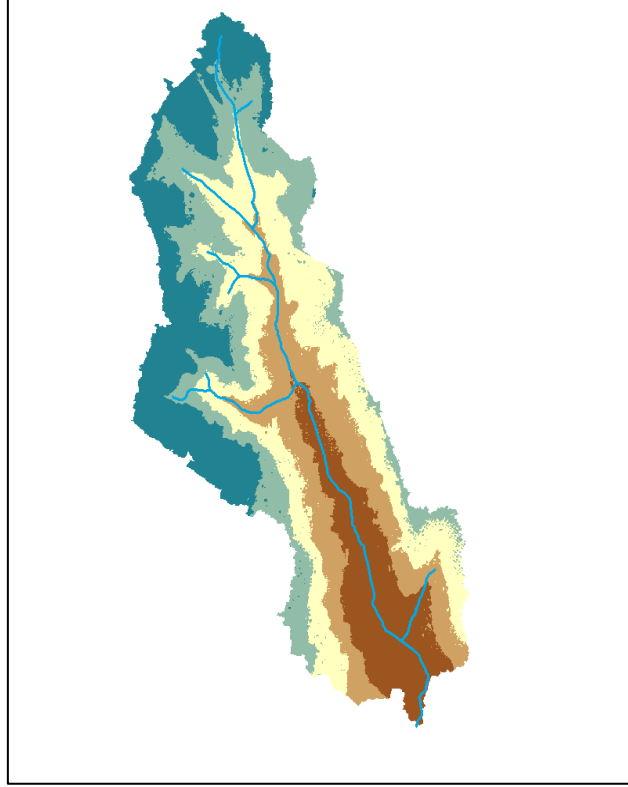




ESENYURT İLÇESİNDE TAŞKIN MODELLEME VE RİSK AZALTMADA DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLERİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÖNETİCİ ÖZETİ



Mustafa Kemal Mahallesi, 2124. Sokak, No:22-6

Çankaya / ANKARA

ESENYURT İLÇESİNDE TAŞKIN MODELLEME VE RİSK AZALTMADA DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLERİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÖNETİCİ ÖZETİ

İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı, Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme
Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü

tarafından Yüklenici

SUMODEL Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti. Firmasına hazırlattırılmıştır.

Her hakkı saklıdır.

Bu doküman ve içeriği Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğünün izni alınmadan
kullanılamaz ve çoğaltılamaz.

DEPREM VE ZEMİN İNCELEME MÜDÜRLÜĞÜ

MÜDÜR

KEMAL DURAN

MÜDÜR YARDIMCISI

Gülçin TÜRKKAN KARAOĞLU

KONTROL TEŞKİLATI

Gülçin TÜRKKAN KARAOĞLU	Jeoloji Yük. Mühendisi
Esra FİTOZ	Jeoloji Mühendisi
İskender AKMEŞE	Jeoloji Mühendisi

PROJE GRUBU

SUMODEL MÜHENDİSLİK VE MÜŞAVİRLİK LTD. ŞTİ.

Egemen FIRAT	Proje Müdürü
Görkem ÖNDER	Deneyimli Uzman
Buse ÖZER	Şehir Plancısı

DANIŞMAN

ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Doç. Dr. Koray K. YILMAZ	Jeoloji Mühendisi
--------------------------	-------------------

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	5
1. GİRİŞ	12
1.1. Proje Anlayışı ve Yaklaşım	12
1.2. Projenin Kapsamı.....	12
1.3. Proje Kapsamında Yapılan Çalışmalar	13
2. HAVZANIN TANITIMI	15
3. MEVCUT VERİLERİN DÜZENLENMESİ VE VERİ ALTILIKLARININ HAZIRLANMASI	18
4. TOPRAK KAYNAKLARI.....	20
5. HAVZANIN JEOLJİSİ VE ÇEVRESEL DURUM	23
6. HİDROMETEOROLOJİK BİLGİLER	24
6.1. Hidroloji ve Hidrojeoloji	24
6.1.1. Hidroloji	24
6.1.2. Hidrojeoloji	26
7. TAŞKIN ENVANTERİ.....	28
8. CBS TABANLI KENTSEL TAŞKIN ALTILIK HARİTALARININ ANALİZLERİ 30	
8.1. Taşkın Modellemesinde Harita Çalışmaları	31
8.1.1. Saha Çalışması	31
8.1.2. Model İçin Gerekli Veriler	32
8.1.3. Bina Verisi.....	33
9. MODELLENECEK DERE AĞININ GEOMETRİSİ	34
9.1. Haramidere Uygulama-İslah Projeleri	34
9.2. Daha Önce Yapılan Harita Çalışmalarının İrdelenmesi	36

9.3. Yerinde Yapılan Çalışmalar.....	36
9.3.1. Kesitler ve Sanat Yapıları.....	38
10. DERE AĞI GEOMETRİSİ.....	42
11. HİDROLOJİ ÇALIŞMALARI KAPSAMINDA TEMİN EDİLEN VERİLER.....	44
11.1. Meteorolojik Veriler	44
11.1.1. Yağış.....	45
11.1.2. Sıcaklık.....	45
11.1.3. Günlük Toplam Açık Yüzey Buharlaşması	46
11.1.4. Nisbi Nem	46
11.2. Hidrolojik Veriler	46
11.2.1. Hidrolojik Yapılar	46
11.2.2. Akım Gözlem İstasyonları	46
12. YAĞIŞ VERİLERİNİN ANALİZLERİ	48
12.1. Homojenlik Analizleri	48
12.1.1. Homojenlik Test Sonuçları.....	49
12.2. Trend Analizleri.....	50
13. HİDROLOJİ ÇALIŞMALARI	52
13.1. Çalışma Metodolojisi.....	52
13.1.1. Klasik Yöntemler	52
13.1.2. Hidrolojik Model Kurulumu	52
13.2. Modellenen Dere Ağının Belirlenmesi	53
13.3. Hidrograf Noktaları.....	55
13.4. Klasik Yöntem Hesaplamaları	56
13.4.1. Taşkın Tekerrür Debileri ve Hidrograflar	56
13.5. Hidrolojik Model Çalışmaları	56
14. HİDRODİNAMİK MODELLEME ÇALIŞMALARI.....	58
14.1. Hidrolik Modelleme Girdileri	59

14.2. Taşkın Tehlike Haritalarının Oluşturulması	59
15. TAŞKIN MODEL SONUÇLARI.....	60
15.1. 1 Boyutlu Model Sonuçları.....	60
15.2. 2 Boyutlu Model Sonuçları (Taşkın Derinlik ve Tehlike Haritaları).....	62
16. TAŞKIN RİSK HARİTASI ÇALIŞMALARI.....	65
16.1. Taşkın Risk Elemanları ve Taşkın Risk Haritası Çeşitleri	65
16.2. Ekonomik Risk Alanları	66
16.3. Nüfus Risk Alanları	68
16.4. Sosyal Sıcak Noktalar ve Risk.....	68
16.5. Tarımsal Alanlardaki Ekonomik Zararlar	68
17. RİSK HARİTALARI.....	69
17.1. Yapısal Risk.....	69
17.2. Nüfus Riski	72
18. BEKLENEN YILLIK ORTALAMA ZARAR.....	74
19. FİNAL TAŞKIN RİSK HARİTALARI	75
20. TAŞKIN ÖNCESİ ÖNLEMLERİ	77
20.1. Yapısal Önlemler	78
20.2. Yapısal Olmayan Önlemler	79
20.3. Doğal Önlemler.....	80
21. HAVZA ÖZELİNDE SEÇİLEN DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLER	86
21.1. Yağmur Suyu Hasadı (<i>Rainwater Harvesting</i>).....	87
21.2. Sızdırma Alanları (<i>Infiltration Basins</i>).....	88
22. DOĞA TABANLI ÇÖZÜM ÇALIŞMALARI.....	90
22.1. Proje İçin İzlenen Yöntembilim.....	90
22.1.1. Mevcut Durum	91

22.1.2.	Birinci Senaryo.....	92
22.1.3.	İkinci Senaryo	94
22.1.4.	Üçüncü Senaryo	96
22.2.	Doğa Tabanlı Çözüm Senaryolarının Pik Debi Üzerindeki Etkisi	99
22.3.	Taşkın Hidrograflarının Oluşturulması.....	103
22.4.	Senaryoların Değerlendirilmesi	103
22.5.	Seçilen Senaryo ve Mevcut Durumun Karşılaştırılması	105
23.	TAŞKIN SIRASINDA YAPILACAKLAR	108
23.1.	Taşkın Tahliye Haritaları	108
24.	TAŞKIN SONRASINDA YAPILACAK ÇALIŞMALAR.....	109
25.	YAPAY ZEKÂ VE ŞEHİR TAŞKINLARI İLİŞKİSİ	110
26.	KURAKLIK VE TAŞKIN İÇİN DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLERİN ÇOK AMAÇLI OLARAK DEĞERLENDİRMESİ.....	115
27.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	117

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2-1 Esenyurt İlçesinin Konumu ve Havza Sınırları Dahilindeki Mahalleler	15
Şekil 2-2 Haramidere Havzasındaki Ekonomik Açından Önemli Alanlar	17
Şekil 3-1 Haramidere Havzası Dere Ağı.....	19
Şekil 4-1 Haramidere Havzası Arazi Kullanımı Haritası (İBB, Şehir Planlama Müdürlüğü)	20
Şekil 4-2 2000 ve 2021 Yılı NDVI Değerleri ve Ortalaması	22
Şekil 5-1 Haramidere Havzası Jeoloji Haritası (DEZİM, 2017)	23
Şekil 6-1 DEZİM (2020) Tarafından Hazırlanan Hidrojeolojik Ortamlar Haritası	27
Şekil 7-1 Esenyurt Belediyesi ile Yapılan Toplantıdan Görsel.....	28
Şekil 7-2 Geçmişte Yaşanan Taşkınların Lokasyonları	29
Şekil 8-1 Dere İçi Harita Alım Çalışmaları.....	31
Şekil 8-2 Örnek Röleve	32
Şekil 8-3 Saha Çalışması Örnek Resimleri	32
Şekil 8-4 Yapı Verisi.....	33
Şekil 9-1 Haramidere Üzerinde Planlanan Dere Islahına Ait Tip Kesit Örneği	34
Şekil 9-2 Haramidere ve Yankollara Ait Mevcut, Planlanan Dere Islahı (İSKİ) ve Kesitler- Sanat Yapıları.....	35
Şekil 9-3 Haramidere Havzası Kesit ve Röleve Alım Noktaları.....	37
Şekil 9-4 En Kesit Alım Çalışmalarından Örnek Görüntüler	38
Şekil 9-5 En Kesit Alım Noktası Örneği.....	39
Şekil 9-6 Devesemeri Deresi En Kesit Örneği (Model Görüntüsü, 5, 725.2 Kesiti)	40
Şekil 9-7 Devesemeri Deresi Röleve Örneği (5S6-C Kesiti).....	40
Şekil 9-8 Model İçin Oluşturulan Sayısal Yükseklik Modeli	41
Şekil 10-1 Haramidere Havzası Kesit Noktaları	42
Şekil 10-2 Haramidere Havzası Sanat Yapıları.....	43
Şekil 11-1 Haramidere Havzası Çevresinde Bulunan Meteoroloji Gözlem İstasyonları....	45
Şekil 11-2 Haramidere Havzası Çevresinde Bulunan Akım Gözlem İstasyonları.....	47
Şekil 12-1 Meteoroloji Gözlem İstasyonları Yağış Verisi Homojenlik Durumu.....	50
Şekil 12-2 Meteoroloji Gözlem İstasyonları Yağış Verisi Trend Durumu	51
Şekil 13-1 Haramidere Havzası Modellenen Dere Ağı.....	54
Şekil 13-2 Haramidere Havzası Çalışma Yapılan Dereler ve Hidrograf Noktaları	55

Şekil 14-1 MIKE Flood Model Oluşturma Aşamaları	58
Şekil 15-1 Haramidere Q_{1000} 1 Boyutlu Model Boy Profili	61
Şekil 15-2 Haramidere Mansabı Q_{1000} Taşkın Derinlik Haritası (m).....	63
Şekil 15-3 Haramidere Mansabı Q_{1000} Taşkın Tehlike Haritası.....	64
Şekil 17-1 Haramidere Mansabı 1000 Yıllık Taşkın Tekerrür Debisi Risk Haritası	70
Şekil 17-2 Haramidere Mansabı 1000 Yıllık Taşkın Tekerrür Debisi Ekonomik Zarar (TL) Haritası	71
Şekil 17-3 Haramidere Ana Kolu 1000 Yıllık Taşkın Tekerrür Debisi Nüfus Riski Haritası	73
Şekil 19-1 Haramidere Mansabı 1000 Yıllık Taşkın Tekerrür Debisi Final Risk Haritası	76
Şekil 20-1 Taşkın Azaltmada Uygulanan Yapısal Önlemler	78
Şekil 20-2 DTÇ Teriminin Kullanılmasının Zaman Çizelgesi (Somarakis, G. vd., 2019). 81	
Şekil 20-3 Su Sızdırma ve Geciktirme Yönetimi için DTÇler (Bridges, T.S. vd., 2021'den uyarlanmıştır).	84
Şekil 21-1 Yağmur Suyu Hasadı ve Bileşenleri (https://www.treehugger.com/ 'dan uyarlanmıştır)	88
Şekil 21-2 Şehir İçinde Taşkın Önleme Amacıyla İnşa Edilmekte Olan Bir Sızdırma Alanı (https://en.wikipedia.org/wiki/Infiltration_basin)	89
Şekil 22-1 Doğa Tabanlı Çözümlerin Değerlendirilmesinde İzlenen Akış Şeması	90
Şekil 22-2 Haramidere Ana Kolu Mevcut Durum ve Doğa Tabanlı Çözümlerin Uygulamaları Sonrasında Q_{100} Taşkın Derinlik Haritası (m).....	107
Şekil 23-1 Haramidere Mansabı Taşkın Tahliye Haritası	108
Şekil 24-1 İyileştirme Faaliyetleri Akış Şeması.....	109
Şekil 25-1 Taşkın analizlerinde sıklıkla kullanılan yapay zekâ algoritmaları (Yan vd. 2023)	111
Şekil 25-2 Bir Yapay Zekâ Modeli Kurulumunun Genelleştirilmiş Akış Şeması (Yan vd. 2023).....	112
Şekil 25-3 2018-2021 Yılları Arasında Yayınlanan Doğal Afetlerde Yapay Zekâ Kullanımını İçeren Makale Yüzdeleri (Kuglitsch,M. vd.2022)	113

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3-1 Haramidere Havzası Akarsu Sınıflarına Göre Dere Ağı Uzunluğu	18
Tablo 12-1 Meteoroloji Gözlem İstasyonları Yağış Verisi Genel İstatistikler	48
Tablo 13-1 Taşkın Tekerrür Debileri Hesap Özet Tablosu.....	56
Tablo 13-2 Rasyonel Metot ve Hidrolojik Model Karşılaştırması.....	57
Tablo 13-3 Saatlik Ekstrem Verilerle Kurulan Hidrolojik Model Sonuçları	57
Tablo 17-1 Haramidere Mansabı Risk Hesaplamaları Sonuçları.....	69
Tablo 18-1 Beklenen Yıllık Ortalama Zarar	74
Tablo 22-1 Haramidere Havzası CN Değerleri.....	91
Tablo 22-2 Mevcut Durum ve Birinci Senaryo CN Değerlerinin Karşılaştırılması	93
Tablo 22-3 Mevcut Durum ve İkinci Senaryo CN Değerlerinin Karşılaştırılması	95
Tablo 22-4 Mevcut Durum ve Üçüncü Senaryo CN Değerlerinin Karşılaştırılması	98
Tablo 22-5 Birinci Senaryo Sonucunda Elde Edilen Pik Debinin Mevcut Duruma Göre Değişimi (%)	100
Tablo 22-6 İkinci Senaryo Sonucunda Seçilen Alt Havzalar İçin Elde Edilen Pik Debinin Mevcut Duruma Göre Değişimi (%).....	101
Tablo 22-7 Üçüncü Senaryo Sonucunda Seçilen Alt Havzalar İçin Elde Edilen Pik Debinin Mevcut Duruma Göre Değişimi (%).....	102
Tablo 22-8 Senaryolara Göre Haramidere Havzası Bütünündeki Debi Değişimi (%)	103
Tablo 22-9 Üçüncü Senaryo ve Mevcut Durumun Alansal Karşılaştırması.....	105
Tablo 22-10 Üçüncü Senaryo ve Mevcut Durumun Derinlik Karşılaştırması.....	106

1. GİRİŞ

1.1. Proje Anlayışı ve Yaklaşım

İstanbul il alanını etkileyebilecek jeolojik, iklimatik, biyolojik, sosyal veya teknolojik yıkıcı afetlerden (deprem, tsunami, su baskını, taşkın ve sellenmeler, kuraklık, heyelan, toprak kayması ve kaya düşmesi, çığ, fırtına, tasman vb.) zarar görmesi olası alt yapının, üst yapının, il genelinde yaşayan insanların ve diğer kent bileşenlerinin tespit edilmesi, öncelikle tehlikelerin ve risklerin analiz edilmesi, risk azaltma çalışmaları ile alınabilecek tedbirlerin tespiti; 7269, 3194, 5393, 5216 ve 6306 sayılı yasalar ve ilgili mevzuat gereği yerel yönetimlerin yasal sorumlulukları arasında tariflenmektedir.

Tüm dünyada etkileri gözlenen iklim değişikliği sebebiyle, özellikle Marmara Bölgesi'nde, son yıllarda yağışların hızlı nüfus artışı ve plansız yapılaşmanın da etkisiyle daha fazla afete sebep olduğu görülmektedir. Bu nedenle, İstanbul ilinde sel/taşkın/su baskını afet risklerinin belirlenmesi, bu risklerin çeşitli koşullar altında sebep olacağı potansiyel tehlikelerin analizleri ve farklı yağış ve iklim koşullarına bağlı afet senaryolarının üretilmesi, imar planına esas hazırlanan yerleşime uygunluk haritaları ile entegrasyonu, uygun ve sürdürülebilir çözüm önerilerinin aranması gibi temel amaçlara dayalı çalışmaların yapılması kaçınılmaz olmuştur.

1.2. Projenin Kapsamı

Yerel yönetim sorumluluklarını da gözeterek, son yıllarda birkaç kez taşkın gelişmiş, özellikle 2020 yılı Haziran ayında can kaybına yola açan bir taşkın olayının gerçekleştiği, Esenyurt ilçesi pilot bölge seçilmiştir.

Planlanan proje ile, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin, İstanbul Su ve Kanalizasyon İDARESi (İSKİ), Park, Bahçe ve Yeşil Alanlar Dairesi Başkanlığı, Yol Bakım ve Altyapı Koordinasyon Daire Başkanlığı, Fen İşleri Dairesi Başkanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemi Şube Müdürlüğü gibi çeşitli birimlerine ait veriler ile proje kapsamında üretilecek verilerin koordinasyonu ile burada yapılacak bütüncül, kapsamlı ve dinamik taşkın analiz ve model çalışmaları ile sürdürülebilir bir risk analizi ve yönetimi amaçlanmaktadır. Yapılan çalışmalar bilhassa, sınırlı bir alanda, küçük ölçekli, detaylı bir çalışma olarak planlanmış

olup, yüksek çözünürlüklü uydu verileri ve saha gözlemleri ile tüm sanat yapıları, havzanın jeolojisi, eğimi, morfolojisi, drenaj ağı ve havzayı oluşturan litolojik birimlerin geçirimsizlik ve gözeneklilik özellikleri gibi havzanın tüm detay özellikleri titizlikle incelenip, bölgenin karakteristik özelliklerine mahsus doğa tabanlı çözüm önerileri üretilmiştir. Üretilen çözüm önerileri oluşturulan taşkın modeline entegre edilip, uygulandığı takdirde taşkın riski üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Proje kapsamında oluşturulan risk yönetim planı sayesinde sel ve taşkın afetlerine dayanıklı kentsel planlama ve kentsel gelişmenin sağlanması, afetlerin önceden tahmin edilmesi ve doğa tabanlı çözümlerin çeşitli modellemelerle etkisinin ortaya konulması sayesinde risklerin önlenmesi ve/veya azaltılması, maruziyetin ve kırılganlığın önlenmesi ve/veya azaltılması, toplumun bu afetlere karşı güvenli ve sağlıklı bir şekilde yaşaması, afet, toplum ve gelecek odaklı aynı zamanda sürdürülebilir kentsel planlama ve kentsel dönüşüm gibi sonuçlara ulaşılmıştır. Ayrıca bu projenin beklenen çıktılarından biri olan dinamik taşkın risk yönetimi sayesinde, proje bitiminde bir sonraki adım olarak ekosistemin ve doğal çevre dokusunun korunabildiği sürdürülebilir ve bütünleşik bir afet yönetim planı oluşturulmuştur.

1.3. Proje Kapsamında Yapılan Çalışmalar

Hızlı nüfus artışı ve yoğun yapılaşma nedeniyle oluşan geçirimsiz yüzeyler ile infiltrasyon ve buharlaşmanın doğal dengesinin bozulduğu İstanbul ilinde risklerin azaltılması ve yönetilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü bünyesinde, Esenyurt İlçesini de içine alan Haramidere havzasında gerçekleştirilecek olan “Esenyurt İlçesinde Taşkın Modelleme ve Risk Azaltmada Doğa Tabanlı Çözümlerin Uygulanabilirliğinin Araştırılması” projesi:

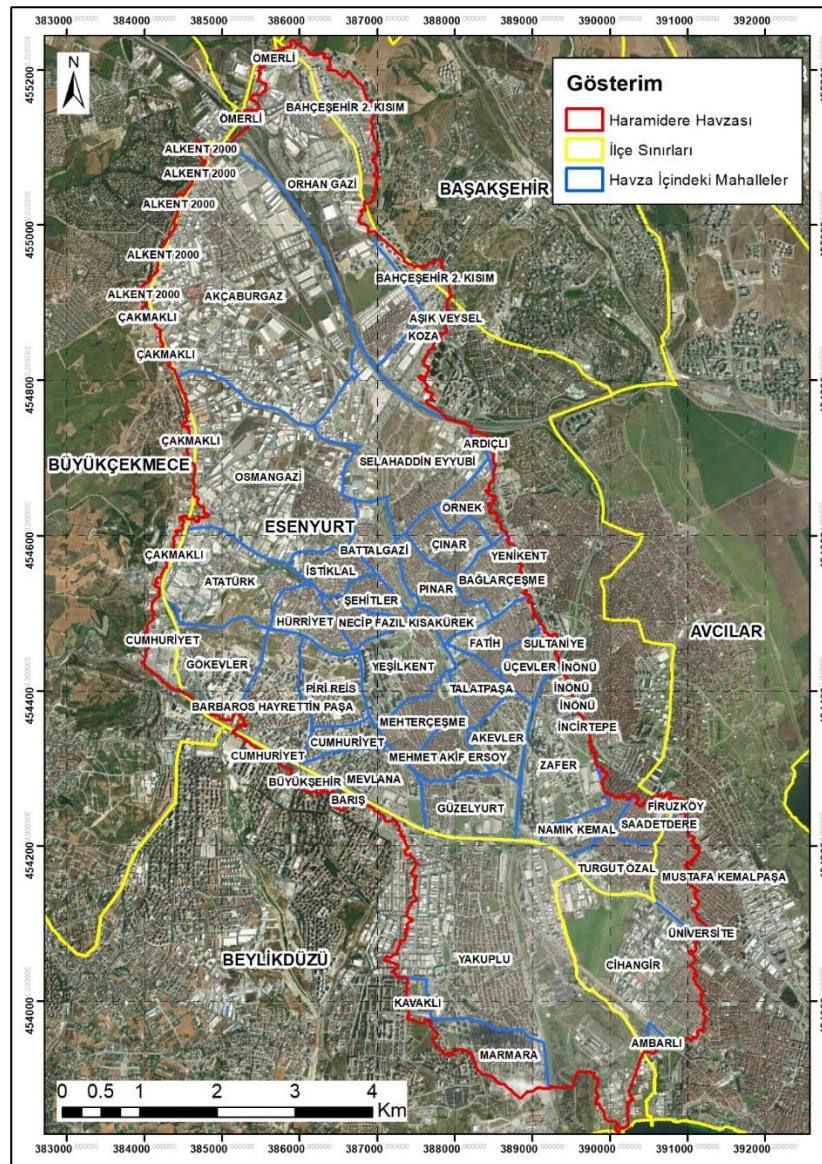
- hidrolojik süreçleri etkileyecek fiziksel özellikler (geçirimsizlik, eğim, birimlerin hidrojeolojik özellikleri vb) göz önünde bulundurularak, taşkın hidrograflarının hesaplanması,
- taşkın modeli ve simülasyonunun oluşturulması,
- sel/taşkın afet risklerinin belirlenmesi,
- farklı yağış ve iklim koşullarına bağlı afet senaryolarının üretilmesi,

- önlem ve zarar azaltıcı uygulamaların - özellikle doğa tabanlı sürdürülebilir drenaj sağlayan uygulamaların- araştırılması ve
- çalışma alanına uygun olan senaryoların taşkın riskini azaltma kabiliyetinin incelenmesi

konularını kapsamaktadır.

2. HAVZANIN TANITIMI

Esenyurt İlçesinin doğusunda Avcılar ilçesi, batısında Büyükçekmece ilçesi, kuzeyinde Başakşehir ve Arnavutköy ilçesi, güneyinde Beylikdüzü ilçesi ile sınır olup havza sınırı ve mahalle sınırı vektör verilerinden yapılan hesaba göre yaklaşık 43 km²'lik bir yüz ölçümüne sahiptir. Esenyurt İlçesi ve çalışma alanındaki mahalleler Şekil 2-1 ile gösterilmiştir.



Şekil 2-1 Esenyurt İlçesinin Konumu ve Havza Sınırları Dahilindeki Mahalleler

Haramidere Havzası olarak belirlenen alan Haramidere (Kapandık) Deresinin denize akaçlama noktasından başlayarak yan kollar dahil olacak şekilde yağış alanını temsil etmektedir. Bu yağış alanı çoğunlukla Esenyurt İlçesini içine almakla birlikte membasında Başakşehir; mansaba doğru, batı kısmında Büyükçekmece ve güneyde ise Beylikdüzü ve Avcılar İlçelerinin bir bölümünü de kapsamaktadır. Yaklaşık kuzey-güney yönlü olarak akan Haramidere Havzasının yağış alanı yaklaşık olarak 47.43 km²'dir.

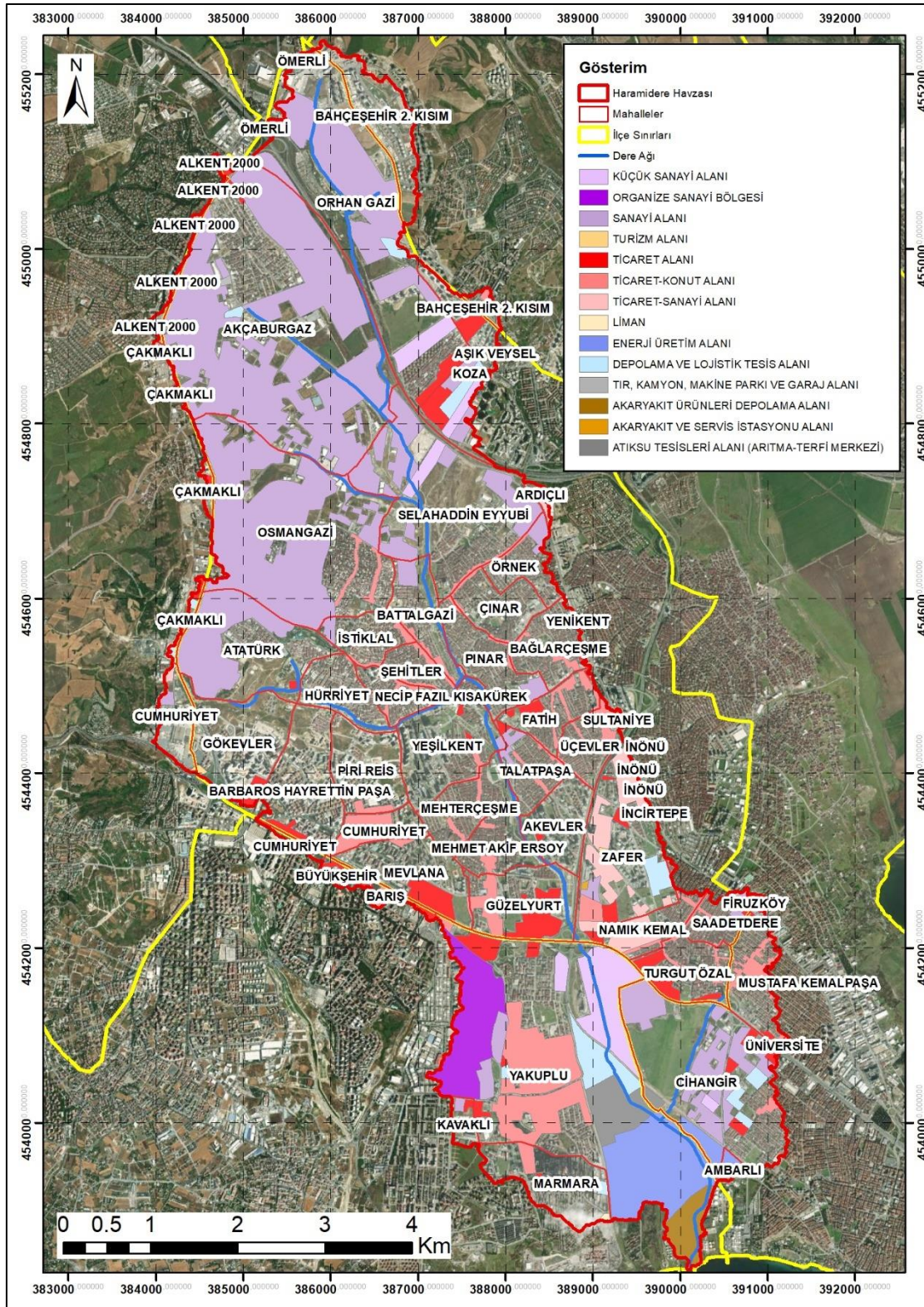
Esenyurt İlçesi için 2021 yılı TÜİK Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi'nden nüfus bilgileri elde edilmiştir (TÜİK, 2021). Buna göre 2021 yılı Esenyurt ilçe nüfusu 977.489'dur. 2021 yılı nüfusu 15.840.900 olan İstanbul il nüfusunun %6.17'sini oluşturmaktadır.

Temel olarak çözümlerin önerilebileceği ilçe olan Esenyurt sınırları içerisinde bulunan 25 adet sanayi tesisi tespit edilmiştir. Bunlardan küçük sanayi alanları yaklaşık 0.35 km² ve sanayi alanları yaklaşık 9.5 km² olmak üzere toplam yaklaşık 10 km²'lik bir alana sahiptir. Bu sanayi tesisleri havza alanının yaklaşık %21'ini kaplamaktadır. Şekil 2-2 incelendiğinde görüleceği üzere sanayi tesislerinin özellikle havzanın üst kotlarında (memba kısmında) ve yüzölçümü görece büyük olan Akçaburgaz, Orhan Gazi ve Osmangazi mahallelerinde yoğunlaşmaktadır. Üst kotlarda bulunan bu sanayi tesislerinin geçirimsiz yüzeyleri artırmak suretiyle alt kotlardaki taşkın riskine olası etkisi proje kapsamında incelenmiştir.

Haramidere Havzasında yoğun bir şehirleşme olduğu için tarım ve ormanlık alan miktarı oldukça azdır. Bulunan alanların büyük çoğunluğu havzanın memba kısmında Haramidere'nin başladığı bölgede bulunmaktadır. Tarım ve ormanlık alanlar yaklaşık olarak 1.62 km² bir alana sahip olup, havzanın %3.77'sini kaplamaktadır.

Havza sınırları içerisinde bulunan toplam 42 arazi kullanım alanından 40'ı eğitim alanı kalan 2 tanesi sağlık tesisidir. Bunlardan 28 tane eğitim alanı ve 1 adet sağlık tesisi Esenyurt İlçe sınırları içerisinde bulunmaktadır.

Arazi kullanım verisine göre havza içinde Esenyurt İlçesinde Üçevler Mahallesi'nde üst kotlarda 1 adet kültürel alan tespit edilmiştir. Esenyurt Belediyesi Kültür Merkezi olan bu alanın bulunduğu konum itibarı ile dere taşkınından etkilenmesi olası görünmemektedir. Havza sınırları içinde korunan alan bulunmamaktadır.



Şekil 2-2 Haramidere Havzasındaki Ekonomik Açıdan Önemli Alanlar

3. MEVCUT VERİLERİN DÜZENLENMESİ ve VERİ ALTLIKLARININ HAZIRLANMASI

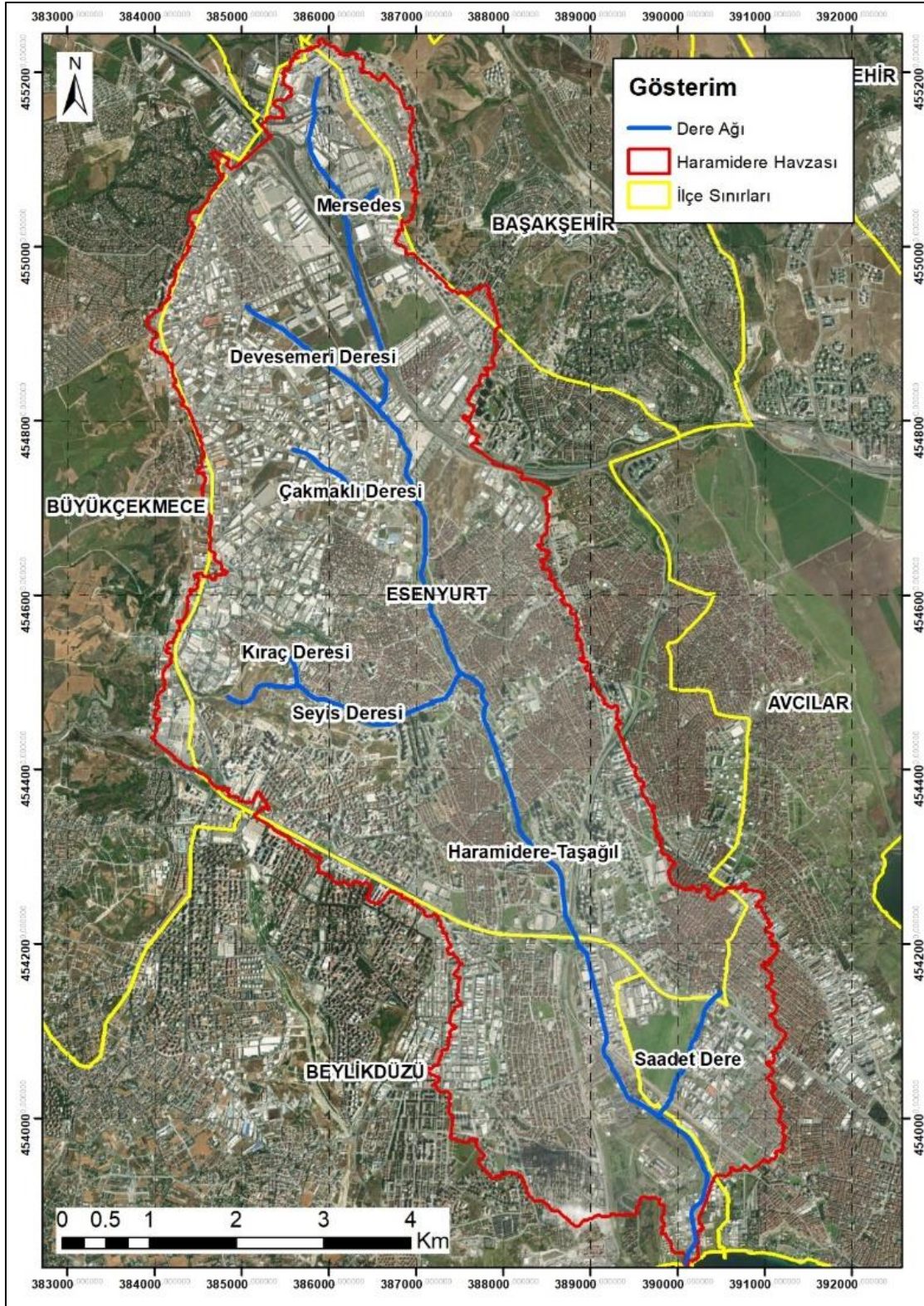
Bu çalışma kapsamında sunulan haritalar İdare tarafından proje kapsamında sağlanmış olan güncel raster ve vektör verilerin ITRF96 3°- 30 koordinat ve projeksiyon sisteminde işlenmesi ile hazırlanmıştır.

İdare tarafından firmamıza iletilen Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) tarafından 2022 yılında tamamlanan uçuşlardan elde edilen sayısal değerler uygun formata dönüştürülerek analize hazır hale getirilmiştir. Sonrasında ise bu veriler kullanılarak havza genelinde vektörel sayısal yükseklik modeli (SYM) olan düzensiz üçgenler ağı (TIN) oluşturulmuştur.

Hidrolojik araçlar kullanılarak çalışma yapılan havzanın drenaj alanı 2 km²'den büyük nehir alt havza alan sınırı ve akım yönünün belirlenmesiyle, Horton-Strahler yöntemine göre 3 adet akarsu sınıfı elde edilmiştir. İlgili dere ağı tespit edildikten sonra arazi çalışması ile önemli dere varlıklarının güncel durumu yerinde kontrol edilmiş ve güncel durumda dere yatağı olmayan çizimler çalışmadan çıkarılmıştır (Şekil 3-1). Şartname gereği Horton-Strahler sınıflamasına göre çalışılması gereken, yağış alanı 2km²'den büyük olan derelerin toplam uzunluğu yaklaşık 24.62 km'dir (Tablo 3-1).

Tablo 3-1 Haramidere Havzası Akarsu Sınıflarına Göre Dere Ağı Uzunluğu

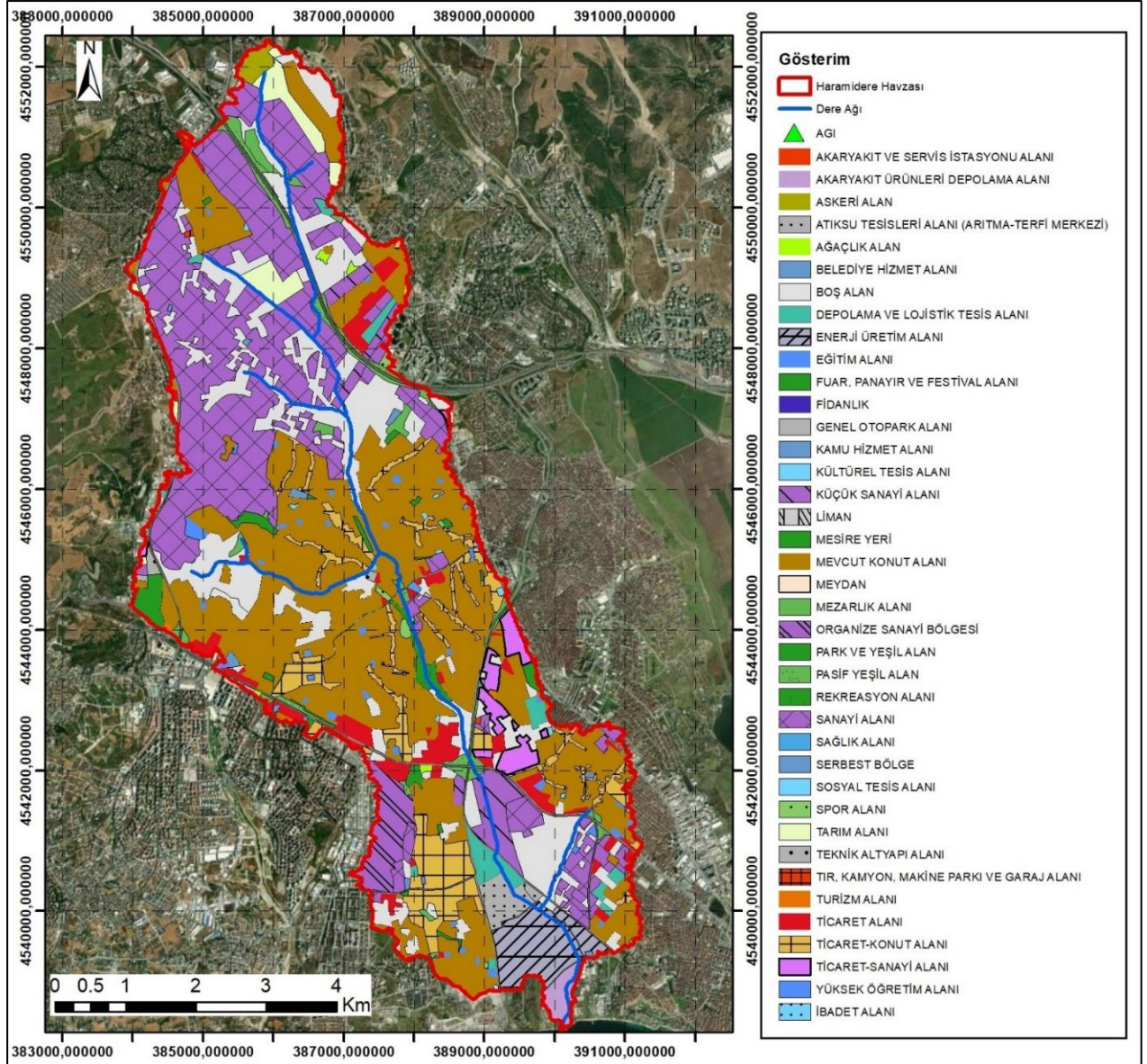
Akarsu Sınıfı (Yağış Alanı >2 km ²)	Toplam Uzunluk (km)
3	10.7
2	7.07
1	6.85
Toplam	24.62



Şekil 3-1 Haramidere Havzası Dere Ağı

4. TOPRAK KAYNAKLARI

Haramidere Havzası'na ait arazi kullanımı İdare tarafından sağlanan 2018 yılı arazi kullanım verisi kullanılarak detaylı olarak hazırlanmış ve Şekil 4-1 ile sunulmuştur. Arazi kullanımına ilişkin havza alanının çoğunluğunu %33.27 ile mevcut konut alanları oluşturmakta, ikinci sırada ise %22.83 ile sanayi alanları yer almaktadır.



Şekil 4-1 Haramidere Havzası Arazi Kullanımı Haritası (İBB, Şehir Planlama Müdürlüğü)

Havzanın Büyük Toprak Grupları'na (BTG) göre dağılımına bakıldığında genel alanın; %0.21'i Alüvyal Topraklar (A), %4.78'i Regosoller (L), % 2.61'i Kireçsiz

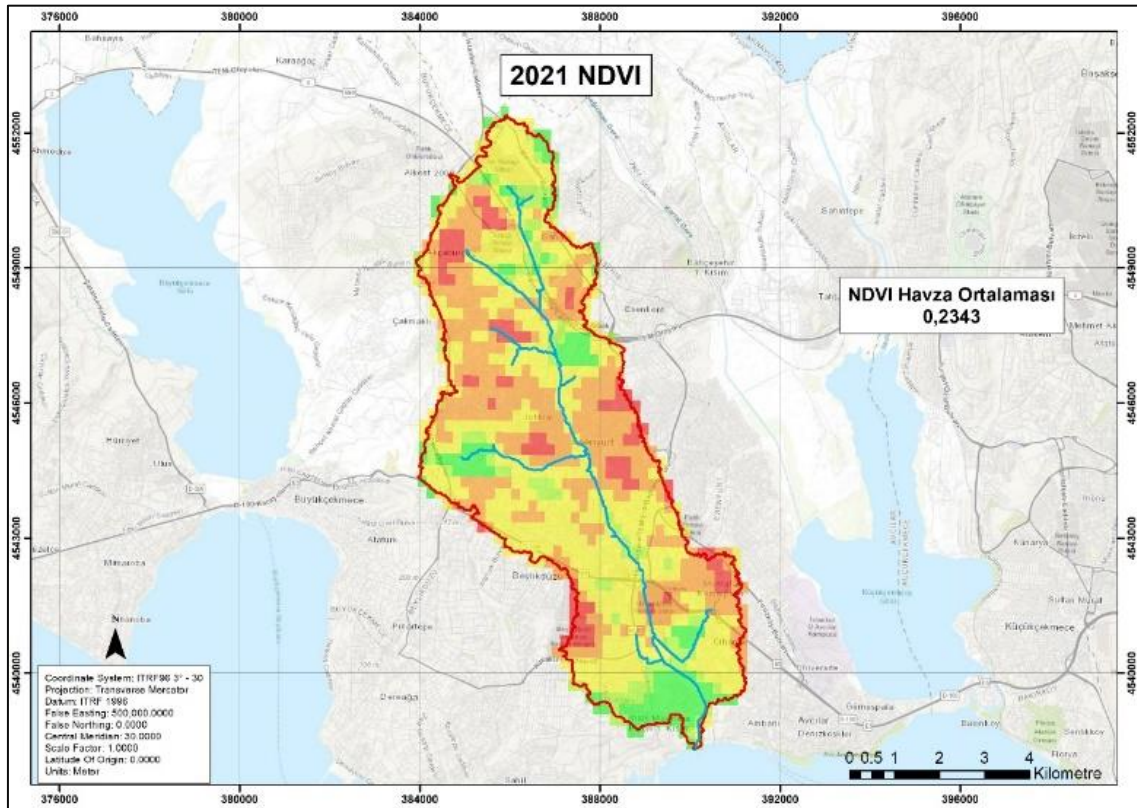
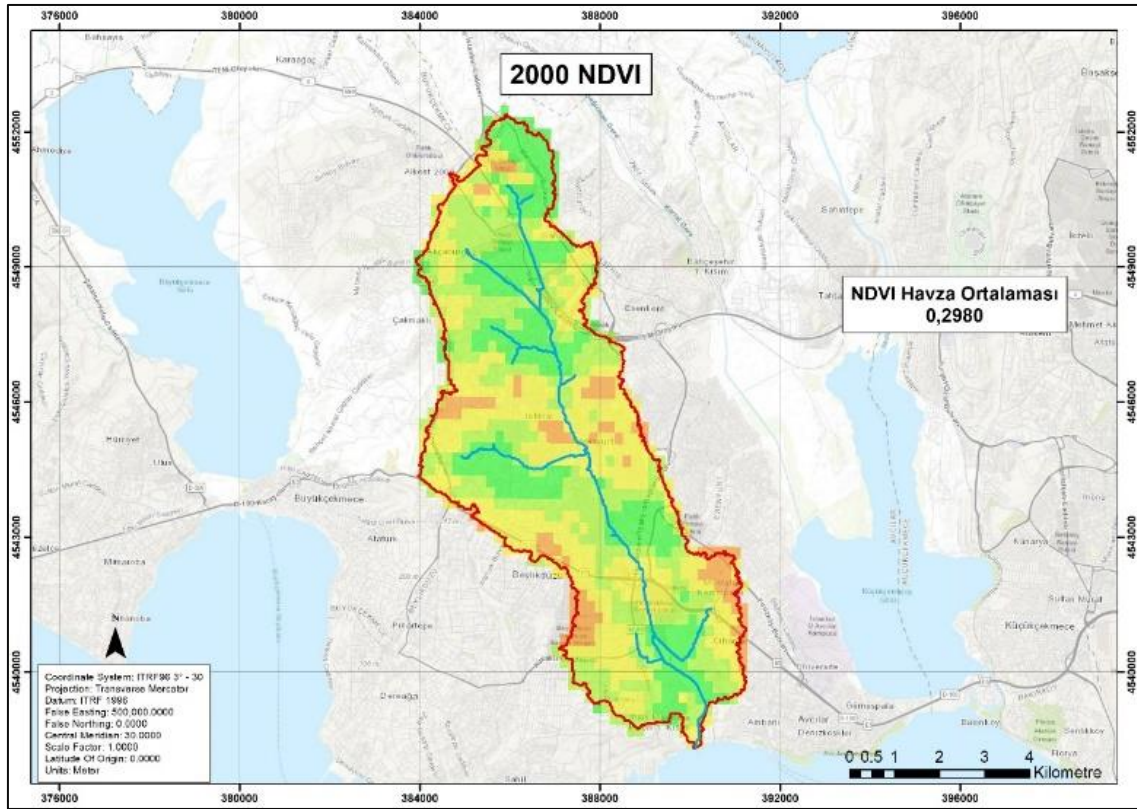
Kahverengi Orman Toprakları (N), % 11.35'i Rendzinalar (R), % 1.57'si Vertisoller ve geri kalan %79.47 alan arazi kullanımı olmayan alanlar olarak belirlenmiştir.

47.436 km² alana sahip olan Haramidere Havzası'nda 9.74 km² arazi varlığı (I, II, III, IV, VI ve VII toplamı) bulunmaktadır. Havza ile Mülga KHGM İl Envanter Raporları'ndan havzaya ait toprak verileri irdelenerek havzaya ait toprak haritaları elde edilmiştir (KHGM, 1984).

Erozyon düzeyi verileri havza bazlı olarak kestirilmiştir. Buna göre havzada çok şiddetli erozyon alanı 1.189 km², şiddetli erozyon alanı 6.742 km², orta şiddetli erozyon alanı 0.960 km² ve çok az şiddetli erozyon alanı 0.847 km² olarak tespit edilmiştir.

Proje kapsamında, bu yöntemler içinde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi'nin (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) değerlendirilmesi uygun görülmüştür.

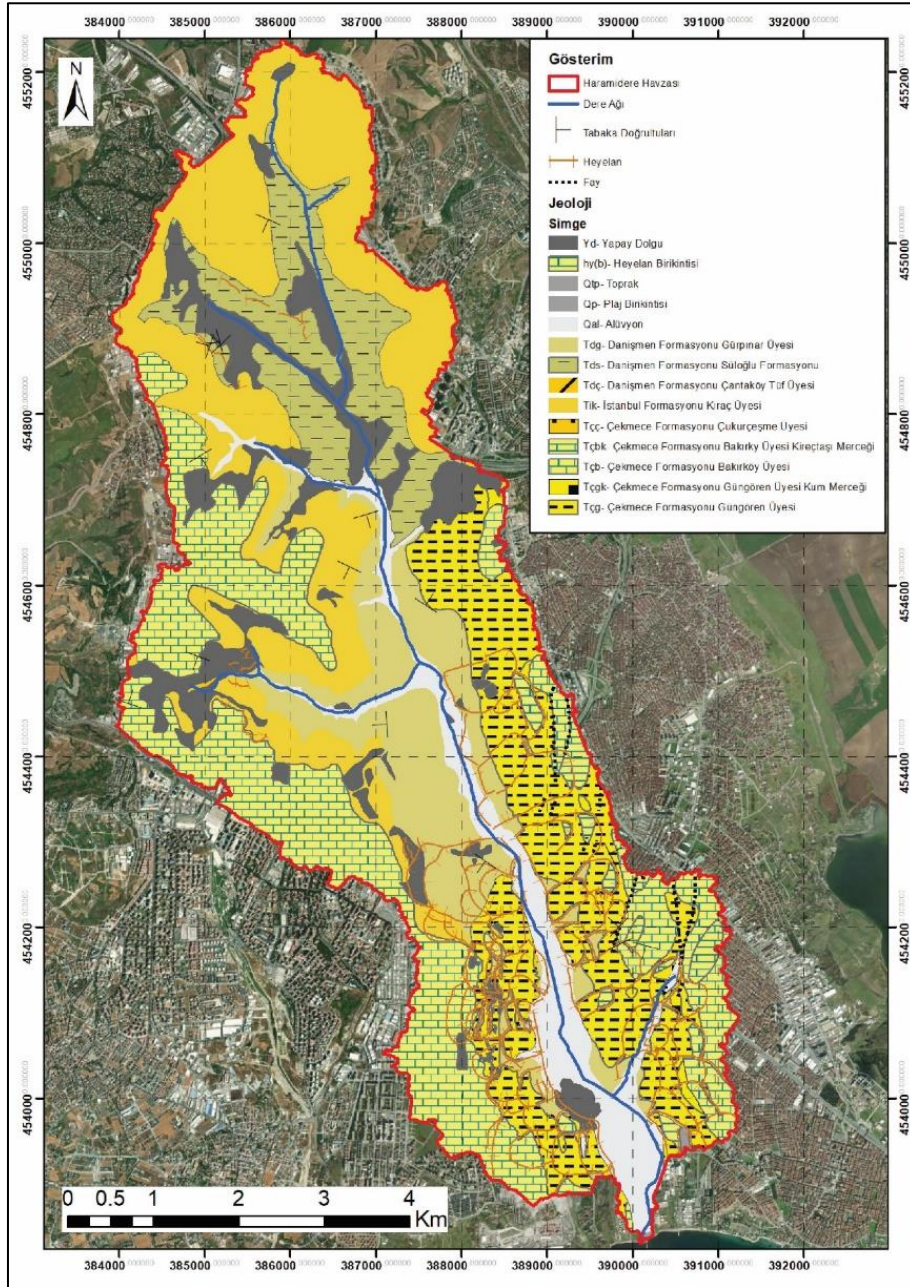
NDVI değerlerinde yeniden sınıflandırma yapılmamıştır. 0,15'ten büyük olan değerlerin bitkiseliliği ifade etmesi sebebiyle Şekil 4-2'de yeşil ve tonları ile gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi Haramidere Havzası'nda 2000 yılından günümüze bitki örtüsü ile kaplı alanlarda hızlı bir azalma mevcuttur.



Şekil 4-2 2000 ve 2021 Yılı NDVI Değerleri ve Ortalaması

5. HAVZANIN JEOLojİSİ VE ÇEVRESEL DURUM

Bu başlık altında İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından 2017 yılında hazırlanan İstanbul İli, "1/25.000 ölçekli Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüt Raporu" incelenmiştir (DEZİM, 2017). Bulgular Haramidere Havza sınırına indirgenerek, sunulmuştur. Buna göre havzada genellikle Kuvaterner ve Tersiyer yaşlı kayalar yoğunlukla yüzlek vermektedir (Şekil 5-1).



Şekil 5-1 Haramidere Havzası Jeoloji Haritası (DEZİM, 2017)

Taşkınlar yaygın bir doğal afettir ve doğa, taşkınlarla birlikte yaşamaktadır. Akarsular çeşitli sebeplerle yatağından taşarak insanlara yerleşim yerlerine, arazilere zarar vermektedir. Bunun yanında taşkınların çevre üzerinde de birçok olumsuz ve olumlu etkileri bulunmaktadır. Bu etkilerden havza içinde olumsuz olan kirlilik başlığına aşağıda değinilmiştir.

Taşkınların neden olduğu en önemli çevre sorunlarından biri de kirliliktir. Derenin mansap kısımlarında Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri bulunmaktadır. Derenin tesis içerisinden geçen kısmında beton u kesit kullanılarak ıslah edilmiştir. Yapılan arazi çalışmasında iletim borularından birinin görece alçak olduğu gözlenmiş ve olası bir malzeme taşınımı durumunda tıkanmaya ve taşkına sebebiyet verebileceği düşünülmüştür.

6. HİDROMETEOROLOJİK BİLGİLER

Esenyurt bölgesinde yazlar ılık, kurak ve açık; kışlar uzun, çok soğuk ve parçalı bulutlu ve hava yıl boyu rüzgarlıdır. Yıl içerisinde sıcaklık normalde 3°C ila 29°C arasında değişiklik gösterir ve nadiren -2°C altında ve 32°C üzerinde olur. 2012-2020 yılları arasında ortalama yağış değerleri incelendiğinde en düşük yağışın günlük 0.7 mm ile Ağustos ayında, en yüksek yağışın ise günlük 2.9 mm ile Ocak ayında gerçekleştiği görülmektedir. Ortalama günlük en yüksek yağış değerleri incelendiğinde ise Esenyurt ilçesinde en fazla yağışın Kasım ayında gerçekleştiği görülmektedir.

6.1. Hidroloji ve Hidrojeoloji

6.1.1. Hidroloji

Haramidere Ana Kolu

Haramidere Anakolu Esenyurt ve Beylikdüzü İlçeleri sınırları içerisinde kalmakta olup toplam uzunluğu 15.42 km'dir. Toplam havza alanı ise 5025.36 ha'dır. Dere Tem, E-5 gibi önemli ana arter yollardan, yoğun yapılaşma ve sanayi alanlarının içerisinde geçmektedir.

Haramidere Yankol – 1, Devesemeri, Çakmaklı, Esenyurt, Kıraç – Bağlar, Saadetdere ve Haramidere Yankol – 2 adlarında yedi adet tali kolu bulunmaktadır. Tüm havzaya yaygın olan karakteristik yapı bu kollar için de aynıdır.

Deve Semeri Kolu

Esenyurt İlçesi Akçaburgaz Mahallesi sınırlarında bulunan dere önemli endüstriyel ve sanayi yapılarının içerisinde geçmektedir. Derenin tamamı ham dere olup uzunluğu 2.14 km’dir.

Çakmaklı Kolu

Esenyurt İlçesi Akçaburgaz Mahallesi’nde bulunan Trimland Fabrikası’nın önünden kapalı olarak başlamaktadır. Yaklaşık olarak 0.65 km kapalı devam eden dere İstiklal Mahallesi sınırlarında ham dere olarak akmaktadır. Derenin anakola bağlandığı kısmın yaklaşık 370 m’sinin trapez kanal olarak ıslahı yapılmış olup toplam uzunluğu 2.07 km’dir.

Esenyurt Kolu

Esenyurt İlçesi Örnek Mahallesi Ula Beton Fabrikası’nın içerisinde kapalı olarak başlayan derenin tamamen ıslahı yapılmıştır. Membasından itibaren 1.14 km kapalı devam etmektedir. Yerleşim alanından geçtiği kısımlarda ise trapez kanal olarak inşa edilmiştir. Derenin sadece anakola bağlandığı kısım ham dere olup toplam uzunluğu 1.64 km’dir.

Kıraç - Bağlar Kolu

Esenyurt İlçesi Atatürk Mahallesi sınırlarından ham dere olarak başlayan dere Haramidere’nin en önemli yan kollarından biridir. Yoğun yerleşim içerisinde geçen derenin 2.7 km’sinin ıslahı trapez kanal olarak tamamlanmış olup toplam uzunluğu 3.44 km’dir.

Saadet Dere

Avcılar İlçesi Cihangir Mahallesi Koska Helva Fabrikası’nın yanından kapalı olarak başlayan dere 75 m sonra ham dere olarak akmaktadır. Önemli sanayi yapılarının içerisinde

geçen dere, Haramidere – Ambarlı Yolu’ndan itibaren kapalı olarak devam ederek anakola bağlanmaktadır. Derenin toplam uzunluğu 1.64 km’dir.

Haramidere Yankol – 2

Beylikdüzü İlçesi Yakuplu Mahallesi sınırları içerisinde olan derenin tamamının ıslahı trapez kanal olarak tamamlanmıştır. Derenin toplam uzunluğu 0.84 km’dir.

2009 yılına ait bilgileri yukarıda sunulan dereler üzerinde yıllar içerisinde değişiklikler olmuştur. Bu proje kapsamında yapılacak olan modelleme çalışmalarında en güncel dere geometrisi ve bununla birlikte yakın zamanda uygulaması devam eden planlama projeleri de kullanılarak en güncel durum yansıtılacaktır.

6.1.2. Hidrojeoloji

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi tarafından 2020 yılında yayınlanan İstanbul İçme suyu ve Kanalizasyon Master Planı Hazırlanması İş Yeraltı Suyu Ara Raporu’ndan (İSKİ, 2020) edinilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

6.1.2.1. Akiferler

DSİ tarafından tamamlanan projeler (DSİ, 2016a; 2016b) kapsamında akiferlerin belirlenmesinde bu iki tanıma da önem verilmiştir. Buna göre Soğucak Formasyonu gibi geçirimsizliği yüksek fakat kullanımı kısıtlanmış olan birimler; Danişment Formasyonu gibi geçirimsizliği düşük olmasına rağmen, farklı amaçlar ile kullanılmakta olan kuyuların üzerinde yer aldığı birimler de akifer olarak tanımlanmıştır.

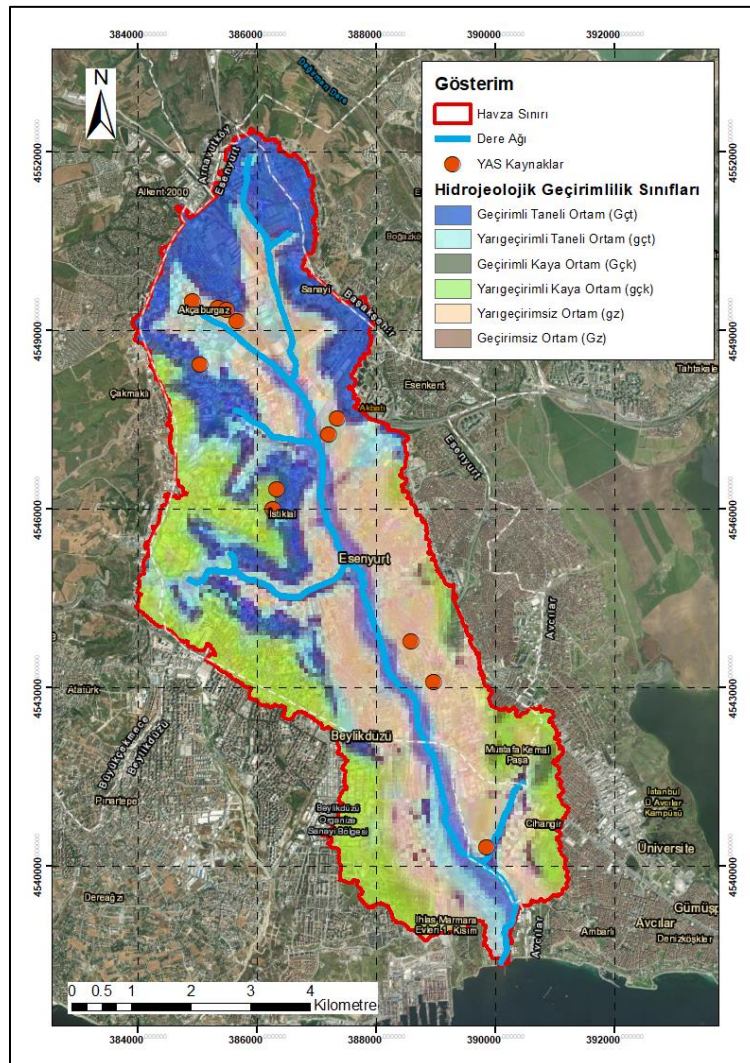
Çalışma sahasında yer alan akiferlerin tanımı İBB (2020) tarafından da gerçekleştirilmiştir. İBB (2020) akifer tanımını yaparken öncelikle jeohidrolik ortamların tanımına gidilmiştir. Buna göre litostratigrafik birimler, bir bütün halinde ya da bazı zonlarındaki farklı özellikleri nedeniyle kazandığı jeohidrolik karakteristikler sebebiyle geçirimsiz taneli/kaya ortam, yarı geçirimsiz taneli/kaya ortam, yarı geçirimsiz ve geçirimsiz ortam olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan jeohidrolik ortamlar, yayılımları ve birbirleriyle olan konumsal ilişkileri dikkate alınarak değerlendirilmiş ve akifer/akitard değerlendirmeleri yapılmıştır.

DSİ Tarafından Belirlenen Akiferler

- Alüvyon (Qal)
- Çekmece Formasyonu Bakırköy Üyesi (Tçb)
- Danişment Formasyonu Gürpınar Üyesi (Tdg)

İBB (2020) Projesi Kapsamında Belirlenen Akiferler

Hidrojeolojik ortamların tanımı yapılırken, öncelikle jeohidrolik ortamların tanımına gidilmiştir. Buna göre litostratigrafik birimler, bir bütün halinde ya da bazı zonlarındaki farklı özellikleri nedeniyle kazandığı jeohidrolik karakteristikler sebebiyle geçirimli taneli/kaya ortam, yarı-g geçirimli taneli/kaya ortam, yarı geçirimsiz ve geçirimsiz ortam olarak tanımlanmıştır (Şekil 6-1).



Şekil 6-1 DEZİM (2020) Tarafından Hazırlanan Hidrojeolojik Ortamlar Haritası

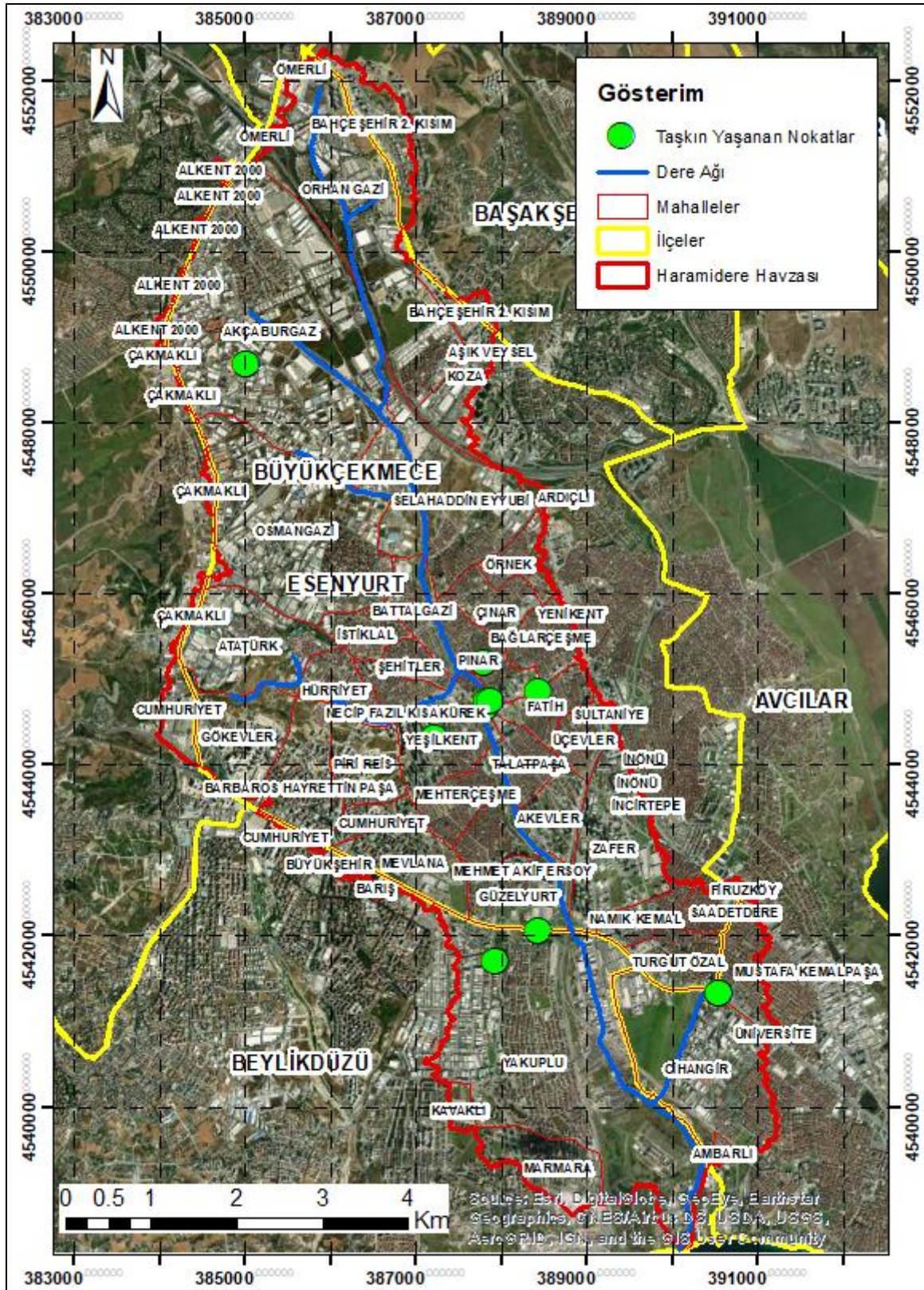
7. TAŞKIN ENVANTERİ

Havzada önceden yaşanmış taşkınların tespiti için öncelikle veri envanteri araştırılmış ve sonrasında ise çevrimiçi ortamda araştırma yapılarak envanterde olmayan taşkın noktaları belirlenmeye çalışılmıştır.

Esenyurt Belediyesi ile yapılan toplantıda (Şekil 7-1) ve gerekse arazi çalışmasında geçmiş taşkın olayları yaşanan noktalardan bazıları yerinde incelenmiş ve yetersizlikler irdelenmiştir. Özellikle Pınar mahallesinde Haramidere’yi kuşaklayan kanalın dirsek yaptığı bölge incelenmiş (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**) ve bu bölgede yakın zamanda yaşanan taşkın afetinin izleri yerinde görülmüştür. Bunlara göre, havzada yaşanmış olan 12 adet taşkın lokasyon bilgisi ile tespit edilebilmiştir (Şekil 7-2). Geçmişte yaşanan taşkınların çoğunluğunun Pınar mahallesinde olduğu bununla birlikte Akçaburgaz, Yeşilkent, Güzelyurt, Turgut Özal, Fatih mahallelerinde de meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 7-1 Esenyurt Belediyesi ile Yapılan Toplantıdan Görsel



Şekil 7-2 Geçmişte Yaşanan Taşkınların Lokasyonları

8. CBS TABANLI KENTSEL TAŞKIN ALTLIK HARİTALARININ ANALİZLERİ

Taşkın modelleme çalışmalarının yapılabilmesi ve tehlike-derinlik haritalarının üretilmesi için teknik şartnamede belirtildiği üzere Esenyurt İlçesi'nin Haramidere Havzasına dahil olan bölümünde;

Taşkın tehlike haritalarının ve taşkın risk haritalarının üretilmesinde il, ilçe merkezi ve nüfusu 2000 üzeri yerleşim yerleri merkezlerinde güncel (sözleşme tarihi itibarıyla İdare tarafından temin edilen en güncel veri ile çalışılacaktır) 1:2000 (varlığı halinde 1/1000 ölçekli), nüfusu 2000 altı yerleşim yerleri merkezlerinde ekonomik aktivite alanları ve tarım alanları vb. yerlerde 1:5000'den küçük ölçekli olmamak kaydıyla sayısal harita alımı yapılmıştır.

Modelleme yapılacak nehir ve dere güzergâhlarında; yerleşimin sıklaştığı yerlerde en az 50 metrede bir, yerleşimlerden uzaklaşılan dere membası, ekonomik aktivite alanları ve tarım alanlarında en çok 100 metrede bir dere yatağını temsil edecek şekilde enkesitler alınmıştır.

Dere içi ve dışındaki harita alımı noktaları kullanılarak sayısal üçgen model oluşturulmuştur. Dere yatağında kesit noktaları, bu iş kapsamında hazırlanarak kullanılan üçgen modele "Triangulated Irregular Network-TIN, sayısal yükseklik modeli SYM-DEM" esas teşkil edecek şekilde koordinatlandırılmıştır.

Tüm en kesit alım çalışmalarında ikisi nehir ve dere güzergâhlarının başında ve sonunda olmak üzere en az üç enkesit alınmıştır.

Kesit daralması, kesit genişlemesi, geçiş yapıları, su biriktirme yapıları, su çevirme yapıları, eğim değişikliği vb. mücbir noktalarda da ayrıca enkesitler alınmıştır.

Çalışma alanında yer alan ve akış üzerinde etki yaratan her türlü unsur, mühendislik ve sanat yapısı, yerinde röleve alınmak sureti ile 1:1000 ölçekli olarak haritalanarak, bu tür veriler ile ilgili her türlü detay İDARE'nin belirttiği ITRF96 UTM Zone 35 projeksiyonunda personal database (.mdb) formatında CBS ortamına aktarılarak teslim edilmiştir.

8.1. Taşkın Modellemesinde Harita Çalışmaları

8.1.1. Saha Çalışması

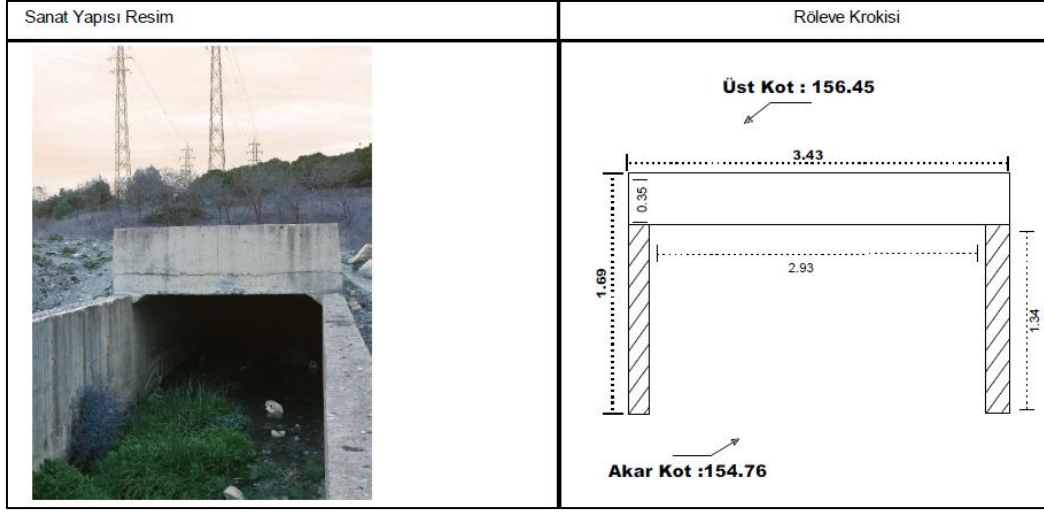
Bir modelleme çalışması gerçekleştirilmeden önce saha gezisi yapılması oldukça önemlidir. Çoğu zaman gerçek taşkına ait hidrografın elde edilmesi mümkün olmadığından, model kalibrasyon çalışmalarında kullanılacak verilerin arazideki gözlemlerden elde edilmesine çalışılır.

Yakın bir geçmişte gerçekleşmiş taşkına ait izler, olası taşkın yatağının yerinde tetkik edilmesi, doğal akışı engelleyebilecek unsurların tespiti, ana yatak ve çevresindeki bitki örtüsü durumu, ana yatak ve şev malzemeleri, yatağın genel eğimi vb. bilgiler yerinde yapılacak gözlemler ile tespit edilerek, söz konusu bilgiler elde edilirken yapılan önemli gözlemler koordinatlı olarak Şekil 8-1’de görüldüğü gibi fotoğraflandırılmıştır.



Şekil 8-1 Dere İçi Harita Alım Çalışmaları

Alınan rölevelerin bir örneği (tek ayaklı bir köprü için) örnek olarak görülebilir. Görülen şekle ek olarak aynı zamanda nehir talveginden, açıklıklar ve köprü tablasından kot okumaları da gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8-2 Örnek Röleve



Şekil 8-3 Saha Çalışması Örnek Resimleri

Bunların yanı sıra arazide Şekil 8-3'deki gibi taşkın koruma yapıları, duvar vb. tespit edilerek, hidrolik model çalışmalarında kullanılmıştır.

8.1.2. Model İçin Gerekli Veriler

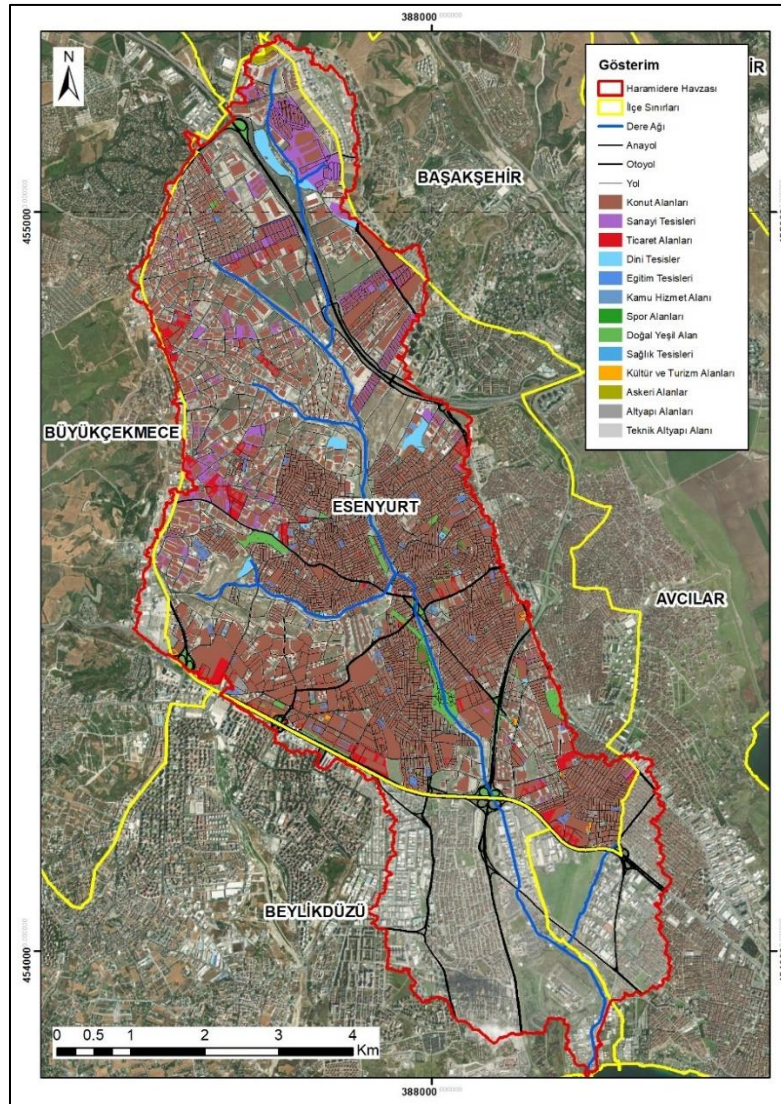
Tüm hidrolik model çalışmalarında temel olarak, sayısal arazi verisi gerekmektedir. Söz konusu sayısal veriler harita çalışmaları neticesinde elde edilerek model çalışmalarında kullanılmaktadır. Önemli bir diğer veri, yerinde yapılacak çalışmalar ile elde edilecek olan

Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü

ve derenin o noktasındaki geometrisini temsil edecek kesitlerdir. Enkesit alımına ait kriterlerden raporun ilgili bölümlerinde söz edilmiştir. Model için gerekli olan bir diğer veri, modellenecek akış üzerinde yer alan her türlü sanat yapısı, köprü, ıslah kesiti, kabarma yapısı vb. ait bilgilerdir. Modelleme çalışması esnasında söz konusu mühendislik yapıları da dikkate alınarak, olası etkileri hesaba dahil edilmektedir.

8.1.3. Bina Verisi

Modelleme çalışmaları için gerekli verilerden bir diğeri bina verisidir, bunun için MAKSS yapı verileri ve arazi kullanımından elde edilen veriler kullanılmıştır. Bina verisi Şekil 8-4’de gösterilmiştir.

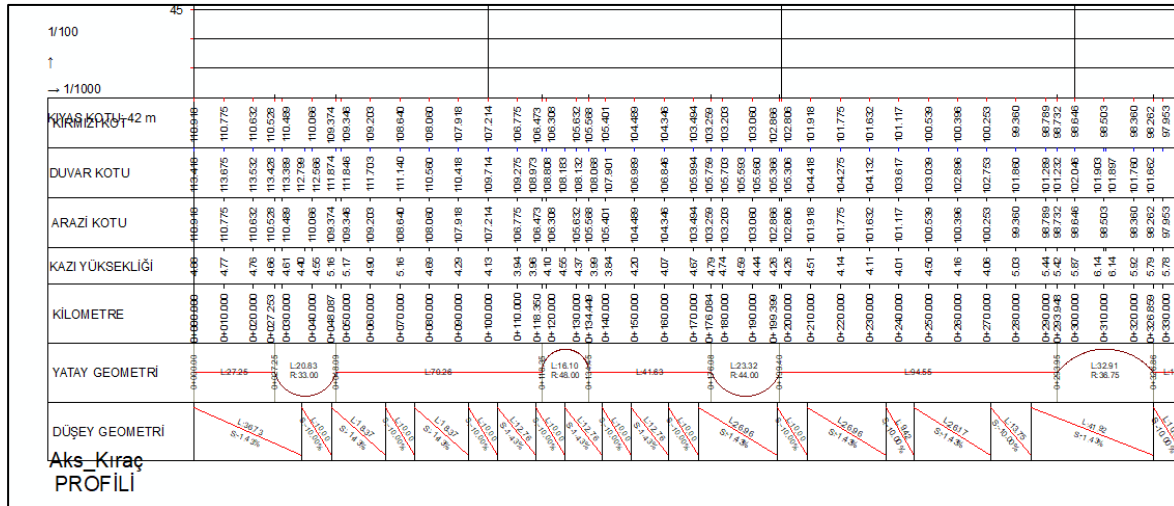


Şekil 8-4 Yapı Verisi

9. MODELLENECEK DERE AĞININ GEOMETRİSİ

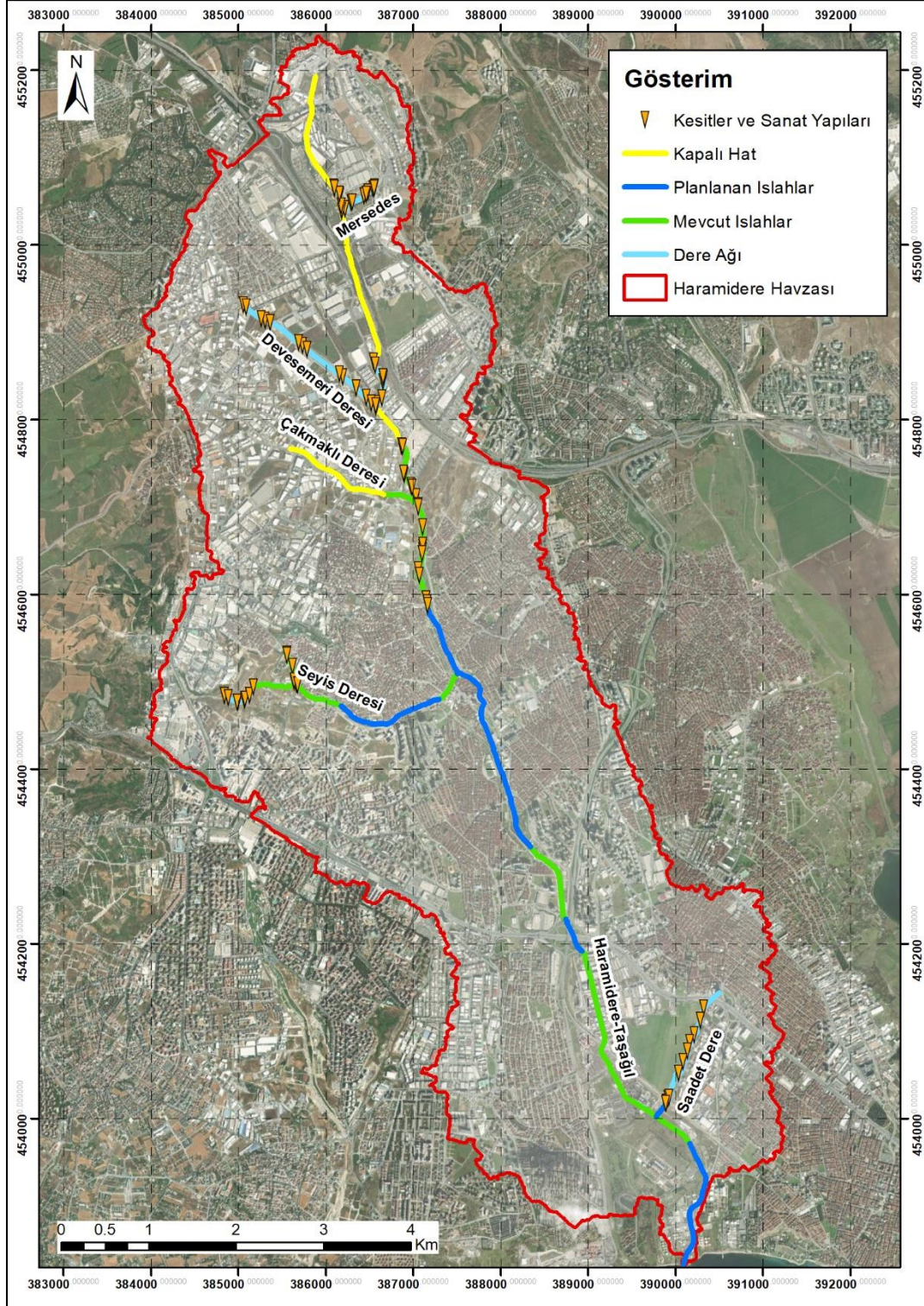
9.1. Haramidere Uygulama-Islah Projeleri

1. Gerek saha çalışmasında gerekse kurum ziyaretleri sırasında yapılan gözlemler sonucunda Haramidere ve bu dereye bağlanan yan kollar üzerinde mevcut ve planlanan dere ıslah projelerinin olduğu görülmüştür. Bunun üzerine yapılan değerlendirme sonucu taşkın çalışmalarının güncel durumu yansıtabilmesi adına modelleme çalışmalarında kullanılmak üzere bu projelere ait bilgiler İdare tarafından sağlanmıştır. Bu sayede proje için yapılacak çalışma en güncel durumu temsil etmiş olacaktır. Bunun yanı sıra yapılan ve planlanan ıslah çalışmalarını da çapraz olarak kontrol edilmiştir.



Şekil 9-1 Haramidere Üzerinde Planlanan Dere Islahına Ait Tip Kesit Örneği

Haramidere ve yankollara ait mevcut, planlanan dere ıslahları (İSKİ), kesitler ve sanat yapıları ile birlikte Şekil 9-2’de verilmiştir.



Şekil 9-2 Haramidere ve Yankollara Ait Mevcut, Planlanan Dere Islahı (İSKİ) ve Kesitler-Sanat Yapıları

9.2. Daha Önce Yapılan Harita Çalışmalarının İrdelenmesi

Havza alanını kapsayan bölümde

- 2016 yılında belediye tarafından yapılan Lidar
- 2020-2022 yılları arasında TKGM tarafından yapılan uçuşlar ile üretilen ortofoto

çalışmalarına ait veriler bulunmaktadır.

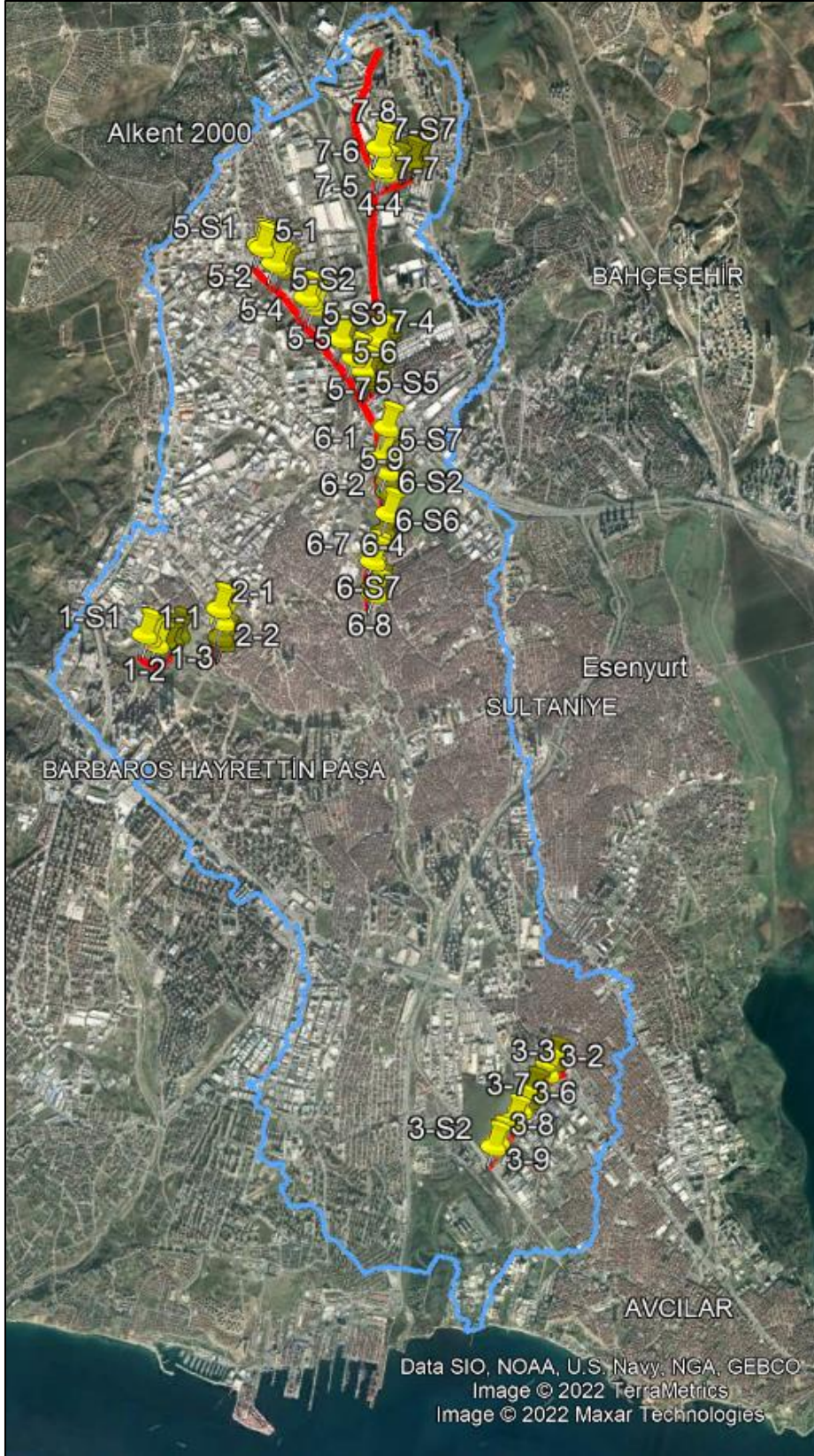
Lidar verisi özellikle arazi kullanım ve kent içi yapılaşma verilerinin yetersiz olduğu noktalarda ilerleyen çalışmalarda kullanılmak üzere 199 adet olarak temin edilmiştir. Bu çalışmanın çıktısı birçok katman ayrı şekilde irdelemeye olanak sunmaktadır.

TKGM tarafından yapılan uçuşlar yakın zamanda tamamlanmış olup, işlemler sonucunda ise havzanın güncel ortofoto haritaları üretilmiştir. Proje kapsamında ilçe sınırlarını içerisine alan 149 adet raster pafta temin edilmiştir. Yapılacak modeller ve risk hesaplarında kullanılmak üzere çalışmalara dahil edilmiştir.

9.3. Yerinde Yapılan Çalışmalar

Haramidere Havzası'nda bulunan nehir ağlarından daha önce riskli olduğu belirlenmiş, 4373 sayılı kanun kapsamına girmekte olan ve Horton-Strahler metoduna göre 2km² eşik değer baz alınarak oluşturulan derelerde bir boyutlu hidrolik modelleme çalışmaları yapılmıştır.

Bir boyutlu modelleme çalışmaları için mutlaka ihtiyaç duyulan verilerin başında topografik veriler gelmektedir. Topografik veriler bir boyutlu hidrolik modelleme çalışmaları için yerinde ölçülmüş en kesitler ve sanat yapılarının röleveleri şeklindedir. Ardından gerekli görülen yerlerde yapılacak 2 boyutlu hidrolik modelleme çalışmaları için ise sayısal arazi yükseklik modelleri hazırlanmıştır.



Şekil 9-3 Haramidere Havzası Kesit ve Röleve Alım Noktaları

9.3.1. Kesitler ve Sanat Yapıları

En kesit alımları, 1 boyutlu modelleme çalışması yapılmasına karar verilmiş tüm derelerde gerçekleştirilmiştir. Haramidere Havzası'nda 7 adet nehir ağı üzerinde 48 adet en kesit ve 36 adet sanat yapısının yanı sıra uygulama ve planlama ıslah projeleri de kullanılarak bir boyutlu model yapılacaktır. Planlama ıslah projelerinin olduğu noktalarda bu veriler kullanılarak kesit alımı yapılmamıştır.

Aynı zamanda en kesit alımları yapılırken tüm sanat yapılarının röleveleri çıkarılmış ve bu sayede sanat yapılarının akışa ve dolayısıyla taşkına etki edip etmediği belirlenmiştir. En kesitlerin ve aynı zamanda rölevelerin tamamı bir boyutlu modeller içerisine girilmiştir.

- Her 50 ve 100 m aralıkta, dere yatağını temsil edecek en az 1 kesit,
- İki dere güzergâhlarının başında ve sonunda olmak üzere en az 3 kesit,
- Köprüleri temsil eden en az 1 kesit,
- Kesit daralması, kesit genişlemesi, geçiş yapıları, su biriktirme yapıları, su çevirme yapıları, eğim değişikliği vb. mücbir noktalardan 1'er kesit alınmıştır.



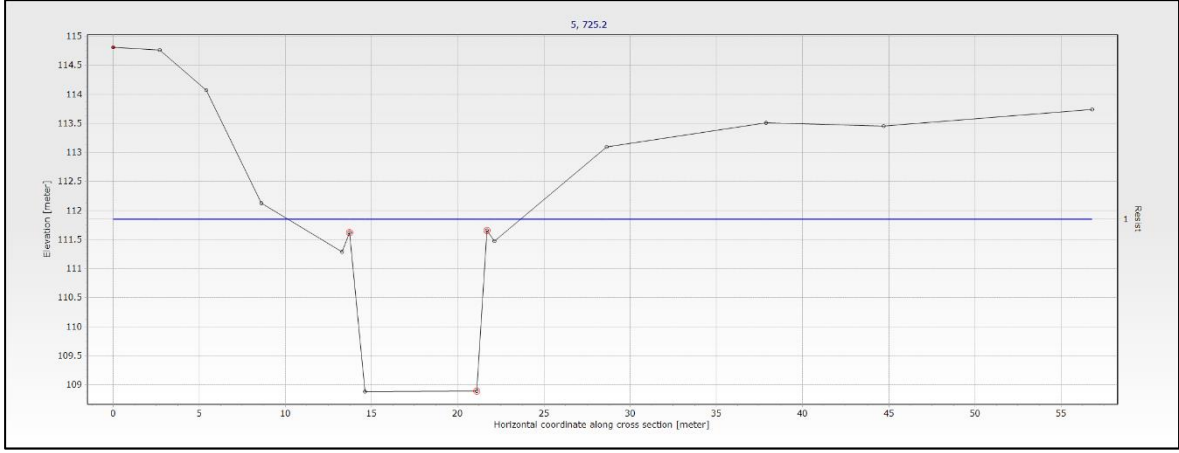
Şekil 9-4 En Kesit Alım Çalışmalarından Örnek Görüntüler

Aşağıdaki şekilde belirlenen en kesit alım noktalarının bir örneği bulunmaktadır. Tüm en kesitler; idareyle koordinasyon içinde, yukarıda belirtilen kriterler doğrultusunda alınmıştır. Yapılan saha çalışmalarında alınan en kesitler dere talveginden her iki sahilde minimum şev üstü kotları yakalanacak şekilde alınmıştır. Ancak, en kesitlerin sağ ve sol sahilde bir boyutlu modellemeye uygun yüksekliğe ulaşmaması durumunda elde edilen yüzey haritalarıyla birleştirilerek hazırlanmıştır. Bu sayede tüm en kesitlerin, 1 boyutlu hidrolik modelleme çalışmalarını hassas ve uygun şekilde temsil etmesi sağlanmıştır.



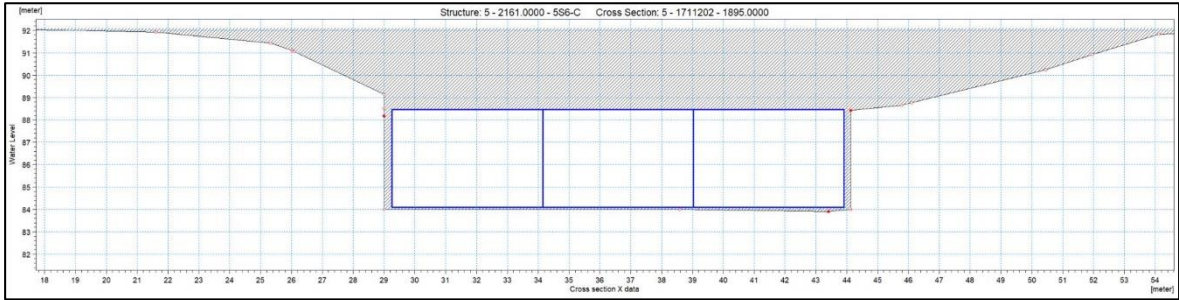
Şekil 9-5 En Kesit Alım Noktası Örneği

Aşağıdaki şekilde model içerisinde yer alan bir en kesit örneği görülebilir.



Şekil 9-6 Devesemeri Deresi En Kesit Örneği (Model Görüntüsü, 5, 725.2 Kesiti)

Yukarıda örneği görülebilecek olan en kesitlere ek olarak sanat yapılarının röleveleri de çıkarılmış ve bir boyutlu modellere entegre edilmiştir. Aşağıda alınan bir köprü rölevesinin örneği görülebilir.

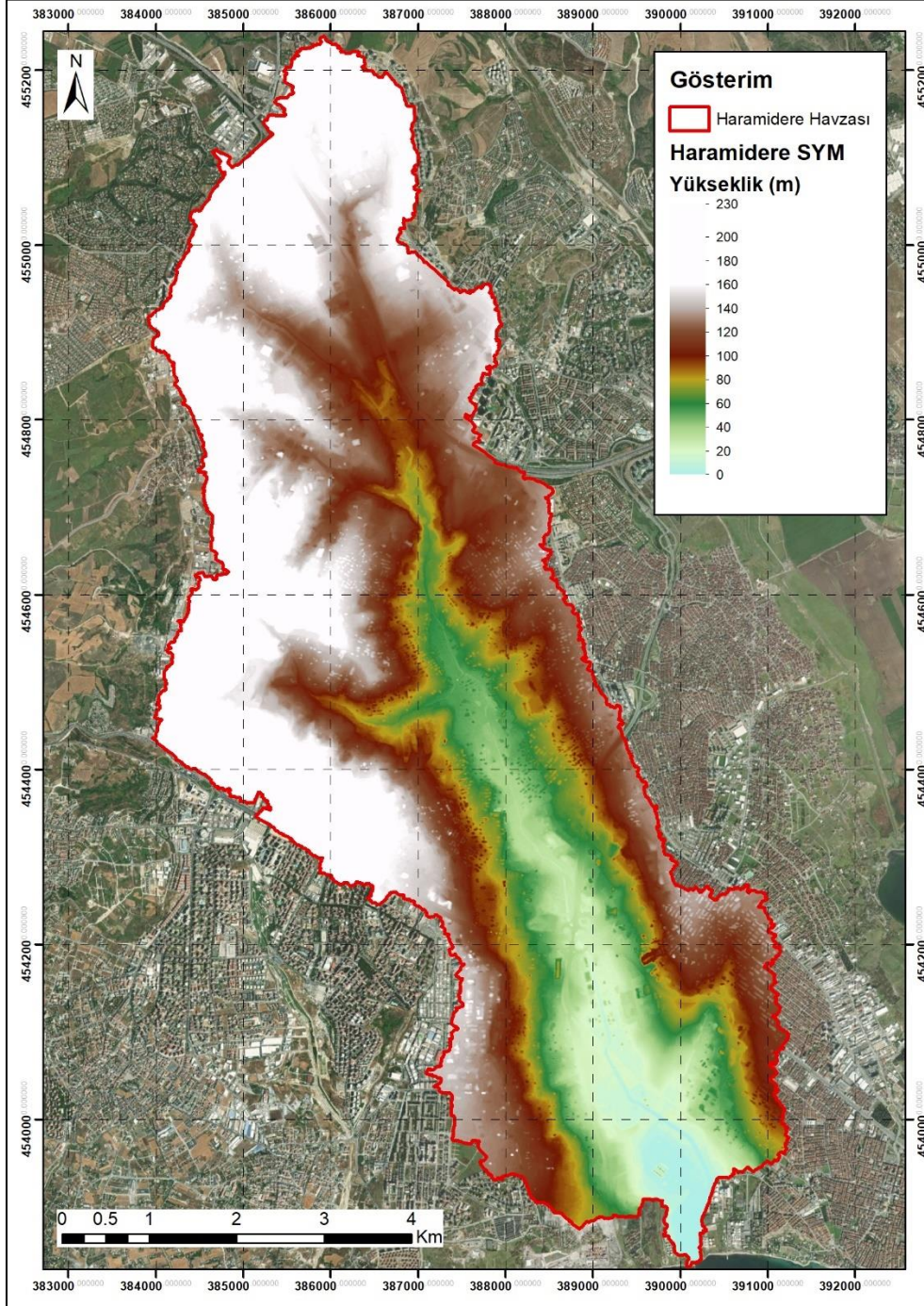


Şekil 9-7 Devesemeri Deresi Röleve Örneği (5S6-C Kesiti)

1 boyutlu hidrolik modelleme çalışmaları sonucunda ilgili debinin taşkına sebebiyet vermesi ve yerleşim yerlerini etkilemesi durumunda 2 boyutlu hidrolik modelleme yapılmıştır.

2 boyutlu hidrolik modellemelerde taşkının arazi üzerinde yayılımının gözlenmesi gerektiğinden arazi modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu arazi modellerinin içeriğinde temel olarak bir sayısal yükseklik modeliyle birlikte suyun akışına engel teşkil edebilecek (bina, yol vb.) yapıların mevcuttur.

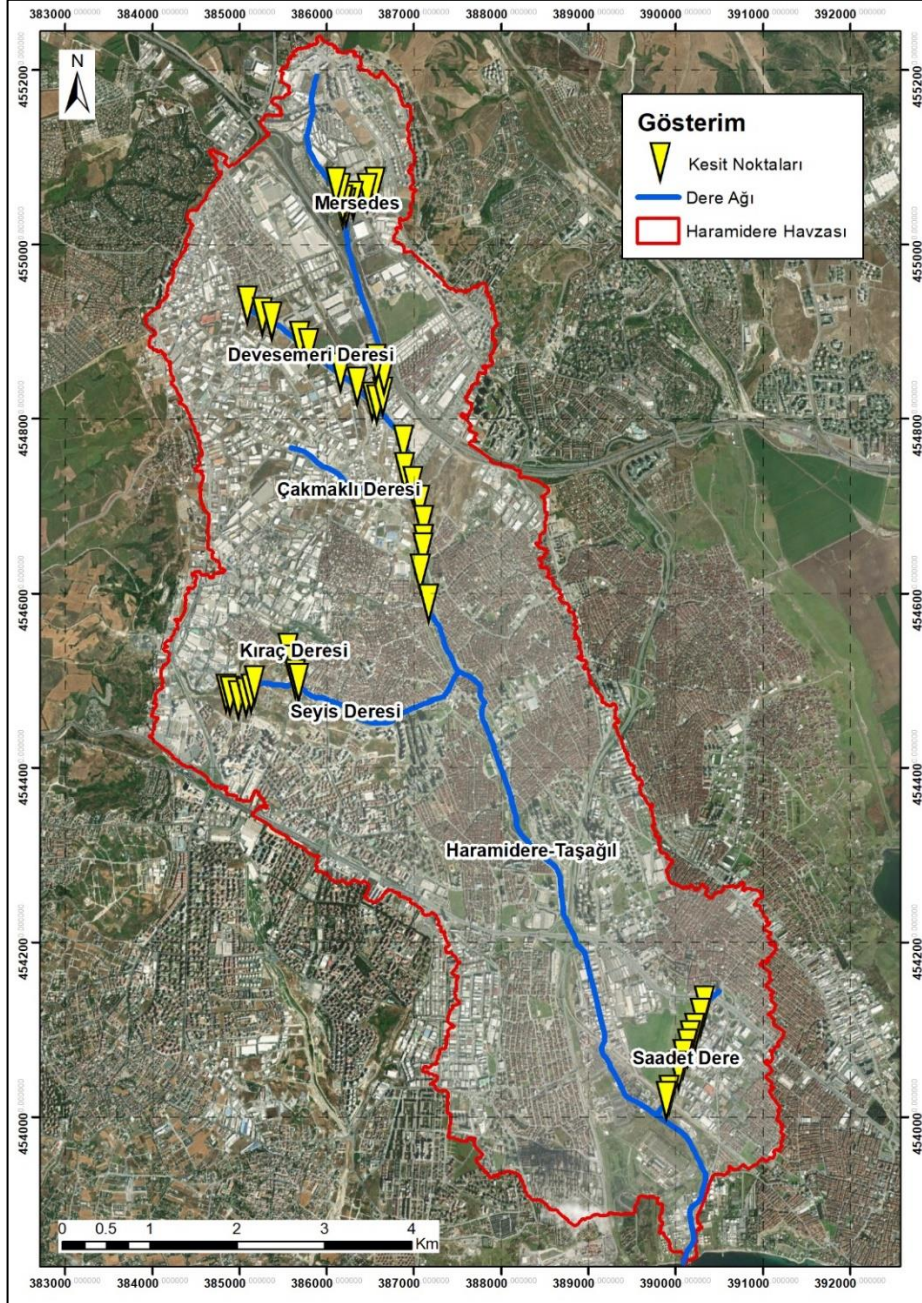
Haramidere Havzası'nda taşkın beklenen yerler için arazi modelleri elde edilmiştir. Bu bölgelerdeki binalar da model içerisine tanımlanarak suyun akışı gerçeğe en yakın şekilde modellenmiştir.



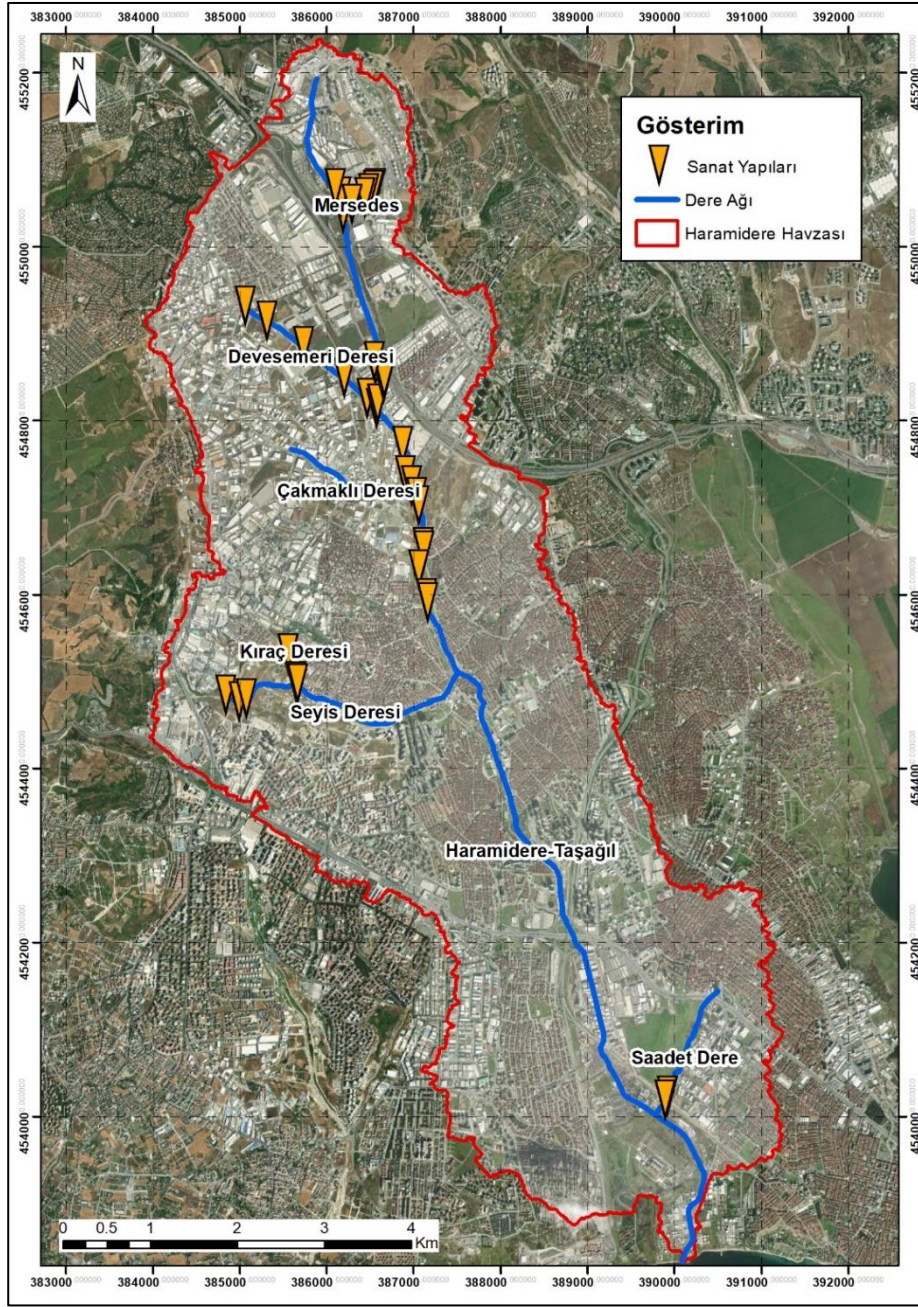
Şekil 9-8 Model İçin Oluşturulan Sayısal Yükseklik Modeli

10. DERE AĞI GEOMETRİSİ

Havza içerisinde yapılmış olan çalışmalar kullanılarak dere geometrisinin belirlenemediği derelerde yerinde kesit ve röleve alımları yapılmıştır. Bu alımlardan dere geometrisi için alınan kesitler Şekil 10-1’de, sanat yapıları ise Şekil 10-2’de verilmiştir.



Şekil 10-1 Haramidere Havzası Kesit Noktaları



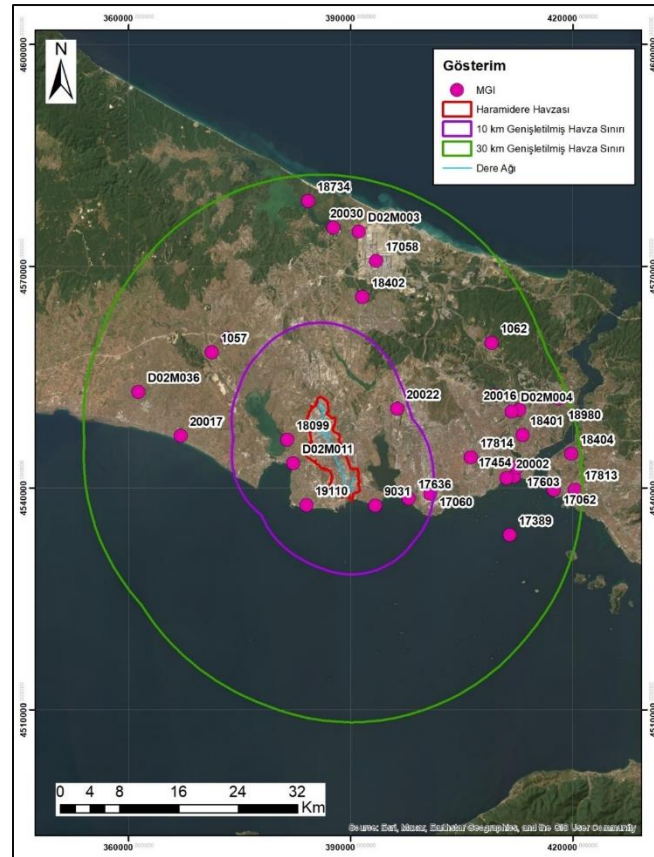
Şekil 10-2 Haramidere Havzası Sanat Yapıları

11. HİDROLOJİ ÇALIŞMALARI KAPSAMINDA TEMİN EDİLEN VERİLER

Esenyurt ilçesinde “Taşkın Modelleme ve Risk Azaltmada Doğa Tabanlı Çözümlerin Uygulanabilirliğinin Araştırılması Projesi”nde hidrolojik çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için hidro-meteorolojik verilere gereksinim duyulmuştur.

11.1. Meteorolojik Veriler

Bu kapsamda Haramidere Havzası ve yakın çevresindeki meteoroloji gözlem istasyonlarının dağılımı **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**’de verilmiştir. Buna göre H aramidere Havzası sınırları içerisinde meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) bulunmamaktadır. Bu sebeple havza sınırından 10 km ve 30 km uzaklığı gösteren poligonlar çizilmiştir. Havza sınırından 10 km ve 30 km mesafedeki bölgeler içinde sırasıyla 7 adet ve 30 adet meteoroloji gözlem istasyonu bulunmaktadır (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**). Meteorolojik Gözlem İstasyonlarının verileri kullanılarak sıcaklık, yağış, buharlaşma ve bağıl nem parametrelerinin uzun yıllar ortalamaları ile ilgili değerlendirmeler bu bölümde yapılmıştır.



Şekil 11-1 Haramidere Havzası Çevresinde Bulunan Meteoroloji Gözlem İstasyonları

Meteoroloji gözlem istasyonlarından 20002, 20016, 20017, 20022, 20030 numaralı istasyonların ölçüm değerleri olmaması ve D02M004, D02M011, D02M036, D02M003 istasyonlarının günlük ya da aylık verilerinin olmaması sebebiyle daha sonra yapılan değerlendirmeler arasına alınmamıştır. Ayrıca 17389 numaralı istasyon yağış verilerinin hatalı olduğu (yağış değerlerinin uzun yıllar boyunca sıfır olarak sabit kalması) düşünüldüğünden değerlendirmeye alınmamıştır.

11.1.1. Yağış

Havzada yağış parametresi için havzanın yakın çevresinde kalan meteoroloji istasyonlarının tümü incelenerek uzun yıllar günlük en yüksek ve ortalama yağış değerleri her bir istasyon için hesaplanmıştır. Buna göre istasyonlar arasında günlük en yüksek yağış verisine sahip olan istasyon 1.07.2017 tarihinde 232.8 mm ölçümüyle 17814 numaralı Güngören Davutpaşa Marmara istasyonudur. İstasyonların en yüksek günlük yağış değerleri kendi içinde değerlendirildiğinde en düşük değere sahip olan istasyon 17.06.2018 tarihinde 33.2 mm ölçümüyle 19110 numaralı Beylikdüzü istasyonudur. Ortalama günlük yağışın en yüksek olduğu istasyon 8.5 mm yağışla 1062 numaralı Kemerburgaz istasyonu iken, ortalama günlük yağışın en düşük olduğu istasyon 0.5 mm yağışla 17454 numaralı Fatih Kumkapı Fener istasyonudur.

11.1.2. Sıcaklık

Havzada sıcaklık parametresi için havzanın yakın çevresinde kalan meteoroloji istasyonlarının tümü incelenerek uzun yıllar günlük en yüksek, en düşük ve ortalama sıcaklık (°C) değerleri her bir istasyon için hesaplanmıştır. Buna göre istasyonların en yüksek günlük sıcaklık değerleri kendi içinde değerlendirildiğinde en yüksek değere sahip olan istasyon 32.3 °C ölçümüyle 17058 numaralı İstanbul Havalimanı istasyonudur. İstasyonların en düşük günlük sıcaklık değerleri kendi içinde değerlendirildiğinde en düşük değere sahip olan istasyon -10 °C ölçümüyle 17062 numaralı Kadıköy Rıhtım istasyonudur. Ortalama günlük sıcaklığın en yüksek olduğu istasyon 17.14 °C ile 1057 numaralı Çatalca istasyonu iken, ortalama günlük sıcaklığın en düşük olduğu istasyon 13.53 °C ile 1057 numaralı Çatalca istasyonudur.

11.1.3. Günlük Toplam Açık Yüzey Buharlaşması

Havzada günlük toplam açık yüzey buharlaşması (mm) parametresi ölçümü yapmış olan havzanın yakın çevresinde kalan meteoroloji istasyonlarının tümü incelenerek uzun yıllar günlük ortalamaları her bir istasyon için hesaplanmıştır. Buna göre maksimum değerler kendi içinde değerlendirildiğinde en yüksek günlük toplam açık yüzey buharlaşması (mm) değerine sahip olan istasyon 14 mm ile 17062 numaralı Kadıköy Rıhtım istasyonu, minimum değerler kendi içinde değerlendirildiğinde en düşük değere sahip olan istasyon 0 mm ile 17062 numaralı Kadıköy Rıhtım istasyonu ve ortalama değerler incelendiğinde en yüksek ortalama 17060 numaralı İstanbul Atatürk Havalimanı istasyonu, en düşük ortalama ise 17058 numaralı İstanbul Havalimanı istasyonudur.

11.1.4. Nisbi Nem

Havzada günlük toplam ortalama nispi nem (%) parametresi ölçümü yapmış olan havzanın içinde ve yakın çevresinde kalan meteoroloji istasyonlarının tümü incelenerek uzun yıllar günlük ortalamaları her bir istasyon için hesaplanmıştır. Buna göre maksimum değerler kendi içinde değerlendirildiğinde en yüksek günlük ortalama nispi nem (%) değerine sahip olan istasyon 17636 numaralı Florya istasyonu, minimum değerler kendi içinde değerlendirildiğinde en düşük değere sahip olan istasyon 18980 numaralı Sarıyer İTÜ Maslak Yerleşkesi istasyonu ve ortalama değerler incelendiğinde en yüksek ortalama 17636 numaralı Florya istasyonu, en düşük ortalama ise 18980 numaralı Sarıyer İTÜ Maslak Yerleşkesi istasyonudur.

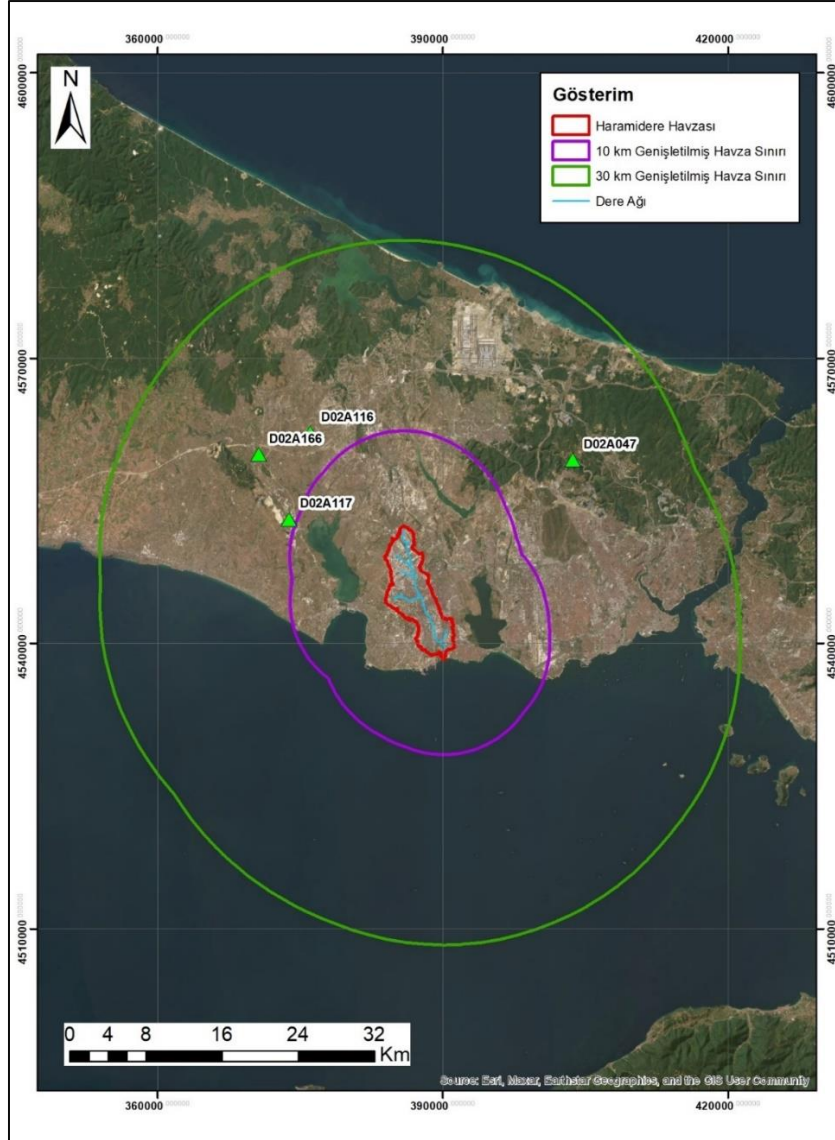
11.2. Hidrolojik Veriler

11.2.1. Hidrolojik Yapılar

Havza içerisinde herhangi bir göl, depolamalı veya depolamasız tesis varlığı bulunmamaktadır.

11.2.2. Akım Gözlem İstasyonları

Havza civarındaki akım gözlem istasyonlarının dağılımını Şekil 11-2’de gösterilmiştir. Buna göre Haramidere Havzası sınırları içerisinde akım gözlem istasyonu (AGİ) bulunmamaktadır. Bu sebeple havza sınırından 10 km ve 30 km uzaklığı gösteren poligonlar çizilmiştir. Havza sınırından 10 km mesafede akım gözlem istasyonu bulunmamaktadır. 30 km mesafedeki bölge içinde ise 4 adet akım gözlem istasyonu bulunmaktadır (Şekil 11-2).



Şekil 11-2 Haramidere Havzası Çevresinde Bulunan Akım Gözlem İstasyonları

12. YAĞIŞ VERİLERİNİN ANALİZLERİ

12.1. Homojenlik Analizleri

Meteorolojik gözlem istasyonları yağış verilerinin analizi için uzun yıllar ortalama, standart sapma ve en yüksek değerleri hesaplanarak Tablo 12-1’de verilmiştir. Ayrıca veriler üzerinde homojenlik (anlamlılık düzeyi, $\alpha:0.05$) testi yapılmıştır. Yapılan bu değerlendirmeler ile verinin güvenilirliği, yıllara göre değişiminin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda verileri homojenlik gösteren istasyon ve veri aralığında çalışmalar sürdürülmüştür.

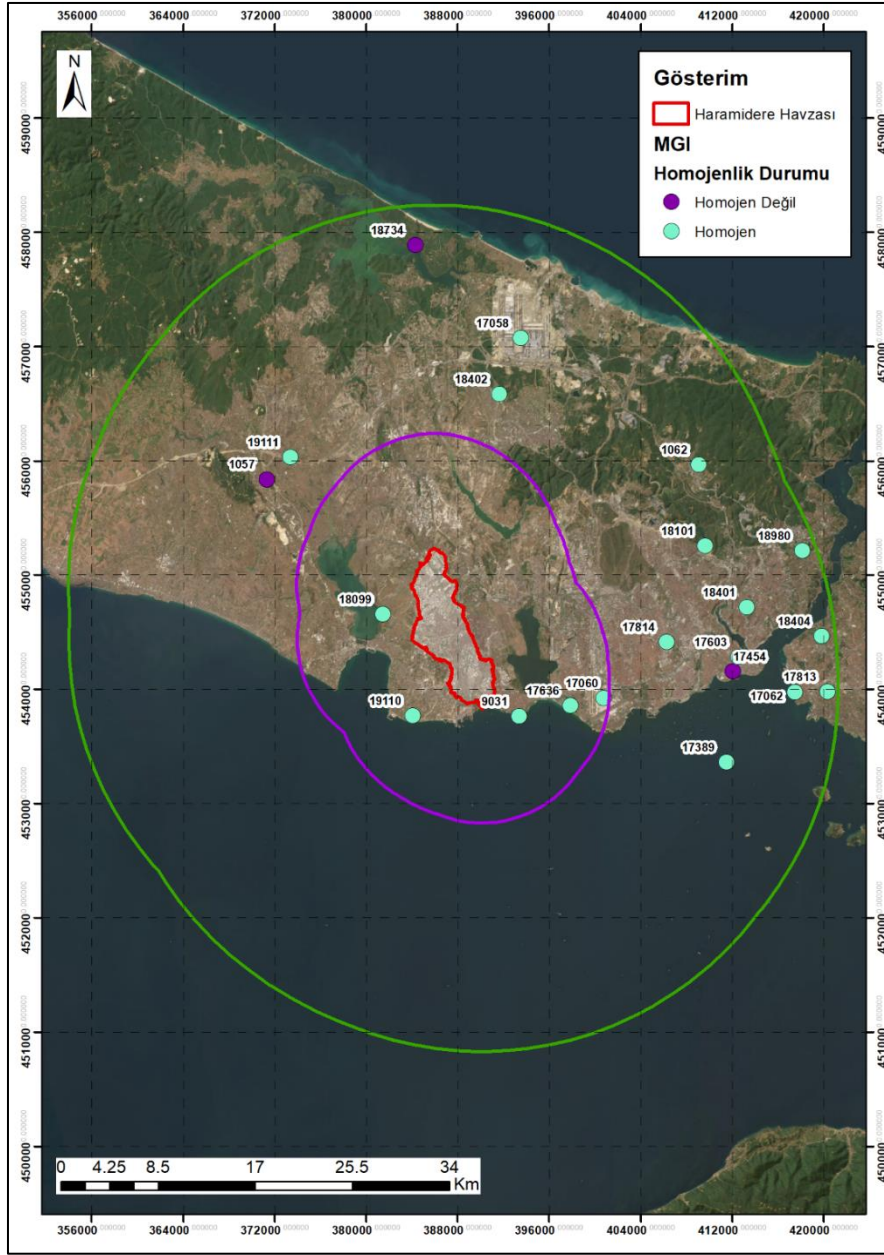
Tablo 12-1 Meteoroloji Gözlem İstasyonları Yağış Verisi Genel İstatistikler

İstasyon Numarası	Veri Sayısı (Gün)	En Yüksek Değer (mm)	Ortalama (mm)	Standart Sapma (mm)
1057	1208	134.6	6.116	9.475
1062	96	62.5	8.531	10.182
9031	386	70.1	4.856	8.328
17058	289	43.8	4.494	7.233
17060	1765	67.4	4.356	6.454
17062 (toplam)	15544	87.8	3.926	7.202
17062 (manuel)	10822	87.8	4.915	7.812
17389	1243	66.5	0.092	2.107
17454	1480	59.0	0.542	3.160
17603	5699	124.2	1.905	5.595
17636 (manuel)	28753	112.5	1.765	5.245
17636 (omgi)	5757	70.0	1.586	4.880
17813	2349	57.2	1.775	4.934
17814	2554	232.8	2.496	11.876
18099	3779	101.3	1.681	5.488
18101	3046	72.7	1.976	5.512
18401	2460	78.0	2.196	5.986
18402	2482	105.4	2.542	7.401
18404	2465	76.5	2.112	5.861
18734	2014	70.1	1.743	5.401
18980	1106	47.6	2.295	6.106
19110	1796	33.2	1.019	3.311
19111	1092	79.1	1.511	5.205

Çalışma kapsamında Pettitt, SNHT, Buishand, Von Neumann homojenlik testleri uygulanmıştır.

12.1.1. Homojenlik Test Sonuçları

Uygulanan homojenlik testlerinin istatistiksel anlamlılık düzeyleri (P değerleri) belirlenmiş olup, bu değerin 0.05'ten (%5) büyük olduğu test sonuçları homojen kabul edilmiştir. Bir istasyon verilerinin iki ve daha fazla teste göre homojen çıkması durumunda istasyonunun homojen veriye sahip olduğu çıkarımı yapılmıştır. İstasyonlar için yapılan homojenlik durumu Şekil 12-1'de verilmiştir.



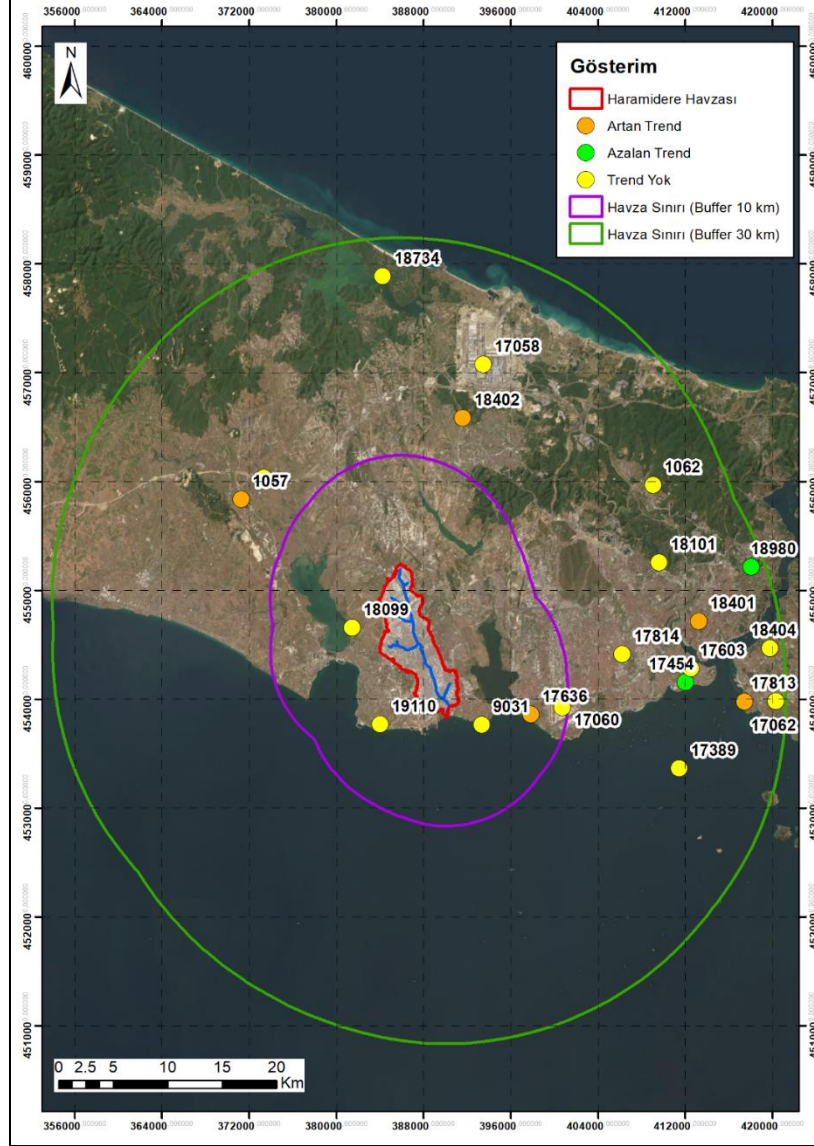
Şekil 12-1 Meteoroloji Gözlem İstasyonları Yağış Verisi Homojenlik Durumu

12.2. Trend Analizleri

Yağış trendlerini incelemek üzere uzun yıllar günlük yağış verileri her istasyon için ayrı ayrı incelenmiş, genel eğilimi belirlemek için Mann-Kendall trend testi uygulanmıştır.

Mann-Kendall trend testi sonuç değerleri belirlenmiş verilmiş olup, p değerleri, 0.05'ten büyük olan sonuç değerlerinde istasyonun yağış verisinde trend var kabul edilip,

azalan trend ve artan trend durumu ise Sen Eğimi değerlerine göre belirlemiştir. İstasyonların uygulama sonucunda elde edilen trend eğilimleri Şekil 12-2’de verilmiştir.



Şekil 12-2 Meteoroloji Gözlem İstasyonları Yağış Verisi Trend Durumu

13. HİDROLOJİ ÇALIŞMALARI

Hidrolojik çalışmalar kapsamında iki farklı yaklaşım olarak klasik yöntemler ve hidrolojik modellerle yapılan hesaplamalar incelenmiştir. Hidrolojik çalışmalar öncelikle Klasik Yöntem hesaplamaları ile yapılmıştır, daha sonra ise hidrolojik model kurulmuştur. 18099 (omgi) numaralı meteorolojik istasyonunun havzayı temsiliyetinin daha fazla olması ve uzun yıllar verisi olması sebebiyle seçilerek hidrolojik model kurulmuştur.

Kurulan hidrolojik modelde seçilen istasyonun tüm yıllar günlük yağış verisi kullanılarak Klasik Yöntem hesaplamaları ile yapılan sonuçlar karşılaştırılmıştır. İki farklı hesaplama yöntemiyle elde edilen sonuçların uyumlu olmadığı görülmüştür. Bu sebeple yağış verisi olan her yıl için taşkın gerçekleşen, yıl içindeki maksimum yağışın olduğu ya da havzayı temsiliyetin en yüksek olduğu günler göz önüne alınarak tarih seçimi yapılmıştır. Buna göre belirlenen tarih, bir önceki ve bir sonraki günün saatlik yağış verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM, 2023) temin edilmiştir. Elde edilen verilerle veri seti oluşturularak ekstrem yağışlarla hidrolojik model kurulmuştur.

13.1. Çalışma Metodolojisi

Hidrolojik çalışmalar kapsamında iki farklı yaklaşım olarak modelleme ve klasik yöntemlerle hesaplamalar incelenmiştir. Bununla birlikte akım verilerine bağlı olan Noktasal ve Bölgesel Taşkın Frekans Analizleri (NTFA ve BTFA) de gerçekleştirilememektedir.

13.1.1. Klasik Yöntemler

Öncelikli olarak yukarıda sözü edilen yöntemlerden çalışma kapsamında yağış verisi baz alınarak yapılan klasik yöntemler uygulanmıştır.

Hidrograf noktalarının yağış alanı büyüklüklerine göre,

- Rasyonel Metot ve
- Mockus Yöntemi'nden yararlanılmıştır.

13.1.2. Hidrolojik Model Kurulumu

Klasik Yöntem hesaplamalarından sonra hem tüm yıllar için günlük yağış ile hem de ekstrem yağışlarla oluşturulan veri seti ile hidrolojik modeller kurulmuştur. Hidroloji

çalışmaları sırasında iki farklı hidrolojik model kurulmuştur. Kurulan modellerden ilki seçilen 18099 (omgi) Büyükçekmece istasyonunun tüm yıllar günlük yağış verisi kullanılarak oluşturulmuştur ve Klasik Yöntem hesaplamaları ile karşılaştırılmıştır. Ancak Haramidere Havzası'nda tek bir günde yaşanan ortalamanın çok üzerindeki yağışlar nedeniyle Klasik Yöntem ve hidrolojik model çalışmaları benzer sonuçlar vermemiştir. Bu nedenle Haramidere Havası özelinde ekstrem yağışlarla saatlik yağış verisinden diğer hidrolojik model kurulmuştur.

Modelleme aşamasında meteorolojik gözlem istasyonlardan alınan ve belirli zaman aralıklarına ait günlük ya da saatlik toplam yağış girdi olarak kullanılmıştır. Hidrolojik model kurulurken akım gözlem istasyonlarından alınan günlük ortalama debi verilerine göre kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Ancak Haramidere Havzası'nda akım gözlem istasyonu bulunmadığından kalibrasyon işlemi yapılamamıştır.

13.1.2.1. HEC- HMS

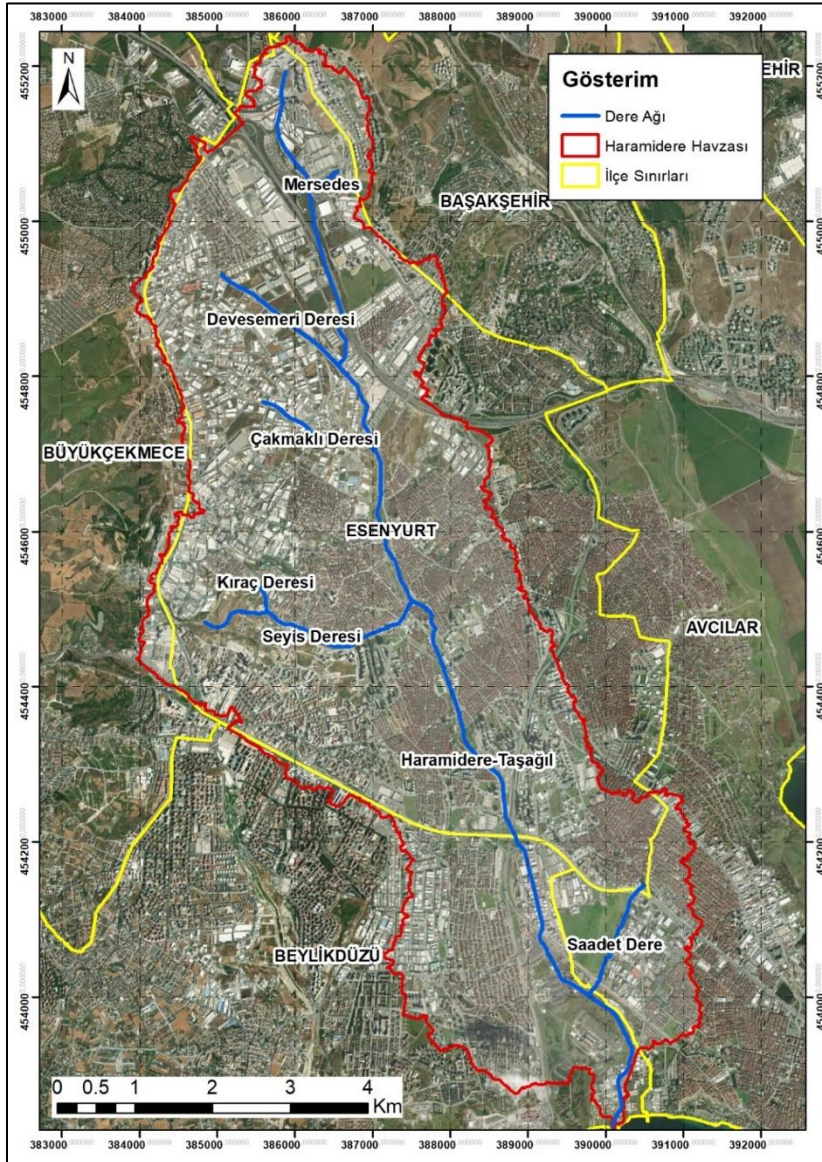
Hidrolojik model çalışmalarında “US Army Corps of Engineers” tarafından geliştirilen HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) yağış-akış modeli, 4.10 versiyonu kullanılmıştır. HEC-HMS, dendritik su havzası sistemlerinin yağış-akış süreçlerini simüle etmek, mümkün olan en geniş problem yelpazesini çözmek için çok çeşitli coğrafi alanlarda uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu modelleme sistemi büyük nehir havzası su temini, taşkın hidrolojisini, küçük kentsel ve doğal su havzası akışını içerir. Program tarafından üretilen hidrograflar, su mevcudiyeti, kentsel drenaj, akış tahmini, gelecekteki şehirleşme etkisi, rezervuar dolusavak tasarımı, taşkın hasarının azaltılması, taşkın yatağı düzenlemesi ve sistem işletimi çalışmaları için doğrudan veya diğer yazılımlarla birlikte kullanılır.

13.1.2.2. Uç Değer Analizi (Extreme Value Analysis- EVA)

Hidrolojik modellerden elde edilen sonuçlar Uç Değer Analizleri ile değerlendirilmiş olup taşkın tekerrür debileri elde edilmiştir. Taşkın tekerrür debileri 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık periyodlar için hesaplanmıştır.

13.2. Modellenen Dere Ağının Belirlenmesi

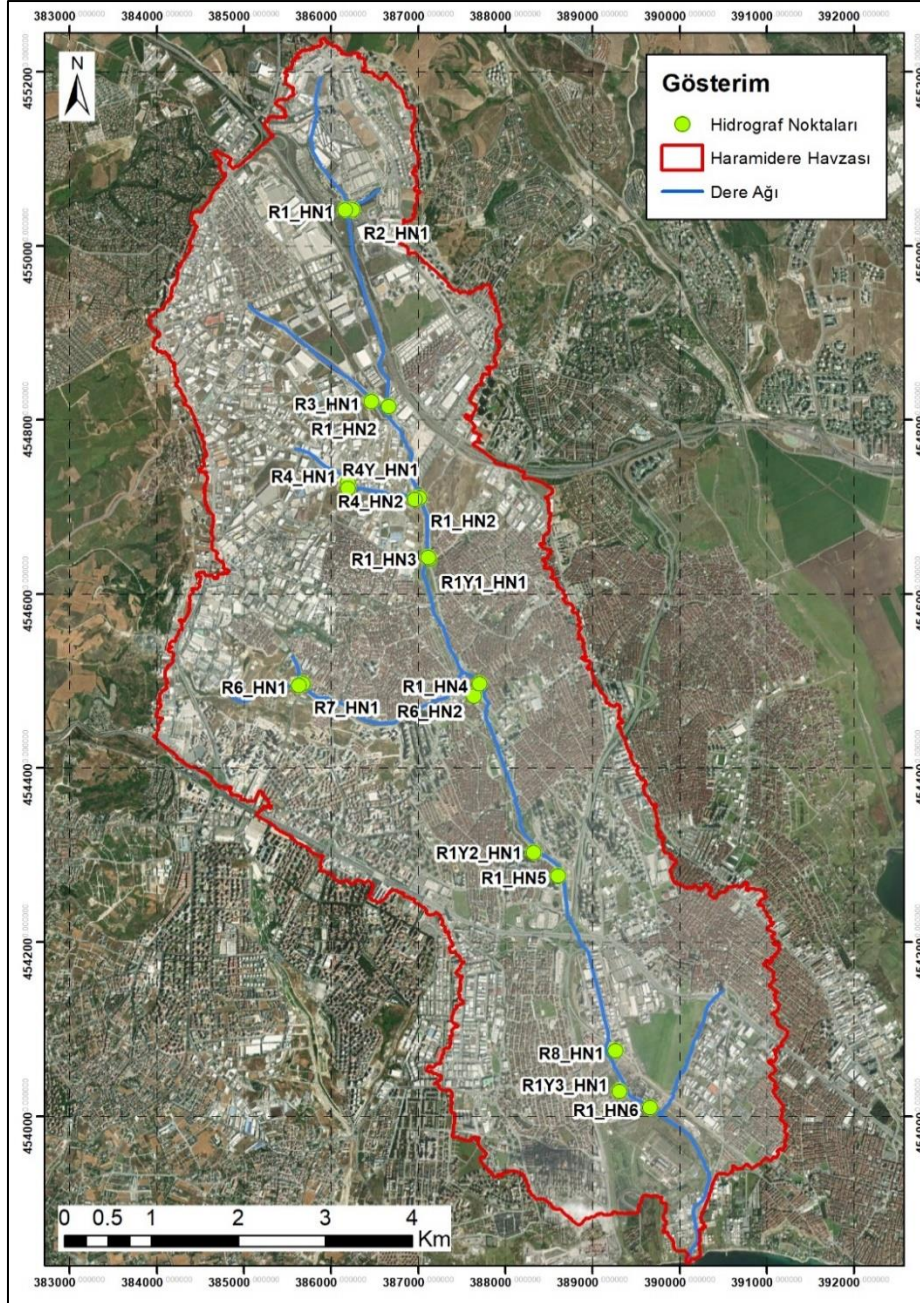
Gerçekleştirilen farklı analizler sonucu uygun olduğu düşünülen 2 km²' lik nehir alt havza alan sınırı ve akım yönünün belirlenmesiyle, Horton-Strahler yöntemine göre Haramidere Havzası içinde 3 adet akarsu sınıfı elde edilmiştir. İlgili dere ağı tespit edildikten sonra arazi çalışması ile önemli dere varlıklarının güncel durumu yerinde kontrol edilmiş ve güncel durumda dere yatağı olmayan kesimler çalışmadan çıkarılmıştır. Şartname gereği Horton-Strahler sınıflamasına göre çalışılması gereken, yağış alanı 2km²'den büyük olan derelerin toplam uzunluğu yaklaşık 24.62 km'dir.



Şekil 13-1 Haramidere Havzası Modellenen Dere Ağı

13.3. Hidrograf Noktaları

Çalışma kapsamında öncelikle il merkezindeki bütün dere ağları incelenmiştir. Daha sonra hidroloji çalışmalarında kullanılmak üzere hidrograf noktaları toplam 19 tane olmak üzere belirlenmiş Şekil 13-2’de verilmiştir.



Şekil 13-2 Haramidere Havzası Çalışma Yapılan Dereler ve Hidrograf Noktaları

13.4. Klasik Yöntem Hesaplamaları

13.4.1. Taşkın Tekerrür Debileri ve Hidrograflar

Taşkın tekerrür debileri 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık olarak havza büyüklüklüklerine göre Rasyonel ve Mockus yöntemleri ile hesaplanmıştır (Tablo 13-1).

Tablo 13-1 Taşkın Tekerrür Debileri Hesap Özet Tablosu

Adı	Yöntem	Kesit Adı	Yağış Alanı (km ²)	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
Mersedes	Rasyonel	R2_HN1	1.2	1.60	2.80	3.70	4.90	6.20	7.40	9.96	11.06
Haramidere_1	Rasyonel	R1_HN1	1.1	1.40	2.40	3.30	4.40	5.50	6.70	9.05	10.07
Haramidere_2	Mockus	R1_HN2_1	4.3	5.18	11.10	14.49	17.38	19.97	21.86	26.96	29.17
Devesemeri	Mockus	R3_HN1	4.0	5.37	11.77	15.45	18.61	21.44	23.52	29.10	31.51
Çakmaklı_1	Mockus	R4_HN1	2.1	3.14	6.77	8.85	10.62	12.22	13.38	16.51	17.87
Çakmaklı Yankol	Mockus	R4Y_HN1	1.3	2.40	5.14	6.70	8.04	9.24	10.11	12.47	13.48
Haramidere_3	Rasyonel	R1_HN2_2	0.9	1.40	2.40	3.20	4.10	5.10	6.00	7.93	8.77
Çakmaklı_2	Rasyonel	R4_HN2	0.5	0.90	1.60	2.00	2.60	3.20	3.80	5.04	5.58
Haramidere Yankol_1	Rasyonel	R1Y1_HN1	1.2	1.90	3.10	4.10	5.30	6.60	7.80	10.36	11.46
Haramidere_4	Rasyonel	R1_HN3	0.4	0.70	1.20	1.60	2.10	2.50	3.00	3.97	4.39
Kıraç	Rasyonel	R7_HN1	1.3	2.00	3.50	4.60	5.80	7.20	8.60	11.36	12.56
Seyis_1	Mockus	R6_HN1	1.8	2.53	5.74	7.62	9.24	10.69	11.76	14.62	15.86
Seyis_2	Mockus	R6_HN2	2.7	4.38	9.29	12.08	14.46	16.59	18.15	22.34	24.15
Haramidere_5	Mockus	R1_HN4	3.1	5.19	10.68	13.78	16.40	18.75	20.46	25.07	27.07
Haramidere_6	Mockus	R1_HN5	4.9	6.49	13.14	16.86	20.01	22.81	24.86	30.38	32.78
Saadet	Mockus	R8_HN1	2.9	3.33	7.06	9.19	11.00	12.62	13.80	16.99	18.37
Haramidere_7	Mockus	R1_HN6	6.3	7.61	15.43	19.80	23.51	26.81	29.22	35.73	38.55
Haramidere Yankol_3	Mockus	R1Y3_HN1	3.2	5.36	11.19	14.49	17.31	19.82	21.65	26.59	28.73
Haramidere Yankol_2	Mockus	R1Y2_HN1	1.7	2.71	5.72	7.42	8.88	10.18	11.13	13.69	14.80

13.5. Hidrolojik Model Çalışmaları

18099 (omgi) numaralı meteorolojik istasyonunun havzayı temsiliyetinin daha fazla olması, homojen bir yağış dağılımına sahip olması ve uzun yıllar verisi olması sebebiyle seçilerek hidrolojik model kurulmuştur. Günlük yağış verileriyle kurulan hidrolojik modelden ve aynı istasyonun Klasik Yöntem hesaplamalarından elde edilen sonuçların karşılaştırılması için Haramidere'nin çıkış noktası seçilmiştir. Günlük yağış verileri ile kurulan hidrolojik model sonuçları ile Klasik Yöntem hesaplamaları ile elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olmadığı görülmektedir.

Tablo 13-2 Rasyonel Metot ve Hidrolojik Model Karşılaştırması

Tekerrür Periyodu	Aşma Olasılık Yüzdesi	Beklenen Olasılık (mm)	
		Klasik Yöntemler	Hidrolojik Model (Günlük Veri)
1000	0.1	245.57	89.23
500	0.2	226.92	83.45
100	1	185.21	69.45
50	2	168.80	63.06
25	4	167.24	56.37
10	10		46.84
5	20		38.79
2	50		25.68

Günlük yağış verileriyle kurulan hidrolojik modelden ve Klasik Yöntem hesaplamalarından elde edilen sonuçların uyumlu olmaması nedeniyle 18099 numaralı Büyükçekmece istasyonunun günlük yağış verileri incelenmiştir. Buna göre tek bir günde ortalamanın çok üzerinde gerçekleşen yağışların olduğu görülmüştür. Yağışta yaşanan ekstrem durumlar ve hesaplama sonuçlarındaki uyumsuzluklar sebebiyle hidrolojik modelin saatlik verilerle kurulmasının Haramidere Havzası'nda daha iyi sonuç vereceği düşünülerek ekstrem yağışlarla hidrolojik model kurulmuştur. Böylelikle yağış alanlarına ait hidrografların temsiliyeti arttırılmış, ani taşkın etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Tablo 13-3'da saatlik ekstrem yağış verisiyle kurulan hidrolojik model sonuçları verilmiştir.

Tablo 13-3 Saatlik Ekstrem Verilerle Kurulan Hidrolojik Model Sonuçları

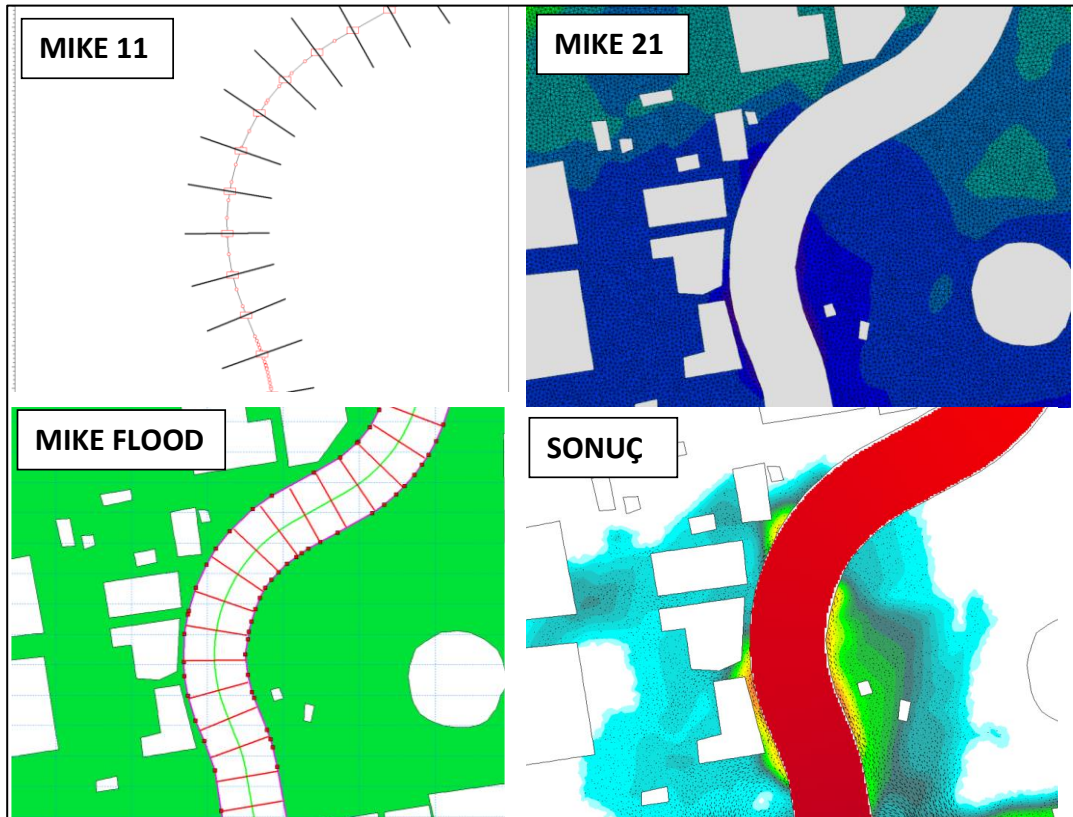
Tekerrür Periyodu	Aşma Olasılık Yüzdesi	Beklenen Olasılık (mm)
		Hidrolojik Model
1000	0.1	383.53
500	0.2	349.17
100	1	268.20
50	2	232.63
25	4	196.43
10	10	147.20
5	20	108.25
2	50	51.89

14. HİDRODİNAMİK MODELLEME ÇALIŞMALARI

Haramidere ve havzasında hidrodinamik modelleme çalışmaları yapılarak 1000, 500, 100, 50, 10, 5 ve 2 yıllık taşkın tekerrür debileri için taşkın durumu irdelenmiştir.

Hidrolik modelleme çalışmaları kapsamında 1 Boyutlu, 2 Boyutlu ve Bütünleşik 1 Boyutlu/2 Boyutlu hidrolik modelleme yöntemleri değerlendirilmiştir. Öncelikle sahadan alınan en kesitler, sanat yapılarının röleveleri ve idare tarafından temin edilen ıslah projeleri kullanılarak 1 Boyutlu, suyun dere içinden çıkması ve yayılması durumunda yayılım alanlarının doğru bir şekilde belirlenebilmesi için 2 Boyutlu hidrolik modelleme yapılması uygun görülmüştür.

Hidrodinamik modelleme çalışmalarında 1 Boyutlu modelleme çalışmaları için MIKE 11, 2 Boyutlu modelleme çalışmaları için MIKE 21 ve bütünleşik modelleme çalışmaları için MIKE FLOOD yazılımları kullanılmıştır.



Şekil 14-1 MIKE Flood Model Oluşturma Aşamaları

14.1. Hidrolik Modelleme Girdileri

Hidrolik modelleme çalışmalarında 1 boyutlu modelleme için aşağıdaki veriler kullanılmıştır.

- Proje taşkın hidrografları,
- Mevcut sanat yapıları rölemleri,
- En kesit bilgileri.

2 boyutlu modelleme çalışmalarında, yukarıdaki verilere ek olarak aynı zamanda aşağıdaki girdiler kullanılmıştır.

- Sayısal yükseklik modeli,
- Memba ve Mansap Sınır Koşulları

14.2. Taşkın Tehlike Haritalarının Oluşturulması

Taşkın tehlike haritalarının hazırlanması için öncelikle 1 boyutlu hidrolik modelleme çalışmaları yapılmış ardından daha önce belirtilen kriterlere göre 2 boyutlu hidrolik modelleme yapılması gerekli görülen alanlarda modelleme çalışmalarına devam edilmiştir.

1 boyutlu hidrolik modelleme çalışmalarında her bir kesit için su derinlikleri ve su yayılım alanları belirlenmiştir. Modelleme çalışması yapılan tüm derelerde en kesitler arasındaki su derinlikleri ve yayılımları belirlenerek bu raporda idareye sunulmuştur. Tehlike haritaları, 2 boyutlu hidrolik modelleme sonuçları üzerinden hazırlanmıştır. Taşkın tehlike haritaları, aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır.

Taşkın Su Derinliği haritaları taşkın yayılma sınırları ile bu sınırlar içerisindeki su derinliklerini gösteren haritalardır. Taşkın Tehlike Haritaları ise taşkın alanları içerisinde kalan alanların tehlike derecelerine (TD) göre sınıflandırılması ile oluşturulan haritalardır. Tehlike dereceleri (i) Düşük, (ii) Orta, (iii) Yüksek ve (iv) Çok Yüksek Tehlike olarak sınıflandırılmakta ve aşağıdaki formülle hesaplanan değerlere göre belirlenmektedir.

$$TD = [\text{Derinlik} \times (H_{1z} + 0,5)] + \text{Süprüntü Faktörü (van Alphen and Passchier, 2007)}$$

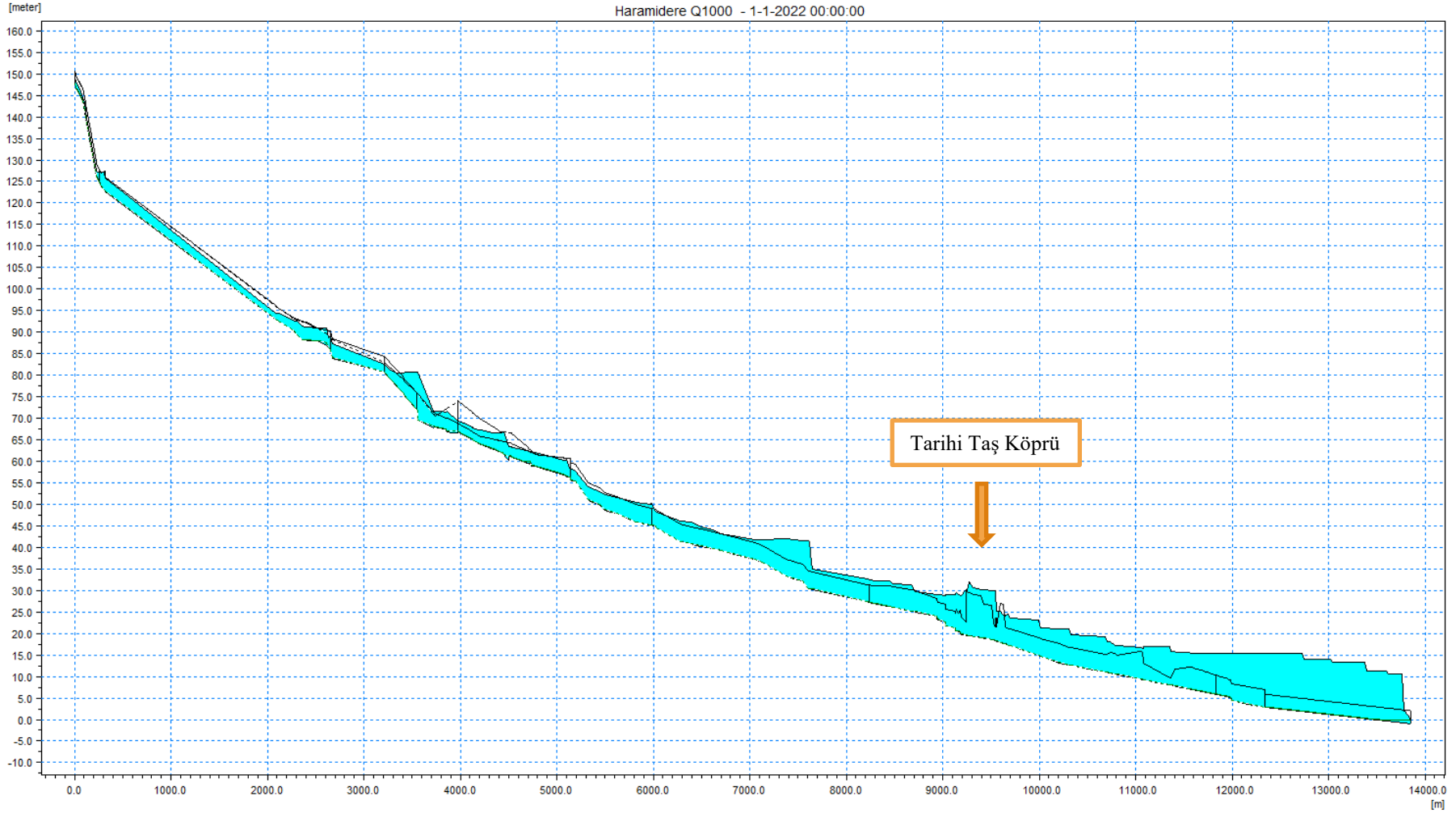
15. TAŞKIN MODEL SONUÇLARI

15.1. 1 Boyutlu Model Sonuçları

1 boyutlu hidrodinamik modellemeler sonucunda üretilen boy profiller ve taşkın durumları raporda sunulmaktadır.

Haramidere ana kolu, Devesemeri, Çakmaklı, Mercedes, Saadet, Kıraç ve Seyis dereleri bir bütün olarak modellenmiş ve 1 boyutlu hidrolik modelleme sonucunda muhtelif yerlerde taşkın oluştuğu gözlenmiştir.

1 boyutlu modelin 1000 yıllık taşkın tekerrür debisi için Haramidere ana kolunda oluşan boy profili örnek olarak sunulmuştur.

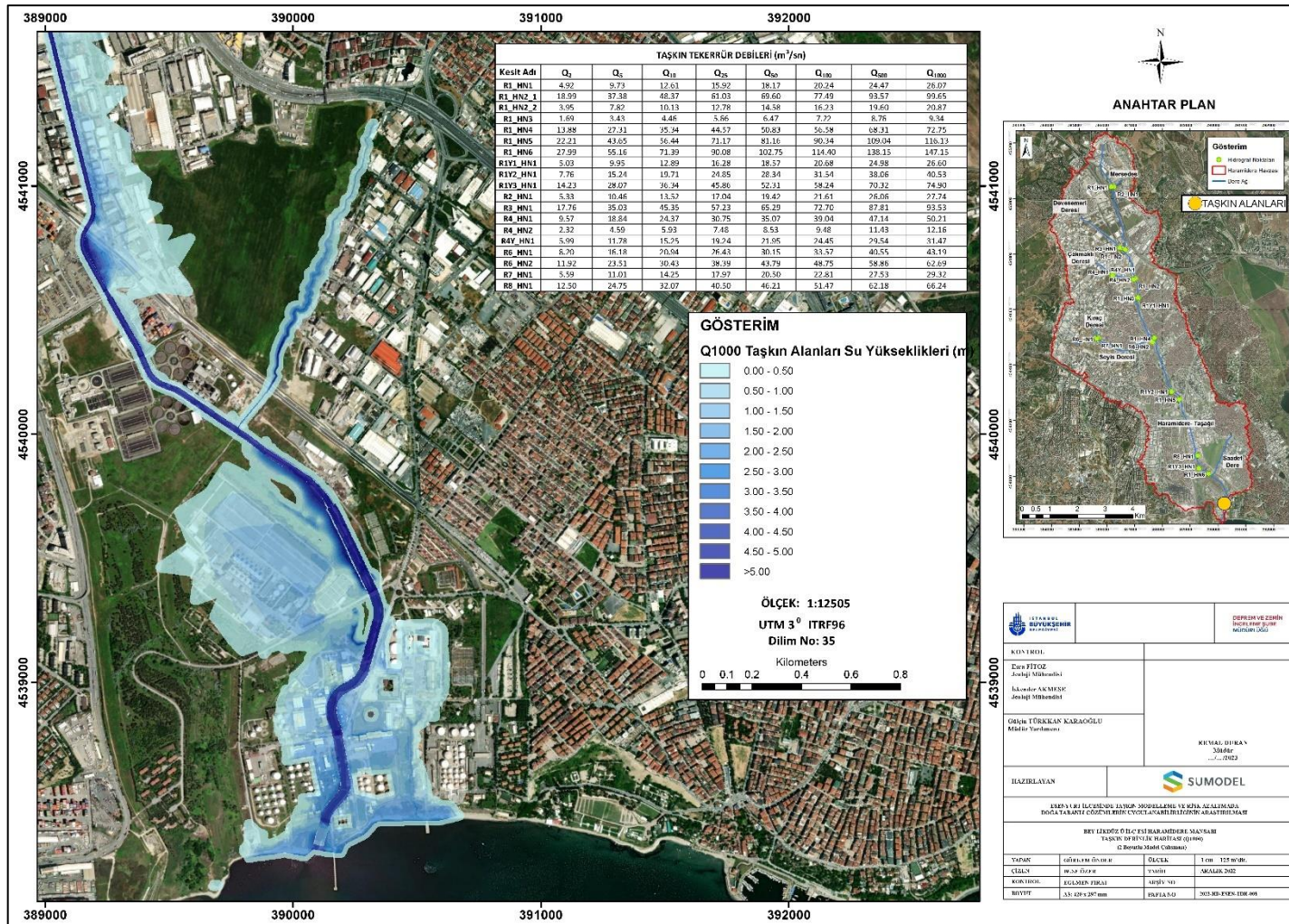


Şekil 15-1 Haramidere Q₁₀₀₀ 1 Boyutlu Model Boy Profili

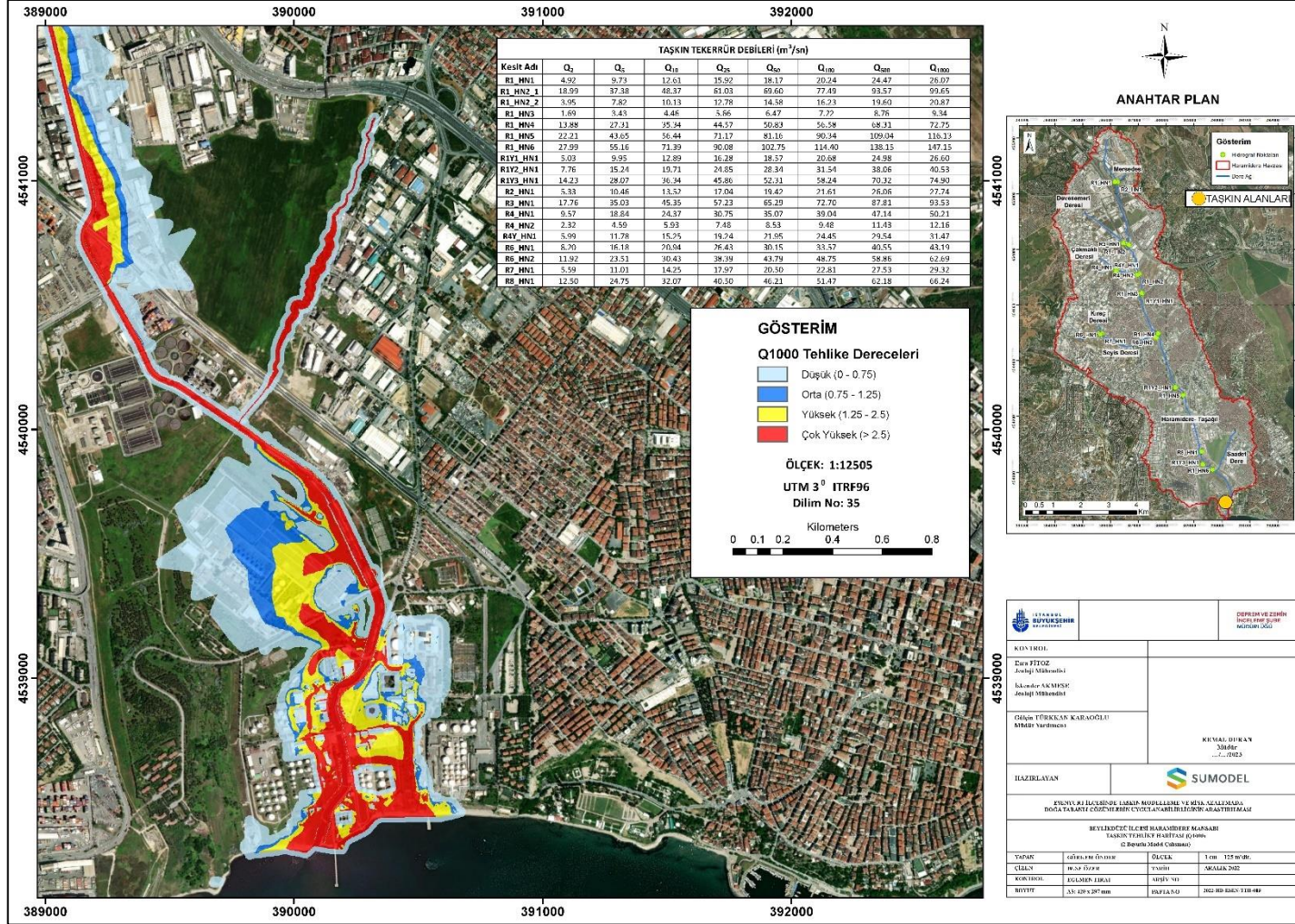
15.2. 2 Boyutlu Model Sonuçları (Taşkın Derinlik ve Tehlike Haritaları)

1 boyutlu hidrodinamik modellemeler sonucunda taşkın gözlenen nehir ağlarında taşkın yayılımını irdelemek adına 2 boyutlu taşkın modelleri MIKE21 yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

Her bir dere için ayrı ayrı taşkın derinlik ve tehlike haritaları hazırlanmış olup, 1000 yıllık taşkın tekerrür debisi için hazırlanan ve Haramidere ana kolunun mansap kısmını gösteren haritalar örnek olarak sunulmaktadır.



Şekil 15-2 Haramidere Mansabı Q₁₀₀₀ Taşkın Derinlik Haritası (m)



Şekil 15-3 Haramidere Mansabı Q1000 Taşkın Tehlike Haritası

16. TAŞKIN RİSK HARİTASI ÇALIŞMALARI

Taşkın Tehlike Raporu kapsamında daha önce belirlenmiş hidrolik modelleme yapılacak dere kollarının her biri için; 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık taşkın tekerrür debileri saptanarak hidrograflar hazırlanmıştır. Belirlenen hidrograflar, kurulan hidrolik modellerde memba şartı olarak kullanılmış ve bu debilerle hidrolik modeller oluşturulmuştur. 2 boyutlu hidrolik modellerin taşkın su derinliği ve hızı haritaları kullanılarak taşkın tehlike haritaları hazırlanmıştır. Hazırlanan taşkın tehlike alanı haritaları olası bir taşkında etkilenecek alanlara ışık tutmakla birlikte projenin bu aşamasında hazırlanan taşkın risk haritaları ve dolayısıyla taşkın yönetim planının hazırlanması için altlık olarak kullanılmıştır.

Taşkın Risk Analizleri kapsamında ise, Haramidere Havzası'nda 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 ve 1000 yıl tekerrürlü taşkın debileri düşünülerek taşkın risk haritaları oluşturulmuştur. Bunlara ek olarak ekonomik zarar ve taşkından etkilenen nüfus da ayrıca hesaplanarak rapor kapsamında belirtilmiştir.

Taşkın risk haritalaması gelişmekte olan bir konsept olup, ekonomik, sosyal ve çevresel anlamda riskli alanları tespit etmek için kullanılmaktadır. Taşkın tehlike haritalarında daha çok taşkın fiziksel sonuçlarına yer verilirken, taşkın risk haritalarında ekonomi, nüfus ve çevreye verdiği zararlara yer verilmektedir.

16.1. Taşkın Risk Elemanları ve Taşkın Risk Haritası Çeşitleri

Risk haritalama çalışmalarının ilk adımı, çalışılacak alanda yer alan yapıların sınıflarının belirlenmesidir. Çalışılan alandaki yapılar temel olarak üç ana sınıfa ayrılmıştır, bunlar konutlar, ticari yapılar ve endüstriyel yapılardır. Yapılara ek olarak, çalışılan alandaki parklar, ekilen alanlar, yollar vb. de belirlenmektedir. Ayrıca hastane, okul, kreş, ibadethane gibi sosyal sıcak noktaların da belirlenmesi ve haritada işaretlenmesi önemlidir. Çalışma alanında yer alan ve taşkın riskine maruz kalan bu elemanlar raporun geri kalanında risk elemanları olarak adlandırılacaktır.

Çalışma alanında yer alan risk elemanları belirlendikten sonra taşkın tehlike haritaları ile risk elemanlarının kesiştirilmesi gerekmektedir. Farklı taşkın tekerrür debileri kullanılarak taşkın tehlike haritalarının oluşturulması risk haritalarının oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır.

16.2. Ekonomik Risk Alanları

Taşkın risk haritaları oluşturulurken ekonomik zarar, zarar gören nüfus ve sosyal sıcak noktalar da göz önünde tutulmaktadır. Ekonomik zarar su derinliğine bağlı olarak değiştiğinden, su derinliği hesaplamalarının doğru yapılması ekonomik risk hesaplamalarında önemli bir rol oynamaktadır.

Projede yapı maliyetleri ve bina yükseklikleri gibi ülkemize özgün değerler hesaplamalarda dikkate alınarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan "Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2022/3 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ" adlı belgeden alınmıştır. Her bir taşkın debisi için ekonomik zarar değeri aşağıda yer alan formül kullanılarak hesaplanır:

$$Z = DR \times A \times BF \times 0.6 \times 0.5 \times 1.18$$

Z : İlgili debide hesaplanan ekonomik zarar değeri (TL)

DR : Hesaplanmış su yüksekliğine denk gelen zarar oranı

A : Yapının alanı (m²)

BF : İlgili kaynakta yer alan yapı birim fiyatı (TL/m²)

Yukarıda bahsi geçen ekonomik zarar değerleri sadece yapılara ait zarar değerleri olup müştemilat zararlarını içermemektedir. Müştemilat zararı ise Global Flood Depth-Damage Functions kaynağında önerilen katsayılar (Sayfa 54) kullanılarak hesaplanmıştır. Havza incelendiğinde riskli alanların büyük bir kısmının sanayi alanlarından oluşması, alan için öneminin fazla olması ve uydu görüntülerinin incelenmesi sonucunda alandaki müştemilat zararının daha fazla olacağı düşünülerek yapı zararının % cinsinden 250 olduğuna karar verilmiştir. Müştemilat zararı ticari alanlar için yapı zararının %100'ü, konut alanları içinse yapı zararının %50'si alınarak hesaplanmıştır.

Her bir yerleşim yeri için, taşkınlardan dolayı binalarda ve içindeki eşyalarda oluşan hasarlar ile diğer arazi sınıflarında oluşan hasarları gösteren taşkın zarar haritaları hazırlanmıştır. Zarar değerleri taşkın altında kalan her bir yapı için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Yolların görebileceği ekonomik zarar hesaplarında JRC'nin (2007) yayınladığı kaynaktan yararlanılmıştır. Avrupa'daki ortalama değer, hasar değerlendirmesi konusunda Birleşik Krallık, Almanya, Hollanda, Belçika ve Fransa olmak üzere beş ülke için 24 Euro/m²'dir. Bu birim 2023 yılına uyarlanarak 492 TL/m² olarak alınmıştır. Yol genişliği zarar hesaplarında ortalama 10 metre olarak kabul edilmiştir.

Taşkından zarar gören araçlar hesaplanırken taşkın su derinliğinin 0.35 m'den fazla olduğu alanlar düşünülmüştür. Piyasada satışı en çok yapılan ilk on araç piyasa araştırması yapılarak yaklaşık değerle belirlenmiştir. Bir aracın fiyatı hesaplanırken de piyasada en çok satılan ilk on araç modelinin 5 yaş piyasa fiyatı alınmıştır.

Taşkından zarar gören taşıt sayısı hesaplanırken su derinliğinin 0.35 m'yi geçtiği yerler göz önünde bulundurulmuştur. TÜİK (2023) motorlu kara taşıt istatistiklerine göre bin kişi başına düşen otomobil sayısının 2021 yılına göre 200 olduğu tespit edilerek, araçların göreceği ekonomik zarar hesaplanırken bu değer kullanılmıştır. Nüfus ve araç sahipliliği ilişkisi kurulmuştur.

Haramidere ana kolunun membasında bulunan riskli sanayi alanları incelenerek taşkın riskinden etkilenebilecek ortalama kamyon ve tır sayısına göre ekonomik zarar miktarı hesaplanmıştır. 1000 yıl tekerrürlü bir taşkın yaşanması durumunda yaklaşık 3 kamyon, 2 tır, 500 yıl tekerrürlü bir taşkın yaşanması durumunda yaklaşık 3 kamyon, 2 tır, 100 yıl tekerrürlü taşkında yaklaşık 2 kamyon, 2 tır ve 50 yıllık tekerrürlü bir taşkında yaklaşık 2 kamyon, 2 tırın bu taşkından zarar göreceği öngörülmüştür. Hesap yapılırken ise tır ve kamyonların 10 yaş piyasa fiyatları göz önüne alınmıştır.

Bu durumda taşkın su derinliğinin 0.35 m'yi geçtiği yerlerde bir aracın zarar görmesi durumunda yaklaşık olarak 455,000 TL, bir kamyonun zarar görmesi durumunda 1,450,000 TL ve bir tırın zarar görmesi durumunda 2,480,000 TL zarar göreceği kabul edilmiştir.

16.3. Nüfus Risk Alanları

Ekonomik risk haritalarının aksine, insan hayatına bir değer biçilemediği için nüfus risk haritalarının oluşturulması daha zordur. Literatürde oluşturulmuş olan nüfus risk haritalarında, genel olarak Boolean Değerleri (doğru ya da yanlış şeklinde değer) ile nüfus yoğunluğu kullanılmıştır (Kubal vd., 2009, Meyer vd., 2009). Nüfus risk haritaları oluşturulurken yapılan en büyük kabul, su derinliğine bağlı olmaksızın suyun bastığı noktadaki herkesin etkilendiği kabulüdür.

Haramidere Havzası taşkın yayılım alanları incelendiğinde riskli alanlarda sadece sanayi ve konut alanlarının bulunduğu, ticaret ve kamu kurumları gibi alanların bulunmadığı görülmüştür. Etkilenen nüfus riski hesaplanırken hane halkı büyüklüğü 5 kişi ve bir konut dairesinin büyüklüğü yaklaşık olarak 125 m² olarak kabul edilmiştir.

Riskli olduğu tespit edilen sanayi alanları için etkilenen nüfusun çalışan sayısına eşit olduğu düşünülerek hesaplanmıştır. Buna göre her bir sanayi yapısı gözetilerek, taşkından etkilenebilecek çalışan nüfus elde edilmiştir.

16.4. Sosyal Sıcak Noktalar ve Risk

Eğitim kurumları ve sağlık merkezleri sosyal sıcak nokta olarak değerlendirilerek bu alanlarda riskin daha fazla olacağı kabul edilir ve bu alanlarda hesaplanan risk değeri metodolojiye göre yüzde elli artırılmaktadır. Ancak Haramidere Havzası'nda yapılan 2 boyutlu hidrolik model sonucunda yerleşimlere etki edebilecek taşkın alanları incelendiğinde sosyal sıcak nokta olarak adlandırılan alanların bulunmadığı görülmüştür.

16.5. Tarımsal Alanlardaki Ekonomik Zararlar

Havzada ekonomik zararı hesaplayabilmek adına hidrolik model oluşturulmuş ve havzada suyun yayılım alanı tespit edilmiştir. Yayılım alanı ile tarımsal alanlar kesiştirilerek su altında kalan tarımsal alanlar belirlenmesi hedeflenmiştir ancak Haramidere Havzası'nda tarım alanı olmadığı için tarımsal risk hesaplanmamıştır.

17. RİSK HARİTALARI

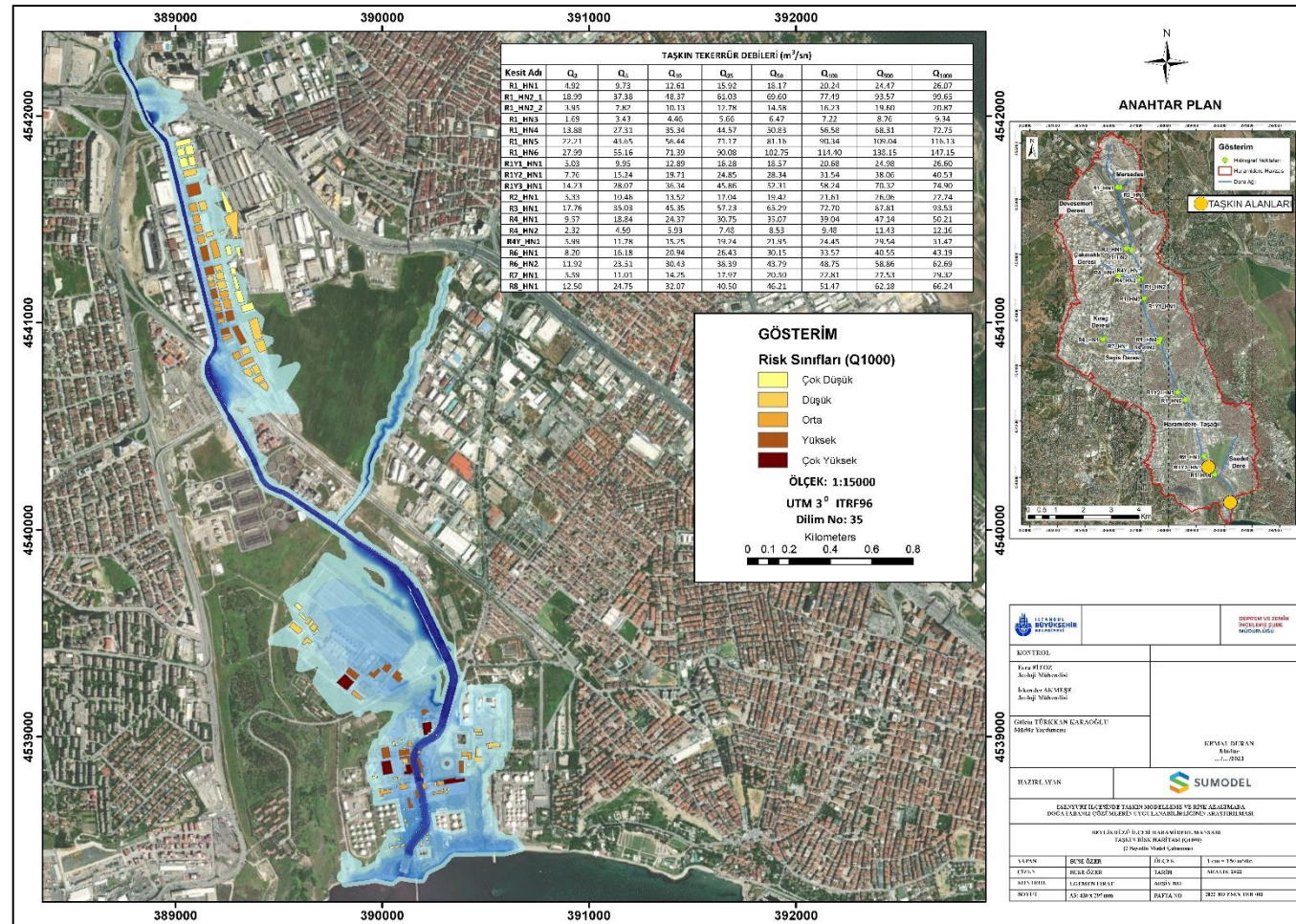
Haramidere Havzası Haramidere ana kolu mansap kısmında 1000 yıllık taşkın tekerrür debisi için hazırlanan ekonomik zarar değerleri, etkilenen nüfus, risk haritaları takip eden bölümde örnek olarak verilmiştir.

Tablo 17-1 Haramidere Mansabı Risk Hesaplamaları Sonuçları

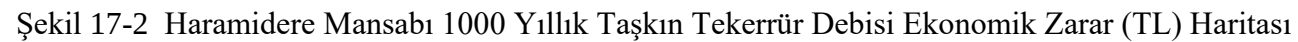
Taşkın Tekerrür Periyodu	Yapıların Ekonomik Zararı		Yolların Ekonomik Zararı		Araçların Ekonomik Zararı		Toplam Ekonomik Zarar	Etkilenen Nüfus (Kişi)	Etkilenen Çalışan Nüfus (Kişi)
	TL	%	TL	%	TL	%			
Q ₅₀	₺33,316,643	46.4	₺9,698,165	13.5	₺28,759,410	40.1	₺71,774,218	230	28,492
Q ₁₀₀	₺41,064,945	11.5	₺10,471,548	2.9	₺304,086,420	85.5	₺355,622,913	3,260	33,047
Q ₅₀₀	₺83,495,046	4.8	₺20,121,260	1.2	₺1,633,444,570	94.0	₺1,737,060,875	17,710	51,061
Q ₁₀₀₀	₺95,832,940	4.9	₺25,663,494	1.3	₺1,850,616,700	93.8	₺1,972,113,133	20,100	54,079

17.1. Yapısal Risk

1000 yıl tekerrürlü bir taşkında toplam 1,972,113,133 TL, 500 yıl tekerrürlü bir taşkında toplam 1,737,060,875 TL, 100 yıl tekerrürlü bir taşkında toplam 355,622,913 TL, 50 yıl tekerrürlü bir taşkın olayı yaşanması durumunda toplam 71,774,218 TL ekonomik zarar göreceği hesaplanmıştır.

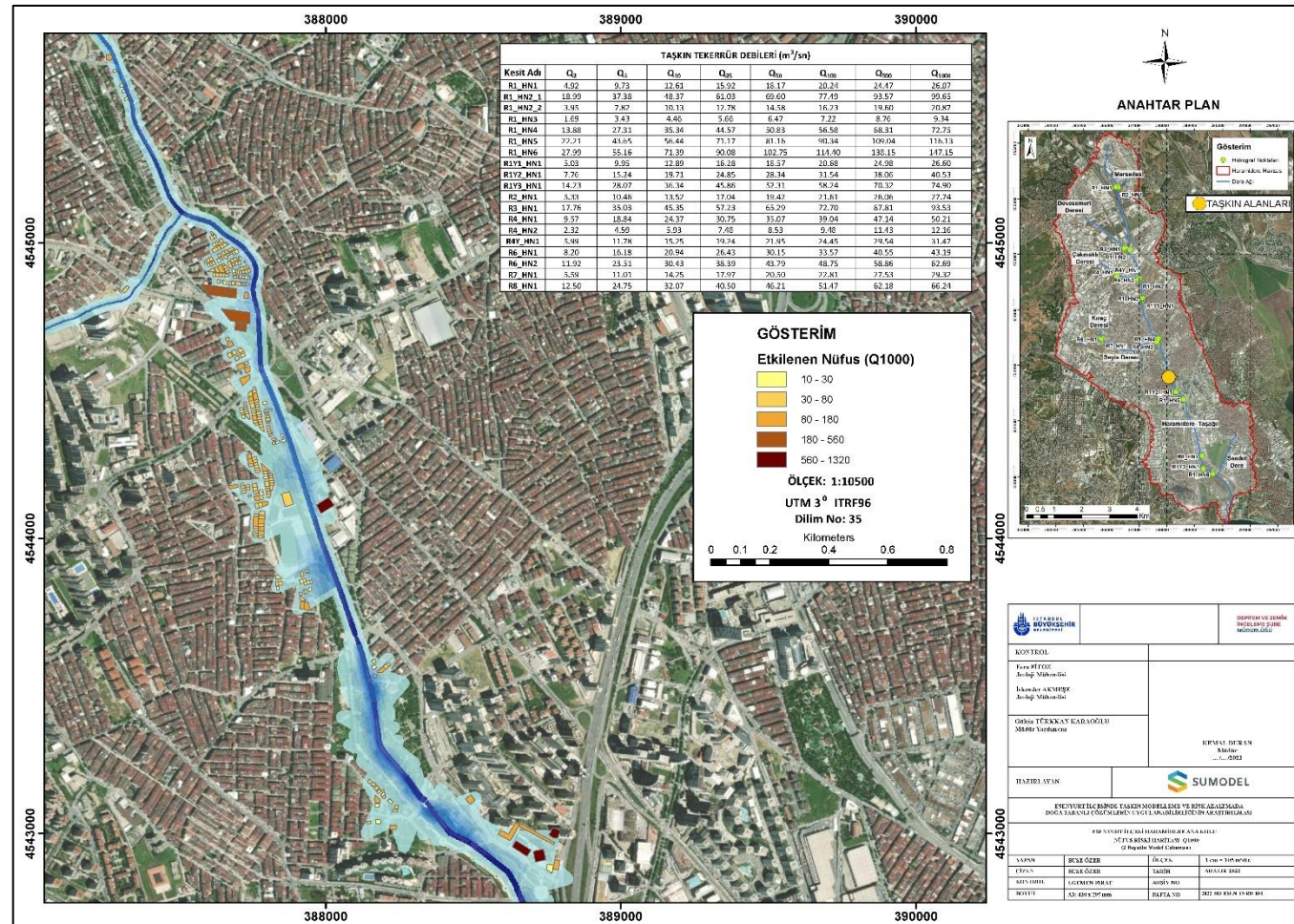


Şekil 17-1 Haramidere Mansabı 1000 Yıllık Taşkın Tekerrür Debisi Risk Haritası



17.2. Nüfus Riski

Etkilenen nüfus riski hane halkı büyüklüğü 5 kişi ve bir konut dairesinin büyüklüğü yaklaşık olarak 125 m² olarak kabul edilerek hesaplanmıştır. Buna göre Haramidere'nin mansap ve memba bölgelerinde sanayi ağırlıklı arazi kullanımı mevcut olduğundan konut riski sadece ana kolun orta kesimlerinde görülmüştür. 1000 yıllık tekerrür debilerine göre hesaplanan konut riski haritası örnek olarak verilmiştir.



Şekil 17-3 Haramidere Ana Kolu 1000 Yıllık Taşkın Tekerrür Debisi Nüfus Riski Haritası

18. BEKLENEN YILLIK ORTALAMA ZARAR

Farklı yinelenme dönemlerine sahip taşkınlardan kaynaklanan toplam etkiler, beklenen yıllık ortalama zararlar olarak da ifade edilebilmektedir. Hesaplama için, üç yinelenme döneminin taşkın alanlarında olası etkileri kullanılmıştır. Beklenen sayı ne kadar yüksek olursa ilgili yerleşim yerleri için beklenen taşkın riski o kadar şiddetli olmaktadır. Etkilenmesi beklenen yıllık ortalama zarar aşağıda yer alan formül kullanılarak bulunmaktadır:

Beklenen yıllık ortalama zarar miktarı Haramidere Havzası için hesaplanmış olup Tablo 18-1’de verilmektedir. Buna göre Haramidere Havzası için beklenen yıllık zarar 12,244,782 TL/Yıl’dır.

Tablo 18-1 Beklenen Yıllık Ortalama Zarar

	Toplam Ekonomik Zarar (TL)			Beklenen Yıllık Ortalama Zarar (TL/Yıl)
	Q50	Q100	Q500	
Haramidere Havzası	₺71,774,218	₺355,622,913	₺1,737,060,875	12,244,782

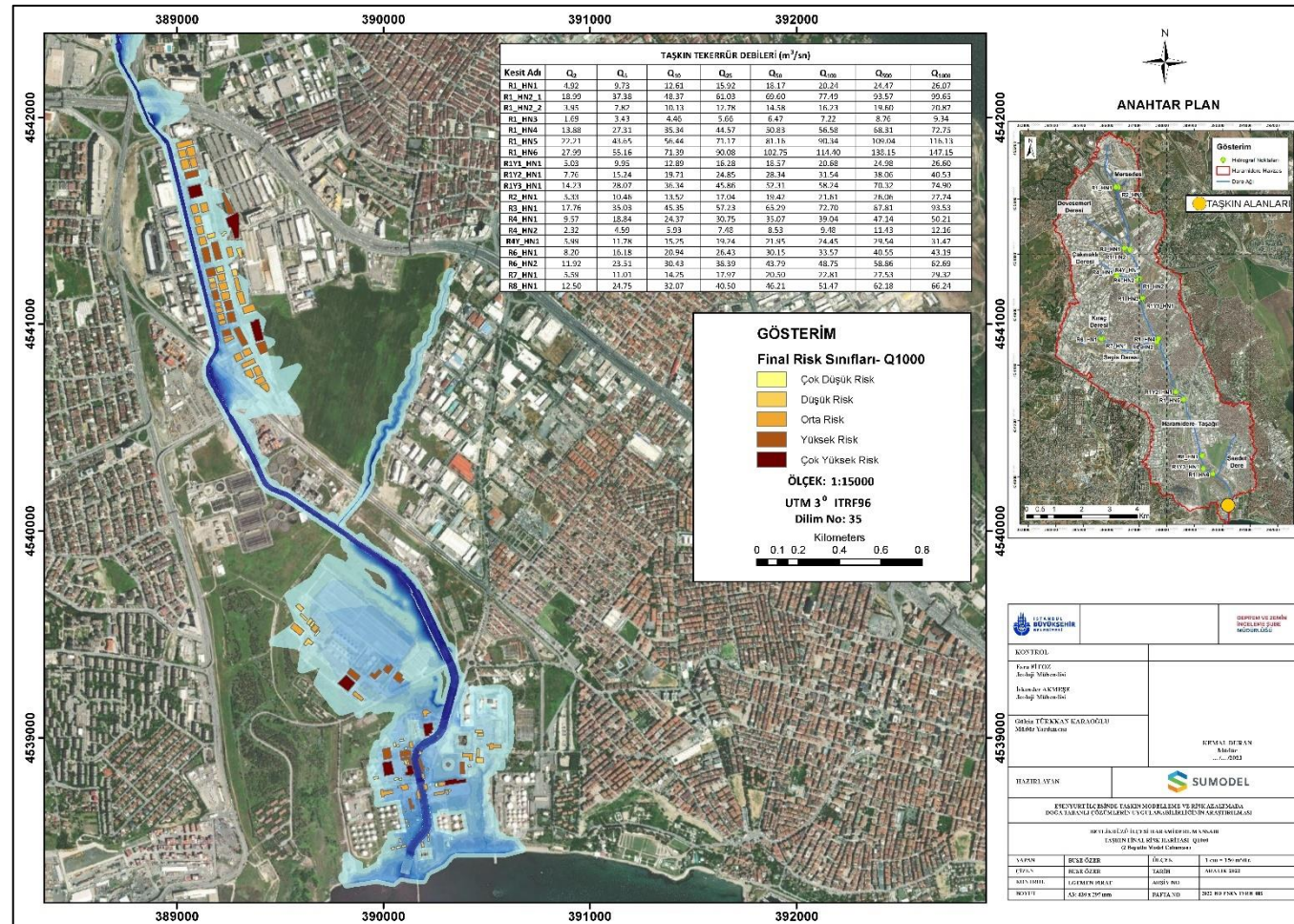
19. FİNAL TAŞKIN RİSK HARİTALARI

Final taşkın risk haritaları hazırlanırken ekonomik zarar haritalarından ve nüfus riski değerlerinden faydalanılarak final risk değerleri elde edilmektedir. Bu bağlamda toplam risk aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$Toplam Risk = 0,5 * Ekonomik Risk (0 - 1) + 0,5 * Nüfus Riski (0 - 1)$$

Hesaplanan toplam risk değerleri gruplandırılarak dağılımı bulunmaktadır. Risk derecelendirilmesi yapılırken veri setindeki risk değerlerinin ortalaması ve standart sapma değerleri kullanılmaktadır.

Oluşturulan final taşkın risk haritalarından bir örnek olarak 1000 yıllık taşkın tekerrür debisine göre hazırlanan ve Haramidere ana kolunun mansap kısmını gösteren harita verilmektedir.



Şekil 19-1 Haramidere Mansabı 1000 Yıllık Taşkın Tekerrür Debisi Final Risk Haritası

20. TAŞKIN ÖNCESİ ÖNLEMLERİ

Taşkınların insan yaşamı üzerindeki olumsuz etkilerine ek olarak, ciddi ekonomik zararlara, çevresel zararlara ve sosyo-kültürel zararlara da yol açmaktadır. Bu yüzden taşkın riskleri değerlendirilirken yol açabileceği tüm zararlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kapsamda, memba-mansap ilişkisi göz önüne alınarak yapısal, yapısal olmayan ve doğa tabanlı vb. tüm önlemlerin birlikte değerlendirilmesiyle çalışmaların planlanması gerekmektedir.

Haramidere Havzasında ekonomik ve kültürel kalkınmanın sağlanabilmesi için ekonomide gelişmeye zarar veren taşkınların etkisinin asgari düzeye indirilmesi gerekmektedir. Engellenemeyen doğa olayları olan taşkınlar gerekli tedbirlerin alınmaması halinde insan ölümlerine, çevresel zararlara neden olmakta ve genellikle taşkınlara maruz kalan bölgenin ekonomik gelişmesine engel olmaktadır. Taşkınlar büyüklüklerine göre sadece bölgenin ekonomik gelişmesine değil ülkenin ekonomik gelişmesine de etki etmektedir.

Taşkın Tehlike ve Taşkın Risk Haritalarının değerlendirilmesiyle belirlenen riskli alanlarda taşkın riskinin azaltılması için hedefler belirlenmiş bu hedeflere uygun tedbirler belirlenerek taşkın öncesinde, taşkın esnasında ve taşkın sonrasında yapılması gereken çalışmaları içeren planlamalar yapılmıştır.

Taşkınlara karşı önlem almak için önlem çeşitlerinin yanı sıra zamanlama da önem teşkil etmektedir. Taşkından önce, taşkın sırasında ve taşkın esnasında olmak üzere bu önlemler çeşitlilik göstermektedir.

Taşkın önlemi olarak çeşitli yaklaşımlar mevcuttur: yapısal (veya teknik veya mühendislik), yapısal olmayan (veya yönetsel, planlama, arazi kullanım değişikliği ve arazi yönetimi) ve doğal önlemler (veya doğa tabanlı çözümler, NBS) (Conitz, F.vd., 2021).

Temel olarak yapısal önlemler taşkının etkisini önlemek ya da azaltmak için taşkınla ilgili bileşenler üzerinde gerçekleştirilen yeniden yapılandırma işlemleridir. Bunlara örnek olarak baraj yapımı, kaptaj, ıslah yapılması, dere yatağının genişletilmesi, duvarların yükseltilmesi, sanat yapılarının geometrisinin değiştirilmesi, dere yatağı temizliği vb gibi

örnekler verilebilir. Diğer bir yandan yapısal olmayan önlemlerde ise temel amaç; insanları ve mülkleri riskli alanlardan uzaklaştırarak hasarı azaltmaktır. Bunlara örnek olarak taşkın planlarının hazırlanması, taşkın tahmini, erken uyarı sistemi, halkın bilinçlendirilmesi, taşkın kanun/yönetmeliğinin oluşturulması, taşkına dirençli kentlerin planlaması, imar düzenlemesi, kurullar/koordinasyonların kurulması vb unsurları içerir. Doğal önlemler ise taşkın bölgelerindeki doğal oluşumları kullanmayı ve uygunsuz yerleşimlerin etkisini bölgenin yerleşimden önceki doğal haline olabildiğince dönüştürerek engellemeyi hedefler. Bunlara örnek olarak ise yağmur suyu hasadı (rainwater harvesting), geciktirme/biriktirme çukurları (retention/detention ponds), sızdırma alanları (infiltration basins), yeşil koridorlar (green corridor), yeşil çatılar (green roof) vb şeklinde sıralanabilir.

20.1. Yapısal Önlemler

Yapısal önlemler genellikle dört kategoriye ayrılır: bir kanalın mansap akışını azaltmak için depolama rezervuarları; kanal kapasitesini artırmak için kanalın genişletilmesi; ana kanaldaki akışı azaltmak için yönlendirmeler; ve kanala yakın alanları korumak için setler (de Andrade Cruz, L. G. Vd., 2023).



Şekil 20-1 Taşkın Azaltmada Uygulanan Yapısal Önlemler

Yukarıda da belirtildiği gibi mansap taşkın kontrolü tedbirlerinin ekonomik şartlarda gerçekleştirilebilir olmasını sağlayabilmek için taşkın pik debilerinin yapılacak

depolamalarla membada kontrol edilmesine çalışılmakta ve ülkemiz şartlarında ağırlıklı olarak sel kapanları ve taşkın öteleme kapasitesine sahip faydaları da bulunan barajlar inşa edilmektedir.

Ancak imkan bulunan yerlerde, taşkın yatağının doğal kesiti korunarak ve doğal konumdaki bazı alanların geciktirme havzası olarak kullanılması ile taşkın pik kontrolü sağlanmaktadır.

Üst havzalarda taşkın pik kontrolünün yanında taşkın rüsubat ve erozyon kontrolüne yönelik mecraların stabilite, konsolidasyon, rüsubat depolama ve enerji dönüşümü (eğim kontrolü ve taşkın suyu enerjisinin kırılması) ihtiyaçlarına yönelik sistematik veya tekil enine yapılar olan ıslah sekileri, tersip bentleri ve geçirgen tersip bentleri inşa edilmelidir.

20.2. Yapısal Olmayan Önlemler

Taşkın yönetimi için yapısal olmayan önlemler, fiziksel olguları içermeyen stratejilere ve eylemlere odaklanır. Bu önlemler, fiziksel olmayan müdahaleler yoluyla taşkın riskini azaltmayı, taşkın hasarlarını en aza indirmeyi ve toplum direncini artırmayı amaçlamaktadır.

- a) Taşkın Alanı İmar ve Arazi Kullanım Planlaması
- b) Taşkın Farkındalığı ve Eğitimi
- c) Taşkın Tahmini ve Erken Uyarı Sistemleri
- d) Acil Durum Planlaması ve Hazırlık
- e) Sigorta ve Mali Mekanizmalar
- f) Topluluk Katılımı ve Katılımı
- g) Veri Paylaşımı ve İşbirliği
- h) İklim Değişikliğine Uyum

Etkili taşkın yönetimi için iklim değişikliğinin uzun vadeli etkilerini ele almak çok önemlidir. Yapısal olmayan önlemler, gelecekteki taşkın risklerini tahmin etmek ve azaltmak için iklim değişikliği uyum stratejilerinin arazi kullanım planlamasına, altyapı tasarımına ve politika çerçevelerine entegre edilmesini içerir.

Bu yapısal olmayan önlemler, yapısal önlemleri tamamlar ve taşkın yönetimine bütüncül bir yaklaşım sağlar. Her iki yaklaşımın birleştirilmesi, taşkınların etkisini önemli ölçüde azaltabilir ve değişen iklim koşulları karşısında toplum direncini artırabilir.

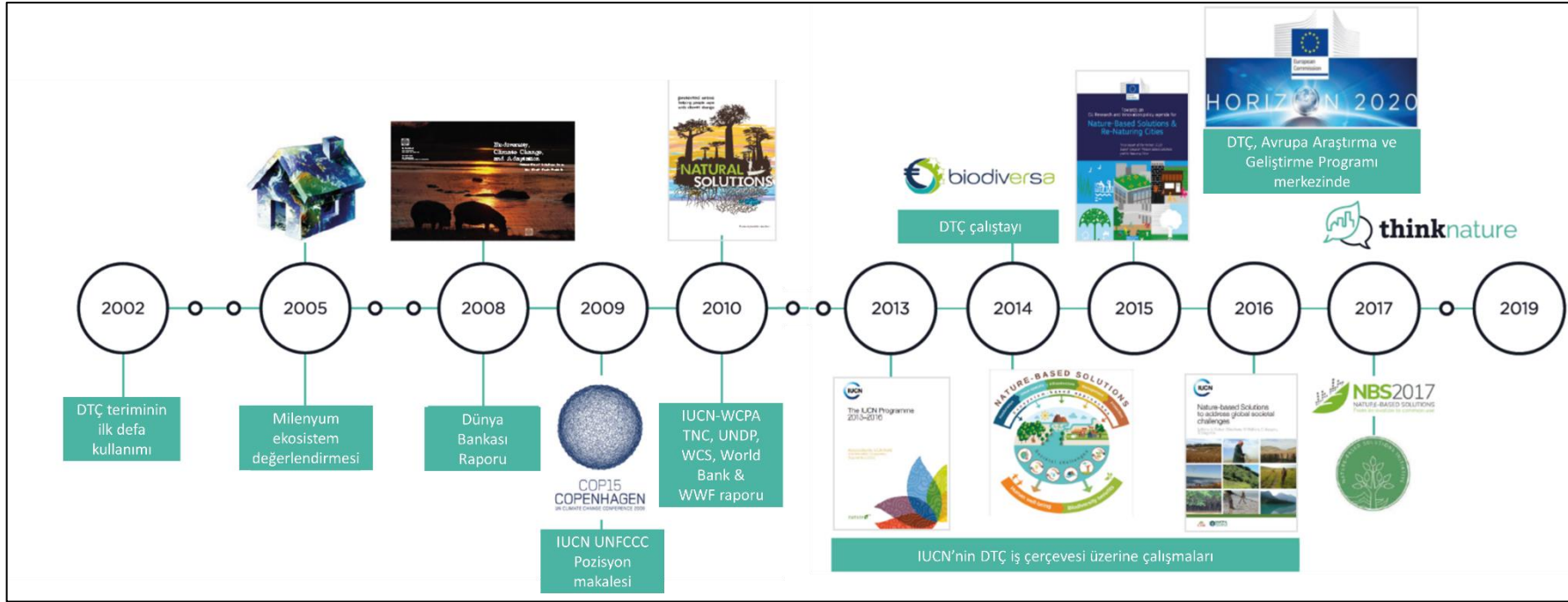
20.3. Doğal Önlemler

Doğa tabanlı çözümler (*Nature-based solutions, NBS*), doğadan esinlenen, desteklenen veya doğadan kopyalanan eylemler olarak tanımlanan yeni bir kavramdır (Cohen-Shacham et al., 2016; EC, 2015).

Doğa tabanlı çözümler (DTÇ):

- Çeşitli doğal özellikleri ve süreçleri kaynak verimli ve sürdürülebilir bir şekilde devreye almak;
- Kentsel, kırsal ve doğal ortamlarda doğanın rolünü yeniden tanımlayarak, çeşitli mekansal ölçeklerde yerel sistemlere uyarlanır ve
- Sosyal, çevresel ve ekonomik zorluklarla yüzleşmek, birden fazla faydaya yol açmak ve sürdürülebilir kalkınmayı ve dayanıklılığı desteklemek gibi temel hedefleri benimser.

DTÇ'nin bir terim olarak kullanımı 21. yüzyılın başında başlatıldı ve sonraki birkaç yıl içinde dünya çapında birçok kurum tarafından benimsendi (Şekil 20-2). Önceleri, biyolojik çeşitliliğin korunmasını ve çevre yönetimini hedefleyen ekosistem temelli girişimlere odaklanılmıştı. Aşamalı olarak, ekosistem hizmetleri hakkında daha fazla araştırmaya yönlendirilerek ekonomik ve sosyal hususlar da dahil edildi. Bu bütüncül yaklaşım sayesinde, büyüme ve iş yaratma teşvik edilirken, sağlık ve refah iyileştirmede doğanın rolü kabul edildi. 2013'ten bu yana DTÇ, bir terim olarak geniş çapta benimsendi ve doğa, toplum ve ekonomi arasındaki sinerjiyi teşvik etmek için AB Araştırma ve Yenilik Politikası gündeminde ileri itildi (Somarakis, G. vd., 2019).



Şekil 20-2 DTÇ Teriminin Kullanılmasının Zaman Çizelgesi (Somarakis, G. vd., 2019).

DTÇ, çok işlevliliği, yani aynı anda birkaç fayda sağlamayı amaçlar. Bu, sözde sabit veya gri altyapıya kıyasla DTÇ'nin en önemli özelliğidir. Faydalar genellikle birbiriyle ilişkilidir. Örneğin, DTÇ hava kalitesini (çevresel fayda) iyileştirerek hava kirliliğine bağlı hastalıkların azalmasına (sağlık faydası) ve dolayısıyla sağlık hizmetlerinde tasarrufa (ekonomik fayda) olanak tanır. DTÇ ayrıca afet riskinin azaltılması ve dayanıklılığın artırılması için yerel faydalar sağlar. Sağlıklı ekosistemler, tehlike önleme ve afet sonrası iyileştirme için önemlidir. Ayrıca, iklim değişikliğine uyum için yerel faydalar ve iklim değişikliğinin azaltılması için bölgesel-küresel faydalar sağlarlar.

DTÇ, ekosistemlerdeki birçok farklı eylem türünü ve müdahale düzeyini kapsar. Müdahalenin derecesi/seviyesi ve mühendislik türü dikkate alındığında, aşağıdaki üç ana NBS türü tanımlanmıştır (Somarakis, G. vd., 2019).

Tip 1 - Korunan/doğal ekosistemlerin daha iyi kullanımı

Örnekler: karasal ekosistemlerde koruma ve koruma stratejileri, vb.

Tip 2 - Yönetilen ekosistemlerin sürdürülebilirliği ve çok işlevliliği için DTÇ

Örnekler: kapsamlı kentsel yeşil alan yönetimi, tarımsal peyzaj yönetimi, vb.

Tip 3 - Yeni ekosistemlerin tasarımı ve yönetimi

Örnekler: yoğun kentsel yeşil alan yönetimi, kentsel su yönetimi, bozulmuş karasal ekosistemlerin ekolojik restorasyonu, vb.

Proje içerik olarak yukarıda sözü edilen tiplerden Tip 3'ün içerisinde bulunmaktadır. Tip 3 DTÇ ayrıca yedi ana kategoriye ayrılır: Yeşil alan (Green space), Ağaçlar ve çalılar (Trees and shrubs), Toprak koruma ve kalite yönetimi (Soil conservation and quality management), Mavi-yeşil alan tesisi veya restorasyonu (blue-green space establishment or restoration), Yeşil yapıli çevre (green built environment), Doğal veya yarı doğal su depolama ve taşıma yapıları (green built environment, natural or semi-natural water storage and transport structures) ve Sızma, filtrasyon ve biyofiltrasyon yapıları (infiltration, filtration and biofiltration structures) (UNALAB, 2022).

Havzaya özgü olarak DTÇ tiplerinden özellikle Şehir Akış Yönetimi (Urban Runoff Management) üzerinde durulmuştur. Bu yönetimde, öncelikle kentsel alanlarda yüzey suyunu yönetmek için kullanılır ve çeşitli şekillerde Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (*Sustainable Urban Drainage Systems, SUDS*), düşük etkili geliştirme (*low impact development, LID*), en iyi yönetim uygulamaları (*best management practices*) veya yeşil altyapı (*green infrastructure*) olarak adlandırılır. Bu yöntemlerle, yağışı düştüğü yere yakın bir yerde yöneten ve taşkın yönetiminin yanı sıra su kalitesi, biyolojik çeşitlilik ve kamu yararı açısından faydalar sunan doğal hidrolojik süreçleri taklit eder (Bridges, T.S. vd., 2021). Aşağıda sıralandığı şekilde bazı yöntemler kullanılarak taşkın etkileri azaltılabilir.

1) Yapay sulak alan (*Constructed wetlands*)

Sulak alanların faydaları arasında taşkın suyunun depolanması, ikinci tur suyun filtrelenmesi ve iyileştirilmiş su kalitesi yer alır. Sulak alanlar ayrıca hem bitki hem de hayvan türleri için yaşam alanı sağlayarak çevresel ortak faydaları da teşvik eder (Şekil 20-3, a).

2) Yağmur bahçeleri ve biyotutucu sistemler (*Rain gardens and bioretention systems*)

Bunlar, akış hacmini depolayan ve sızan sığ peyzajlı çöküntülerdir. Genellikle yağmur suyunun bahçeye girdiği basit bir girişe, bitki örtüsüne, bir filtre ortamına, bir drenaj tabakasına ve taşma için bir çıkışa sahiptirler. Çekici peyzaj özellikleri, yaşam alanı ve biyolojik çeşitlilik sağlarlar (Şekil 20-3, b).

3) Geciktirme çukurları (*Detention basins*)

Tipik olarak bir parkta alçak alanlar oluşturmak için çöktürülmüş arazi alanlarıdır. Genellikle kurudurlar ve şiddetli yağmur sırasında depo oluşturmak için geçici olarak suyla dolarlar (Şekil 20-3, c).

4) Yağmursuyu hasadı (*Rainwater harvesting*)

Yağmur suyu hasadı, genellikle çatılardan ve diğer geçirimsiz alanlardan yağmur suyunun toplanması ve depolanıp daha sonra kullanım suyu olarak kullanılmasıdır. Bir depolama tankına ve bazı durumlarda filtreleme sistemlerine, pompalara ve boru tesisatına ihtiyaç duyar (Şekil 20-3, d).

5) Sızdırma şeritleri (*Filter strips*)

Bitişik yüzeylerden karadaki akışı yakalayıp sızmayı, süzmeyi ve tortu birikmesini sağlayan uzunlamasına oluşturulmuş şeritlerdir. Esas olarak su kalitesi ve faydalarına sahiptirler (Şekil 20-3, e).



Şekil 20-3 Su Sızdırma ve Geciktirme Yönetimi için DTÇler (Bridges, T.S. vd., 2021'den uyarlanmıştır).

6) Bekletme çukurları (*Retention ponds*)

Kalıcı olarak su içeren havuzlardır, ancak yoğun yağış olaylarına uyum sağlamak için ekstra kapasiteye sahiptirler. Genellikle taşkın riskini azaltmak, su kalitesini iyileştirmek ve yaşam alanı yaratmak için tasarlanırlar (Şekil 20-3, f).

7) Yeşil koridor (*Green roofs*)

Yeşil çatılar, binaların tepelerine kurulan toprak ve canlı bitki örtüsü alanlarıdır. Suyu emebilir veya bir yağmur olayı sırasında buharlaştırıldığı veya daha sonra boşaltıldığı yerden depolayabilirler. Ayrıca şehri soğutmaya, bina yalıtımını iyileştirmeye, kentsel biyolojik çeşitlilik sağlamaya ve havayı temizlemeye yardımcı olurlar (Şekil 20-3, g).

8) Yağmur hendeği (*Swales*)

Hendekler sığ, düz dipli, bitki örtüsü açık kanallardır. Ana amaçları, yüzey akışını iletmek, tedavi etmek ve hafifletmektir. Genellikle bakımı kolay olan trapez şeklinde bir enine kesite sahiptirler (Şekil 20-3, h).

9) Geçirimli yüzey (*Permeable surfaces*)

Yüzey suyunun kaplama yüzeyinden toprağa veya alt temele veya yer altı depolama tanklarına akmasını amaçlar. Bu süreç akışı durdurur, sızdırır, depolar ve iyileştirmeyi bu şekilde sağlar. Beklenen trafik yükleri ve görünüm, temel tasarım parametreleridir (Şekil 20-3, i).

21. HAVZA ÖZELİNDE SEÇİLEN DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLER

Proje kapsamında temel hedef taşkın riskini en aza indirmektir. Bu nedenle taşkını azaltıcı doğal yöntemler kendi aralarında incelenmiştir. Havza, bilindiği üzere aşırı şehirleşme etkisi altındadır. Burada kırsaldan ziyade şehir için tedbir önerilerinin ortaya konulması önemlidir. Bununla birlikte, düşük tekerrür pik debileri yerine dere taşkınları için önerilen örnekler projenin gereksinimi doğrultusunda dikkate alınmıştır. Doğa tabanlı çözümlerin etkilerini daha uygun bir biçimde ortaya koymak için yukarıda verilen nedenlerden ötürü şehirleşme kavramı ile uyumlu yöntemlere yönelmek gerekmektedir. Bu yöntemler ayrıca havzanın morfolojik, hidrolojik, meteorolojik, jeolojik, hidrojeolojik, zemin yapısı vb. fiziksel özellikleri ile birlikte sosyo-ekonomik yönden yatırıma uygun olması, toplum, uygulamanın sürdürülebilirliği gibi unsurları da kapsamı gerekmektedir.

Bilindiği üzere projenin amaçlarından biri de yüksek tekerrür debilerindeki azalmayı sağlamaktır. Havzanın sık yerleşim dokusu ve yüksek eğimlere sahip yapısı büyük çaplı bir doğa tabanlı çözüm uygulanmasına imkân vermemektedir. Bununla birlikte, küçük çaplı çözümlerin sunulması halinde yüksek tekerrürlü pik debileri düşürmek için sayıca fazla alanda uygulamaya gitmek gerekecektir. Bu durum da havzanın sosyo-ekonomik yapısı düşünüldüğünde uygun görülmemektedir. Bir diğer durum ise iklimle ilgilidir. Havzanın kurak-yarı nemli sınıfında olduğu söylenebilir ancak yağışın son yıllarda azalması ve sınır değerde olması nedeniyle yarı kurak duruma geçme olasılığı da barındırmaktadır. Dolayısıyla bölge için bitki tabanlı yeşil koridor, yeşil çatı vb doğa tabanlı çözümlerin sunulması sürdürülebilirlik açısından düşünüldüğünde havza iklim koşullarına uygun olmayacağı sonucuna varılmıştır.

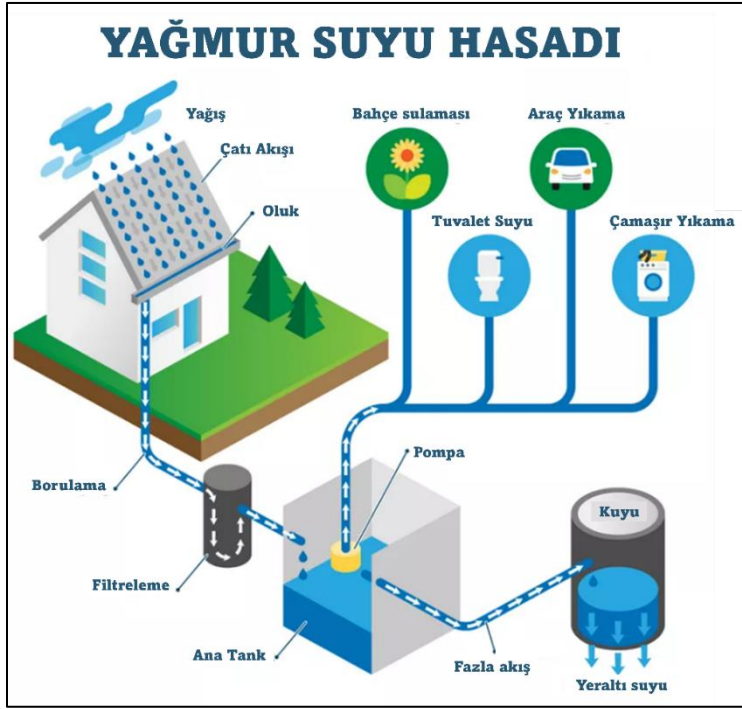
Yukarıda verilen açıklamalar doğrultusunda temel olarak yağışın akışa geçmeden tutulması hedef alınmıştır. Bu nedenle havzanın diğer yapısal unsurları da düşünülerek yağmur suyu hasadı uygulanması ve geçirimli alanlar oluşturulması suretiyle yüzey akışının azaltılarak yeraltısu besleniminin artırılması uygulamalarının taşkın riskinin azaltılmasına ve dolayısıyla proje hedeflerine ulaşmada etkili olacağı düşünülmüştür. Yapılan çalışmalar ve geliştirilen senaryolar bu iki sistem üzerinde yoğunlaşarak gerçekleştirilmiştir.

21.1. Yağmur Suyu Hasadı (*Rainwater Harvesting*)

Tarihî bir su yönetimi biçimi de olan yağmur suyu hasadı, yoğun yağış dönemlerinde tatlı suyun tutulup toprağa emdirilmesine veya depolarda biriktirilerek yağışın az olduğu dönemlerde kullanılabilmesine imkân verir (WWF, 2020). Bu tanım aslında genel anlamda şu şekilde geliştirilebilir: yağmur suyu hasadı, farklı kullanım alanları için doğal olarak düşen yağmur suyunun toplanması ve depolanması sürecidir. Bu yöntem, yağmur suyunu kullanılabilir su kaynağı olarak değerlendirip, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için bir strateji olarak kabul edilebilir.

Yağmur suyu hasadı, genellikle çatılar veya yağmur suyunun doğrudan toplanabileceği diğer yüzeyler üzerinde yer alan su toplama sistemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Sistem, yağmur suyunu toplamak, filtrelemek, depolamak ve ihtiyaç olduğunda kullanmak için bir dizi bileşenden oluşur. Ortak çatı alanlarına sahip binalardan yapılacak yağmur suyu hasadında depolama tankları ortak olarak kullanılabilir ve merkezi bir konuma yerleştirilebilir (Gurung, T.R. & Sharma, A., 2014).

Çatılardan toplanan yağmur suyu binaların çatı yüzeylerinden, oluklarla ve boru sistemleriyle taşınarak, yüzeyde ya da zemin altındaki depolama alanlarında depolanır ve kullanım alanlarına pompalanır (Mengü, G. P., & Akkuzu, E., 2008) .



Şekil 21-1 Yağmur Suyu Hasadı ve Bileşenleri (<https://www.treehugger.com/>'dan uyarlanmıştır)

21.2. Sızdırma Alanları (Infiltration Basins)

Taşkın yönetimine yönelik sürdürülebilir ve çevre dostu yaklaşımları nedeniyle sıklıkla uygulanan doğa temelli çözümlerden birisi de sızdırma alanlarının inşa edilmesidir. Sızdırma alanları, yağmur suyunun akışını yakalamak, geçici olarak depolamak ve kademeli olarak zemine sızdırılmasını sağlamak için kullanılır.

Çalışmalar, sızdırma alanlarının taşkın risklerini etkili bir şekilde azaltabileceğini ve çok sayıda çevresel fayda sağlayabileceğini göstermiştir. Ancak etkinlikleri, toprak koşulları, havuz tasarımı ve bakım uygulamaları dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Sızdırma alanları ile ilgili zorluklar arasında, tortu birikmesi nedeniyle potansiyel tıkanma, bakım gereksinimleri ve yüksek yeraltı suyu seviyeleri veya geçirimsiz topraklara sahip alanlardaki sınırlamalar yer alır.



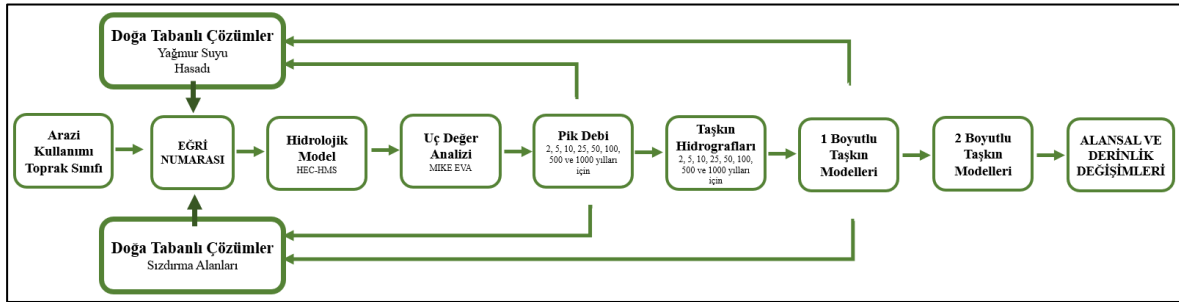
Şekil 21-2 Şehir İçinde Taşkın Önleme Amacıyla İnşa Edilmekte Olan Bir Sızdırma Alanı
(https://en.wikipedia.org/wiki/Infiltration_basin)

Sızdırma alanları, su yönetimi ve ekolojik faydaları birleştirerek taşkın azaltma için doğa tabanlı bir çözüm sunar. Yağmur suyunun akışını yakalayıp ve toprağa sızmasına izin vererek, bu alanlar taşkın risklerini azaltır, su kalitesini iyileştirir ve yeraltı suyunun beslenmesine katkıda bulunur. Tasarım hususları ve bakım çok önemli olmakla birlikte, sızma havuzları taşkın yönetimine yönelik etkili ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak büyük potansiyel göstermektedir. İklim değişikliği ve kentleşmenin zorluklarıyla yüzleşirken, sızma havuzları gibi doğa temelli çözümleri benimsemek, dirençli ve sele dayanıklı topluluklar yaratmada hayati bir rol oynayabilir.

22. DOĞA TABANLI ÇÖZÜM ÇALIŞMALARI

22.1. Proje İçin İzlenen Yöntembilim

Haramidere Havzası'nda doğa tabanlı çözümlerden yağmur suyu hasadı ve sızdırma alanlarının uygulanabilirliğinin belirlenebilmesi için Şekil 22-1'de gösterilen şemada belirtilen akış izlenmiştir. Buna göre mevcut durum için arazi kullanımı ve toprak sınıfı gözetilerek eğri numaraları hesaplanmış ve sırasıyla hidrolojik model, uç değer analizleri, hidrografların belirlenmesi, 1 ve 2 boyutlu taşkın modelleri kurulmuş ve çalıştırılmıştır.



Şekil 22-1 Doğa Tabanlı Çözümlerin Değerlendirilmesinde İzlenen Akış Şeması

Doğa tabanlı çözümlerin havzadaki etkilerinin ölçülmesi amacıyla birçok farklı senaryo Şekil 22-1'de gösterilen akış takip edilerek denenmiş ve son olarak aşağıda ayrıntısı verilen senaryoların proje kapsamında incelenmesine karar verilmiştir.

Doğa tabanlı çözümlerin uygulanabilirliğinin ortaya konabilmesi için üç farklı senaryo belirlenmiştir. Bu senaryolara göre Eğri Numaraları (CN) tekrar hesaplanmış ve Şekil 22-1'de gösterilen şemada belirtilen akış izlenerek hidrolojik ve hidrodinamik model tekrar kurulup çalıştırılarak taşkın yayılımlarının alansal değişimi ve derinlik değişimleri tespit edilmiştir.

Öncelikli olarak yağmur suyu hasadı için, kamu alanlarındaki yapıların ve sanayi tesislerinin çatı alanları belirlenmiştir. Kamu alanları, uygulanabilirliğin özel mülkiyetli alanlara göre daha yüksek olması sebebiyle seçilirken, sanayi tesislerinin çatı alanlarının diğer yapılara göre çok daha büyük olması sebebiyle yağmur suyu hasadının uygulanabileceği alanlar olarak seçilmiştir. Sızdırma alanları olarak belirlenmek üzere havza içinde bulunan tüm yeşil ve boş alanlar tespit edilmiştir.

22.1.1. Mevcut Durum

Hidrolojik model parametrelerinden olan eğri numarası (CN) değerleri hesaplanırken öncelikle ISRIC'e (International Soil Reference and Information Centre) ait 250 metre çözünürlüklü ve 0 -5 cm derinlikli toprak verisi incelenmiştir. Bu veriye göre Haramidere Havzası'nda sadece B grubu (Siltli Lom, Lom, sızma oranı 0.15-0.30 arasında) ve D grubunun (Kil lom, siltli kil lom, kumlu kil, siltli kil, kil, sızma oranı 0.05'ten küçük) bulunduğu görülmüştür.

USGS SWB Version 2.0 (2018)'da toprak yapı sınıflarına göre belirlenmiş olan CN değerleri Haramidere Havzası'nın arazi kullanımı ile karşılaştırılarak CN değerleri atanmıştır.

Bu çalışma kapsamında bölgenin arazi kullanımı da dikkate alınarak havza özelinde görece yüksek bir geçirimsizlik öngörülerek CN_{III} değerleri baz alınmıştır. Oluşturulan CN değerleri Tablo 22-1'de verilmiştir.

Tablo 22-1 Haramidere Havzası CN Değerleri

Yağış Alanları	Alan (km ²)	CN _{III} Değerleri
R1_HN1	1.1	95.99
R1_HN2_1	4.3	96.11
R1_HN2_2	0.9	95.48
R1_HN3	0.4	93.92
R1_HN4	3.1	96.15
R1_HN5	4.9	96.33
R1_HN6	6.3	96.02
R1Y1_HN1	1.2	95.40
R1Y2_HN1	1.7	96.30
R1Y3_HN1	3.2	95.83
R2_HN1	1.2	95.98
R3_HN1	4	95.92
R4_HN1	2.1	96.24
R4_HN2	0.5	95.39
R4Y_HN1	1.3	96.14
R6_HN1	1.8	96.07

Yağış Alanları	Alan (km ²)	CN _{III} Değerleri
R6_HN2	2.7	95.83
R7_HN1	1.3	95.96
R8_HN1	2.9	95.51
ORTALAMA	2.36	95.82

Yapılan arazi ve ofis çalışmalarında ve de havzadaki hidrograf noktalarının yağış alanlarının boyutu göz önüne alındığında toplam günlük yağışın kısa süre içerisinde gerçekleşip ani taşkınlar yaratabileceği ön görülmüştür. Bu nedenle her yıl içindeki maksimum günlük toplam yağışın gerçekleştiği günler seçilerek, bu günlerdeki saatlik yağış verileri temin edilmiştir. Daha sonra saatlik ekstrem verilerle hidrolojik model kurulmuştur.

22.1.1.2. Birinci Senaryo

Birinci senaryoya göre, havza içindeki tüm kamu kurumları ve sanayi tesislerinin çatı alanlarında yağmur suyu hasadının yapıldığı ve tüm boş ve yeşil alanların ise sızdırma alanları olarak kullanıldığı varsayılmıştır. Bu varsayım ile birlikte senaryonun uygulanabilirliği düşük olmasına rağmen belirlenen tüm alanlara, yağmur suyu hasadı ve sızdırma alanları uygulamalarının yapılması durumunda pik debilerin düşmesi ve taşkınların engellenmesine ne derecede katkı yaptığını ölçmek amaçlanmıştır.

Yağmur suyu hasadı yapılan ve sızdırma havuzu olarak kullanılan alanlarda yağışın tamamının akışa geçmediği varsayılarak bu alanlardaki CN değerleri sıfır kabul edilmiş ve tüm alt havzalar için tekrar hesaplama yapılmıştır. Daha sonra bu alanlarda CN değerleri sıfır alınarak ve diğer alanlarda mevcut CN değerleri kullanılarak her bir alt havza için ortalama CN değeri hesaplanmıştır. CN değerleri hesaplandıktan sonra hidrolojik model aşamasına geçilmiştir. Hidrolojik model kurulmuş ve Uç Değer Analizleri her bir alt havza için hesaplanmıştır.

Mevcut durumdaki ve birinci senaryodaki CN değerlerinin karşılaştırılması Tablo 22-2’de verilmiştir. Bu tabloda çatı alanlarının, sızdırma alanlarının ve su tutulan toplam alanın CN değerinin değişimindeki payı alt havzalara göre değerlendirilmiştir.

Tablo 22-2 Mevcut Durum ve Birinci Senaryo CN Değerlerinin Karşılaştırılması

Alt Havzalar	Alt Havza Alanları (m ²)	CN (Mevcut Durum)	CN (Birinci Senaryo)	CN Değişimi (%)	Çatı Alanları (%)	Sızdırma Alanları (%)	Su Tutulan Toplam Alan (%)	Çatı Alanları (%) x CN (%)	Sızdırma Alanları (%) x CN (%)	Su Tutulan Toplam Alan (%) x CN (%)
R1_HN1	1,115,313	95.99	70.13	26.94	0.3551	0.3107	0.666	9.57	8.37	17.94
R1_HN2_1	4,254,847	96.11	57.49	40.18	1.4108	2.3776	3.788	56.69	95.53	152.22
R1_HN2_2	917,757	95.48	40.16	57.94	0.2855	0.8929	1.178	16.54	51.73	68.28
R1_HN3	434,132	93.92	13.74	85.37	0.0209	0.8004	0.821	1.78	68.34	70.12
R1_HN4	3,103,622	96.15	88.14	8.33	0.1553	0.4174	0.573	1.29	3.48	4.77
R1_HN5	4,918,040	96.33	87.54	9.12	0.1238	0.8699	0.994	1.13	7.93	9.06
R1_HN6	6,303,621	96.02	69.15	27.98	1.3454	2.5636	3.909	37.65	71.74	109.39
R1Y1_HN1	1,171,367	95.40	58.31	38.87	0.1824	0.8267	1.009	7.09	32.14	39.23
R1Y2_HN1	1,718,425	96.30	84.84	11.90	0.0208	0.4325	0.453	0.25	5.15	5.40
R1Y3_HN1	3,238,274	95.83	76.25	20.44	0.6934	0.7731	1.466	14.17	15.80	29.97
R2_HN1	1,197,985	95.98	69.09	28.02	0.2889	0.4550	0.744	8.09	12.75	20.84
R3_HN1	4,023,120	95.92	62.00	35.37	1.6294	1.5240	3.153	57.63	53.90	111.53
R4_HN1	2,130,033	96.24	53.66	44.24	1.1751	0.9133	2.088	51.99	40.41	92.40
R4_HN2	540,380	95.39	48.36	49.31	0.1527	0.4377	0.590	7.53	21.58	29.11
R4Y_HN1	1,341,652	96.14	61.08	36.47	0.7821	0.3021	1.084	28.52	11.02	39.54
R6_HN1	1,845,859	96.07	60.58	36.94	0.2428	1.2684	1.511	8.97	46.86	55.83
R6_HN2	2,709,759	95.83	76.47	20.20	0.0002	1.2127	1.213	0.00	24.50	24.50
R7_HN1	1,262,506	95.96	63.05	34.29	0.5794	0.3801	0.959	19.87	13.04	32.91
R8_HN1	2,898,685	95.51	60.60	36.56	0.5127	1.8355	2.348	18.74	67.10	85.84

22.1.3. İkinci Senaryo

İkinci senaryoda temel amaç en etkili yağış alanlarına yönelip, sorunu bölgesel olarak çözmektir. Aşağıda açıklaması verilen çalışmalarla ana hedef olacak alt havzalar belirlenmiş ve bu havzalara yönelik hesaplamalara ağırlık vererek sonuca gidilmiştir.

İkinci senaryoya göre, yağmur suyu hasadının uygulanabileceği alanlar için kamu alanları ve sanayi tesislerinden çatı alanlarının 2000 m²'den büyük olanlar ve tüm kamu yapıları seçilmiştir. Bu alanlarda yağmur suyu hasadı yapılacağı varsayıldığından yağış akışa geçmeyecektir, dolayısıyla CN değerleri sıfır alınmıştır.

Bu senaryoda hidrojeolojik olarak geçirimli olan alanlar belirlenmiş ve bu alanlar boş ve yeşil alanlar ile kesiştirilerek hidrojeolojik olarak geçirimli zemine sahip boş ve yeşil alanlar belirlenmiştir.

Alanı 2000 m²'den büyük olan kamu ve sanayi tesislerinin çatı alanlarının CN değerleri sıfır, hidrojeolojik olarak geçirimli boş ve yeşil alanların CN değerleri 39 alınmıştır. Diğer alanlar için ise mevcut durumda hesaplanan CN değerlerinin ortalamaları alınarak her bir alt havza için tek bir değer elde edilmiştir. Mevcut durumdaki ve ikinci senaryodaki CN değerlerinin karşılaştırılması Tablo 22-3'de verilmiştir. Bu tabloya göre çatı alanlarının, sızdırma alanlarının ve su tutulan toplam alanın CN değerinin değişimindeki payına bakılarak en fazla etkilenen alt havzalar seçilmiş ve bu senaryoda sadece bu alt havzalarda çözüm uygulaması yapılmıştır. Bunlar R1_HN2_1, R3_HN1, R4_HN1 alt havzalarıdır. Alt havzalar arasında seçim yapılmasının sebebi bu alt havzaların uygulama yapılacak hedef alt havzalar olarak belirlenmesi ve pik debilerin düşmesi, taşkınını engellenmesi için yeterli olup olmayacağının değerlendirilmesidir. Bu alt havzalardaki CN değerleri ikinci senaryodaki değerlere göre hesaplanarak hidrolojik modelleri kurulmuş ve Uç Değer Analizleri her bir alt havza için hesaplanmıştır.

Tablo 22-3 Mevcut Durum ve İkinci Senaryo CN Değerlerinin Karşılaştırılması

Alt Havzalar	Alt Havza (m ²)	CN (Mevcut Durum)	CN (İkinci Senaryo)	CN Değişimi (%)	Çatı Alanları (%)	Sızdırma Alanları (%)	Su Tutulan Toplam Alan (%)	Çatı Alanları (%) x CN (%)	Sızdırma Alanları (%) x CN (%)	Su Tutulan Toplam Alan (%) x CN (%)
R1_HN1	1,115,313	95.99	80.25	16.40	0.2203	0.3096	0.530	3.61	5.08	8.69
R1_HN2_1	4,254,847	96.11	66.36	30.95	1.0490	1.2526	2.302	32.47	38.77	71.23
R1_HN2_2	917,757	95.48	54.58	42.83	0.0848	0.2609	0.346	3.63	11.17	14.81
R1_HN3	434,132	93.92	21.62	76.98	0.0069	0.1607	0.168	0.53	12.37	12.90
R1_HN4	3,103,622	96.15	89.05	7.38	0.1079	0.0431	0.151	0.80	0.32	1.12
R1_HN5	4,918,040	96.33	88.16	8.48	0.0610	0.0160	0.077	0.52	0.14	0.65
R1_HN6	6,303,621	96.02	73.95	22.98	0.7970	0.3700	1.167	18.32	8.50	26.82
R1Y1_HN1	1,171,367	95.40	66.76	30.01	0.1165	0.4014	0.518	3.50	12.05	15.55
R1Y2_HN1	1,718,425	96.30	88.22	8.39	0.0208	0.3302	0.351	0.17	2.77	2.95
R1Y3_HN1	3,238,274	95.83	81.84	14.60	0.5075	0.5724	1.080	7.41	8.36	15.76
R2_HN1	1,197,985	95.98	77.73	19.02	0.2348	0.4550	0.690	4.47	8.65	13.12
R3_HN1	4,023,120	95.92	71.63	25.33	1.0047	0.6661	1.671	25.44	16.87	42.31
R4_HN1	2,130,033	96.24	68.72	28.59	0.8049	0.9096	1.714	23.01	26.01	49.02
R4_HN2	540,380	95.39	64.12	32.77	0.0559	0.2474	0.303	1.83	8.11	9.94
R4Y_HN1	1,341,652	96.14	73.88	23.15	0.5089	0.3021	0.811	11.78	6.99	18.78
R6_HN1	1,845,859	96.07	73.82	23.16	0.1932	1.2666	1.460	4.48	29.34	33.81
R6_HN2	2,709,759	95.83	81.78	14.66	0.0000	0.8164	0.816	0.00	11.97	11.97
R7_HN1	1,262,506	95.96	74.54	22.32	0.3988	0.3801	0.779	8.90	8.48	17.38
R8_HN1	2,898,685	95.51	63.62	33.39	0.3680	0.1436	0.512	12.29	4.79	17.08

22.1.4. Üçüncü Senaryo

Üçüncü senaryo birden çok olguyu içinde barındırmaktadır. Önceki bölümlerde sözü edildiği gibi doğa tabanlı çözümlerin uygulanabilir olması esastır. Bu nedenle sosyo-ekonomik yapı düşünülerek çatı alanları seçilmiş hangi bölgede hangi yapıya uygulanacağı aşağıda ayrıntısı verilen çalışmalar ile tek tek saptanmıştır. Bunun yanı sıra sızdırma alanları için de benzer durum geçerlidir. Özellikle bu alanlar için yapılacak kazılar düşünüldüğünde havzanın jeolojisi kazı maliyetleri açısından; havzanın eğimi yine kazı-hafriyat maliyetleri ve uygulama zorluğundan; havzanın zemin yapısı süzülme ve havzanın hidrojeolojisi de beslenme açısından önem kazanmaktadır. Bu nedenle havzada görece eğimi düşük, genellikle gevşek materyaller içeren kayalaşmamış ya da kötü sınıf olan kayalar ve hidrojeolojik anlamda geçirimli olan alanlara yönelinmiştir. Sözü edilen unsurlar belirlenip, CBS ortamında çakıştırılarak hedef alanlar tespit edilmiştir.

Üçüncü senaryoya göre, yağmur suyu hasadının uygulanabileceği alanlar için kamu ve sanayi tesislerinden çatı alanlarından havzayı en iyi temsil edebilenleri seçilmiştir. Kuartil çalışması ile üçüncü senaryoda tespit edilen (Tablo 22-4) 7 havzada 674 adet yapı yerine en fazla çatı alanına sahip 169 adet yapıya yöneldiğimizde bu 169 adet yapının bütün yapıların yaklaşık %53'ünü oluşturduğu tespit edilmiştir. Böylelikle uygulama yapılacak nokta sayısı azaltılmış ancak temsiliyet de görece korunmuştur. Havza temsiliyetini sağlayacak değer bu çalışma sonucunda 4758 m² olarak bulunmuş ve 4758 m²'den büyük olan kamu ve sanayi çatıları seçilmiştir. Bu alanlarda yağmur suyu hasadı yapılacağı varsayıldığından yağış akışa geçmeyecektir, dolayısıyla CN değerleri sıfır alınmıştır.

Boş ve yeşil alanlar bu senaryoya göre jeolojik, hidrojeolojik olarak geçirimli olan alanlar ve eğimle kesiştirilerek sızdırma alanları için daha uygun hale getirilmiştir. İkinci senaryoda belirtilen hidrojeolojik açıdan değerlendirilen alanlar, havza jeolojisi, eğim ve boş-yeşil alanlar ile kesiştirilerek potansiyel sızdırma alanları belirlenmiştir. Hidrojeolojik olarak geçirimli alanlar, jeolojik açıdan plaj birikintisi (Qp), toprak (Qtp), Danışmen Formasyonu Süloğlu Formasyonu (Tds), İstanbul Formasyonu Kırac Üyesi (Tik) dikkate alınmıştır. Eğim parametresinde ise %10'dan daha az eğime sahip alanlar dikkate alınarak potansiyel sızdırma alanları belirlenmiştir. Daha sonra ise arazide yapılan gözlemler ve uydu

görüntüleri yardımıyla sızdırma alanları oluşturulmasına uygun olmayan alanlar çıkarılarak nihai haline getirilmiştir.

Alanı 4758 m²'den büyük olan kamu ve sanayi tesislerinin çatı alanlarının CN değerleri sıfır, jeolojik ve hidrojeolojik olarak geçirimli boş-yeşil alanların CN değerleri 39 alınmıştır. Diğer alanlar için ise mevcut durumda hesaplanan CN değerlerinin ortalamaları alınarak her bir alt havza için tek bir değer elde edilmiştir. Mevcut durumdaki ve üçüncü senaryodaki CN değerlerinin karşılaştırılması Tablo 22-4'de verilmiştir. Bu tabloya göre CN değerinin değişimindeki çatı alanlarının ve sızdırma alanlarının payına bakılarak her iki doğa tabanlı çözümü de temsil edebilecek alt havzalar seçilmiştir. Bunlar R1_HN1, R1_HN2_1, R1_HN3, R2_HN1, R3_HN1, R4_HN1, R4Y_HN1 alt havzalarıdır. Alt havzalar arasında seçim yapılmasının sebebi bu alt havzaların uygulama yapılacak hedef alt havzalar olarak belirlenmesi ve pik debilerin düşmesi, taşkınını engellenmesi için yeterli olup olmayacağının değerlendirilmesidir. Bu alt havzalardaki CN değerleri üçüncü senaryodaki değerlere göre hesaplanarak hidrolojik modelleri kurulmuş ve Uç Değer Analizleri her bir alt havza için hesaplanmıştır.

Tablo 22-4 Mevcut Durum ve Üçüncü Senaryo CN Değerlerinin Karşılaştırılması

Alt Havzalar	Alt Havza (m2)	CN (Mevcut Durum)	CN (Üçüncü Senaryo)	CN Değişimi (%)	Çatı Alanları (%)	Sızdırma Alanları (%)	Su Tutulan Toplam Alan (%)	Çatı Alanları (%) x CN (%)	Sızdırma Alanları (%) x CN (%)	Su Tutulan Toplam Alan (%) x CN (%)
R1_HN1	1,115,313	95.99	87.65	8.70	0.1066	0.1824	0.289	0.46	0.80	2.51
R1_HN2_1	4,254,847	96.11	84.20	12.39	0.7829	0.8152	1.598	6.50	3.33	19.79
R1_HN2_2	917,757	95.48	91.49	4.19	0.0449	0.0671	0.112	0.10	0.13	0.47
R1_HN3	434,132	93.92	82.04	12.65	0.0000	0.2081	0.208	0.00	2.63	2.63
R1_HN4	3,103,622	96.15	95.23	0.96	0.0529	0.0220	0.075	0.04	0.00	0.07
R1_HN5	4,918,040	96.33	96.22	0.11	0.0124	0.0000	0.012	0.00	0.00	0.00
R1_HN6	6,303,621	96.02	93.66	2.45	0.3078	0.0590	0.367	0.68	0.01	0.90
R1Y1_HN1	1,171,367	95.40	93.75	1.73	0.0245	0.0162	0.041	0.02	0.01	0.07
R1Y2_HN1	1,718,425	96.30	96.30	0.00	0.0000	0.0000	0.000	0.00	0.00	0.00
R1Y3_HN1	3,238,274	95.83	93.33	2.62	0.1878	0.0000	0.188	0.49	0.00	0.49
R2_HN1	1,197,985	95.98	82.87	13.66	0.1864	0.2967	0.483	1.31	1.97	6.60
R3_HN1	4,023,120	95.92	89.78	6.40	0.5173	0.1429	0.660	3.00	0.09	4.23
R4_HN1	2,130,033	96.24	83.77	12.95	0.4634	0.4169	0.880	4.55	1.31	11.40
R4_HN2	540,380	95.39	91.79	3.77	0.0111	0.0576	0.069	0.01	0.16	0.26
R4Y_HN1	1,341,652	96.14	85.68	10.88	0.2759	0.0844	0.360	2.56	0.14	3.92
R6_HN1	1,845,859	96.07	90.67	5.62	0.1329	0.2260	0.359	0.43	0.54	2.02
R6_HN2	2,709,759	95.83	93.82	2.10	0.0000	0.3400	0.340	0.00	0.71	0.71
R7_HN1	1,262,506	95.96	90.55	5.63	0.1559	0.0455	0.201	0.87	0.00	1.13
R8_HN1	2,898,685	95.51	92.38	3.28	0.2106	0.0000	0.211	0.69	0.00	0.69

22.2. Doğa Tabanlı Çözüm Senaryolarının Pik Debi Üzerindeki Etkisi

Oluşturulan üç farklı senaryoya göre pik debiler elde edilmiştir. Senaryoların gerçekleşmesi durumunda mevcut durum ile senaryo sonucunda elde edilen pik debi değişimi tespit edilmiştir.

Birinci senaryo sonucunda elde edilen pik debinin mevcut duruma göre yüzdesel değişimi Tablo 22-5’de verilmiştir. Birinci senaryoda diğer senaryolara göre daha fazla değişim yaşandığı görülmektedir.

İkinci senaryo sonucunda elde edilen pik debinin mevcut duruma göre yüzdesel değişimi Tablo 22-6’de verilmiştir.

Üçüncü senaryo sonucunda elde edilen pik debinin mevcut duruma göre yüzdesel değişimi Tablo 22-7’de verilmiştir.

Tablo 22-5 Birinci Senaryo Sonucunda Elde Edilen Pik Debinin Mevcut Duruma Göre Değişimi (%)

Tekerrür Periyodu	R1_HN1	R1_HN2_1	R1_HN2_2	R1_HN3	R1_HN4	R1_HN5	R1_HN6	R1Y1_HN1	R1Y2_HN1	R1Y3_HN1
2	82.47	95.48	98.33	98.35	37.45	39.91	82.79	94.15	49.27	70.42
5	77.50	93.10	97.54	94.34	32.80	35.42	79.19	91.92	44.16	65.72
10	75.79	92.31	97.31	92.42	31.53	34.14	77.74	91.14	42.62	64.07
25	74.20	91.61	97.12	90.46	30.49	33.04	71.58	90.36	41.25	62.44
50	73.21	91.18	97.01	89.23	29.91	32.41	71.09	89.84	40.44	61.38
100	72.31	90.80	96.91	88.12	29.43	31.88	69.31	89.36	39.73	60.41
500	70.36	90.01	96.69	85.85	28.53	30.84	71.63	88.28	38.32	58.31
1000	69.53	89.68	96.60	84.96	28.21	30.46	70.60	87.82	37.78	57.45

Tekerrür Periyodu	R2_HN1	R3_HN1	R4_HN1	R4_HN2	R4Y_HN1	R6_HN1	R6_HN2	R7_HN1	R8_HN1
2	81.87	91.19	95.02	98.58	89.06	92.87	69.93	87.41	91.53
5	78.58	88.50	93.32	97.88	88.00	90.33	65.18	85.97	89.52
10	77.31	87.51	92.71	97.66	87.74	89.44	63.52	85.51	88.74
25	76.07	86.50	92.10	97.42	87.56	88.53	61.88	85.07	87.91
50	75.27	85.82	91.69	97.27	87.48	87.93	60.82	84.80	87.35
100	74.52	85.18	91.30	97.13	87.42	87.36	59.83	84.56	86.80
500	72.83	83.73	90.44	96.82	87.32	86.10	57.72	84.06	85.56
1000	72.11	83.11	90.07	96.69	87.29	85.56	56.86	83.86	85.03

Tablo 22-6 İkinci Senaryo Sonucunda Seçilen Alt Havzalar İçin Elde Edilen Pik Debinin Mevcut Duruma Göre Değişimi (%)

Tekerrür Periyodu	R1_HN1	R1_HN2_1	R1_HN2_2	R1_HN3	R1_HN4	R1_HN5	R1_HN6	R1Y1_HN1	R1Y2_HN1	R1Y3_HN1
2	0.00	86.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	83.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	81.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	80.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	79.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	78.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
500	0.00	76.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1000	0.00	75.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tekerrür Periyodu	R2_HN1	R3_HN1	R4_HN1	R4_HN2	R4Y_HN1	R6_HN1	R6_HN2	R7_HN1	R8_HN1
2	0.00	79.37	83.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	75.16	80.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	73.46	78.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	71.61	77.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	70.33	76.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	69.08	75.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
500	0.00	66.24	72.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1000	0.00	65.01	71.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tablo 22-7 Üçüncü Senaryo Sonucunda Seçilen Alt Havzalar İçin Elde Edilen Pik Debinin Mevcut Duruma Göre Değişimi (%)

Tekerrür Periyodu	R1_HN1	R1_HN2_1	R1_HN2_2	R1_HN3	R1_HN4	R1_HN5	R1_HN6	R1Y1_HN1	R1Y2_HN1	R1Y3_HN1
2	21.45	50.20	0.00	50.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	18.53	45.49	0.00	46.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	17.77	44.02	0.00	45.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	17.17	42.69	0.00	43.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	16.85	41.88	0.00	42.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	16.60	41.16	0.00	42.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
500	16.14	39.72	0.00	40.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1000	15.97	39.16	0.00	39.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tekerrür Periyodu	R2_HN1	R3_HN1	R4_HN1	R4_HN2	R4Y_HN1	R6_HN1	R6_HN2	R7_HN1	R8_HN1
2	53.89	27.24	52.01	0.00	40.19	0.00	0.00	0.00	0.00
5	48.95	23.89	47.21	0.00	35.80	0.00	0.00	0.00	0.00
10	47.36	22.96	45.70	0.00	34.53	0.00	0.00	0.00	0.00
25	45.86	22.18	44.31	0.00	33.44	0.00	0.00	0.00	0.00
50	44.95	21.75	43.46	0.00	32.80	0.00	0.00	0.00	0.00
100	44.12	21.38	42.70	0.00	32.25	0.00	0.00	0.00	0.00
500	42.42	20.70	41.17	0.00	31.20	0.00	0.00	0.00	0.00
1000	41.75	20.44	40.57	0.00	30.80	0.00	0.00	0.00	0.00

22.3. Taşkın Hidrograflarının Oluşturulması

Yapılan çalışmalardan sonra hidrodinamik modele girdi olarak verilecek taşkın hidrografları oluşturulmuştur. Yukarıda sözü edilen CN hesapları yapıldıktan sonra havzaya ait hidrolojik modeller yeniden çalıştırılmıştır (her bir senaryo için 19 alt havza, 10 farklı model). Daha sonra ise buradan sağlanan çıktılar hidroloji raporunda sunulduğu gibi her bir senaryo için uç değer analizi modelinde değerlendirilmiş ve farklı tekerrürlere göre hidrograflar 19 adet yağış alanı için her bir senaryo özelinde yeniden hesaplanmıştır. Bundan sonra ise bu bulgular taşkın durumunu irdelemek üzere hidrodinamik modele girdi olarak verilmiştir.

22.4. Senaryoların Değerlendirilmesi

Oluşturulan üç farklı senaryoya göre pik debiler elde edilerek alt havzalarda senaryoların gerçekleşmesi durumunda mevcut durum ile senaryo sonucunda elde edilen pik debi değişimi incelenmiştir. Senaryoların ayrı ayrı uygulanması durumunda Haramidere Havzası bütününde yaşanacak olan debi değişimi yüzdesel olarak Tablo 22-8’da verilmiştir. Literatürde de sıkça belirtildiği üzere doğa tabanlı çözümlerin düşük tekerrür debilerinde daha etkili olmaktadır. Benzer şekilde proje kapsamında yapılan çalışmada mevcut duruma göre taşkın debilerindeki en fazla değişimin 2 yıllık tekerrür debilerinde olduğu ve en fazla değişimin birinci senaryoda yaşandığı görülmüştür. Bunun sebebi birinci senaryoya göre tüm kamu ve sanayi tesislerinde yağmur suyu hasadının yapılmasının ve tüm boş-yeşil alanlarda sızdırma alanı uygulamasının yapılmasının öngörülmüş olmasıdır.

Tablo 22-8 Senaryolara Göre Haramidere Havzası Bütünündeki Debi Değişimi (%)

Tekerrür Periyodu	Birinci Senaryo (%)	İkinci Senaryo (%)	Üçüncü Senaryo (%)
2	81.37	13.16	15.56
5	78.37	12.56	14.02
10	77.33	12.32	13.55
25	76.08	12.07	13.12
50	75.48	11.90	12.87
100	74.86	11.73	12.64
500	73.86	11.35	12.19
1000	73.35	11.19	12.02

Görüldüğü üzere birinci senaryo tüm tekerrür debilerinde en az debiye sahip olan senaryodur, bu da taşkını önleme ve debiyi azaltmada en etkili olan senaryo olduğunu göstermektedir. Ancak önceki bölümlerde sözü edildiği birinci senaryo uygulanabilir değildir ve sadece doğa tabanlı çözümün en uç noktadaki etkisini gösterme amacıyla referans olarak çalıştırılmıştır. Bunun yanında ikinci senaryo bölgesel hedef seçilmesine yöneliktir. Bir diğer deyişle hedef olarak tespit edilen yağış alanlarında saptanan bütün alanlarda çözüm yapılmasını barındırır. Bu senaryo da uygulama açısından zorluklar barındırmaktadır. Ayrıca Tablo 22-8'dan anlaşılabacağı üzere böyle bir çözümlemeye gidilse bile taşkına etkisi üçüncü senaryodan daha düşüktür. Üçüncü senaryo diğer senaryolardan farklı olarak bölgesel değil noktasal/yapı bazında çözüme odaklıdır. Bu senaryoda temel amaç az sayıda fakat taşkın tehlikesini azaltmada etkisi en yüksek olabilecek yapılara odaklanmaktır. Örnek olarak yağmur suyu hasadında yapılan kuartil çalışması ile tespit edilen 7 havzada 674 adet yapı yerine en fazla çatı alanına sahip 169 adet yapıya yöneldiğimizde bu 169 adet yapının bütün yapıların yaklaşık %53'ünü oluşturduğu tespit edilmiştir. Böylelikle uygulama yapılacak nokta sayısı azaltılmış ancak temsiliyet de görece korunmuştur. Bu sayede inşaa maliyeti, sosyal açıdan oluşabilecek zorluklar, sistemin işletilmesi ve bakım zorlukları gibi durumlar da azaltılmıştır.

Seçilen Senaryo ve Seçilme Gerekçeleri

İncelenen senaryolardan üçüncü senaryonun proje kapsamında uygulanmasına karar verilmiştir. Bu senaryoya göre alanı 4758 m²'den büyük olan kamu ve sanayi tesislerinin çatılarında yağmur suyu hasadı yapılması, jeolojik, hidrojeolojik olarak geçirimli ve %10'dan daha az eğime sahip boş ve yeşil alanlarda sızdırma alanları uygulamasının yapılması öngörülmüştür.

Üçüncü senaryonun seçilme sebeplerinin temeli en uygulanabilir senaryo olmasıdır. Senaryonun uygulanabilirliği hem sosyal hem de ekonomik açıdan incelenmektedir. Sosyal açıdan uygulanabilirlik dikkate alındığında yağmur suyu hasadı yapılabilmesi için kamu ve sanayi tesisleri çatıları dikkate alınmıştır. Çünkü özel mülkiyetlere uygulanması durumunda uygulama süresi uzamakta ve mülkiyet sahiplerinin izin durumu projeyi etkileyebilmektedir. Ekonomik açıdan incelendiğinde ise elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Kamu yapılarına, boş ve yeşil alanlara uygulama yapılmaktadır çünkü özel mülkiyete sahip daha küçük çatı alanına sahip alanlarda uygulama maliyeti daha fazla olmaktadır.
- Sızdırma alanlarının uygulanabilirliği için geçirimsizlik ve eğim göz önüne alınmıştır. Böylece tüm boş ve yeşil alanlardan en uygun alanlara indirgenerek ekonomik bir çözüm olması sağlanmıştır.
- Hem yapı çatılarında hem de boş ve yeşil alanlarda en uygulanabilir alanlar seçilerek ekonomik olarak sürdürülebilir olması da sağlanmıştır.

1 Boyutlu model sonuçları incelendiğinde genel olarak her senaryo için yapılacak olan doğa tabanlı çözümler 2, 5 ve 10 yıllık tekerrür debilerinde taşkın riskini neredeyse tamamen ortadan kaldırmıştır.

Sonuç olarak üçüncü senaryo etkinlik, uygulanabilirlik ve sürdürülebilirlik yönleri bir arada düşünüldüğünde en olası yöntem olarak seçilmiştir. Bu nedenle bu senaryo için 2 boyutlu modelleme çalışmaları gerçekleştirilerek, taşkın yayılımına ve derinliğine 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür debilerinde ne kadarlık bir etki yaptığı 2 boyutta sayısal ve görsel olarak ortaya konulmuştur.

22.5. Seçilen Senaryo ve Mevcut Durumun Karşılaştırılması

Proje kapsamında uygulanması için üçüncü senaryo seçilmiştir. Üçüncü senaryo ve mevcut durumun alansal olarak karşılaştırılması Tablo 22-9'da verilmiştir. Buna göre en fazla değişim 25 yıllık tekerrür debisinde gerçekleşmiştir; mevcut duruma göre taşkın yayılımında yaklaşık %10.5 azalma meydana gelmiştir.

Tablo 22-9 Üçüncü Senaryo ve Mevcut Durumun Alansal Karşılaştırması

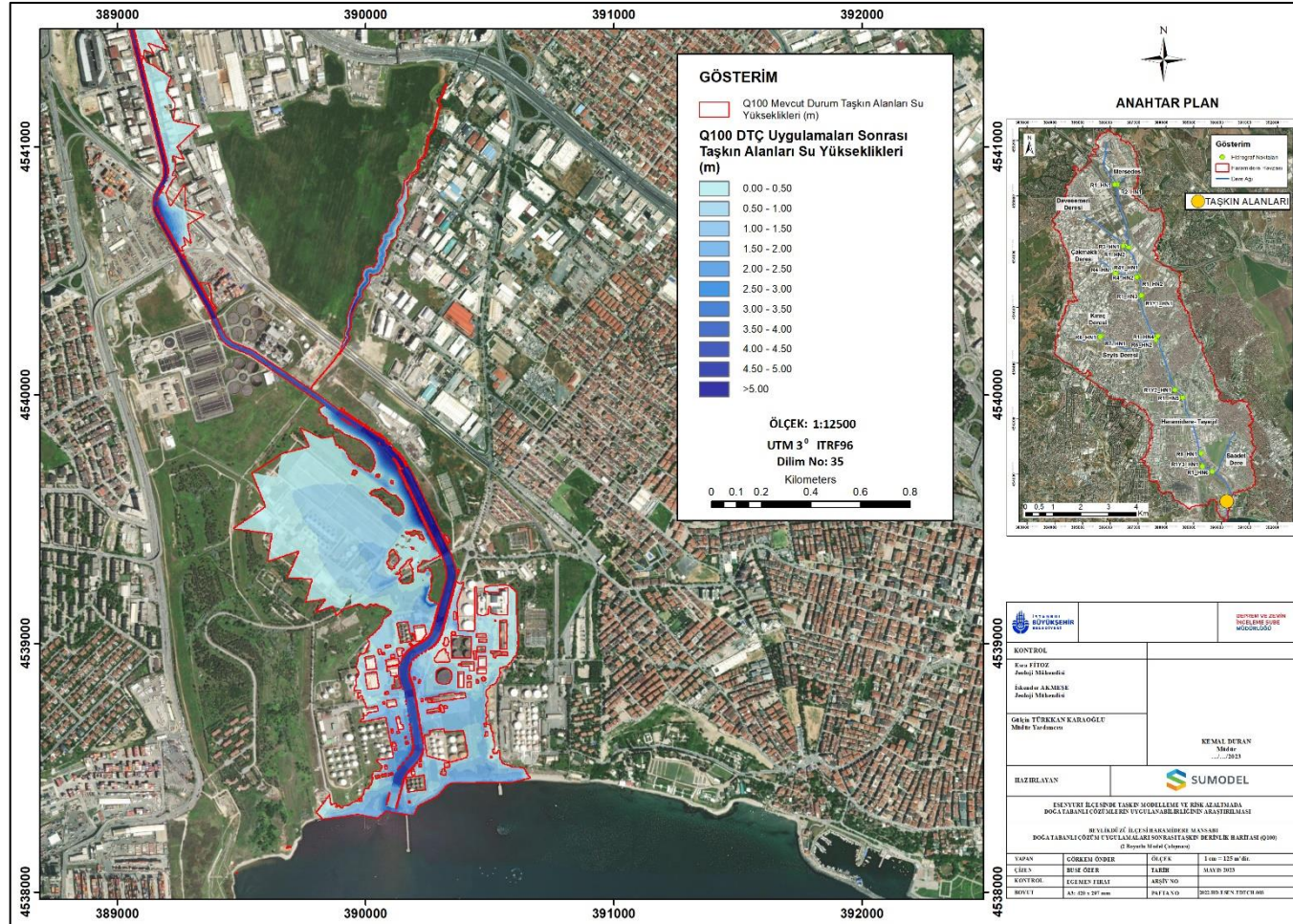
Tekerrür Periyodu	Alan (m ²)		Alansal Değişim (%)
	Mevcut Durum	Üçüncü Senaryo	
25	917,672	821,644	10.46
50	1,016,572	952,568	6.30
100	1,139,868	1,043,676	8.44

Üçüncü senaryo ve mevcut durumun derinlik karşılaştırılması Tablo 22-10'de verilmiştir. Buna göre en fazla değişim 50 yıllık tekerrür debisinde gerçekleşmiştir, mevcut duruma göre taşkın derinliğinde toplam %11 azalma meydana gelmiştir.

Tablo 22-10 Üçüncü Senaryo ve Mevcut Durumun Derinlik Karşılaştırması

Tekerrür Periyodu	Toplam Derinlik (m)		Toplam Derinlik Değişimi (%)
	Mevcut Durum	Üçüncü Senaryo	
25	343,032.99	307,804.18	10.27
50	394,282.76	350,931.10	11.00
100	441,681.32	397,163.66	10.08

Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı. ve Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı. arasındaki görsellerde mevcut durumdaki taşkın sınırı ile 3. senaryo için oluşan taşkın sınırı verilmiştir. İlgili şekiller incelendiğinde taşkın tamamen engellenmemiş olsa bile yayılım ve derinliğin azaldığı göze çarpmaktadır. Buradan da anlaşılabileceği üzere yayılımın binalardan çekilmesi ile taşkın riski yapı zararı, etkilenen nüfus ve araç zararı gibi bileşenler için önemli azalma göstermiştir.



Şekil 22-2 Haramidere Ana Kolu Mevcut Durum ve Doğa Tabanlı Çözümlerin Uygulamaları Sonrasında Q100 Taşkın Derinlik Haritası (m)

23. TAŞKIN SIRASINDA YAPILACAKLAR

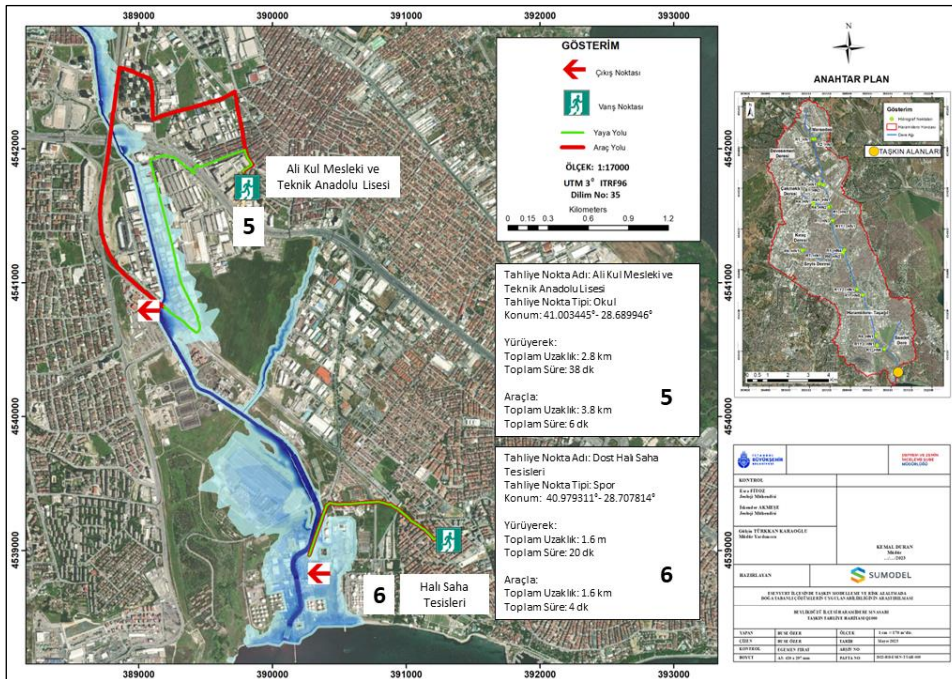
Özellikle ani taşkınlarda akarsuların aşağı kesimlerindeki halkın uyarılması ve bu bölgelerin boşatılması için çok kısa bir süre vardır. Bu yüzden bu bölgelere yerleşmiş insanların, olası bir taşkın tehlikesi karşısında bölgeyi mümkün olduğunca çabuk, diğer bir ifadeyle, mümkünse hemen boşaltabilecek şekilde hazır olmaları gerekir.

Bu hazırlık, "Erken Uyarı Sistemi"nde olduğu gibi tahmin ile başlar. Beklenen taşkın tehlikesi izlenirken halk tahliyeye hazır bir şekilde beklemelidir. Taşkın olduğu ya da oluşmak üzere olduğuna dair uyarı yapıldığında tahmin ve izleme aşamasında tahliyeye hazırlanmış olan halkın gecikmeden harekete geçmesi gerekir.

Haramidere Havzası'nda taşkın alanlarına göre tahliye bölgeleri ve buralara ulaşım bilgileri haritalar ile verilmektedir.

23.1. Taşkın Tahliye Haritaları

Taşkın tahliye haritaları oluşturularak taşkın yayılım alanına en yakın, geniş alanlara tahliye yapılması amaçlanmıştır. Bu haritalar 1000 yıllık tekerrür debisine göre taşkın yayılımları ile birlikte hazırlanmıştır.



Şekil 23-1 Haramidere Mansabı Taşkın Tahliye Haritası

24. TAŞKIN SONRASINDA YAPILACAK ÇALIŞMALAR

İyileştirme bölümü; olası bir taşkın sonrası geniş çaptaki iyileştirme faaliyetlerini desteklemek için çeşitli kaynakların öncelik sırasına konulması ve ilgili kurumların koordine edilmesini kapsar. Özetle, iyileştirme faaliyetleri üç aşamada yerine getirilir.



Şekil 24-1 İyileştirme Faaliyetleri Akış Şeması

1. **Ön İyileştirme Aşaması:** Taşkıdan hemen sonraki iyileştirmenin erken safhası, acil müdahale faaliyetleri ve ön iyileştirme operasyonlarından oluşur. Bu, Taşkın Yönetim Planının iyileştirme bölümünün uygulanması ve ilgili kurum ve kuruluşlarının kendi iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesi aşamasıdır. Bu aşamanın tamamlanmasının ardından iyileştirme çabaları kapsamında orta ve uzun vadeli iyileştirme ve yeniden yapılandırma hedeflerine odaklanılmalıdır.
2. **İyileştirme ve Yeniden Yapılanma Aşaması:** İkinci aşama taşkıdan etkilenen bölgeleri iyileştirip yeniden yapılandırmak için kaynak ve hizmetlerin

dağıtımını ve fonksiyonel faaliyetlerin ele alınmasını içerir. Bu aşama aynı zamanda, iyileştirme faaliyetlerinin gözlenmesini ve gerektiğinde fonksiyonel iyileştirme planının dinamik doğası ile uygun hale getirilmesi için düzenlenmesini içerir. Bu aşama esnasında afet bölgesinin gelecekteki taşkın risklerine dayanıklılığını arttırmak için girişimler ve stratejiler geliştirilip uygulanır.

3. Düzene Geçiş Aşaması: Taşkın Yönetim Planı dâhilindeki iyileştirme çalışmalarının son aşaması; önemli ve öncelikli iyileştirme görevlerinin tamamlanması, doğru düzene geçiş ve bundan sonraki iyileştirme sorumluluklarının yerel yönetimlere ve ilgili kurumlara devredilmesinden oluşmaktadır.

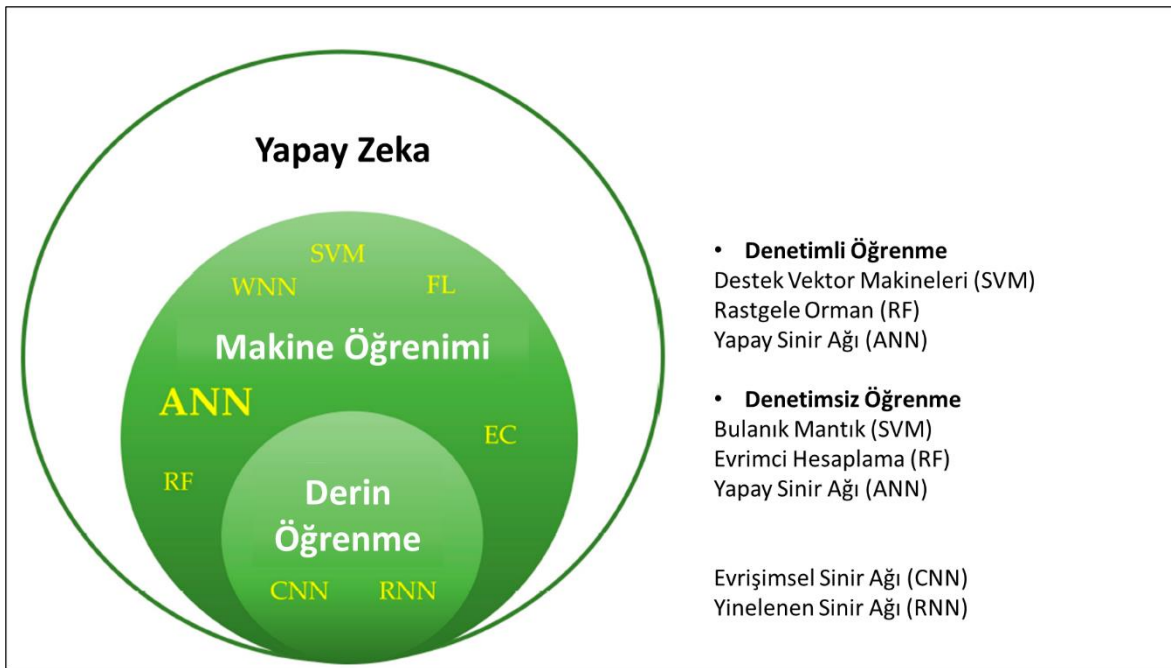
25. YAPAY ZEKÂ VE ŞEHİR TAŞKINLARI İLİŞKİSİ

Taşkın, en sık gerçekleşen doğal afetlerin başında yer almaktadır ve bu nedenle taşkın tahmini ve erken uyarı sistemleri, taşkın tehlike ve risk azaltma, karar destek sistemleri ve afet yönetimi için etkili yöntemlerin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir. Bu yöntemleri gerçekleştirmek için kullanılan nispeten yavaş sayısal modeller ve klasik yöntemlerin yerini, son zamanlarda giderek artan yapay zekâ (AI) teknikleri almaktadır. Bu incelemede, şehir taşkınları kapsamında AI tabanlı yaklaşımlarla ilgili mevcut literatür taranmış ve öne çıkan yöntemler tartışılmıştır.

Yapay zekânın şehir taşkınlarını önlemek için kullanımı genel olarak aşağıda verilen başlıklar altında toplanmıştır:

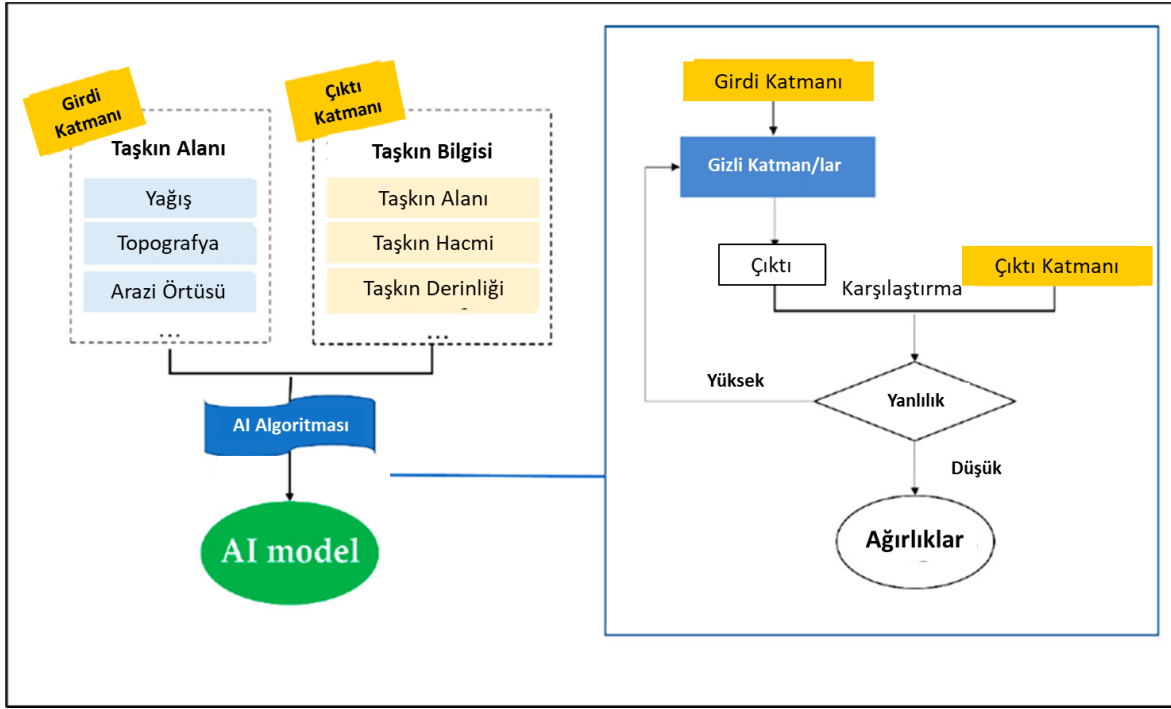
- Taşkın Tahmini ve Erken Uyarı Sistemi
- Uzaktan Algılama Teknikleri ile Taşkınların Haritalaması
- Karar Destek Sistemleri ve Risk Değerlendirmesi
- Yapay Zekânın Hidrolojik Modellerde Kullanılması
- Hidrometeorolojik verilerin işlenmesi/üretimi/kalite kontrolü

Yapay Zekâ (AI) algoritmaları veriye dayalı (data-driven) algoritmaların temel bir alt grubudur. Diğer bir deyişle, kara kutu modelleri olarak tanımlanan bu algoritmalar, taşkın oluşumunun fiziksel mekanizmasını ortaya koymadan veri odaklı karmaşık yapılarıyla girdi verileri ile çıktı verileri arasında sebep-sonuç ilişkisini öğrenirler. Fiziksel mekanizmaları temsil eden karmaşık denklemler içermedikleri için fiziksel taşkın modellerine (örneğin SWMM, InfoWorks ICM, MIKE FLOOD) kıyasla daha hızlı çalışırlar. Ancak, AI algoritmalarını eğitmek ve doğrulamak için yoğun veri setine ihtiyaç duyulması bu algoritmaların yaygın kullanımı için önemli bir engeldir.



Şekil 25-1 Taşkın analizlerinde sıklıkla kullanılan yapay zekâ algoritmaları (Yan vd. 2023)

Yapay zekâ algoritmalarının etkili bir biçimde kullanılabilmesi için probleme uygun bir model yapısına ve yoğun ve kaliteli veri kümesine (big data) gereksinim vardır. Taşkın kapsamında ele alındığında veri tipleri geçmiş taşkın olaylarının konumları, yayılımları ve derinlikleri, bu olaylara bağlı can kayıpları ve oluşan ekonomik ve çevresel zarar, taşkını tetikleyen hidrometeorolojik süreçler (yağış, sıcaklık vb) ve bu süreçleri etkileyen fiziksel özellikler (yükseklik, denize uzaklık, arazi örtüsü vb) sıralanabilir. Yapay zekâ algoritmalarının taşkın analizlerinde kullanılması için gerekli olan genel aşamalar Şekil 25-2’de sunulan akış şemasında açıklanmıştır.

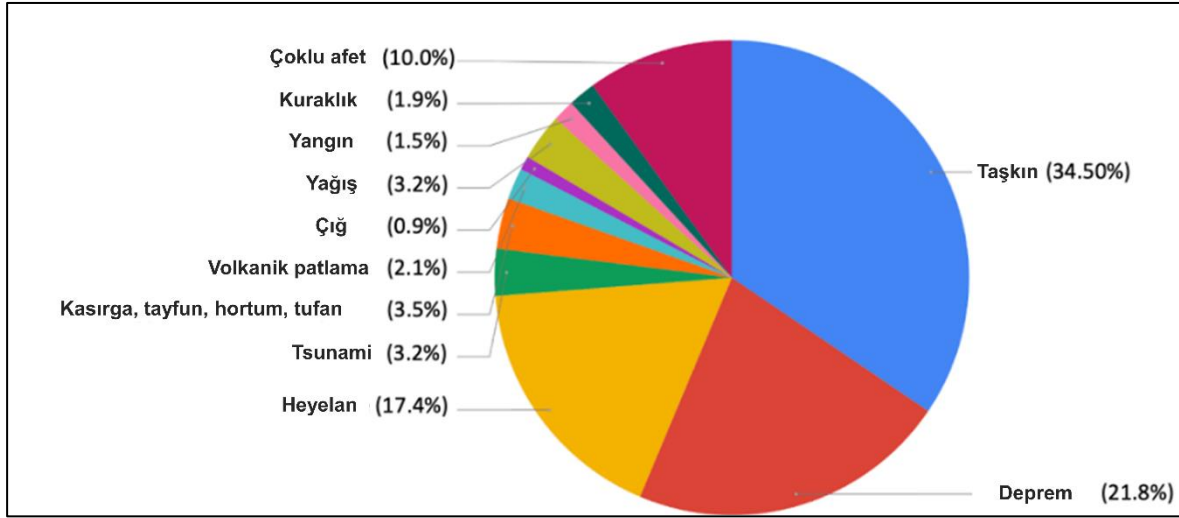


Şekil 25-2 Bir Yapay Zekâ Modeli Kurulumunun Genelleştirilmiş Akış Şeması
(Yan vd. 2023)

Gözlem verisi bulunmayan bölgeler için ise veri açısından zengin olan bölgelerde kurulan makine öğrenmesi algoritmaları veri bulunmayan bölgelere aktarılacak suretiyle tahminler yapılmaktadır.

Bu bölümde taşkın yönetiminde yapay zekâ (AI) uygulamalarına genel bir bakış sunulmaktadır. Taşkın, risk azaltma ve afet yönetimi için etkili ve zamanında müdahale gerektiren küresel bir çevresel sorundur. AI teknikleri, taşkın tahmini, erken uyarı sistemleri, taşkın haritalaması ve karar destek sistemlerini (*decision support systems*) geliştirmeye olanak tanımaktadır. Bu incelemede, AI tabanlı yaklaşımlarla ilgili mevcut literatür taranmış ve öne çıkan yöntemler tartışılmıştır.

Kullanımı giderek yaygınlaşan yapay zekâ ile ilgili yakın tarihli (2018-2021) literatüre ilişkin bir ön araştırma, makine öğrenimi yaklaşımlarının doğal afetlere karşı erken uyarı ve uyarı sistemlerini iyileştirmek ve duyarlılık haritalarının oluşturulmasına yardımcı olmak için kullanıldığını göstermektedir (Şekil 25-3). Bu şekilden anlaşılacağı gibi yapay zekâ doğal afetlerle ilgili olarak en sıklıkla taşkın önleme konusunda kullanılmaktadır.



Şekil 25-3 2018-2021 Yılları Arasında Yayınlanan Doğal Afetlerde Yapay Zekâ Kullanımını İçeren Makale Yüzdeleri (Kuglitsch,M. vd.2022)

Yapay zekâ algoritmalarının şehir taşkınlarının önceden tahmin edilmesi konusunda kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bunun sebebi yukarıda belirtildiği gibi yapay zekâ algoritmalarının fiziksel modellere göre daha hızlı çalışmasıdır. Örneğin Chang vd. (2020) tarafından Tayvan’da kurulan yapay zekâ platformu, geçmiş dönem için elde edilen yağış hiyetografi ile fiziksel hidrolojik/hidrodinamik modeller tarafından simüle edilen şehir taşkın seviyesi/yayılımı arasında bir ilişki kurmayı hedeflemektedir. Evrişimli sinir ağı (Convolutional Neural Network) algoritması ile öğrenilen bu ilişki, daha sonra, tahmin edilen yağış hiyetografını girdi olarak kullanılması ile taşkın seviyesi/yayılımı tahmin etmekte iyi düzeyde başarı ile kullanılmıştır. Yapay zekâ algoritmalarının fiziksel hidrolojik/hidrodinamik modellerin çıktısını kullanarak eğitilmesi bu algoritmaların fiziksel ilişkileri öğrenme olasılığını da artırmaktadır. Ani taşkınlar için geliştirilen diğer bir yöntemde (Kuglitsch vd., 2022), Meksika’nın Colima Nehri havzasında, hidrolojik istasyonlardan, RiverCore sensörlerinden (su seviyesi ve toprak nemi ölçümleri) ve meteoroloji istasyonlarından elde edilen veriler ani taşkınları algılayabilen makine öğrenimi modellerini eğitmek için kullanılır. Makine öğrenimi modellerinden elde edilen ani taşkın tahmin sonuçları hidrolojik/hidrolik modellerle karşılaştırılmaktadır. Colima’daki bu kullanım örneğinin başarısı nedeniyle, Guadalajara metropol bölgesindeki şehir

tünellerindeki ani taşkınları tespit etmek için aynı yöntemler denenmektedir (Kuglitsch vd., 2022)

Yapay zekâ algoritmalarının uzaktan algılama yöntemleri ile entegre edilmesi, şehir taşkınlarının izlenmesi çalışmalarında önemli rol oynamaktadır. Li vd. (2020) kentsel alanlarda (Houston, ABD) taşkın tespiti için Sentetik Açıklıklı Radar (TerraSAR-X) uzaktan algılama verileri ile birlikte aktif bir kendi kendine öğrenen evrişim sinir ağı (A-SL CNN) yapay zekâ algoritması kullanarak Harvey Kasırgası sırasında sular altında kalan alanları yüksek çözünürlükte tespit etmişlerdir. Sentetik Açıklıklı Radar sinyalleri bulutları geçebildiği için taşkın yayılımlarının gözlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır.

Ani taşkınlar ilgili olan örnek, sınırlı veri kümelerine yardımcı olmak için yapay zekâdan da yararlanır. Ani taşkın baskınları özellikle tehlikelidir, çünkü yaklaşan felaketle ilgili genellikle çok az uyarı vardır veya hiç uyarı yoktur. Bu tür olayları meydana geldikleri anda tespit etmek için, havza boyunca debi veya su seviyesi değişikliklerini izlemek ve tespit etmek için yoğun bir sensör ağına sahip olmak önemlidir. (Kulitsch, M. vd.2022).

Yapay zekâ yöntemlerinin şehir taşkınlarının izlenmesi ve tahmin edilmesi konularında kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Fakat bu yöntemlerin kullanımı büyük ölçüde kalitesi yüksek ve yoğun verilerin varlığına dayalıdır. Çalışma alanında yapay zekâ yöntemlerinin etkin kullanımı için hidrometeorolojik ölçüm ağının genişletilmesi gerekmektedir. Yapılan incelemelerde havza içinde ölçüm yapan meteoroloji istasyonu yoktur ve havzayı temsil edebilecek iki adet meteoroloji istasyonu civar havzalarda bulunmaktadır. Bunun yanı sıra akım ölçümü yapan herhangi bir istasyon da bulunmamaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde seçilen üçüncü senaryoda bulunan 5 adet alt havzada ve Haramidere ana kolu mansap bölümünde akım gözlem istasyonlarının kurulması ve birbirine komşu olan havzalara ortak olarak koyulmak üzere en az 2 adet meteoroloji gözlem istasyonunda havza içinde ölçüm alması yapay zekâ algoritmaları ve diğer taşkın çalışmalarının güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesi açısından yararlı olacaktır.

26. KURAKLIK VE TAŞKIN İÇİN DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLERİN ÇOK AMAÇLI OLARAK DEĞERLENDİRMESİ

Önceki bölümlerde sözü edildiği üzere taşkın önlemi olarak belirtilen yağmur suyu hasadı ve sızdırma alanlarını taşkın önlemenin yanı sıra birden çok faydası bulunmaktadır. Bu faydalardan önemli olanlardan biri de kuraklığa faydasıdır.

Çalışma alanının yakınında bulunan Florya istasyonuna (17636) ait 30 yıllık yağış verisi incelendiğinde ortalama yıllık toplam yağış 640 mm civarında iken son 10 yıldaki ortalama yıllık toplam yağışın 620 mm dolayına indiği görülmektedir. Bilindiği gibi Köppen iklim sınıflandırmasına göre 500mm – 1000mm arasında yıllık toplam ortalama yağışa sahip bölgeler kurak-yarı nemli; 250mm – 500mm olan bölgeler ise yarı kurak olarak tanımlanmaktadır. Havzanın kurak-yarı nemli sınıfında olduğu söylenebilir ancak yağışın son yıllarda azalması ve sınır değerde olması nedeniyle yarı kurak duruma geçme olasılığı da barındırmaktadır. Dolayısıyla bölge için bitki tabanlı yeşil koridor, yeşil çatı vb. doğa tabanlı çözümlerin sunulması su azlığı düşünüldüğünde sürdürülebilir bir çözüm olmaktan çıkarılmıştır.

Proje kapsamında seçilen Senaryo 3 kapsamında yıllık olarak çatılardan yaklaşık ne kadar su tutulabileceği hesaplanmıştır.

Çatı yüzeylerine ait yağmur suyu verimi (çatılardan ne kadar yağmur suyunun toplanabileceği) hesaplamaları aşağıda özetlenmiştir (Kılıç Yalılı, M. ve Abuş, N. M., 2018; TEMA 2017).

(1) Yağmur suyu verimi = Yağmur toplama alanı * yağış miktarı * çatı katsayısı * filtre etkinlik katsayısı.

Yağmur toplama alanı: Toplam çatı alanıdır.

Yağış miktarı: İstasyonlardan elde edilen toplam yıllık yağış miktarıdır.

Çatı katsayısı: Alman standartları tarafından DIN (1989)'da 0.8 olarak belirtilen katsayıdır. Çatı katsayısı, çatıya düşen bütün yağmurun geri dönüştürülemeyeceğini ifade etmektedir.

Filtre etkinlik katsayısı: Alman standartları tarafından DIN (1989)'da 0.9 olarak belirtilen katsayıdır. Filtre etkinlik katsayısı, çatıdan elde edilen yağmur suyunun görünen katı maddelerden ayrıştırılması için geçirilen ilk filtrenin verimlilik katsayısıdır. Suyun bir miktarının buradan geçemeyeceği hesaplanarak verilen bir katsayıdır.

Proje alanında Haramidere Havzası'nda taşkın için oluşturulacak yapının kuraklığa olası sayısal faydası aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Senaryo-3 için toplam belirlenen çatı alanı 1567268 m²'dir. Yukarıda söz edildiği üzere iklim değişikliği etkileri de göz önünde bulundurularak havza için son 10 yılın yıllık toplam yağış ortalaması baz alınmıştır.

$$\text{"Haramidere Havzası"} \text{ Yağmur suyu verimi} = 1567268 \text{ m}^2 * 620 \text{ mm} * 0.8 * 0.9$$

$$\text{"Haramidere Havzası"} \text{ Yağmur suyu verimi} = 699628.4 \text{ m}^3 \text{ (yıllık)}$$

$$= 1916.79 \text{ m}^3 \text{ (günlük ortalama)}$$

Yapılan hesaplamayla önerilen senaryoda yıllık yaklaşık toplam 699628.4 m³ suyun çatı sistemlerinden toplanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Hesaplanan bu su miktarı kalitesine göre sulama, araç yıkama, vb amaçlarla kullanılıp, kuraklık için ekstra bir önlem olarak da göz önünde tutulabilir.

Bu bölümde öngörülen alanlarda uygulanacak olan taşkın için su depolamasının kuraklık için uygunluğu irdelenmiştir. Yapılacak olan değerlendirmede iki temel unsur bulunmaktadır. Bunlardan biri buradaki depolar öncel olarak taşkın amaçlıdır. Bu nedenle taşkın esnasında depoların boş olması gerekmektedir. Böyle bir durumda kuraklığa olacak faydanın da tam kullanılabilmesi için önceki bölümlerde sözü edilen erken uyarı sisteminin (örneğin yapay zekâ yardımıyla) kurulması ve bu depoların bu sistemle entegre çalışması gerekmektedir. Buradaki temel amaç erken uyarıdan gelecek tahminin depolara aktarılmasıyla depoda olan suyun kontrollü olarak boşaltılması ve taşkına anında depoların boş bir şekilde hazır olmasıdır.

27. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü bünyesinde, Esenyurt İlçesini de içine alan Haramidere havzasında gerçekleştirilen bu proje kapsamında klasik yöntemler ile hidrolojik ve hidrodinamik (1 ve 2 boyutlu) modeller kullanılarak farklı tekerrür debileri için taşkın tehlike ve taşkın risk haritaları oluşturulmuştur. Ardından havza özelinde farklı doğa tabanlı çözüm senaryoları geliştirilmiş ve seçilen senaryo sonucunda mevcut duruma göre iyileşme ortaya konmuştur.

Proje ön çalışmaları kapsamında havzada daha önce yapılan taşkın modelleme çalışmaları incelenmiştir. Bunlardan en önemlisi 2014 yılında İSKİ tarafından Haramidere Havzası üzerinde yaptırılan taşkın modelleme çalışması projesidir. İlgili proje ile mevcut proje arasındaki farklar irdelenmiştir. İSKİ-2014 projesinde kullanılan dere geometrisi 2014 yılına kadar temsili olup, mevcut çalışmada model girdisi olarak kullanılan güncel ıslah projesine ait planları kapsamamaktadır. Bu nedenle mevcut çalışma sonuçları İSKİ tarafından 2014 yılında yaptırılan sonuçlardan büyük oranda farklıdır. Bunun yanı sıra İSKİ'nin 2014 yılında yaptırmış olduğu proje incelendiğinde havzanın denize boşaldığı noktada farklı yöntemler (Rasyonel CIA, SCS-CN LP III ve SCS-CN Gumbell EV I) ile taşkın tekerrür debi hesapları yapıldığı görülmüştür. Yapılan bu hesaplamalardan Rasyonel CIA yöntemi seçilmiş olup, örnek olarak Q_{500} değeri $535.28 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak bulunmuştur. Ancak ilgili yöntem Bölüm 4.1'de de değinildiği üzere genellikle yağış alanı küçük olan havzalarda ($<1\text{km}^2$) iyi sonuçlar vermektedir. Mevcut rapor kapsamında ise yine benzer yöntemlerin uygulanmasının yanı sıra hidrolojik model de kurulmuştur. Öncelikle günlük veriler ile çalıştırılan hidrolojik modelden alınan çıktılar incelendiğinde pik debilerin sentetik yöntem sonuçlarına göre düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle uzun zaman periyodunda her yıl içindeki en yüksek yağışın gerçekleştiği günler tespit edilip, belirlenen günlere ait saatlik veriler temin edilmiştir. Saatlik veriler incelendiğinde günlük toplam yağışların çoğunlukla 1-2 saat içinde havzaya düştüğü görülmüştür. Bu nedenle saatlik veriler kullanılarak her bir yıl için olay bazında ayrı ayrı modeller kurulup, debiler elde edilmiş ve proje kapsamında yapılan hidrodinamik modellerde hidrolojik model ile üretilen saatlik hidrograflar girdi olarak kullanılmıştır. Model sonucu olarak ise en yüksek debi olarak Haramidere'nin denize mansaplandığı çıkış bölümünde Q_{500} debisinin $775.304 \text{ m}^3/\text{s}$ olduğu görülmüştür. Yukarıda sözü edilen dere ıslahlarının yıllar içinde yapılmış ve planlanmış

olması ve hidrolojik hesaplardan kaynaklanan farklılıklar nedeni ile İSKİ tarafından 2014 yılında üretilen taşkın haritaları güncel/gelecek durumu yansıtmamaktadır. Bu proje kapsamında İdare tarafından sunulan mevcut/planlanan/proje aşamasındaki ıslahlar bu şekli ile korunduğunda ve günlük yağış verisi kullanıldığında Haramidere havzasında raporda belirtilen bölgeler dışında taşkın yayılımı gözlenmemiştir. Ancak saatlik yağış verisi ile yapılan hidrolojik modeller kullanılarak oluşturulan hidrodinamik modeller sonucunda elde edilen çıktılarda havzanın belirli bölgelerinde taşkın olabileceği sonucu ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, bu çalışmadan sonra oluşabilecek insan etkisi, uygunsuz yapılaşma, uygunsuz geçiş yapılarının inşası, iklim değişikliğinin etkileri vb antropojenik ve meteorolojik etmenler çalışma havzasındaki taşkın dinamiklerinin değişmesine yol açabilir.

İncelenen doğa tabanlı çözüm senaryolarından üçüncü senaryonun proje kapsamında uygulanmasına karar verilmiştir. Üçüncü senaryonun seçilme sebebi en uygulanabilir senaryo olmasıdır. Senaryonun uygulanabilirliği hem sosyal hem de ekonomik açıdan incelenmektedir. Sosyal açıdan uygulanabilirlik dikkate alındığında yağmur suyu hasadı yapılabilmesi için geniş yüzey alanına sahip kamu ve sanayi tesisleri çatıları dikkate alınmıştır. Çünkü özel mülkiyetlere uygulanması durumunda uygulama süresi uzamakta ve mülkiyet sahiplerinin izin durumu projeyi etkileyebilmektedir. Ekonomik açıdan incelendiğinde ise elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Geniş yüzey alanına sahip kamu ve sanayi yapıları ile boş ve yeşil alanlara uygulama yapılmaktadır çünkü özel mülkiyete sahip ve daha küçük çatı alanına sahip alanlarda uygulama süresi ve maliyeti daha fazla olmaktadır.
- Sızdırma alanlarının uygulanabilirliği için geçirimsizlik ve eğim göz önüne alınmıştır. Böylece tüm boş ve yeşil alanlardan en uygun alanlara indirgenerek ekonomik olarak daha uygun olması sağlanmıştır.
- Hem yapı çatılarında hem de boş ve yeşil alanlarda en uygulanabilir alanlar seçilerek ekonomik olarak sürdürülebilir olması da sağlanmıştır.

Sunulan çözümlerin teknik şartnamede belirtilenden daha fazla tekerrür debilerinde de etkisi ortaya konulmuştur. 1 Boyutlu model sonuçları incelendiğinde genel olarak her senaryo için yapılacak olan doğa tabanlı çözümler 2, 5 ve 10 yıllık tekerrür debilerinde taşkın

riskini neredeyse tamamen ortadan kaldırmıştır. Bu nedenle 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür debilerindeki sonuçlarda irdelenmiştir.

Seçilen senaryo (Senaryo 3) için yapılan incelemelerde 2, 5, 10 yıllık tekerrür debilerinde taşkın riskinin neredeyse tamamen ortadan kaybolduğu, 25, 50 ve 100 yıllık taşkın tekerrürleri için taşkın derinliğinde yaklaşık %10, taşkın yayılım alanında ise ortalama %8 bir azalma gerçekleştiği ve görsellerden de anlaşıldığı gibi yapılara olan zararın ve etkilenen nüfusun kayda değer şekilde azaldığı görülmüştür.

Elde edilen bulgular aşağıda verilen şekliyle özetlenmiştir.

- Havza alanını Esenyurt İlçesi başta olmak üzere sırasıyla başlıca Beylikdüzü ve Avcılar ilçeleri kapsamaktadır. Diğer ilçelerin alansal varlığı oldukça azdır.
- Havza, yaklaşık 43 km²'lik bir yüz ölçümüne sahiptir.
- TÜİK 2021 yılı verilerine göre Esenyurt ilçe nüfusu 977.489'dur.
- Koordinat ve projeksiyon sistemi, ITRF96 3°- 30 olarak belirlenmiştir.
- Yağış alanı 2km²'den büyük olan dereler 3. sınıf olarak tespit edilmiş ve toplam uzunluğu yaklaşık 24.62 km olarak hesaplanmıştır.
- Arazi kullanımı verisi incelendiğinde havza temel olarak kuzeyde sanayi, orta kısımlarda yerleşim ve güney ucunda ise enerji-liman olarak ayırtlanmıştır.
- Havzanın yakın dolayında akım gözlem istasyonu (AGİ) bulunmamakta olup, 10 km içinde 7 adet meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) bulunmaktadır.
- Jeolojik olarak yüzeyde çoğunlukla sedimanter kayalar gözlenmektedir.
- Hidrojeolojik açıdan geçirimli kayalar havzanın kuzey bölümünde yer almaktadır.
- Havzada, tespit edilebilen geçmişte 12 adet noktada taşkın yaşanmıştır.

- Gerçekleştirilen kurum ziyaretleri ve arazi çalışmaları ile derelerin (risk durumları, ıslahlar, geçişe engel yapılar vb.) ve bölgedeki altyapıların (yağmur suyu toplama sistemi, kanalizasyon hattı vb.) güncel durumu hakkında bilgiler edinilmiştir.
- 2016 yılında belediye tarafından yapılan Lidar ve 2020-2022 yılları arasında TKGM tarafından yapılan uçuşlar ile üretilen ortofotolar elde edilip, modelleme çalışmalarında kullanmak üzere işlenmiştir.
- Haramidere Havzası'nda uygulama ve planlama ıslah projelerinin olmadığı bölgelerde 7 adet nehir ağı üzerinde 48 adet en kesit ve 36 adet sanat yapısı yersel harita alımları gerçekleştirilmiştir.
- Kurulan hidrodinamik modellerde güncel durumun yansıtılabilmesi için uygulama ve ıslah projelerinin en güncel hali (ıslah sonrası) ile birlikte yersel ölçümler kullanılmıştır.
- Yapılan çalışmalarla Mercedes, Devesemeri, Seyis, Kırac, Saadet, Çakmaklı ve Haramidere derelerinin dere geometrileri ve üzerlerinde bulunan sanat yapıları modelleme çalışmalarında kullanılmak üzere birleştirilmiştir.
- Havzanın 10 km genişletilmiş sınırı içerisine giren veri varlığı uygun olan istasyonlardan 4 tanesi ve 30 km sınırı içerisine giren 13 adet istasyonun uzun yılları kapsayan verileri homojen olarak saptanmıştır.
- Havza için önem teşkil eden ve uzun yıllar verisi homojen olmayan 17636 (manuel) ölçüm istasyonunun 1980-2005 yılları arasındaki yağış verileri homojen bulunmuş ve çalışmalara dahil edilmiştir.
- Havza için kullanılmak üzere 17636 (manuel), 18099 (omgi) ve 19110 (omgi) yağış verileri çalışma kapsamına alınmıştır.
- 17636 (manuel), 18099 (omgi) ve 19110 (omgi) istasyonlarının yağış verileri Mann-Kendall trend testi ile irdelendiğinde sadece 17636 (manuel) istasyona ait verilerin artan trende sahip olduğu diğerlerinin ise trend göstermediği tespit edilmiştir.

- Farklı tekerrür debilerini belirlemek üzere yağış alanı küçük olan havzalarda iyi sonuç veren Rasyonel ve Mockus yöntemleri kullanılmıştır.
- Hidrolojik hesapların yapılması için 19 adet nokta belirlenmiştir. İlgili yöntemler için parametreler bu yağış alanları için saptanmıştır.
- Uç değer analizi sonucu olarak 500 yıllık yağış tekerrürü 18099 (omgi) ve 17099 (manuel) istasyonları için benzer çıkmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda güvenli yanda kalmak adına 100 yıllık tekerrürü yüksek olan 18099 (omgi) istasyonu çalışmalarda kullanılmak üzere seçilmiştir.
- Bölgenin arazi kullanımı da dikkate alınarak havza özelinde görece yüksek bir geçirimsizlik öngörülmüştür. Bu nedenle sentetik yöntemler olan Rasyonel ve Mockus yöntemlerinde kullanılan eğri numaraları CNII ve CNIII değerlerinin ortalaması kullanılmıştır. Diğer bir yandan hidrolojik modelde SWB (Soil Water Balance) arazi kullanım-zemin yapısı tablosu ile hesaplanmış ve CNIII değerleri modele girdi olarak seçilmiştir. Böylece yağışın akışa geçme oranının artırılması hedeflenmiştir.
- Sonuç doğrulaması için yağış alanı 1.3 km^2 olan R4Y1_HN1 ve R7_HN1 hidrograf noktalarında Rasyonel ve Mockus yöntemleri birlikte hesaplanmış ve sonuçlar birbirine yakın bulunmuştur.
- Hidrolojik model kurulurken günlük toplam yağış verileri incelenmiş ve hidrolojik model günlük veriler ile çalıştırılmıştır. Klasik yöntem sonuçları ile yapılan karşılaştırmada pik debi değerlerinin uyumsuz sonuç verdiği görülmüştür.
- Yapılan çalışmalarda havzadaki hidrograf noktalarının yağış alanlarının boyutu da göz önüne alındığında toplam günlük yağışın kısa süre içerisinde gerçekleşip ani taşkınlar yaratabileceği ön görülmüştür. Bu nedenle veri kaydı bulunan her yıl içindeki en yüksek günlük toplam yağışa sahip günler seçilerek, bu günlerdeki saatlik yağış verileri ile hidrolojik model kurulmuştur.
- 2, 5, 10, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık tekerrürler için 1 Boyutlu ve 2 Boyutlu hidrodinamik taşkın modelleri MIKE 11 ve MIKE 21 ile kararlı ve kararsız akım koşullarını sağlayacak şekilde çözümlenmiştir.

- Yapılan hidrodinamik modellerde Haramidere Anakol, Devesemeri Deresi, Mercedes Deresi üzerinde 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık; Kırac Deresi ve Seyis Deresi üzerinde 25, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık; Saadet Deresi üzerinde 100, 500 ve 1000 yıllık; Çakmaklı Deresi üzerinde 500 ve 1000 yıllık tekerrürlerin taşkın oluşturduğu tespit edilmiştir.
- Hedef tekerrür debileri olan 25, 50 ve 100 yıllık taşkın yayılımlarının havza içindeki toplam alanları sırasıyla 917 672 m², 1 016 572 m² ve 1 139 868 m² olarak belirlenmiştir.
- Zarar – Derinlik eğrisi havza için JRC (Joint Research Center), 2017 tarafından oluşturulan tablo kullanılarak elde edilmiştir.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın (2022/3) sunmuş olduğu Yapı yaklaşık birim maliyetleri havzada taşkın yayılımı içerisinde bulunan yapılar ile eşleştirilmiştir.
- Yolların görebileceği ekonomik zarar hesaplarında JRC’nin (2007) yayınladığı kaynaktan yararlanılmıştır. Avrupa’daki ortalama değer, hasar değerlendirmesi konusunda Birleşik Krallık, Almanya, Hollanda, Belçika ve Fransa olmak üzere beş ülke için 24 Euro/m²’dir. Bu birim 2023 yılına uyarlanarak 492 TL/m² olarak alınmıştır. Yol genişliği zarar hesaplarında ortalama 10 metre olarak kabul edilmiştir.
- Haramidere Havzası’nda risk taşıyan alanlardaki maksimum su derinliğinin yaklaşık 2 metre olduğu ve derinlik zarar eğrisine göre 2 metre derinliğin zarar oranının 0,65 olduğu tespit edilmiştir. Yapılan hesaplarda bu değeri de içeren eğri kullanılmıştır.
- Piyasada satışı en çok yapılan ilk on araç piyasa araştırması yapılarak yaklaşık değerle belirlenmiştir. Bir aracın fiyatı hesaplanırken de piyasada en çok satılan ilk on araç modelinin 5 yaş piyasa fiyatı alınmıştır.
- Taşkından zarar gören araçlar hesaplanırken taşkın su derinliğinin 0.35 m’den fazla olduğu alanlar düşünülmüştür ve hesaplarda göz önünde bulundurulmuştur.

- TÜİK (2023) motorlu kara taşıt istatistiklerine göre 1000 kişi başına düşen otomobil sayısının 2021 yılına göre 200 olduğu tespit edilerek, araçların göreceği ekonomik zarar hesaplanırken bu değer kullanılmıştır. Nüfus ve araç sahipliği ilişkisi kurulmuştur.
- Havzanın çok miktarda sanayi alanı barındırması nedeni ile taşkın riski barındıran sanayi alanları incelenerek, yayılım altında kalan kamyon ve tırlar sayılmış ve ayrıca araçlar için ekonomik zarar hesaplarına dahil edilmiştir.
- Taşkından etkilenen alanlar için yapılan hesaplamalarda nüfus açısından etkilenen nüfus ve çalışan nüfus Q500 için 17 710 ve 51 061 kişi olarak tespit edilmiştir.
- Ekonomik açıdan toplam zarar Q500 için ₺1,737,060,875 olarak hesaplanmıştır. Bunun %4.8'i yapı zararı, %1.2'si yol ve %94 ise taşıt zararı olarak hesap edilmiştir.
- Beklenen yıllık ortalama zarar ise ₺12,244,782 olarak bulunmuştur.
- Havzada fazlaca sanayi tesisinin olması müstemilat zararını da artan olarak hesaplara yansıtmıştır. Bu nedenle toplam risk haritaları incelendiğinde özellikle sanayi bölgesinde bulunan yapıların yüksek risk barındırdığı görülmektedir.
- Yukarıda verilen açıklamalar doğrultusunda temel olarak yağışın akışa geçmeden tutulması hedef alınmıştır. Bu nedenle havzanın diğer yapısal unsurları da düşünülerek yağmur suyu hasadının yapılması ve geçirimli alanların oluşturulmasının projeye ve dolayısıyla taşkın önlenmesine daha etkili katkı sağlayacağı düşünülmüştür.
- Proje özelinde yapılan çalışmalarda en son 3 farklı senaryo üzerinde durulmuştur.
- Eğri Numaraları (CN) ilgili doğa tabanlı çözümler düşünülerek uygulanan alt havzalar için yeninden hesaplanmıştır. Bununla birlikte debileri en fazla etkilediği üç alt havza birinci senaryo için R1_HN2_1, R3_HN1 ve R1_HN6; ikinci senaryo için R1_HN2_1, R4_HN1 ve R3_HN1; üçüncü senaryo için R1_HN2_1, R4_HN1 ve R2_HN1 olarak tespit edilmiştir.

- Pik debilerdeki değişimin birinci senaryoda çoğu alt havzada %80-85 in üstünde olduğu, ikinci senaryoda seçili 3 alt havzada değişimin ortalama %75’lerde olduğu ve üçüncü senaryoda ise 7 alt havzada değişimin ortalama %40 larda olduğu tespit edilmiştir.

- Her senaryo için hidrolojik model, uç değer analizleri ve hidrodinamik modeller yeniden oluşturulmuştur.

- Birinci senaryoya göre doğa tabanlı çözümler seçilen tüm alanlarda uygulanmıştır, dolayısıyla taşkın önemli derece önleyebileceği ve 2 yıllık taşkın tekrerr debisinde %81.37 azalma meydana getirebileceği görülmüştür. İkinci senaryonun uygulanması durumunda en fazla değişim 2 yıllık tekrerr debisinde olup, mevcut duruma göre %13.16 azalma sağlanmıştır. Üçüncü senaryonun uygulanması durumunda en fazla değişim yine 2 yıllık tekrerr debisinde olup, mevcut duruma göre %15.56 azalma sağlanmıştır.

- Havzada taşkın modelleme, tahmin ve önleme/zarar azaltma sistemlerinin kullanılabilmesi için hidrometeorolojik gözlem ağının genişletilmesi gerekmektedir. Yapılan incelemelerde havza içinde ölçüm yapan meteorolojik istasyonu olmadığı ve civarda havzayı temsil edebilecek 2 adet meteoroloji istasyonu olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra havzada akım ölçümü yapan herhangi bir istasyon da bulunmamaktadır. Bu tür çalışmaların güvenilirliğini artırılması için hidrometeorolojik gözlem ağının genişletilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde seçilen üçüncü senaryoda bulunan 5 adet alt havzada ve Haramidere ana kolu en mansabı üzerinde akım gözlem istasyonlarının kurulması ve birbirine komşu olan havzalara ortak olarak koyulmak üzere en az 2 adet meteoroloji istasyonunda havza içinde ölçüm alması sonuçların irdelenmesi ve çalışmaların güvenilirliği açısından yararlı olacaktır.

- Yapılan hesaplamayla önerilen senaryoda yıllık yaklaşık toplam 699628.4 m³ suyun çatı sistemlerinden toplanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sular kalitesine göre sanayi, sulama, araç yıkama, vb amaçlarla kullanılıp, kuraklık için ekstra bir önlem olarak da göz önünde tutulabilir.

- Taşkın için önerilen yağmur suyu hasadının kuraklık amacı ile kullanılması halinde hem taşkın amacının kaybolmaması hem de kuraklığa olacak faydanın da tam

kullanılabilmesi için erken uyarı sisteminin (örneğin yapay zekâ algoritmaları ile) kurulması ve bu depoların bu sistemle entegre çalışması gerekmektedir. Buradaki temel amaç erken uyarı sisteminden gelecek tahmini hacimler ve depoların doluluk oranına göre depolarda olan suyun önceden kontrollü olarak boşaltılarak aşırı yağıştan gelecek suyu depolamaya/ötelemeye hazır olmasıdır.