresi: <https://lastools.github.io>
- Filianoti, P., Gurnari, L., Zema, D., Bombino, G., Sinagra, M., & Tucciarelli, T. (2020). An Evaluation Matrix to Compare Computer Hydrological Models for Flood Predictions. *Hydrology*, 7(3), 42. <https://doi.org/10.3390/hydrology7030042>
- Forkuo, E. K. (2011). Flood hazard mapping using Aster image data with GIS. *International journal of Geomatics and Geosciences*, 1(4), 932-950.
- Haghizadeh, A., Shui, L., Mirzaei, M., & Memarian, H. (2012). Incorporation of GIS Based Program into Hydraulic Model for Water Level Modeling on River Basin. *Journal of Water Resource and Protection*, 4, 25-31. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2012.41004>

- Hadipour, V., Vafaie, F., & Kerle, N. (2019). An indicator-based approach to assess social vulnerability of coastal areas to sea-level rise and flooding: A case study of Bandar Abbas city, Iran. *Ocean & Coastal Management*, 105077. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105077>
- Indrasari, W., Iswanto, B., & Andayani, M. (2018). Early Warning System of Flood Disaster Based on Ultrasonic Sensors and Wireless Technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 335. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/335/1/012005>
- Kaleyci, H. (2004). *Değirmendere Havzası'nda taşkın frekans analizi ve taşkın sularının belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kerim, A., & Süme, V. (2019). Taşkınlar, Taşkın Koruma Ve Kontrol Yapıları; Rize İlinde Alan Çalışmaları. *Türk Hidrolik Dergisi*, 3(1), 1-13.
- Kreibich, H., Hudson, P., & Merz, B. (2021). Knowing What to Do Substantially Improves the Effectiveness of Flood Early Warning. *Bulletin of the American Meteorological Society*. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0262.1>.
- Kozłowski, T. (1984). Plant Responses to Flooding of Soil. *BioScience*, 34(3), 162-167. <https://doi.org/10.2307/1309751>
- Macchione, F., Costabile, P., Costanzo, C., De Santis, R. (2019). Moving to 3-D flood hazard maps for enhancing risk communication. *Environmental Modelling & Software*, 111(209), 510-522. doi: 10.1016/j.envsoft.2018.11.005
- Mahmoud, S. H., Gan, T. Y. (2018). Urbanization and climate change implications in flood risk management: Developing an efficient decision support system for flood susceptibility mapping. *Science of the Total Environ*, 636, 152-167. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.282
- Maskong, H. (2019). Flood Hazard Mapping Using on-Site Surveyed Flood Map, Hecras V.5 and Gis Tool: A Case Study of Nakhon Ratchasima Municipality, Thailand. *International Journal of GEOMATE*, 16(54), 1-8. doi: 10.21660/2019.54.81342
- Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Huang, J. (2018). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 63(1), 4-14.
- Morris, J., Brewin, P. (2014). The impact of seasonal flooding on agriculture: The spring 2012 floods in Somerset, England. *Journal of Flood Risk Management*, 7. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12041>
- OECD (2016). *Financial Management of Flood Risk*. Paris: OECD Publishing.
- Onuşluel, G. (2005). *Floodplain management based on the HEC-RAS modeling system* (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2017). *Taşkın Yönetimi Kitabı*. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Menu/95/Taskin-Yonetimi-Kitabi>
- Özdemir, H. (2007). *Havran Çayı Havzasının (Balıkesir) CBS ve uzaktan algılama yöntemleriyle taşkın ve heyelan risk analizi* (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Park, K., & Lee, M.-H. (2019). The development and application of the urban flood risk assessment model for reflecting upon urban planning elements. *Water*, 11(920), 1-17.
- Parsian, S., Amani, M., Moghimi, A., Ghorbanian, A., & Mahdavi, S. (2021). Flood Hazard Mapping Using Fuzzy Logic, Analytical Hierarchy Process, and Multi-Source Geospatial Datasets. *Remote. Sens.*, 13, 4761. <https://doi.org/10.3390/rs13234761>.
- Rojas, O., Mardones, M., Rojas, C., Martínez, C., & Flores, L. (2017). Urban growth and flood disasters in the coastal river basin of South-Central Chile (1943–2011). *Sustainability*, 9(2), 1-21.
- Şarлак, N., & Üstün, D. (2020). Sediment anahtar eğrisi türetilmesi: Uygulama Gömelönü İstasyonu. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(1), 9-20. <https://doi.org/10.31163/humder.672090>
- Şen, Z. (2018). *Flood modeling, prediction and mitigation*. Springer Nature.
- Sein, K. (2016). Flood hazard mapping using hydraulic model and GIS: A case study in Mandalay City, Myanmar. *Suan Sunandha Rajabhat University Journal of Science and Technology*, 3. <https://doi.org/10.14456/ssstj.2016.4>
- Shao, W., Keim, B. D., Xian, S., & O'Connor, R. (2019). Flood hazards and perceptions – A comparative study of two cities in Alabama. *Journal of Hydrology*, 569(2019), 546-555. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.070>
- Sönmez, O. (2013). *Nehirlerde 2 boyutlu taşkın modellemesi ve taşkın haritalarının oluşturulması* (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Talbot, C., Bennett, E., Cassell, K., Hanes, D., Minor, E., Paerl, H., Raymond, P., Vargas, R., Vidon, P., Wollheim, W., & Xenopoulos, M. (2018). The impact of flooding on aquatic ecosystem services. *Biogeochemistry*, 141, 439-461. <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0449-7>
- Taha, M. M. N., Elbarbary, S. M., Naguib, D. M., & El-Shamy, I. Z. (2017). Flash flood hazard zonation based on basin morphometry using remote sensing and GIS techniques: A case study of Wadi Qena basin, Eastern Desert, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8(2017), 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.08.007>
- Trung, L. D., Duc, N. A., Nguyen, L. T., Thai, T. H., Khan, A., Rautenstrauch, K., & Schmidt, C. (2018). Assessing cumulative impacts of the proposed Lower Mekong Basin hydropower cascade on the Mekong River floodplains and Delta – Overview of integrated modeling methods and results. *Journal of Hydrology*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.029>
- Uçar, İ. (2010). *Trabzon Değirmendere Havzası'nda coğrafi bilgi sistemleri ve bir hidrolik model yardımıyla taşkın analiz yapılması* [Yüksek Lisans] Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Urzică, A., Mişu-Pintilie, A., Stoleriu, C. C., Cîmpianu, C. I., Huţanu, E., Pricop, C. I., & Grozavu, A. (2021). Using 2D HEC-RAS modeling and embankment dam break scenario for assessing the flood control capacity of a multi-reservoir system (NE Romania). *Water*, 13(1), 57. <https://doi.org/10.3390/w13010057>
- Uşul, N., & Turan, B. (2006). Flood forecasting and analysis within the Ulus Basin, Turkey, using geographic information systems. *Natural Hazards*, 39, 213-229.

- Walalite, T., Dekker, S. C., Schot, P. P., & Wassen, M. J. (2018). Unraveling the ecological functioning of the monsoonal Songkhram river floodplain in Thailand by integrating data on soil, water, and vegetation. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 18(1), 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2017.09.005>
- Wang, Z., Yao, W., Wang, M., Xiao, P., Yang, J., Zhang, P., Tang, Q., Kong, X., & Wu, J. (2019). The influence of river channel occupation on urban inundation and sedimentation induced by floodwater in mountainous areas: A case study in the Loess Plateau, China. *Sustainability*, 11(3), 761. <https://doi.org/10.3390/su11030761>
- Yazıcılar, F., & Önder, H. (1998). Taşkın yatakları planlamasında HEC-RAS bilgisayar programı ile su yüzü profili hesaplanması-Bartın Nehrinde bir uygulama. *In Su Mühendisliği Problemleri Semineri (V)*, Fethiye, Muğla.
- Yin, J., Zhao, Q., Yu, D., Lin, N., Kubanek, J., Ma, G., Liu, M., & Pepe, A. (2019). Long-term flood-hazard modeling for coastal areas using InSAR measurements and a hydrodynamic model: The case study of Lingang New City, Shanghai. *Journal of Hydrology*, 571(2019), 593-604. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.015>
- Yousuf Gazi, M., Ashraful Islam, M., & Hossain, S. (2019). Flood-hazard mapping in a regional scale – Way forward to the future hazard atlas in Bangladesh. *Malaysian Journal of Geosciences*, 3(1), 01-11. <https://doi.org/10.26480/mjg.01.2019.01.11>
- Zhou, Q., Leng, G., Su, J., & Ren, Y. (2019). Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation. *Science of the Total Environment*, 658(2019), 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.184>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Fatma DEMİR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2014, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2012-2017 Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalıştı.
- 2018- Iğdır Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Sönmez, O., Varan, M., Doğan, E., Demir, F. (2016). Nehirlerde gerçek zamanlı seviye izleme ve taşkın uyarı maksatlı ölçüm istasyonu prototip imalatı. Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16), 463-466. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 3126593).
- Sönmez, O. (Yürütücü), Varan, M. (Araştırmacı), Doğan, E. (Araştırmacı), Eren, B. (Araştırmacı), Demir, F. (Araştırmacı). (2016-2020). Taşkın uyarı maksatlı gerçek zamanlı nehir gözlem istasyonu imalatı ve saha uygulaması. Yükseköğretim Kurumları tarafından destekli bilimsel araştırma projesi. (ULUSAL).

DİĞER ESERLER:

- Doğan, E. (Yürütücü), Sönmez, O. (Araştırmacı), Döker, M. F. (Araştırmacı), Demir, F. (Araştırmacı), Alppay, H. (Araştırmacı), Gül, B. (Araştırmacı). (2017-2019). Baraj bendinin yıkılması halinde su altında kalabilecek alanların belirlenmesi. Diğer kamu kuruluşları (Yükseköğretim Kurumları hariç). (ULUSAL).

- Sönmez, O. (Yürütücü), Demir, F. (Araştırmacı). (2014-2015). Aşağı Sakarya Nehri Adapazarı taşkın risk tayini. Yükseköğretim Kurumları tarafından destekli bilimsel araştırma projesi. (ULUSAL).
- Çeribaşı, G., Doğan, E., Sönmez, O., Kızılaslan, M. A., Demir, F., Akkaya, U. (2014). Evaluation of temperature, rainfall and lake water level data of Sapanca Basin by trend analysis method. International Civil Engineering and Architecture Symposium for Academicians (ICESA). (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 6955379).
- Akkaya, U., Aydın, A., Doğan, E., Sönmez, O., Demir, F., Çeribaşı, G., Kızılaslan, M. A. (2014). Flood analysis of the river in Lokbatan in Azerbaijan and the proposal solution. International Civil Engineering and Architecture Symposium for Academicians (ICESA). (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 6955250).
- Kızılaslan, M. A., Doğan, E., Sönmez, O., Demir, F., Çeribaşı, G. (2014). Artificial neural networks and multiple linear regression analysis applications to predict daily water level of Lake Sapanca. International Civil Engineering and Architecture Symposium for Academicians (ICESA). (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 4356079).
- Sönmez, O., Doğan, E., Kızılaslan, M. A., Demir, F., Çeribaşı, G., Akkaya, U. (2014). Discharge estimations using stage sensor: Case study Iowa, USA. International Civil Engineering and Architecture Symposium for Academicians (ICESA). (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 6955296).
- Kızılaslan, M. A., Demir, F., Doğan, E., Sönmez, O. (2014). Aşağı Sakarya Nehri akımlarının yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(2), 99-103. (Yayın No: 3386833).
- Demir, F., Kama, İ., Sönmez, O., Çeribaşı, G., Doğan, E. (2016). Geyve Karaçay Deresi taşkını değerlendirmesi. Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16), 502-508. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 3126259).
- Bizimana, H., Demir, F., Sönmez, O. (2016). Bulanık mantık ile Yuvacık Barajı su seviyesi değişimlerinin modellenmesi. 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 827-834. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 3125843).
- Sönmez, O., Demir, F. (2016). Ağva'nın taşkın riskinin belirlenmesi. 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 716-724. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 3125631).
- Bizimana, H., Yağub, M., Sönmez, O., Eren, B., Demir, F. (2016). Irrigation optimization by the use of fuzzy logic technology. Fresenius Environmental Bulletin, 25(1-2016), 325-336. (Yayın No: 3125298).
- Sönmez, O., Demir, F., Doğan, E. (2017). İklim değişikliğinin Yalova Gökçe Barajı su seviyesine etkisi. 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 1082-1090. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 3873429).

- Opan, M., Doğan, E., Sönmez, O., Temiz, T., Demir, F. (2017). Arazi kullanımı değişiminin akarsuda taşınan katı madde miktarına etkisi: Taşlıçay Deresi, Türkiye. 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 877-887. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 3873408).
- Sönmez, O., Hırça, T., Demir, F. (2017). Akım ölçümü olmayan nehirlerde farklı yağış akış modelleri ile tekerrürlü taşkın debisi hesabı: Mudurnu Çayı örneği. 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 3873474).
- Spor, P., Doğan, E., Sönmez, O., Demir, F. (2017). Asi Nehri yatağının taşkın taşıma kapasitesinin belirlenmesi. 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 170-179. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 3873325).
- Demir, F., Sönmez, O., Doğan, E., Spor, P. (2017). İznik Gölü su seviyesindeki değişimin meteorolojik verilerle incelenmesi. 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 1091-1099. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 3873443).
- Demir, F., Sönmez, O. (2017). Ağva ilçe merkezine ait taşkın yayılım haritalarının ve mevcut binaların taşkın su seviyelerinin tespiti. SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(2), 105-112. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.296826> (Yayın No: 3873051).
- Sönmez, O., Demir, İ. H., Demir, F., Dobrucalı, E. (2017). Determination of flood inundation areas and assessment of flood hazard costs in urban settlements: A case study of Ağva. Journal of Environmental Protection and Ecology, 18(2), 509-523. (Yayın No: 3873216).