

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

**DERELERDE İKİ BOYUTLU TAŞKIN MODELLEMESİ VE
TAŞKIN TEHLİKE RİSK HARİTALARININ OLUŞTURULMASI**

DOKTORA TEZİ

Pınar SPOR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Bilim Dalı

ARALIK 2023

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

**DERELERDE İKİ BOYUTLU TAŞKIN MODELLEMESİ VE
TAŞKIN TEHLİKE RİSK HASAR HARİTALARININ
OLUŞTURULMASI**

DOKTORA TEZİ

Pınar SPOR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Emrah DOĞAN

ARALIK 2023

Pınar SPOR tarafından hazırlanan “DERELERDE İKİ BOYUTLU TAŞKIN MODELLEMESİ VE TAŞKIN TEHLİKE RİSK HASAR HARİTALARININ OLUŞTURULMASI” adlı tez çalışması 12.12.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Bilim Dalı’nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

| | | |
|-----------------------|---|-------|
| Jüri Başkanı : | Prof. Dr. Emrah DOĞAN (Danışman) Sakarya Üniversitesi | |
| Jüri Üyesi : | Doç. Dr. Osman SÖNMEZ Sakarya Üniversitesi | |
| Jüri Üyesi : | Doç. Dr. Beytullah EREN Sakarya Üniversitesi | |
| Jüri Üyesi : | Dr. Öğr. Üyesi Derya DENİZ Özyeğin Üniversitesi | |
| Jüri Üyesi : | Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA İstanbul Gelişim Üniversitesi | |

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

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

(12/12/2023).

(imza)

Pınar SPOR

Anneme, babama, eşime ve biricik oğluma

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, bu çalışmanın her aşamasında beni yönlendiren, bilgisini ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Emrah DOĞAN'a desteklerinden ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Süreç boyunca çalışmama verdikleri katkıları ve tecrübeleriyle bana yol gösteren Doç. Dr. Osman SÖNMEZ ve Doç. Dr. Beytullah EREN'a teşekkür ederim.

Mesleki deneyimlerini ve bilgilerini paylaştan Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA'ya teşekkür ederim.

Hasar hesaplamaları konusunda fikir alışverişi yaptığım ve her defasında beni sabır ve ilgiyle dinleyerek bana vakit ayıran Dr. Öğr. Üyesi Derya DENİZ'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince kullandığım programlarda karşılaştığım sorunları çözmekte benden yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Can ATALAY'a ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak Enes YILDIRIM'a HAZUS programı hakkında bildiklerini benimle paylaştığı için teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamımın her anında beni destekleyen ve fedakarlık gösteren sevgili aileme ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Pınar SPOR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|--------------|
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ | v |
| TEŞEKKÜR | ix |
| İÇİNDEKİLER | xi |
| KISALTMALAR | xiii |
| SİMGELER | xv |
| TABLO LİSTESİ | xvii |
| ŞEKİL LİSTESİ | xix |
| ÖZET | xxiii |
| SUMMARY | xxv |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Taşkın ve Taşkın Türleri | 3 |
| 1.1.1. Plüviyal taşkınlar..... | 4 |
| 1.1.2. Nehir taşkınları | 4 |
| 1.1.3. Ani taşkınlar | 5 |
| 1.1.4. Kıyı taşkınları..... | 5 |
| 1.2. Taşkın Su Basması Modellemesi..... | 5 |
| 1.3. Taşkın Risk - Hasar | 7 |
| 1.3.1. Taşkın, tehlikeler, hasar görebilirlik ve riskler | 7 |
| 1.3.2. Taşkın riski..... | 7 |
| 1.3.3. Taşkın riski değerlendirme yöntemleri: Sosyo-ekonomik sel riskinin ölçülmesi | 9 |
| 1.3.4. Taşkın riski yönetimi..... | 10 |
| 1.3.5. Olgunluk seviyeleri | 11 |
| 1.3.6. Taşkın modelleme süreci..... | 14 |
| 1.4. Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Sınırları | 15 |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ | 19 |
| 3. ÇALIŞMA ALANI | 27 |
| 3.1. Topoğrafya | 27 |
| 3.2. Eğim ve Bakı | 28 |
| 3.3. İklim ve Bitki Örtüsü..... | 30 |
| 3.4. Yağış ve Sıcaklık..... | 30 |
| 3.5. Jeolojik Özellikler | 32 |
| 3.6. Depremsellik | 33 |
| 4. METARYAL | 35 |
| 4.1. Akım Verileri | 35 |
| 4.2. Meteorolojik Veriler..... | 36 |
| 4.3. Sayısal Yükseklik Modeli | 37 |
| 4.4. En Kesitler..... | 38 |
| 4.5. Arazi Kullanım Haritası | 39 |
| 4.6. Manning Pürüzlülük Haritası | 41 |
| 5. YÖNTEM | 43 |

| | |
|--|------------|
| 5.1. İstatistiksel Yöntemler | 43 |
| 5.1.1. Normal dağılım | 43 |
| 5.1.2. Log-normal dağılım..... | 44 |
| 5.1.3. Log-normal tip III dağılım | 45 |
| 5.1.4. Gumbel dağılımı..... | 46 |
| 5.1.5. Pearson tip 3 dağılımı..... | 46 |
| 5.1.6. Log-Pearson tip 3 dağılımı | 47 |
| 5.2. Hidrolojik Modelleme ve HEC-HMS Hidrolojik Modeli | 48 |
| 5.2.1. SCS eğri numarası | 51 |
| 5.2.2. Eğri numarası (CN) belirlenmesi | 52 |
| 5.3. Hidrolik Modeller ve HEC-RAS Hidrolik Modeli | 56 |
| 5.3.1. Bir boyutlu (1B) HEC-RAS modeli | 57 |
| 5.3.2. İki boyutlu (2B) HEC-RAS modeli..... | 59 |
| 5.4. Taşkın Tehlike ve Risk Haritaları..... | 61 |
| 5.5. Taşkın Hasarının Tahmini | 68 |
| 5.5.1. Hasar görebilirlik ve dayanıklılık..... | 68 |
| 5.5.2. Hasar fonksiyonları | 75 |
| 5.5.3. Derinlik-hasar eğrileri | 76 |
| 5.5.4. HAZUS-MH taşkın modeli | 85 |
| 5.5.5. HAZUS-MH kayıp tahmininde belirsizlikler..... | 87 |
| 6. BULGULAR ve TARTIŞMA..... | 89 |
| 6.1. Model Sonuçları | 89 |
| 6.2. Taşkın Debilerinin Elde Edilmesi | 91 |
| 6.2.1. Akım verilerinin istatistiksel analizi | 92 |
| 6.2.2. Yağış verilerinin ODF değerlendirmesi | 93 |
| 6.3. Yağıştan Akışa Geçiş Yöntemi..... | 95 |
| 6.4. Manning Pürüzlülük Katsayısının Elde Edilmesi..... | 95 |
| 6.5. Hidrolik Modelleme | 96 |
| 6.5.1. Bir boyutlu modelleme..... | 96 |
| 6.5.2. İki boyutlu modelleme | 96 |
| 6.6. Kalibrasyon..... | 97 |
| 6.7. Taşkın Tehlike Haritaları..... | 98 |
| 6.7.1. Taşkın yayılım haritaları | 98 |
| 6.7.2. Taşkın derinlik haritaları | 99 |
| 6.7.3. Taşkın su hızı haritaları | 101 |
| 6.7.4. Taşkın tehlike seviyesi haritaları | 104 |
| 6.7.5. Taşkın risk haritaları..... | 106 |
| 6.8. Organize Sanayi Bölgesi Hasar Analizi ve Haritaları | 114 |
| 7. TARTIŞMA ve SONUÇ..... | 121 |
| KAYNAKLAR..... | 129 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 147 |

KISALTMALAR

| | |
|-----------------|---|
| 1B | : 1 boyutlu model |
| 2B | : 2 boyutlu model |
| AFAD | : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı |
| AGİ | : Akım gözlem istasyonu |
| ArcGIS | : Bütillendirilmiş hidroksi toluen |
| CBS | : Coğrafi Bilgi Sistemleri |
| CLC | : Corine Land Cover |
| CN | : Curve number |
| CORINE | : Coordination of Information on the Environment |
| DEFRA | : Department for Environment Food and Rural Affairs |
| DEM | : Digital Elevation Model |
| DOD | : Department of Defence |
| DSİ | : Devlet Su İşleri |
| DSM | : Damage Scanner Model |
| EDF | : Eklenik Dağılım Fonksiyonu |
| EDM | : Değişim Deşarj Modeli |
| ESA | : European Space Agency |
| ESRI | : Environmental Systems Research Institute |
| FEMA | : Federal Emergency Management Agency |
| FIA | : Federal Insurance Administration |
| FLEMO | : Flood Loss Estimation Model |
| FRM | : Flood Risk Method |
| G | : Gumbel Dağılımı |
| GIS | : Geographic Information System |
| GUI | : Graphical User Interface |
| HAZUS | : Hazard US |
| HAZUS-MH | : Hazard US multi hazard |
| HEC-FDA | : Hydrological Engineering Center Flood Damage Reduction Analysis |
| HEC-HMS | : Hydrological Engineering Center Hydrologic Modeling System |
| HEC-RAS | : Hydrological Engineering Center River Analysis System |

| | |
|-----------------|--|
| ICBR | : Internationale Commissie Ter Besherming Van De Rjin |
| INSYDE | : In-depth Synthetic Model |
| JRC | : Joint Research Centre Model |
| KAFZ | : Kuzey Anadolu Fay Zonu |
| LP-T3 | : Log Pearson Tip III Dağılımı |
| MCM | : Multi-Coloured Manual |
| MF | : Moloz Faktörü |
| MGİ | : Meteoroloji Gözlem İstasyonu |
| MGM | : Meteoroloji Genel Müdürlüğü |
| N | : Normal Dağılım |
| NASA | : National Aeronautics and Space Administration |
| ODF | : Olasılık Dağılım Fonksiyonu |
| P-T3 | : Pearson Tip III Dağılımı |
| Q50 | : 50 Yılda Gelmesi Mümkün Taşkın Debisi |
| Q100 | : 100 Yılda Gelmesi Mümkün Taşkın Debisi |
| Q200 | : 200 Yılda Gelmesi Mümkün Taşkın Debisi |
| Q500 | : 500 Yılda Gelmesi Mümkün Taşkın Debisi |
| RAM | : Rhine Atlas Model |
| SCS | : Soil Conservation Service |
| SRTM DEM | : Shuttle Radar Topography Mission |
| SUFRI | : Sustainable Strategies of Urban Flood Risk Management |
| SYM-DEM | : Sayısal Yükseklik Modeli |
| UNISDR | : United Nations International Strategy for Disaster Reduction |
| USACE | : United States Army Corps of Engineers |
| USGS | : United States Geological Survey |
| YAMA | : Yıllık Anlık Maksimum Akım |

SİMGELER

| | |
|----------------------------|--------------------------------|
| A | : Havza Alanı |
| A_i | : i'nci Kesitteki Islan Alan |
| °C | : Santigrat [Derece] |
| C_s | : Çarpıklık Katsayısı |
| D | : Taşkın Zarar Faktörü |
| d | : derinlik [m] |
| E | : Maruz Kalma |
| g | : Yer Çekimi İvmesi |
| H | : Tehlike |
| h | : Su derinliği |
| i | : Yağış Şiddeti |
| K | : Frekans Faktörü |
| L | : Dere Uzunluğu |
| N | : Veri Sayısı |
| n | : Manning Pürüzlülük Katsayısı |
| P | : Olasılık Değeri |
| Q | : Debi |
| R | : Risk |
| S | : Harmonik Eğim |
| S, σ_x | : Standart Sapma |
| t | : Zaman |
| t_c | : Toplanma Süresi |
| u | : x Yönündeki Akım Hızı |
| V | : Ortalama Hız |
| V | : Hasar Görebilirlik |
| v | : y Yönündeki Akım Hızı |
| X₀ | : Log-Normal Alt sınır Değeri |
| x, μ, μ_x | : Ortalama |

TABLO LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|-----|
| Tablo 1.1. Taşkın oluşumuna sebep olan unsurlar (WMO ve GWP, 2013)..... | 3 |
| Tablo 1.2. Şehir ölçeğinde sel riski yönetiminin olgunluk seviyeleri (Batıca ve ark, 2013). | 11 |
| Tablo 1.3. Avrupa ve Asya vaka incelemelerinde mevcut taşkın yönetimi çerçeveleri için olgunluk seviyeleri (Batıca ve ark, 2013). | 13 |
| Tablo 4.1. Akım istasyonu ile ilgili bilgiler. | 35 |
| Tablo 4.2. Akım istasyonun ölçüm yıllarındaki maksimum değerleri. | 36 |
| Tablo 4.3. Çalışma havzasında bulunan ve çalışmada kullanılan istasyonlar. | 37 |
| Tablo 4.4. Corine Land use verilerinde renklere ve numaralara karşılık gelen manning değerleri..... | 41 |
| Tablo 5.1. Hidrolojik toprak gruplarına göre eğri numarası (Halley ve ark, 2000). .. | 53 |
| Tablo 5.2. DEFRA yöntemi <i>MF</i> değerleri. | 63 |
| Tablo 5.3. DEFRA yöntemi tehlike seviyeleri. | 63 |
| Tablo 5.4. Yerel ölçekte sistematik sel haritalaması için öneri (Merz ve ark, 2008).64 | |
| Tablo 5.5. Taşkın haritasının içeriği (Di Baldassarre ve ark, 2010)..... | 64 |
| Tablo 5.6. Taşkın tehlikesi ve taşkın riski haritalarının içeriği, amacı ve kullanıcıları (Van Alphen ve ark. (2009)'dan değiştirilmiştir). | 65 |
| Tablo 5.7. Dinh yöntemine göre taşkın risk sınıfları. | 65 |
| Tablo 5.8. FEMA yöntemine göre taşkın risklerinin sınıflandırılması. | 66 |
| Tablo 5.9. Kılavuz yöntemine göre taşkın hasar büyüklükleri..... | 66 |
| Tablo 5.10. CLC risk sınıfları..... | 67 |
| Tablo 5.11. Farklı taşkın zararları türleri (Molinari, 2011)..... | 71 |
| Tablo 5.12. Taşkın etkileri ve dayanıklılık faktörleri dahil olmak üzere hasarı etkileyen parametreler. | 75 |
| Tablo 5.13. Göreceli ve mutlak hasar fonksiyonlarının karşılaştırılması..... | 80 |
| Tablo 5.14. Mevcut taşkın kaybı tahmin modellerinin/yöntemlerinin gözden geçirilmesi. | 81 |
| Tablo 6.1. E12A019 numaralı AGİ istasyonunun dağılım fonksiyonları ve sıralamaları. | 92 |
| Tablo 6.2. Akyazı istasyonunun dağılım fonksiyonları ve sıralamaları. | 94 |
| Tablo 6.3. Hendek istasyonunun dağılım fonksiyonları ve sıralamaları. | 94 |
| Tablo 6.4. Gölyaka istasyonunun dağılım fonksiyonları ve sıralamaları. | 94 |
| Tablo 6.5. HAZUS-MH fonksiyonlarının sınıflandırılması (FEMA, 2013). | 115 |
| Tablo 6.6. Derinlik hasar eğrileri metodolojisine dayalı olarak farklı su derinlikleri için sel hasarı miktarları (€). | 119 |
| Tablo 6.7. Sakarya 2. Organize Sanayi Bölgesinde bulunan firmaların makine teçhizat ve ham madde fiyatları ve sektörleri. | 120 |
| Tablo 7.1. Sanayi bölgeleri için farklı su seviyeleri için ve HAZUS-MH fonksiyonları metodolojisine göre sel hasar oranı (%). | 123 |
| Tablo 7.2. HAZUS-MH fonksiyonlarının metodolojisine dayalı olarak farklı sanayi bölgeleri ve geri dönüş süreleri için sel hasarı (€). | 124 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. Taşkın haritalama süreçlerinin haritası (WMO ve GWP, 2013). | 15 |
| Şekil 3.1. Çalışma havzasının sayısal yükseklik modeli..... | 28 |
| Şekil 3.2. Dinsiz Çayı havzasının eğim haritası. | 29 |
| Şekil 3.3. Dinsiz Çayı havzasının bakı haritası. | 29 |
| Şekil 3.4. Dinsiz Çayı havzasının yağış haritası. | 31 |
| Şekil 3.5. Dinsiz Çayı havzasının sıcaklık haritası. | 31 |
| Şekil 3.6. Dinsiz Çayı havzasının jeolojik haritası. | 32 |
| Şekil 4.1. Havzadaki akım gözlem istasyonunun yeri. | 35 |
| Şekil 4.2. Dinsiz Çayı havzasındaki meteoroloji gözlem istasyonları..... | 36 |
| Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan SYM haritası. | 37 |
| Şekil 4.4. Genişletilmiş SYM haritası. | 38 |
| Şekil 4.5. Çalışma alanından alınan en kesitlerin yer haritası ve belirli noktalardaki dere görüntüleri. | 39 |
| Şekil 4.6. Dinsiz Çayı havzasının arazi kullanım haritası. | 40 |
| Şekil 4.7. Dinsiz Çayı havzasının hidrolojik toprak grubu haritası. | 40 |
| Şekil 4.8. Çalışma bölgesinin Manning “n” katsayısı değerleri. | 41 |
| Şekil 5.1. HEC-HMS programıyla oluşturulan akarsu ağı ve yağış istasyonlarının yeri. | 54 |
| Şekil 5.2. Dinsiz Çayını besleyen noktaların 50 yıllık tekerrür debileri..... | 54 |
| Şekil 5.3. Dinsiz Çayını besleyen noktaların 100 yıllık tekerrür debileri..... | 55 |
| Şekil 5.4. Dinsiz Çayını besleyen noktaların 200 yıllık tekerrür debileri..... | 55 |
| Şekil 5.5. Dinsiz Çayını besleyen noktaların 500 yıllık tekerrür debileri..... | 56 |
| Şekil 5.6. HEC-RAS programında kullanılan 2 Boyutlu çalışma alanı. | 61 |
| Şekil 5.7. Taşkın riski değerlendirmesi ve yönetim çerçevesi (Merz ve ark, 2010).. | 70 |
| Şekil 5.8. Taşkın etkileri süreci (Hasanzadeh Nafari ve ark, 2013). | 70 |
| Şekil 5.9. Taşkın hasarı değerlendirmesi için genel prosedürü (Hasanzadeh Nafari ve ark, 2013). | 73 |
| Şekil 5.10. Tehlike, envanter hasar görebilirlik ve risklerin şematik sunumu (Nastev ve Todorov, 2013). | 76 |
| Şekil 5.11. Göreceli bir derinlik-hasar fonksiyonunun görselleştirilmesi. | 77 |
| Şekil 5.12. Van Eck ve Kok hasar eğrileri. | 78 |
| Şekil 5.13. Huzinga (2017) derinlik hasar eğrisi. | 78 |
| Şekil 5.14. ICBR derinlik hasar eğrileri. | 79 |
| Şekil 6.1. Sayısal yükseklik modelinin ham veri (sol taraf) ve işlenmiş veri (sağ taraf) görüntüleri. | 90 |
| Şekil 6.2. E12A019 numaralı AGİ istasyonunun istatistiksel yöntemlere göre dağılımı. | 92 |
| Şekil 6.3. Çalışma alanındaki istasyonların Thissen Poligonlarına göre durumu..... | 93 |
| Şekil 6.4. Akyazı- Hendek-Gölyaka yağış istasyonlarının olasılıksal yöntemler ve tekerrür periyotlarına göre beklenen değerleri. | 95 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 6.5. 2021 Temmuz ayı Akyazı Hendek ilçelerinde meydana gelen taşkına ait yağış verileri ve fotoğraflar ile yapılan kalibrasyon..... | 98 |
| Şekil 6.6. 50 yıllık debi için gelebilecek su seviyesi haritası..... | 99 |
| Şekil 6.7. 100 yıllık debi için gelebilecek su seviyesi haritası..... | 100 |
| Şekil 6.8. 200 yıllık debi için gelebilecek su seviyesi haritası..... | 100 |
| Şekil 6.9. 500 yıllık debi için gelebilecek su seviyesi haritası..... | 101 |
| Şekil 6.10. 50 yıllık debiye göre oluşabilecek su hızı haritası..... | 102 |
| Şekil 6.11. 100 yıllık debiye göre oluşabilecek su hızı haritası..... | 102 |
| Şekil 6.12. 200 yıllık debiye göre oluşabilecek su hızı haritası..... | 103 |
| Şekil 6.13. 500 yıllık debiye göre oluşabilecek su hızı haritası..... | 103 |
| Şekil 6.14. 50 yıllık tekerrür debisi için DEFRA yöntemine göre taşkın tehlike seviye haritası..... | 104 |
| Şekil 6.15. 100 yıllık tekerrür debisi için DEFRA yöntemine göre taşkın tehlike seviye haritası..... | 105 |
| Şekil 6.16. 200 yıllık tekerrür debisi için DEFRA yöntemine göre taşkın tehlike seviye haritası..... | 105 |
| Şekil 6.17. 500 yıllık tekerrür debisi için DEFRA yöntemine göre taşkın tehlike seviye haritası..... | 106 |
| Şekil 6.18. Dinh yöntemine göre 50 yıllık debi için taşkın risk haritası..... | 107 |
| Şekil 6.19. Dinh yöntemine göre 100 yıllık debi için taşkın risk haritası..... | 107 |
| Şekil 6.20. Dinh yöntemine göre 200 yıllık debi için taşkın risk haritası..... | 108 |
| Şekil 6.21. Dinh yöntemine göre 500 yıllık debi için taşkın risk haritası..... | 108 |
| Şekil 6.22. FEMA yöntemine göre 50 yıllık debi için elde edilen taşkın risk haritası..... | 109 |
| Şekil 6.23. FEMA yöntemine göre 100 yıllık debi için elde edilen taşkın risk haritası..... | 109 |
| Şekil 6.24. FEMA yöntemine göre 200 yıllık debi için elde edilen taşkın risk haritası..... | 110 |
| Şekil 6.25. FEMA yöntemine göre 500 yıllık debi için elde edilen taşkın risk haritası..... | 110 |
| Şekil 6.26. FEMA yöntemindeki 50, 100, 200 ve 500 yıllık debiler için risk seviyelerinin alansal dağılımları..... | 111 |
| Şekil 6.27. Kılavuz yöntemine göre 50 yıllık debi için taşkın risk seviyeleri ve etkilenen firmalar..... | 112 |
| Şekil 6.28. Kılavuz yöntemine göre 100 yıllık debi için taşkın risk seviyeleri ve etkilenen firmalar..... | 112 |
| Şekil 6.29. Kılavuz yöntemine göre 200 yıllık debi için taşkın risk seviyeleri ve etkilenen firmalar..... | 113 |
| Şekil 6.30. Kılavuz yöntemine göre 500 yıllık debi için taşkın risk seviyeleri ve etkilenen firmalar..... | 113 |
| Şekil 6.31. 50 yıllık debi için HAZUS fonksiyonları ile hesaplanan organize sanayi taşkın hasar haritası..... | 116 |
| Şekil 6.32. 100 yıllık debi için HAZUS fonksiyonları ile hesaplanan organize sanayi taşkın hasar haritası..... | 116 |
| Şekil 6.33. 200 yıllık debi için HAZUS fonksiyonları ile hesaplanan organize sanayi taşkın hasar haritası..... | 117 |
| Şekil 6.34. 500 yıllık debi için HAZUS fonksiyonları ile hesaplanan organize sanayi taşkın hasar haritası..... | 117 |
| Şekil 7.1. Organize Sanayi Bölgesindeki firmaların HAZUS'a göre sınıfları..... | 121 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 7.2. Tekerrür periyotlarına göre hız haritası (a) 50 yıl, (b) 100 yıl, (c) 200 yıl ve (d) 500 yıl. | 122 |
| Şekil 7.3. Farklı derinlik-hasar eğrileri için Euro cinsinden derinlik maliyetleri. ... | 124 |

DERELERDE İKİ BOYUTLU TAŞKIN MODELLEMESİ VE TAŞKIN TEHLİKE RİSK HASAR HARİTALARININ OLUŞTURULMASI

ÖZET

Canlılığın devamı için gereken su, en temel ve en önemli ihtiyaç olduğu için insanlar tarih boyunca suya yakın yerlere yerleşmişlerdir. Ancak suya yakın olmak taşkın tehlikesini de beraberinde getirmektedir. Taşkınlar, ülkemizde ve dünyada can ve mal kayıplarının en yüksek olduğu doğal afetlerden biridir. Son yıllarda iklim değişikliğinin etkisi ile de yaşanma sıklığı ve zararları artmaya başlamıştır. Bu nedenle insan hayatını maddi manevi etkileyen taşkınları anlamak, önceden tahmin etmek, taşkınların sebep olduğu zararları hesaplamak büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışması kapsamında Sakarya Alt Havzasında bulunan Dinsiz Çayı'nın iki boyutlu hidrolik modeller ile taşkın alanlarını belirlemek ve çalışma alanında bulunan Hendek 2. Organize sanayi bölgesi için taşkın zararlarını hesaplamaktır.

Bölgede bulunan akım gözlem istasyonundan elde edilen veriler yeterli olmadığı için meteorolojik istasyonlardan alınan veriler ile yağıştan akışa geçiş yapılarak taşkın tekerrür debileri ve taşkın hidrografları elde edilmiştir. Bu hesaplamalar HEC-HMS programı kullanılarak yapılmıştır. İki boyutlu hidrolik hesaplamalar HEC-RAS programı kullanılarak taşkın modelleri oluşturulmuştur. İki boyutlu modellemelerde çalışma alanındaki taşkın yayılımları taşkın tekerrür debileri ile elde edilmiştir. HEC-RAS 2B ile oluşturulan 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrür debilerinin taşkın modelleri, taşkın yayılım, taşkın su yüksekliği ve taşkın su hızı haritalarını oluşturmak için ArcGIS programına aktarılmıştır. Elde edilen haritalar yardımıyla DEFRA yöntemine göre taşkın tehlike haritaları, DinH ve FEMA yöntemlerine göre de taşkın risk haritaları üretilmiştir. Taşkınlardan sonra meydana gelen zararları hesaplamak için literatürde sıklıkla kullanılan Pistrika ve Jonkman yöntemi ve Huizinga, van Eck ve Kok, ICBR derinlik hasar eğrilerine ek olarak HAZUS-MH fonksiyonları kullanılmıştır.

Bu çalışmanın sonunda Dinsiz Çayı'nda 50, 100, 200 ve 500 yıllık taşkın debileri için taşkın tehlike, risk ve hasar haritaları elde edilmiştir. HAZUS fonksiyonları ile yapılan hesaplamalara göre sonuçlar van Eck ve Kok ve ICBR'den daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca van Eck ve Kok ve ICBR sonuçları eşittir. Hesaplamalarda en yüksek sonuçları Pistrika ve Jonkman denklemi verirken, en düşük sonuçları ise van Eck ve Kok ve ICBR eğrisi vermiştir. Su derinliğinin artmasıyla birlikte binaların hasar oranlarında ve buna bağlı maliyetlerde artış gözlemlendi. HAZUS fonksiyonları, hem bina hem de içindekiler için hasar hesaplamalarına yardımcı olur. Sanayi tesisleri, kimya, metal, geri dönüşüm, otomotiv, gıda gibi kullanım amaçlarına göre, yerleşim yerlerindeki binalar ise bodrumlu/bodumsuz, tek katlı, iki katlı gibi yapısal özelliklerine göre ayrılır ve her birinin farklı hasar değerleri vardır.

TWO-DIMENSIONAL FLOOD MODELING IN STREAMS AND CREATION OF FLOOD HAZARD RISK DAMAGE MAPS

SUMMARY

Since water is the most basic and important need for the continuation of life, people have settled in places close to water throughout history. However, being close to water also brings the danger of floods. Floods are one of the natural disasters that cause the highest loss of life and property in our country and in the world. In recent years, the frequency of occurrence and its damages have begun to increase due to the effect of climate change. Therefore, it is of great importance to understand and predict floods that affect human life both materially and spiritually, and to calculate the damages caused by floods. The aim of this thesis is to determine the flood areas of the Dinsiz Stream in the Sakarya Sub-Basin with two-dimensional hydraulic models and to calculate the flood damages for the Hendek 2nd Organized Industrial Zone in the study area.

The first and most important step of the thesis study is data collection. The high resolution and detail of the data provides great convenience when using it in programs. For this reason, 1/1000 scale point data was obtained from the relevant institution and the study was started. After making the necessary adjustments to these data, the DEM data to be used in the programs was obtained.

Statistical methods were used to calculate the flood recurrence rate with the data obtained from the flow observation station in the region. These methods; Gumbel, Normal, Log Pearson, Log Normal and Log Pearson type 3. However, the flow rates obtained from the flow observation station were not used because there was not enough data and the location was far from the stream. For this reason, the rainfall-to-flow transition method was used by obtaining data from rainfall stations in the region. There are 3 stations affecting Dinsiz stream in the study area, their names are Gölyaka, Akyazı and Hendek. The flows from these 3 stations were calculated statistically one by one in the same way. The most appropriate statistical method was chosen as Log Pearson type 3. Thiessen polygon method was used to determine the flow to Dinsiz stream from 3 stations. According to this method, the stations that affect Dinsiz Stream the most are Hendek, Akyazı and Gölyaka, respectively. Since the data obtained from the flow observation station in the region was not sufficient, flood recurrence flows and flood hydrographs were obtained by switching from precipitation to flow with the data obtained from meteorological stations. These calculations were made using the HEC-HMS program. The SCS CN method was used to generate flood hydrographs. Since the study basin did not have a previously calculated CN number, the CN value was calculated manually. Two maps were used to calculate the CN value. These maps are land use maps and hydrological soil group maps. These two maps were opened one under the other in a GIS-based program and calculations were made on an area basis.

Cross sections are needed to better understand the study area and process it into the HEC-RAS program. However, since there were no cross sections taken before, these

cross sections were taken by an expert and added to the program. Similar results were obtained in two different models that were established by adding both imported cross-sections and automatic cross-sections to the program. However, the models established in this way were not used because they were one-dimensional and not within the scope of the thesis.

The flood propagation areas that emerged as a result of the 2D models established with the HEC-RAS program showed that the DEM data used was not sufficient. For this reason, DEM data was downloaded from open access internet channels to enlarge the DEM data used. The two DEMs obtained were combined (embedded) with the help of various GIS programs and a new data was created to be used in 2D modeling. By entering the new DEM data, hydrograph flows and other components into the program, different flood propagation maps were obtained for two-dimensional Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} and Q_{500} . In addition, flood velocity maps were created with HEC-RAS and these maps were transferred to the GIS environment to create flood hazard and risk maps.

Flood hazard and flood risk maps are the most important processes to take precautions against floods. In this study, flood hazard maps were obtained by the DEFRA method, and flood risk maps were obtained according to the Dinh and FEMA methods. After the flood hazard and flood risk maps are created, it is time to calculate the damage. In addition to the van Eck and Kok, Huizinga, ICBR, Pistrika and Jonkman methods, which are frequently used in the literature, HAZUS-MH functions were also used in damage calculations. All methods used have some pros and cons compared to each other. While both water velocity and depth are used for damage calculation in the Pistrika and Jonkman methods, the van Eck and Kok, Huizinga and ICBR methods are depth-damage curves that give the depth-dependent damage rate. HAZUS has not been used in flood damage calculations in Turkey before, so it was preferred to use HAZUS as it was a first. It is a tool developed by FEMA and used to calculate the damage caused by natural disasters on a regional scale, although it was originally only for America but is now used almost worldwide. There are many hardware and software factors required to install and use the HAZUS program, and it is quite difficult to adapt the program for Turkey. For this reason, calculations were made manually using the functions used by the program instead of the program.

The highest values for each depth were found in the Pistrika and Jonkman curves. This is mainly because Pistrika and Jonkman take into account floodwater velocity as well as floodwater depth. In the Pistrika and Jonkman method, damage analysis is done with the help of an equation, unlike other methods, this equation includes both flood speed and flood depth. Multiplication of these components can be effective at higher results than other methods because in other methods, damage rates are determined only by the water level. According to calculations made with HAZUS functions, the results were higher than van Eck Kok and ICBR. Moreover, the results of van Eck and Kok and ICBR are equal. While the Pistrika and Jonkman equation gave the highest results in the calculations, the van Eck and Kok and ICBR curves gave the lowest results. With the increase in water depth, an increase in the damage rates of buildings and the associated costs was observed.

The accuracy rate in the calculation based on these features may be higher than other damage levels. Users can separate each building in the area they work according to its features. In addition, the ability to calculate damage by content for housing and industry can help property owners identify their losses more clearly.

At the end of this study, flood hazard, risk and damage maps were obtained for 50, 100, 200 and 500-year flood flows in Dinsiz Stream. According to calculations made with HAZUS functions, the results were higher than van Eck and Kok and ICBR. Also, van Eck and Kok and ICBR results are equal. In the calculations, the Pistrika and Jonkman equation gave the highest results, while the van Eck and Kok and ICBR curve gave the lowest results. With the increase in water depth, an increase in the damage rates of buildings and the associated costs was observed. HAZUS functions help damage account for both the building and its contents. Industrial facilities are divided according to their intended use such as chemical, metal, recycling, automotive, food, and buildings in residential areas are divided according to their structural characteristics such as with or without basement, single-storey, two-storey, and each has different damage values.

1. GİRİŞ

İnsanlığın başlangıcından itibaren taşkın, uygarlaşmanın evriminde önemli bir rol oynamıştır. Örneğin, düzenli su baskını, Eski Mısır gibi bazı uygarlıklara büyük zenginlik ve refah getirmiştir. Günümüzde sel, dünyada en sık meydana gelen doğal afettir, tüm doğal afetler arasında en büyük hasar potansiyeline sahiptir ve her yıl dünya çapında yaklaşık 180 milyon insanı etkilemektedir (Mogollón ve ark, 2016).

Günümüzde iklim etkisi çalışmaları, iklim değişikliğinin hidrolojik döngünün yoğunlaşmasında ve hızlanmasında anahtar bir role sahip olacağını göstermektedir (Christensen ve Christensen, 2007; Durack ve ark, 2012; Huntington, 2006; Kundzewicz, 2008). Su döngüsünün bu şiddetlenmiş dolaşımının, daha sık ve yoğun yağış olaylarının meydana gelmesine yol açması (Beniston, 2009), bunun da yakın gelecekte sellerin büyüklüğünde, şiddetinde, sıklığında ve yoğunluğunda bir artışa neden olması beklenmektedir. (Allan ve Soden, 2008; Bruwier ve ark, 2015; Lenderink ve Van Meijgaard, 2008; Min ve ark, 2011; Pall ve ark, 2011; Rojas ve ark, 2013). Gelecekte daha sık yaşanan taşkın baskınlarına ek olarak, dünya nüfusunun 2050 yılına kadar mevcut 7.3 milyar seviyesinden beklenen 9.7 milyara yükselmesi kentleşmeyi yoğunlaştıracaktır (BM, 2015). 2050 yılına kadar dünya nüfusunun üçte ikisinin kentsel alanlarda yaşayacağı ve öngörülen kentsel genişlemenin %90'ının Afrika ve Asya'da (BM, 2014), yani genel nüfusun çoğunluğunun bulunduğu bölgelerde gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Hali hazırda taşkına oldukça eğilimli bölgelerde yaşamaktadır (Muis ve ark, 2015). Tüm bunlar, taşkından küresel olarak etkilenen vatandaşların sayısının yakın gelecekte büyük ölçüde artacağını gösteriyor.

Taşkın, suyun genellikle kuru olan arazinin bir bölümünü geçici olarak kapladığı veya sular altında kaldığı bir durum olarak tanımlanabilir. Taşkın oluşumu, yoğun yağış (Butler ve ark, 2015), kar erimesi (Park ve Markus, 2014), buzul patlaması (Galeczka ve ark, 2015), buz sıkışıklığı (Beltaos, 2014) yüksek gelgit ve şiddetli fırtına olayları (Breilh ve ark, 2014) gibi meteorolojik ve hidrolojik faktörler nedeniyle, hidrolik yapıların yapısal arızaları (örneğin setler ve barajlar) (Bergman ve ark, 2014) gibi insan faktörlerine bağlı ve (iii) şiddetli yağmur ve arazi örtüsü değişimi (ör. emici

toprak örtüsünün geçirimsiz yüzeylerle değiştirilmesi) (Sajikumar ve Remya, 2015) veya yoğun yağış ve yetersiz drenaj sistemleri (Fu ve Butler, 2014) gibi hava ve insan faktörlerinin kombinasyonu sonucu meydana gelebilir. Bu özelliklere dayanarak kıyı taşkını, nehir taşkını, ani taşkın ve şehir taşkını gibi farklı sınıflara veya türlere ayrılabilir.

Taşkın en yaygın doğal afet olsa da, bazı olayları büyük yıkımları veya yüksek ölü sayısı nedeniyle birçok nesil boyunca insan bilincinde kalır. Geçmişteki sel olaylarını normal veya aşırı olarak sınıflandırmak tartışma konusu olabilir. Bununla birlikte, geçmiş sel olaylarının ölçeğini sınıflandırmak için kullanılacak bazı yönlendirme kılavuzları vardır. Brakenridge (2012), Dartmouth Sel Gözlemevi'nde toplanan kapsamlı sel veri tabanına dayanarak, geçmiş sel olaylarını karakterize etmek için taşkın şiddeti ve taşkın büyüklüğü olmak üzere iki endeks önermiştir. Taşkın şiddeti kesin bir tanımlayıcı istatistik değil, daha çok taşkın veya deşarjın ne kadar olağandışı olduğunu tahmin etmek için uzman kararının kullanılmasına izin veren bir yönlendirme yöntemidir (Kundzewicz ve ark, 2013). Taşkın tekrarlama aralığına dayanan üç taşkın şiddet sınıfı tanımlanmıştır. Sınıf 1, 10-20 yıllık bir geri dönüş süresine sahip büyük taşkın olaylarını içerir, Sınıf 2, 20 ile 100 arasında bir geri dönüş periyodu olan çok büyük taşkın olaylarını içerir ve Sınıf 3, geri dönüş süresi 100 yıla eşit veya daha uzun olan aşırı sel olaylarını içerir (Brakenridge, 2012; Kundzewicz ve ark, 2013). Şiddet, önemli bir taşkın özelliğidir, ancak taşkın süresi veya taşkın boyutu gibi taşkının diğer kritik yönleri hakkında bilgi sağlamaz (Kundzewicz ve ark, 2013). Bu nedenle, ikinci bir istatistik olan taşkın büyüklüğüne ihtiyaç vardır. Taşkın büyüklüğü, taşkın şiddeti, taşkın süresi ve taşkın su baskını alanının bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır (Brakenridge, 2012). Taşkın büyüklüğü depremler için Richter ölçeğini taklit edecek şekilde tasarlanmıştır ve bu nedenle taşkınları yapay olarak farklı taşkın sınıflarına sınıflandırmak yerine sürekli bir ölçüt sağlar (Kundzewicz ve ark, 2013).

Coğrafi bilgi sistemi (GIS), coğrafi referanslı verileri işlemek için girdi, veri yönetimi (veri depolama ve erişim), işleme ve analiz ve çıktı için yetenekler sağlayan bilgisayar tabanlı bir sistemdir (Aronoff, 1989). CBS, sellerden etkilenen alanı belirlemek ve bir nehirdeki yüksek su seviyesi nedeniyle su basması muhtemel alanları tahmin etmek için geniş bir araç yelpazesi sağlar. CBS, farklı haritalardan, hava fotoğraflarından, uydu görüntülerinden ve sayısal yükseklik modellerinden (DEM) bilgi toplamak için

yaygın olarak kullanılacaktır. Nüfus sayımı verileri ve diğer ilgili istatistiksel özetler, risk haritasının yerel sakinlerin ihtiyaçlarına daha odaklı hale getirilmesi için de kullanılacaktır.

1.1. Taşkın ve Taşkın Türleri

Taşkınlar genel olarak akarsu taşkınları, yeraltı suyu taşkınları, kıyı taşkınları, ani taşkınlar ya da yapay su sistemlerinin arızası gibi farklı sınıflara ayrılabilir. Taşkınların başlama hızına göre yarı kalıcı taşkınlar, kentsel taşkınlar, yavaş yükselen taşkınlar ve ani taşkınlar olarak isimlendirilebilir. Bahsedilen tüm taşkın türleri kentsel alanlarda büyük etki yaratabilirler ve bundan dolayı kentsel taşkınlar olarak da adlandırılabilir. Kentsel alanlardaki olası etkileri ve etkilerinin nasıl daha aza indirileceğini anlamak için tüm taşkın türlerinin nedenlerini ve başlama hızını anlamak büyük önem taşımaktadır (CNA, 2011).

Kentsel çevre, doğal çevre ile aynı doğal güçlere tabidir ve kentsel yerleşimlerin varlığı, sel sorununu şiddetlendirmektedir. Ayrıca şehir ve kasabalarda su depolamak için kullanılacak açık toprak alanlar çok sınırlıdır. Yüksek yoğunluklu yağış, drenaj sistemleri akışlarla başa çıkmak için gerekli kapasiteye sahip olmadığında ve bazen su kanalizasyon sistemine bir yerden girip başka yerlerde yeniden yüzeye çıktığında taşkınlar neden olabilir (CNA, 2011).

Taşkınlar genellikle Tablo 1.1’de sunulduğu gibi meteorolojik ve hidrolojik aşırılıkların birleşiminden kaynaklanır. Ancak insan faaliyetlerinden de kaynaklanabilirler. Örneğin, plansız büyüme ve taşkın yataklarındaki gelişmeler, bir barajın yıkılması veya bir setin aşılması su basmasına neden olabilir. Dünyanın çeşitli bölgelerinde, milyonlarca insan son on yılda kırsal alanlardan şehirlere taşınmakta ve sıklıkla sele maruz kalan bölgelere yerleşmektedir (CNA, 2011).

Tablo 1.1. Taşkın oluşumuna sebep olan unsurlar (WMO ve GWP, 2013).

| Meteorolojik unsurlar | Hidrolojik unsurlar | İnsan unsurları |
|--------------------------|--|--|
| Yağış | Yeraltı suyu seviyesi - Toprak nemi seviyesi | Arazi kullanımı değişiklikleri |
| Siklonik fırtınalar | Yüzey sızma hızı | Akışları engelleyen taşkın ovasının işgali |
| Küçük ölçekli fırtınalar | Geçirimsiz kapak | Altyapının verimsizliği veya bakımsızlığı |

Tablo 1.1. (Devamı) Taşkın oluşumuna sebep olan unsurlar (WMO ve GWP, 2013).

| Meteorolojik unsurlar | Hidrolojik unsurlar | İnsan unsurları |
|---------------------------|--|---|
| Sıcaklık | Kanal kesit şekli ve pürüzlülük | Kentsel mikro iklim, yağış olaylarını zorunlu kılabilir |
| Kar yağışı ve kar erimesi | Bank üstü akışın varlığı veya yokluğu, kanal ağı Yüksek gelgit engelleyici drenaj Havzanın çeşitli bölümlerinden gelen akışların senkronizasyonu | |

Nedensel faktörlerin farklı birleşimlerinin bir sonucu olarak, kentsel taşkınlar plüviyal taşkınlar, nehir taşkınları, kıyı taşkınları ve ani taşkınlar olmak üzere dört kategoriye ayrılabilir.

1.1.1. Plüviyal taşkınlar

Bunlar, bazen mevsimsel fırtınalar ve çöküntülerin neden olduğu ve doymuş veya geçirimsiz topraklar tarafından şiddetlenen, yağışlı mevsim boyunca çok yüksek yağış yoğunluğuna ve süresine sahiptir. Şehirler gibi yerleşik ortamlar, yerel drenaj kapasitesini aşan daha yüksek yüzey akıntısı oluşturarak yerel sellere neden olur. Ayrıca, yerel hidrojeolojik özelliklere bağlı olarak, yeraltı suyu yükselmesi veya yeraltı akışları da çok sayıda taşkın oluşumuna neden olabilir. Plüviyal sel genellikle küçük coğrafi alanlarla sınırlıdır ve normalde uzun sürmez. Ancak, yağışlı mevsimlerin uzun olduğu bölgelerde (muson iklimleri) şiddetli seller haftalarca sürebilmekte ve yaygın hasarlara neden olmaktadır (WMO ve GWP, 2013).

1.1.2. Nehir taşkınları

Nehir taşkınları, memba bölgelerindeki yoğun yağış veya kar erimesi veya akış aşağısından gelen gelgit etkisi ile tetiklenir. Toprak, bitki örtüsü ve arazi kullanımı gibi yüzey koşulları, üretilen akış miktarı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Nehir taşkınları, nehir akış hacmi yerel akış kapasitelerini aştığında meydana gelir. Nehir seviyeleri yavaş bir hızla yükselir ve yükselme ve düşme periyodu özellikle uzundur, özellikle düz eğimli ve deltaik alanlarda aylarca sürer. Buna ek olarak, drenaj veya taşkın kontrol işlerinin membadaki arızası veya kötü çalışması da nehirde taşkınlar neden olabilir. Nehirlerin orta veya alt kesimlerindeki alçak alanlarda yer alan kentsel alanlar, özellikle yoğun nehir taşkınlarına maruz kalmaktadır. Çoğu büyük nehir

havzasında, taşkın ovaları yıllık taşkınlara maruz kalır. Ek olarak, kentsel büyüme bazı taşkın yatakları üzerinde genişleyerek taşkınların doğal olarak taşabileceği alanı azaltır (WMO ve GWP, 2013).

1.1.3. Ani taşkınlar

Bunlar, yoğun yağış, bulut patlamaları, toprak kaymaları, bir buz sıkışmasının ani kırılması veya taşkın kontrol çalışmalarının başarısız olmasından kaynaklanabilen yukarı akışlı dağlık alanlardan akan suların hızlı bir şekilde birikmesi ve serbest bırakılmasının bir sonucudur. Onlar yüksek akış hızlarına neden olan nispeten hızlı durgunluğun ardından keskin bir yükseliş ile karakterizedir. Deşarjlar hızla maksimuma ulaşır ve neredeyse aynı hızla azalır (WMO ve GWP, 2013).

1.1.4. Kıyı taşkınları

Bu tür sellere, tropikal çöküntüler ve siklonların neden olduğu yüksek gelgitler ve fırtına dalgalanmaları neden olur. Kıyı şeridi konfigürasyonları, açık deniz su derinliği ve haliç şekli, kıyı taşkınlarının yoğunluğunu etkileyen faktörlerdir. Ayrıca, yüksek gelgitler nehirlerin ve drenaj sistemlerinin deşarjını engelleyerek yerel veya nehir taşkınlarına yol açabilir. Nehir ağzı erişimlerindeki gelgit etkileri, nehir seviyelerinin uzun süre yüksek kalmasına ve taşkınların devam etmesine neden olabilir. Bu nedenle, nehir ağzı erişimlerinde bulunan şehirler, fırtına dalgalanmaları ve gelgit etkileri nedeniyle nehir ve kıyı taşkınlarının birleşik etkilerine katlanmak zorundadır (WMO ve GWP, 2013).

1.2. Taşkın Su Basması Modellemesi

Akışkanlar dinamiğinin matematiksel modellemesinin temeli, fiziksel koruma ilkelerine dayalı matematiksel formülasyonlar sunan Newton ve günümüz hidrodinamik simülasyonları için matematiksel denklemleri formüle eden de Saint-Venant tarafından atıldı. Ancak bu denklemleri çözmek ve bunları pratik hidro-teknik mühendislik problemlerine uygulamak için gerekli hesaplama kaynaklarının mevcut hale gelmesi, hesaplama makinelerinin ortaya çıkmasına kadar değildi (Stelling ve Verwey, 2005).

Modern sel simülasyon modellemesinin başlangıcı 50'li ve 60'lı yıllara dayanmaktadır (Cunge ve Wegner, 1964; Cunge ve ark, 1980; Isaacson ve ark, 1958; Katopodes ve

Strelkoff, 1978; Mahmood ve ark, 1975; Martin ve DeFazio, 1969; Martin ve Zovne, 1971), sayısal kodların yaygın gelişimi ise seksenlerde başlamıştır (Alcrudo, 2004).

Son yıllarda, bilgisayar bilimi alanındaki gelişmeler, hesaplama açısından etkili ve yüksek çözünürlüklü taşkın su basması modellerinin doğru üretilmesini ve uygulanmasını sağlamıştır. Bu nedenle, artık taşkın riski analizi, gerçek zamanlı taşkın tahmini veya taşkın kontrol yönetimi gibi büyük plan hedeflerinin geliştirilmesi ya da ani sel, kasırga veya baraj yıkılması gibi özel olayları analiz etmekte kullanılan çok kapsamlı farklı tipte modelleme araçları ve paketleri bulunmaktadır. Bu farklı modelleme hedefleri, farklı ve bazen oldukça özel modelleme teknikleri ve prosedürleri gerektirir; bu, belirli bir modelleme problemini ele almak için uygun bir taşkın simülasyon modelleme aracının kullanılması gerektiği anlamına gelir. Bu durumda, uygun bir sel baskın modelinin seçimi, modelleme probleminin türü ve karmaşıklığı, ürün teslimi için genel danışmanlık süresi, hesaplama hızı, bir simülasyonun tamamlanma süresi, sonuçların doğruluk düzeyi, veri gereksinimleri, yazılımın sayısal sağlamlığı ve kullanıcı dostu olması gibi birçok faktöre bağlıdır. (Stelling ve Verwey, 2005). Genel olarak, belirli bir taşkın baskın modelinin kullanımı, sorununun doğasına ve model kullanıcısının kişisel tercihlerine bağlıdır.

Su baskını modellerini sınıflandırmanın, hidrodinamik denklemleri çözme yöntemi, zaman ve mekânda ayrıştırma yöntemi veya ızgara veya ağ tipi gibi birkaç yolu vardır. Bununla birlikte, taşkın su baskını modellerini sınıflandırmanın en yaygın yolu, boyutluluklarına veya farklı boyutları bir araya getirme biçimlerine göredir. Genel olarak taşkın su baskını modelleri tek boyutlu (1B), iki boyutlu (2B) ve bağlantılı tek boyutlu iki boyutlu (1B-2B) modeller olmak üzere üç ana kategoriye ayrılabilir. Su seviyelerini ve üç boyutlu hız alanlarını tahmin etmek için kullanılacak üç boyutlu (3B) sayısal modeller de vardır (Rezoug ve ark, 2010; Spada ve ark, 2015). Bununla birlikte, erişim ölçeğinde üç boyutlu sel baskın modellemesi, yüksek hesaplama maliyeti nedeniyle şu anda pratik değildir (Zhang ve ark, 2016). Bu nedenle, bu tür modellerin taşkın risk yönetiminde tam olarak kullanılabilmesi için hesaplama bilimleri alanında daha fazla gelişmeye ihtiyaç vardır. Ek olarak, 0 Boyutlu modelleme yaklaşımı da vardır. Bu yaklaşım, nehir su seviyelerini bir taşkın yatağı üzerinde yatay olarak projelendirmek gibi (Pender ve Néelz, 2011) sel baskınlarının fiziksel süreçlerinin herhangi bir modellemesini içermeyen yöntemleri kapsamaktadır. (Pender, 2006). 0 Boyutlu modelleme yaklaşımı esas olarak geniş ölçekli bir taşkın

riski değerlendirmesi için kullanılır ve genellikle CBS yazılımını (ArcGIS gibi) taşkın derinliklerini ve taşkın su baskını kapsamını tahmin etmek için kullanılır (Di Baldassarre, 2012; Pender, 2006). Bununla birlikte, bu tür taşkın su baskını modelleme yaklaşımı, akışın hızını tahmin etmez (Mohammadi ve ark, 2013) ve bu nedenle yalnızca nihai su seviyelerinin gerekli olduğu ve dinamik etkilerin önemsiz olduğu uygulamalarla sınırlıdır (Neelz ve Pender, 2013) . Durum böyle olunca, 0 Boyutlu modelleme yaklaşımı, ayrıntılı bir sel riski yönetim şeması için kullanılamayacak kadar basittir.

1.3. Taşkın Risk - Hasar

1.3.1. Taşkın, tehlikeler, hasar görebilirlik ve riskler

Risk, belirli bir güvenlik açığı ve insanların, altyapının, mülkün ve hatta insan faaliyetlerinin tehlikeye veya tehdide maruz kalması durumunda, belirli bir büyüklükteki bir tehlikenin (veya tehdidin) mevcudiyetinde belirli bir miktarda hasarın meydana gelme olasılığıdır. Hasar görebilirlik, belirli bir kişide, binada, inşaatta, taşınmaz veya kişisel mülkte veya insan faaliyetinde çeşitli tehlike büyüklüklerinde meydana gelebilecek zararın bir ölçüsüdür. Maruz kalma, belirli bir kişinin, varlığın veya faaliyetin zaman ve mekandaki konumu bakımından tehlike eylemine maruz kalma derecesinin bir ölçüsüdür (CNA, 2011). Bu bölüm, özellikle kentsel ortamlardaki hasar görebilirlik ve sel riskleri hakkında sel tehlikeleri teorisinin genel bir taslağını vermektedir.

Sel, Türkiye ve dünyadaki en maliyetli doğal afet olarak bilinmektedir. Son yıllarda, iklim değişikliği ve kentsel konsolidasyon nedeniyle sel kayıplarının boyutu artmış ve sel risk yönetimine daha fazla dikkat edilmesini gerektirmiştir. Acil durum yönetimi ve taşkın haritalama için çok çaba harcanmış olsa da, taşkın hasar modelleri hala kaba ve hasar sürecinin anlaşılması oldukça sınırlıdır.

1.3.2. Taşkın riski

Belirlenen bir alan, sadece selin sıklığı ve yoğunluğu açısından değil, aynı zamanda insanların, binaların, işlerin, malların ve faaliyetlerin bulunduğu savunmasızlık ve maruz kalma derecesine bağlı olarak da risklidir. Genel olarak söylenecek olursa, risk, tehlike, hasar görebilirlik ve maruz kalma denklem 1.1'deki gibi ifade edilir:

$$R = f(H, V, E) \quad (1.1)$$

Üç bağımsız değişkenin bulunduğu yer; H , V ve E , 0'dan 1'e kadar değerler alabilir. Örneğin, $V = 1$, varlığın tanımlanan tehlikeden tamamen kaybı olarak yorumlanır ve $V = 0$, bu tehlikeye karşı savunmasız olduğunda (bu tehlikeye maruz kaldığında bile). $E = 1$, maksimum maruz kalma anlamına gelir. Kasırga durumunda, doğrudan kıyı şeridinde bir konum ve $E = 0$, maruz kalma eksikliği anlamına gelir.

Risk kavramının bu şekilde ifade edilmesi, onu azaltmanın birkaç yolu olduğunu göstermektedir. Biri tehlikeyi azaltmak (birçok doğal olayda normalde yapılamaz), ikincisi kırılabilirliği azaltmak ve üçüncüsü maruz kalmayı azaltmaktır. Sıfır olan herhangi bir değişken, diğer iki değişkenin değerinden bağımsız olarak riski sıfır yapar. Gerçekte değişkenlerin her biri bir olasılık dağılımı olarak görülmelidir. Bazı taşkın kontrolü önlemleri riski azaltmayı (sel olmadan kanalın taşıma kapasitesini artırmayı), diğerleri kırılabilirliği azaltmayı (sel bölgesinde tepedeki evlerin modern eşdeğerini inşa etmeyi) ve diğerleri maruz kalmayı (yer değiştirme) azaltmayı hedefleyebilir. Olası taşkın kontrol önlemleri türlerini değerlendirirken ve incelerken; hem yapısal hem de yapısal olmayan olarak tartışılacak noktalar şunları içermelidir:

- Önlem türü (yapısal ve yapısal olmayan),
- Riskleri azaltmayı hedefleyen faktör,
- Genel ve işlevsel açıklama,
- Yetenekler ve sınırlamalar,
- Diğer önlemlere göre avantajlar ve dezavantajlar,
- Ölçünün ne kadar sağlam olduğunun değerlendirilmesi,
- Yukarı yöndeki potansiyel etkiler,
- Akış yönünde olası etkiler,
- İlk yatırım maliyetlerinin ve işletme giderlerinin yoğunlaşması,
- Diğer önlemlerle olası kombinasyonlar.

Ayrıca sel, yağış, akış, sel dalgası yayılımı ve zamanla değişen ve bölgeden bölgeye farklılıklar gösteren sel hasarını içeren bir olgudur. Doğal koşullardan, insan faaliyetlerinden ve yetersiz afet önleme kültüründen etkilenir. Genişleyen kentsel alanlar, daha yüksek sel riskine maruz kalma ve yeni sel hasarları nedeniyle kentsel alanlarda sel riskleri artmaktadır (CNA, 2011).

Geçen yüzyılda, birçok şehirde nehir ortamlarında ciddi değişiklikler oldu. Nehirler yapay kanallara zorlanarak sızmayı azaltır ve yerel topluluklar, farkındalık ve afet önleme ile bağlantılı faaliyetleri dikkate almada azalma eğilimine sahiptir. Kentsel taşkın artık sadece doğal bir fenomen değildir, sosyal koşullar önemli bir rol oynamaktadır ve mekansal ve zamansal farklılıklara sahiptir. Geçirimsiz alanların büyük bir yüzdesi nedeniyle bugün şehirlerin yaşadığı artan yağış dönemleri, mevcut kentsel drenaj sistemlerine büyük baskı uygular (CNA, 2011).

Yağış özellikleri (ölçek, desen, zaman ve mekândaki dağılım) aynı zamanda bir tehlike olarak selin büyüklüğünü ve özelliklerini belirleyen ana faktörlerdir. Sonuç olarak, kentsel sel, bir kentsel sistem için bir risk getirir ve bir sel yönetim stratejisi tanımlamak için kentsel sel risklerini doğru anlamak ve riski oluşturan bileşenlere aşına olmak esastır.

1.3.3. Taşkın riski değerlendirme yöntemleri: Sosyo-ekonomik sel riskinin ölçülmesi

Sadece taşkına duyarlı alanları tahmin etmek için değil, aynı zamanda ekonomik kayıpları ve etkilenen insan sayısını ölçmek için taşkın riski değerlendirmesi için metodolojiler geliştirmeye ve iyileştirmeye artan bir ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, kapsamlı bir literatür taraması sonucunda, sosyal riskin, birkaç farklı çalışma arasında ekonomik riskten çok daha az değerlendirildiği bulunmuştur.

Bu incelemede analiz edilen taşkın riski metodolojileri, özellikle nehir taşkınları ve doğrudan maddi hasar değerlendirmesi ve doğrudan maddi olmayan hasar değerlendirmesi içindir. Ek olarak, metodolojiler üç kategoriye ayrılmıştır:

- Binalara verilen fiziksel hasar (Flood Loss Estimation Model (FLEMO), FloodCalc, Flood Damage Tahmini için Derinlemesine Sentetik Model (INSYDE), Kentsel Taşkın Risk Yönetimi Stratejileri (SUFRI), Birleşik Krallık'ta selden zarar görmüş mülklerin değerlendirmesini standartlaştırmaya yönelik, Doughnut Yapı Modeli, Bölgesel Sel Hasarı Değerlendirmesine Yönelik Bir CBS Yaklaşımı, Karar Destek Sistemi, Bina türlerinin Kırılabilirliği, Kalypso Riski ve HEC-FDA);
- Tarıma fiziksel zarar (Tarımsal ani sel ve Tarımsal hasar);
- Binalara ve tarıma verilen fiziksel hasar (sel kaybı tahmini için entegre matematiksel model).

Taşkın risk değerlendirmesi için daha fazla metodoloji olmasına rağmen, hepsini analiz etmek çok zaman alacaktır.

1.3.4. Taşkın riski yönetimi

Risk yönetimi, taşkınlar da dahil olmak üzere doğal, çevresel veya insan kaynaklı tehlikelerle ilgili risklerin ele alınması için uygun bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Risk yönetimi, üç farklı eylem dizisini içeren bir süreç olarak tanımlanırsa daha net anlaşılabilir (Plate, 2002). Hali hazırda var olan bir sistemi çalıştırmak için ilk eylemler dizisine ihtiyaç vardır. Arazi kullanımındaki değişiklikler, nüfus artışları, iklim değişikliği vb. nedenlerle sistem bir nüfusun ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kaldığında, değişen koşullarda çalışacak şekilde değiştirilen bir sistemin planlanması başlar. İkinci grupla ilgili olan üçüncü bir dizi eylemde, uygun bir tasarım geliştirilir ve projenin inşaatı gerçekleştirilir. Hidrolik mühendisleri genellikle faaliyetlerinin bir parçası olarak yalnızca bu eylemler dizisini dikkate alırlar. Bununla birlikte, taşkın risk yönetimi görevi hiçbir zaman fiilen tamamlanmadığından, mühendislik yönü, taşkın riski yönetimi planlamasına ve ayrıca maruz kalan nüfustan ve zaman içinde karar vericilerden gelen girdilere dahil edilmelidir. Her neslin seçeneklerini ve ihtiyaçlarını yeniden değerlendirmesi ve kendi önceliklerine karar vermesi gerekecek (Plate, 2002).

Doğru bir risk analizi süreci, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile birlikte hidrolojik modellerden üretilen ve sel savunma sisteminin zayıf noktalarını tanımaya yarayan tehlike veya risk haritalarını oluşturmalıdır. Örneğin, 1997'de Polonya'daki Odra Nehri seli, sadece bentlerin kırılmasının değil, aynı zamanda bentlerden sızıntının ve sel sularının drenaj sisteminden sızmasının da zayıf noktaları olduğunu gösterdi. Sel, 54 kişinin ölümüne ve milyarlarca ABD doları tutarında maddi kayba neden oldu (Kundzewicz ve ark, 1999).

Plate (2002)'e göre, bir alüvyonlu nehrin alt kısmını sular altında bırakan bir taşkın, yüksek hızlara ve kayda değer aşındırıcı kuvvetlere sahip olan ani taşkınlardan farklı tepkiler gerektirdiğinden, taşkın koruma, taşkın tipine bağlı olarak tarihte bir dizi gelişme aşamasından geçmiştir. Büyük nehirlerin alüvyon ovalarındaki taşkınlar, karşılaştırıldığında düşük hızlara sahiptir ve yaşam tehdidi, su altında kalan alanların geniş yanal genişliğinden kaynaklanmaktadır. İlk topluluklar, bu tür sellere, şehirlerini ve köylerini yaşadıkları en yüksek selin ulaşamayacağı bir yere taşıyarak yanıt verdi. Bununla birlikte, nüfus baskısı ve tarım arazisi ihtiyacı, insanları genellikle taşkın ovalarına taşınmaya ve kendilerini korumak için hendekler inşa etmeye itti. Örneğin,

eski Çinliler tarım arazilerini ve köyleri korumak için büyük nehirlerinin yanına setler inşa etmeye başladılar (CNA, 2011). Bu nedenle, taşkınlara uyum mevcut teknoloji, finansal kaynakların erişilebilirliği ve bir toplumun algısına bağlı olan koruma ihtiyacının aciliyeti gibi bir dizi değişkene bağlıdır (Plate, 2002).

Ayrıca, Taşkın Risk Yönetimi (FRM) çerçevelerinin değerlendirilmesi, unsurlarının farklı entegrasyon seviyelerine göre yapılabilir. Sel risk yönetimi, sel öncesi, sırası ve sonrasındaki eylemleri kapsar.

1.3.5. Olgunluk seviyeleri

Farklı stratejileri değerlendirmek için bir olasılık, olgunluk kavramını kullanılmaktadır. İlke, her bir durumu, uygulanan sel riski yönetimi stratejisinin karmaşıklığını ve verimliliğini karakterize eden bir referans düzeyi ile karşılaştırmaktır. Bu seviyeler, Tablo 1.2'de sunulan farklı özelliklere göre belirlenir.

Olgunluk durumu, tamamen gelişmiş veya mükemmelleştirilmiş olmak anlamına gelir. Genel kullanımda, olgunluk kavramı, bir organizasyonun hizmetlerini iyileştirmenin mantıklı yollarını planlamak için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Artan karmaşıklık seviyelerini ve diğer özellikleri gösteren “En İyi Uygulama” kıyaslamalarında kullanılır (PMI, 2002).

Olgunluk, bir organizasyonun belgelenen, yönetilen, ölçülen, kontrol edilen ve sürekli olarak iyileştirilen süreçleri tutarlı bir şekilde yerine getirme derecesini ifade eder (CMMI Product Team, 2002).

Tablo 1.2. Şehir ölçeğinde sel riski yönetiminin olgunluk seviyeleri (Batıca ve ark, 2013).

| Seviye | Olgunluk ölçeği | Açıklama |
|--------|-----------------|--|
| 1 | Resmi olmayan | Taşkın risk yönetimine kısa vadeli odaklanma. Standartlaştırılmış sel riski prosedürleri yoktur. Durum bazında uygulanan geçici yaklaşımlar. Taşkın riski yönetimi konusunda bilgi veya deneyim yok. Taşkın risklerinin izlenmesi veya raporlanması yok. |
| 2 | Temel | Spesifik sel riskleri hakkında bilgi verir. Taşkın risk yönetimi prosedürleri belirlenir ve sözlü olarak iletilir. Bireylerin bilgisine yüksek güven. |
| 3 | İlk | Dönem ortası sel riski yönetimine odaklanır. Taşkın risk yönetimi politika ve prosedürleri kısmen uygulanmaktadır. Bazı sel riski yönetimi araçları ve şablonları geliştirilmiştir. Taşkın risk yönetimi unsurlarının uygulanması az sayıda paydaşla sınırlıdır. Sigorta planı mevcuttur. Sel haritaları. Şehir yönetimi tarafından eylemlerin koordinasyonu |

Tablo 1.2. (Devamı) Şehir ölçeğinde sel riski yönetiminin olgunluk seviyeleri (Batica ve ark, 2013).

| Seviye | Olgunluk ölçeği | Açıklama |
|--------|-----------------|--|
| 4 | Düzenli | Risk belirlenir. En iyi uygulama, FRM çerçevesine dahil edilmiştir. İnsan kaynaklarının kapasite geliştirmesi üst düzeydedir. FRM araçlarının mevcudiyeti. FRM uygulama planı mevcuttur. Sigorta planı, Sel haritaları, Gerekirse gerçek zamanlı sistemler. |
| 5 | Birleşmiş | Yasal çerçeve içinde ve farklı operasyonel ölçeklerde (ülkeden şehre) entegre edilmiş dayanıklılık konsepti Taşkın riski yönetiminin en iyi uygulaması. Öğrenilen dersler FRM çerçevesinde uygulanır. FRM temel süreçleri ele alıyor. Sigorta sistemi. Sel haritaları. Gerekirse gerçek zamanlı sistemler. |

Olgunluk, hazır olma kavramı içinde özetlenir. Hazırlık düzeyi, gelişen çerçevelerin olgunluğunu değerlendirmek için kullanılan bir ölçüdür. Bu, çerçevelerin entegrasyonuna ve önlemlerin uygulanmasına ektir. Teknolojinin değerlendirilmesi için aynı yaklaşım ABD Savunma Bakanlığı (DOD) (US Department of Defence, 2011), Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ve Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından yapılmaktadır (Sausser ve ark, 2008).

Sistemin kullanıma/uygulamaya hazır hale gelmesi için öncelikle tamamen olgunlaşması gerekir. Taşkın risk yönetimi alanına çevrildiğinde, daha yüksek bir olgunluk ve entegrasyona yönelik çerçeve kapasitesini tanımlayan bir düzey vardır. Bir taşkın risk yönetimi stratejisi için en yüksek olgunluk seviyesi, dayanıklılık kavramını aktif bir şekilde tanıtmak ve uygulamaktır: dayanıklılık kavramı yasal çerçeve içinde tanıtılmaktadır. Bir sel risk yönetimi çerçevesinin hazırlık düzeyi yasal çerçeve ile tanımlanır. En yüksek olgunluk düzeyine ulaşmadan önce çerçeve, tüm stratejilerin ve eylemlerin yasal çerçevede oluşturulduğu bir düzeye gelmelidir.

Taşkın risk yönetiminin bir esneklik yaklaşımına sahip olduğu entegre düzeye geçiş, yerel ölçekte strateji ve önlemlerin uygulanması yoluyla yapılır (Batica ve ark, 2013). Beş farklı olgunluk düzeyi vardır:

- 1) Birincisi, yüksek risk algısının olmadığı geçicidir. Eylemler gayri resmi olarak yapılır. Taşkın risk yönetimi stratejilerinin uygulanması, gayri resmi olgunluk düzeyi için değerlendirilmemektedir. Alınan aksiyonlar kurumsal koordinasyondan yoksundur. Risk algısı düşük seviyededir.
- 2) FRM çerçevesinin ikinci olgunluk seviyesi temeldir. Burada bilgi mevcuttur, ancak sadece belirli bir olay için. Taşkın yönetimi döngüsündeki prosedürler

belirlenmeye başlandı. Risk sadece belirli olaylar için bilindir. Bireylerin bilgiye olan güveni yüksektir. Riski yönetmek için alınan aksiyonların kurumsal koordinasyonu düşüktür.

- 3) İlk vade, taşkın risk yönetimi politikalarının uygulanmasına sahiptir. Kurumsal koordinasyon mevcuttur. Koordinasyon şehir yönetim düzeyindedir. Taşkın sigortası planları ve taşkın haritaları mevcuttur.
- 4) Koordineli olgunluk seviyesi, taşkın risklerini tam olarak belirlemiştir. Sel riski yönetimi politikası ve prosedürleri, en iyi uygulamaları bütünleştirir. FRM araçları ve şablonları paydaşların kullanımına açıktır. FRM uygulama planı, yüksek oranda uygulanan insan kaynakları kapasitesi ile mevcuttur. Sigorta planları mevcuttur ve eğer ihtiyaç varsa gerçek zamanlı sistemdedir.
- 5) Beşinci olgunluk seviyesi dayanıklılığa yaklaşıyor. Bu seviyede en iyi uygulama sadece FRM çerçevesinin bir parçası değil, aynı zamanda tamamen entegredir. Geçmişteki olaylardan öğrenme tutumu hakimdir. FRM çerçevesi ana sorunları ele alıyor.

Tablo 1.3. Avrupa ve Asya vaka incelemelerinde mevcut taşkın yönetimi çerçeveleri için olgunluk seviyeleri (Batika ve ark, 2013).

| | Beijing (Çin) | Barcelona (İspanya) | Hamburg (Almanya) | Nis (Fransa) | Taipei (Tayvan) |
|---------------------------------|------------------|------------------------|----------------------|-----------------|--------------------|
| TAŞKIN TEHLİKE | | | | | |
| Taşkın kontrol işleri | | | | | |
| Yapısal planlama ve tasarım | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Mal bakımı | 3 | 5 | 5 | 4 | 3 |
| Operasyonlar (DSS) | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| MARUZ KALMA | | | | | |
| Arazi kullanımı yönetimi | | | | | |
| Taşkın imarı | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Arazi kullanımı planlama | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Yeniden yerleşim | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| HASAR GÖREBİLİRLİK | | | | | |
| Taşkın tahmini | | | | | |
| Hidrolojik ve hidrolik modeller | 3 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Taşkın tehlike haritaları | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| Veri elde edinme ağı | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

Tablo 1.3. (Devamı) Avrupa ve Asya vaka incelemelerinde mevcut taşkın yönetimi çerçeveleri için olgunluk seviyeleri (Batıca ve ark, 2013).

| | Beijing (Çin) | Barselona (İspanya) | Hamburg (Almanya) | Nis (Fransa) | Taipei (Tayvan) |
|--------------------------------------|------------------|------------------------|----------------------|-----------------|--------------------|
| Taşkın uyarı & acil durum | | | | | |
| İletişim sistemi | 3 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Hazırlıklı olma | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 |
| DSS | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Önceki taşkınlar | | | | | |
| Destek servisi (sağlık) | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Materyal desteği (yemek) | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 |
| Altyapı onarımı | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| Finansal yardım & teşvik | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| Tazminat / taşkın sigortası | 1 | 4 | 2 | 3 | 2 |
| Arazi kullanımı yönetimi | | | | | |
| Bina yönetmelikleri | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 |
| OLGUNLUK SEVİYESİ | 3.06 | 4.11 | 4.0 | 3 | 4 |
| | İlk | Düzenli | Düzenli | İlk | İlk |

Yukarıda sunulan değerlendirmenin sonucu, Batıca ve ark. (2013) tarafından geliştirilen Tablo 1.3’de incelenen şehirler için olgunluk seviyelerindeki farklılıkları göstermektedir.

1.3.6. Taşkın modelleme süreci

Taşkın haritalarının teknik geliştirmesi yinelemeli bir süreçtir ve tamamen Şekil 1.1’de özetlenen konular tarafından yönlendirilen yerel koşullara bağlıdır (WMO ve GWP, 2013). WMO ve GWP (2013)’e göre, taşkın risk yönetiminde, planlama ekibi tarafından oluşturulan bir kavram belgesi, taşkın haritalama programının hedeflerini tanımlar. Özellikle aşağıdaki soruların yanıtlanması gerekmektedir:

Amaç: Bu haritalar ne için üretiliyor?

Hedef kitle: Haritaları kimler kullanıyor?

Hedef alan: Hangi alanlar kapsamaktadır? (Nehir havzası, belirli taşkın ovası, nehir yatağı, belirli yerleşim, bütün bir il vb.)

Eşlenen parametrelerin seçimi, projenin amaçlarına, mevcut kaynaklara ve elde edilebilecek potansiyel faydaya bağlı olacaktır. Olay haritası, Tehlike haritası, Hasar görülebilirlik haritası ve Risk haritası önemlidir.

Haritalama yaklaşımı, haritalama aşamasına (ön, genel amaçlı veya ayrıntılı), verilerin kullanımına ve kullanılabilirliğine bağlı olarak farklı olabilir. Bu nedenle, taşkın haritası tipinin seçimi ve özellikleri yeniden gözden geçirilmelidir (WMO ve GWP, 2013).

Haritalarda yer alacak anahtar parametreler seçilmeli ve kullanıcılarla tartışılmalıdır. Haritaların hazırlanması için harici yükleniciler görevlendirilirse, farklı ölçeklerde veya tanımlarda harita üretme maliyetleri, maliyetlerin büyüklüğünde birkaç siparişle bir artış gerektirebileceğinden, bu tanımlamalar çok önemli hale gelmektedir (WMO ve GWP, 2013).



Şekil 1.1. Taşkın haritalama süreçlerinin haritası (WMO ve GWP, 2013).

1.4. Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Sınırları

Bu tez çalışması Sakarya havzasının Aşağı Sakarya bölgesinde bulunan Dinsiz Çayı için sayısal modeller yardımıyla taşkın tehlike risk hasar haritalarını üretmek ve farklı yöntemlerle çalışma alanında bulunan Hendek 2. Organize Sanayi Bölgesi için zarar analizi yapmaktır.

Dinsiz Çayı, çalışmanın özgünlüğü sağlamak, gerek kurum ve kuruluşlar gerekse çalışma alanında hayatını devam ettiren insanları bilgilendirmek amacıyla seçilmiştir. Daha önce bu alanda yapılan akademik veya kurumsal bir çalışma olmaması, bölgede meydana gelen taşkınlar ve bölge halkını için oluşturacağı ekonomik faydalar dikkate alınarak çalışma alanı seçimine karar verilmiştir. Ayrıca bu tez döneminden önce

meydana gelen bir taşkında özellikle Hendek 2. Organize Sanayi Bölgesi'ndeki bazı firmaların yetkilileri büyük zarara uğradıklarını belirtmişlerdir. Tez döneminde ise Akyazı ve Hendek ilçelerinde meydana gelen taşkın olmuş ve tarım alanları bu taşkından etkilenmiştir. Bu nedenle çalışma alanı olarak yapılan tercihin doğru bir karar olduğu düşünülmektedir.

Dinsiz Çayı'nda meydana gelebilecek taşkınların haritalarını üretmek için; kullanım kolaylığı, literatürde sık kullanılması ve ücretsiz olması gibi özelliklerinden dolayı HEC-RAS programı tercih edilmiştir. Modellerde kullanılacak altlık verisi herhangi bir kurumdan ücretsiz temin edilemediği için Çevre Şehircilik Bakanlığı, Coğrafi İşler Başkanlığı'ndan ücretli olarak üç boyutlu nokta bulut verisi olarak büyüklüğü Dinsiz Çayı boyunca ve çayın sağ-sol kenarından 1'er km kapsayacak şekilde satın alınmıştır. Ancak satın alınan ham veri bölgedeki topoğrafik koşullar nedeniyle modellerin doğru sonuç vermesini engelleyecek nitelikte olduğundan uzun uğraşlar, yoğun araştırmalar ve düzeltmeler sonucu büyük bir özenle hazırlanarak kullanılmıştır. Modellerde kullanılan girdi verilerinden olan tekerrür debileri ve bu debilerin hidrografları çalışma alanında bulunan akım gözlem istasyonunda yapılmış ölçümlerin yetersiz olmasından, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen ve çalışma alanında bulunan üç meteoroloji istasyonunda ölçülmüş yağış verilerini kullanarak olasılık yöntemleri ve yağıştan akışa geçiş yöntemi ile hesaplanmıştır.

Yağıştan akışa geçiş modelinde ve taşkın hidrograflarını oluştururken HEC-HMS programı kullanılmıştır. HEC-HMS, yağıştan akışa geçiş için SCS-CN eğri numarasını kullanır, ancak bu veri çalışma alanı için daha önce hesaplanmadığından kurumlardan temin edilememiştir, elle hesaplamak gerekmiştir. Bu nedenle Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Entegre İdare ve Kontrol Sistemleri Daire Başkanlığı'ndan temin edilen toprak haritasından CBS programları yardımıyla arazi kullanım haritası ve hidrolojik toprak grubu haritası oluşturulmuştur. Bu iiki harita yine CBS ortamında üst üste çakıştırılarak CN değeri literatürde sık kullanılan formül yardımıyla hesaplanmıştır. HEC-RAS ile taşkın yayılım haritalarını elde etmek için kullanılan Manning pürüzlülük katsayıları, uzaktan algılama elde edilen haritalardan belirlenmiştir. HEC-RAS ile 1B model oluşturabilmek için gerekli olan en kesit verileri ise gerek devlet gerekse özel kurumlarca Dinsiz Çayı üzerinde herhangi bir ölçüm yapılmadığından bu tez çalışması için özel olarak bir harita mühendisi tarafından ölçümler yapılarak hazırlanmıştır. 1B modeller sonunda

kullanılan DEM verisin yetersiz olduğu görülmüş ve tez çalışması sırasında kurumlarda çalışma alanını genişletecek başka bir veri olmadığından internet üzerinden ücretsiz indirilen DEM verisi eldeki veri ile CBS ortamında birleştirilmiştir ve 2 B modeller için kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Tüm bu çalışmalardan sonra HEC-RAS ile 2B taşkın modelleri oluşturulmaya başlanmıştır, oluşturulan modeller taşkın derinlik, yayılım ve hız parametrelerini elde edilmesini sağlamıştır. Bu parametreler taşkın tehlike, risk ve hasar haritalarını oluştururken kullanılacaktır.

İlk olarak taşkın tehlike haritaları DEFRA yöntemime göre, daha sonra risk haritaları ise FEMA, Dinh ve ark. (2012) ve Kılavuz yöntemlerine göre CBS yazılımlarından yardım alınarak elde edilmiştir. Taşkın hasar haritalarını üretebilmek için ise önce hasar analizini yapmak gerekmektedir. Hasar analizi için literatürde sık kullanılan Huizinga, Van Eck ve Kok ve ICBR derinlik-hasar eğrileri ile Pistrika ve Jonkman yönteminin yanı sıra bu tez çalışmasına özgünlük katması ve bu çalışmanın örnek olması amacıyla HAZUS fonksiyonları kullanılmıştır. HAZUS her ne kadar ücretsiz bir yazılım dahi olsa, bir bilgisayarda çalışması için gerekli teknik özellikler oldukça fazladır. Bu nedenle birçok farklı bilgisayara HAZUS'un değişik sürümleri yüklenmiştir ve çalışma alanı tanıtılmıştır ancak teknik hatalardan dolayı sonuç alınamamıştır. Daha sonra HAZUS programının yaptığı işleri elle hesaplamak için yoğun araştırmalar ve uğraşlar sonunda HAZUS fonksiyonları elde edilmiştir. Bu fonksiyonlar diğer yöntemlerdeki gibi yapıların derinliğe bağlı hasar oranını verir fakat diğer yöntemlerden farklı olarak yapıların hem her yapıyı kendi arasında sınıflara ayırır hem de yapıların içindeki mal ve teçhizat için de derinliğe bağlı hasar oranı sunmaktadır. Ancak Organize Sanayi Bölgesinde 'ki firma yetkililerinin yapıların içindeki mal ve teçhizat bilgilerine dair paylaşımı oldukça sınırlı olduğundan bu tez çalışmasında içerik hesabı yapılamamıştır. Son olarak taşkın hasar haritaları ise HAZUS fonksiyonlarından elde edilen sonuçlara göre CBS ortamında üretilmiştir. Burada her bir tekerrür periyoduna göre (50, 100, 200 ve 500 yıl) sektörel olarak binalarda meydana gelen hasar maliyetleri işlenmiştir. Bu hasar değerleri çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olacak şekilde beş sınıfa ayrılarak renklendirilmiştir. Bu şekilde firmaların Euro bazında ne kadar hasar alabileceğinin haritaları elde edilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ülkemizde ilk defa Yazıcılar ve Önder (1998) HEC-RAS programını kullanarak taşkın anında Bartın nehrinde oluşabilecek su yüzü seviyelerini hesaplamaya çalışmışlardır. 1998’de Bartın merkezde yaşanan taşkın olayı ile bulunan sonuçlara göre üretilen haritanın birbirine yakın olduğu belirtilmiştir.

Geçmişte pek çok nümerik kıyı üstü akışı modeli geliştirilmiştir. Bousmar ve Zech (1999), ana kanalda ve taşkın yatağında sabit bir su yüzeyi yüksekliği, ancak farklı bir enerji gradyanı varsayarak hem kütle hem de akış yönünde momentum transferini birleştiren “Değişim Deşarj Modeli” (EDM) adı verilen yatay bir bağlantı yaklaşımı geliştirdi.

Bates ve De Roo (2000) nehir akışını simüle etmek için tek boyutlu (1B) kinematik dalga modelini, Hollanda Meuse nehrinde Ocak 1995'teki büyük sel olayı için kıyı üstü akışını simüle etmek için iki boyutlu (2B) difüzyon-dalga modeli ile birlikte kullanmıştır.

İstanbul Kurbağalı Dere'nin taşkın alanlarını belirlemek için Kılınç ve Şahin (2005) CBS ve HEC-RAS programından yararlanmışlardır. Devlet Su İşleri (DSİ) sentetik metodu yardımıyla tekerrür debilerini hesaplamışlardır. Bu debiler ve dere kesit bilgileri yardımıyla hidrolik analizler yapmışlardır. Ayrıca taşkın çalışmalarında veri ve veri kalitesinin önemini belirtmişlerdir.

Wilson ve ark. (2007) Amazon için (Brezilya'da) 240 x 150 km ölçeğinde ilk 2B hidrodinamik model uygulamasını yaptı. 2B hidrodinamik model LISFLOOD-FP'ye girdi olarak Mekik Radar Topografya Görevinden topoğrafik verileri kullandılar ve sonuçları su baskınları ve uydu tahminlerinden ve mevcut ölçülü verilerden elde edilen su seviyesi ile karşılaştırdılar. Sonuçlar nehir deşarjının daha önce düşünülen daha yüksek bir oranının taşma yatağından aktığını göstermektedir.

Förster ve ark. (2008), Ağustos 2002'deki olağanüstü olay için Elbe Nehri boyunca taşkın acil durum depolama alanlarında taşma ve geri çekme süreçlerini simüle etmek

için bir 1B (MIKE 11, Danish Hydraulics Institute) model ve bir 1B-2B (MIKE FLOOD, Danish Hydraulics Institute) yatay olarak bağlı model uyguladılar.

Dursun (2008), DSİ IX. Bölge Müdürlüğü tarafından oluşturulan taşkın verilerini ve HEC-RAS programı ile Elâzığ Murat Nehri'nin taşkın seviyelerini hesaplamıştır. Bulduğu sonuçları bölgedeki taşkınlar ile kıyaslamıştır. Dere yataklarına yapılan müdahalelerin olumsuz sonuçlar ortaya çıkardığını sebepleriyle göstermiştir.

Coe ve ark. (2008), Amazon nehri havzasının simüle edilmiş yüzey suyu dinamikleri üzerindeki etkilerini tanımlamak için nehir kıvrımına bağımlılığı ve sürtünmeyi içeren bir su dengesi modelini geliştirdiler. Coe ve ark. (2008), her bir grid hücresi için fraksiyonel taşkın istatistiklerini hesaplamak için Mekik Radar Topografya Görevi'nden 1 km. çözünürlüklü topografik verileri kullandı. Coe ve ark. (2008) bu istatistikleri alan ölçümleriyle birleştirerek modelin girdileri olarak kullanmıştır. Model, 122 ölçüm istasyonuna göre kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Simüle edilen 1968-1998 dönemi için sonuçlar, su basmış alanın uydudan türetilen tahminlerinde %5'lik bir doğruluk göstermektedir.

Nandalal (2009), nehir boyunca su seviyelerini belirlemek amacıyla Ratanpura'dan Kalutara'ya kadar Kalu Nehri'nin 79 km. uzunluğundaki Shri Lanka'da HEC-RAS modeli geliştirmiştir. Model geliştirmek için gerekli geometrik veriler, dosyalanmış anket ile üretilmiş ve nehir, 1:10.000 üst sayfa kullanılarak toplam 86 anketlenmiş enkesit şeklinde temsil edilmiştir. Yazar daha sonra, gözlemlenen ve simüle edilen su seviyeleri değerlerinin iyi bir uyumunu gösteren, Manning'in sürekli akış simülasyonundan kalibre edilmiş n'sini kullanarak, 17-20 Mayıs 2003 arasındaki gözlenen sel olayı için kararsız koşul altında HEC-RAS modelini simüle etti

Moussa ve Bocquillon (2009), Ekim 1958'de Fransa'nın Hérault nehrinde meydana gelen sel olayını modelledi. Moussa ve Bocquillon (2009), akışı sırasıyla nehir ve taşkın yatağı boyunca yönlendirmek için bir 1B dinamik ve iki 1B yayılımlı dalga modelini birleştirdi. Ek olarak, savak denklemleri ana kanal ve düz düzlem alanlarını yanal olarak birleştirmek için kullanıldı.

Yarrakula ve ark. (2010) geometrik verilerin yanı sıra taşkın ve hasar alanlarının haritalanması için HEC-RAS ve GIS'i entegre ederek taşkın seviyelerini tahmin etmek için Subernarekha nehrinin 154 km. uzunluğunda taşkın tahmin modelini geliştirmiştir. Yazarlar, Ulusal Uzaktan Algılama Merkezi'nden (NRSC) temin edilen

Cartoset 1 stereo verisinden üretilen 10 m'lik ızgara DEM'i kullanarak nehrin 239 kesitini üretti.

Hall ve ark. (2011), Amazon havzasında uzaktan algılamanın kullanımı ve hidrodinamik modellerle entegrasyonu hakkında bir inceleme yapmış ve şu sonuca varmıştır: "çeşitli aktif uzaktan algılama sistemleri tarafından sağlanan kapsamlı kapsama sayesinde", taşkın boyutunu, taşkın yatağı akış yönünü ve taşkın yatağı seviyesi ile ana kanala olan mesafe arasındaki ilişkiyi elde etmek mümkündür.

Timbadiya ve ark. (2011a) nehir boyunca çok kanallı pürüzlülük katsayısı Manning's 'n' değerlerinin gerekliliği üzerinde tartışmaya çalıştı. Aşağı Tapi Nehri'nin saha ziyareti sırasında toplanan nehir kenarlarının fotoğraflarıyla destekleyerek 1998 ve 2003 yılları arasında taşkın simülasyonu yoluyla HEC-RAS kullanılarak ayrıntılı şekilde anlatılmıştır.

Roshun ve ark. (2012) yağış-akış süreci ve doğal nehirlerin hidroliği analizine bilgisayar teknolojisinin uygulanmasını tartıştığı çalışma yapmıştır. Çalışmasında, Zaremrood Nehri'ndeki akış karakteristiğini ve su yüzey yüksekliğini tahmin etmek için hidrolik analizlerinde HEC-RAS ve diğer GIS uygulamalarını kullanmıştır.

Masood ve Takeuchi (2012), 90 m. ızgaralı SRTM DEM ve 1972'den 2004 yılına kadar 32 yıllık geçmiş sel kayıtlarını kullanarak orta doğu Dhaka'nın 37 km²'lik alanı için 1 boyutlu hidrodinamik model geliştirdiler.

Sönmez (2013), bir boyutlu HEC-RAS kullanarak Amerika'nın Washington eyaletindeki Cedar Nehri için hidrolik modelleme yapmıştır. Farklı tekerrürlü taşkın debilerine göre taşkın haritaları üretmiştir. Ayrıca modelleri 2007 yılında meydana gelmiş olan taşkın olayının verileriyle kalibre etmiştir. 5, 10 ve 30 metrelik farklı çözünürlüklerdeki SYM'ler kullanılmıştır. Sonuç olarak 100 yıllık debiye göre bir taşkın meydana gelirse Waverly şehri için zararı en aza indirmek adına taşkın risk planı ortaya konmuştur.

Timbadiya ve ark. (2014), Aşağı Tapi Nehri için 1998, 2003 ve 2006 yıllarının fiziksel olarak ölçülmüş geometrik verilerini ve taşkın verilerini kullanarak 1B kararsız HEC-RAS modeli geliştirmiştir. Nehir geometrisi 103.5 km. uzunluğundaki aşağı Tapi nehri için 135 kesit şeklinde temsil edilmiş ve Manning'in pürüzlülük katsayısı tüm nehir erişimi için tek bir değer olarak 0.035 olarak kabul edilmiştir. Yazarlar akış hidrografını seçmiştir.

Zelege (2015) yaptığı araştırma çalışmasında, taşkının Bantyeketu Nehri'ndeki aşırı hidrolojik olaylar üzerindeki potansiyel etkisini değerlendirmeye çalışmıştır. Akaki havzasındaki farklı nehir sistemlerine yönelik havzayı tanımlamak için ArcGIS, hidrolojik model için ise HEC-HMS kullanmıştır.

Rahman ve Ali (2016), sel taşkın haritalarının geliştirilmesi amacıyla Jamuna Nehri Havzası için HEC-RAS ve GIS kullanarak birleşik 1B ve 2B hidrodinamik model geliştirmiştir. HEC-RAS'ta 1B geometriyi içe aktardıktan sonra, nehrin sol ve sağ kıyısının komşu taşkın yatağı 300 m. x 300 m. hücre boyutunda 2B ağ örgüsüne dönüştürüldü. Çalışma, HEC-RAS ve GIS'in entegre kullanımını uygulayarak birleştirilmiş 1B ve 2B modeli kullanarak sel baskını haritalarının hazırlanması için sistematik bir yaklaşım sunmaktadır.

Quiroga ve ark. (2016), 90 m. grid SRTM DEM kullanılarak üretilen geometrik verileri ve 02 Şubat 2014 - 02 Mart 2014 arasındaki taşkın verilerini kullanarak Bolivya Amazonia için 2B HEC-RAS modeli geliştirdi. Çalışma, modelin taşkın seviyesini oluşturmada etkili olduğunu ve uydu görüntüleri tarafından bildirilen verilerle iyi bir eşleşme olduğunu kanıtlamaktadır. Öte yandan, simüle edilen model ayrıca su derinliği, hız, süre, taşkın sınırı gibi ek veriler verir ve olası taşkın yönetimi politikalarının analizine yardımcı olmaktadır.

Patel ve ark. (2017), Tapi nehri ve Surat şehri için GIS ve HEC-RAS yazılımını entegre eden birleştirilmiş 1B/2B hidrodinamik model geliştirdi. Araştırmacılar, Tapi Nehri'nin ortalama 150 m. ila 200 m. aralığında 299 adet enkesit kullanarak 1 boyutlu modellemesini ve 30 m. ve 90 m. çözünürlükte SRTM DEM'den üretilen geometrik verileri kullanarak 2 boyutlu modellemeyi gerçekleştirmişlerdir.

Assefa (2018) makalesinde nehir kenarındaki sele eğilimli alanlarda sel tehlikesi ve sel riskinin değerlendirilmesi için yeni bir sistemik yaklaşım sunmaktadır. 2 boyutlu tam dinamik taşkın modellemesinin önerildiği yumuşak arazi ve karmaşık topografyaya sahip kentsel alanlara özel önem verilmektedir. Eğim, yükseklik, yağış, drenaj yoğunluğu, arazi kullanımı ve toprak türü gibi taşkına sebep olan faktörler derecelendirildi ve bir CBS ortamında çok kriterli bir değerlendirme tekniği kullanılarak sel tehlikesi bölgelerini tanımlamak için birleştirildi.

Azouagh ve ark. (2018) ArcGIS yazılımına dahil olan HEC-RAS ve HEC-GeoRAS araçlarını kullanarak, Fas'taki şiddetli doğaya sahip Martil Nehri'nin 30 km'lik yaması

için taşkın yatağı haritaları geliştirmiştir. İşin daha fazla hassasiyet gerektirmesi ve 30 m., 12 m. ve 10 m. çözünürlükteki DEM'lerin çalışma ihtiyacını karşılamaması nedeniyle, HEC-GeoRAS aracı kullanılarak 146 kesit şeklinde geometri verileri oluşturmak için DEM ile birlikte 2 m. çözünürlüklü hava fotoğraflarının birleştirilmesi kullanılmıştır.

Rind ve ark. (2018), veri hazırlama için ArcGIS ve HEC-GeoRAS araçlarıyla birlikte HEC-RAS 2B'yi kullanarak Kotri Barajı'ndan Arap Denizi'ne kadar olan aşağı İndus nehri için 2010 sel yılı için 2 boyutlu hidrodinamik model geliştirmiştir. Çalışmanın temel amacı, sel baskını haritalarını betimlemek ve gelecekteki sel olayları için sele duyarlı alanları belirlemektir.

Taşkınların yol açtığı zarar maddi ve manevi olarak ikiye ayrılabilir, maddi hasar doğrudan konutlara, işyerlerine ve altyapıya verilen doğrudan ve dolaylı zararlardan kaynaklanan parasal kayıp olarak temsil edilebilir. Maddi olmayan hasar, ölümler, travmalar ve doğrudan parasal hasar olarak ölçülemeyen diğer sebeplerden kaynaklanan zararlardır (Lekuthai, 2001). Afet riskinin azaltılmasına yönelik UNISDR (2009), maddi ve manevi zarar kavramını tanımlamaz; sonraki güncelleme (UNISDR, 2017) dolaylı zararın maddi olmayan olabileceğini tanımlarken; insan varlıkları, bu kılavuzdaki maruziyet tanımında da maddi olarak tanımlanmıştır.

White (1945) mülklere verilen zararı dikkate alan bir öncüydü. Diğer yönlerin yanı sıra White, mülkler ve dükkânlarla ilgili olanlar gibi, bir sel meydana geldiğinde kentsel alanlardaki kayıp türlerini daha ayrıntılı olarak tanımladı. Çalışması, konutların ve diğer binaların, garajların ve araçların temelleri ve yapısı gibi yerleşim alanlarında meydana gelebilecek kayıpları ele aldı. Ayrıca, mülk kira gelirinin kaybı (yani dolaylı hasar) dikkate alındı. White'ın çalışmasında konuyla ilgili bir ifade, su derinliği ve hız değişkenlerinin konutların temeline ve yapısına verilen hasarın ciddiyet derecesini belirlediği idi. Bu tür kayıplar için en sınırlayıcı faktörün su derinliği olduğu belirtildi. White, doğrudan ve dolaylı hasar arasında doğrudan bir ayırım yapmamış olsa da, çalışmasında her iki kategoriye de değinilmiştir.

Clausen ve Clark (1990) ise hızdan bağımsız olarak minimum derinlik eşiği ile bina yapısına verilen hasarı tanımladı; baraj veya set çökmesi vaka çalışması, ani taşkınlar yüksek hızlar ve yıkım kapasitesi geliştirebilse de, doğal olarak oluşan taşkınlardan taşkın akışına farklı bakış açıları getirir.

Roos (2003), Almanya ve Hollanda'da taşkın sırasında binalara akış hızının neden olduğu hasarlar hakkında yapılara uygulanan yatay yüke dayalı kapsamlı bir deterministik yaklaşım sunmuş ve 0.5 metrenin altındaki derinliklerde duvarlara zarar vermek için gerçekçi olmayan bir hız gerektiren bir model tanımlamıştır. ve artan su derinlikleri için duvarlarda hasar başlangıcı ve tam hasar tanımlandı, çalışma Hollanda bağlamında setlerdeki gedik bağlamına uyacak şekilde geliştirildi.

Machado (2005), Nascimento ve ark. (2007), Cortes (2009) tarafından hem hane halkı hem de ekonomik sektörler üzerine bir araştırma, taşkın derinliği hasar eğrilerinin geliştirilmesi için geniş çapta araştırılmıştır. Bu çalışmalar ayrıca Huizinga (2017) tarafından önerilen Küresel Derinlik Hasar Eğrileri için kullanılan verileri de sağladı.

Brouwer ve ark. (2007), sosyo-ekonomik profil ile sel riskine maruz kalma arasındaki ilişkileri araştırdı ve sel derinliği ile hane gelir düzeyi arasında ilginç iyi bir korelasyon buldu, niceliksel olarak daha yoksul insanları sele eğilimli alanlara iten açık bir sosyal ayrışmayı ortaya çıkardı.

Diğer yazarlar da risk seviyelerinde belirleyici olarak akış hızını kullanırlar, Cançado ve ark. (2008), Manhuaçu, Minas Gerais Eyaleti/Brezilya belediyesindeki potansiyel sel hasarını değerlendirmek için Amerika Birleşik Devletleri Sowashee Creek'te ölçüldüğü gibi Federal Acil Durum Yönetim Ajansı'nın (FEMA) kılavuzlarını kullandı.

2005'te New Orleans Amerika'da meydana gelen Katrina kasırgasından sonra, Pistrika ve Jonkman (2010) 95000 binanın ekonomik kaybı incelemişlerdir. Bu çalışmalarında su derinliği ve akım hızı verilerini kullanmışlardır, iki değer çarpımının konutlarda meydana gelen maddi zararı hesabında önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Çalışmalarının sonunda taşkın zararlarının hesaplanması için akım hızı ve su derinliğinden oluşan bir formül türetmişlerdir.

Prettenthaler ve ark. (2010) Avusturya'da 2006 yılında meydana gelen taşkın olayının verilerinden yararlanarak binalarda oluşabilecek hasarları hesaplamaya çalışmışlardır. Su hacmine bağlı olarak zarar fonksiyonu üretmişlerdir ve bunu literatürdeki çalışmalar ile kıyaslamışlardır. Taşkın hasar eğrisinin geliştirilmesi ve daha genel kullanılması için nehirlerde meydana gelen doğal taşkınların oluşturduğu hasarlar ile doğrulama yapmak gerektiğini vurgulamışlardır.

Almanya Meuse Nehri için De Moel ve Aerts (2011) meydana gelebilecek taşkın modelleyip taşkın zararlarını incelemişlerdir. Taşkın zararları için Rhine (ICBR, 2001), Hollanda (Klijn ve ark, 2007) ve Belçika (Vanneuville ve ark, 2006) için oluşturulan derinlik-hasar eğrilerini kullanmışlardır. Taşkın zararını belirlemede hasar modeli seçiminin önemini ve taşkın zarar çalışmalarında hidrolik ve hidrolojik süreçlerin önemli olduğunu vurgulamışlardır. Taşkın hasar incelemelerinde yapı türleri, arazi kullanımı, endüstri ve tarım gibi sınıflamaların önemini vurgulamışlardır.

Jongman ve ark. (2012) Eilenburg ve Carlisle şehirlerinde meydana gelmiş iki taşkın yedi farklı taşkın hasar modeli inceleyerek karşılaştırmışlardır. Kullandıkları modeller şunlardır; JRC (Joint Research Centre Model, Avrupa Komisyonu'nun Ortak Araştırma Merkezi Modeli), MCM (Multi-Coloured Manual, Birleşik Krallık Çok Renkli El Kitabı), DSM (Damage Scanner Model, Hollanda Hasar Tarayıcı Modeli), Flemish (Belçika, Flaman Çevre Ajansı Modeli), RAM (Rhine Atlas Model) ve FLEMO (Flood Loss Estimation Model, Alman Araştırma Merkezi Yerbilimleri Modeli), HAZUS (ABD, Çoklu Hasar Yazılımı). Taşkın zarar tahmininde arazi kullanımının değerlendirilmesi ve bölge ve mülk özelliklerine göre varlıkların ekonomik değerlerinin hesaplanmasının önemli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Serencam (2013) Trabzon Değirmendere Havzasında bulunan sanayi bölgesi için HEC-RAS programıyla bir boyutlu model oluşturmuştur. Bu model sonucunda taşkın risk haritaları elde etmiştir. Ayrıca su altında kalabilecek bina alanlarını ve ortalama su derinliklerini kullanarak meydana gelebilecek zararları tahmin etmiştir.

Pistrika ve ark. (2014) Atina'nın Moschato bölgesinde 2002'de meydana gelen taşkın verilerini kullanarak derinlik-hasar fonksiyonları geliştirmişler ve bunları diğer derinlik-zarar fonksiyonları ile kıyaslamışlardır. Bu fonksiyonları üretmek için konutların taşkına maruz kalan bölgelerinin birim maliyetlerine göre onarım bedellerini bulmuşlardır.

Girayhan (2015) Samsun Terme'de taşkın zararlarını hesaplamaya yönelik çalışma yapmıştır. 100 ve 500 yıllık tekerrür debilerine göre taşkın modeli hazırlayarak Terme ilçe merkezinde taşkın neden olduğu zararı hesaplamıştır. Taşkın su hızının yollara verdiği hasar üzerinde durmuştur.

Taş ve ark. (2016) HEC-RAS programı yardımıyla taşkın modelleri oluşturmuş ve kullandıkları debilere göre ayrı ayrı su derinlikleri ile taşkın yayılım alanlarını

belirlemişlerdir. İlgili tekerrür debileri için taşkın zararlarını hesaplamak için Jonkman ve ark. (2008)'nın önerdiği derinlik-hasar eğrilerini kullanmışlardır.

Scorzini ve Frank (2017) İtalya Bacchiglione Nehri'nde meydana gelmiş taşkın hasar verilerine göre, literatürde var olan hasar hesaplama yöntemlerinin İtalya için uygun olup olmadığını incelemişlerdir. Küçük sahalara göre derinlik-hasar fonksiyonları, orta ve küçük ölçekteki konut sektörü için geliştirilmiştir.

Zin ve ark. (2018) Burma, Bago Havzası'nın taşkın tehlike durumunu değerlendirmişlerdir. Bago Havzası'nın taşkın yayılım haritasını CBS yardımıyla hidrolojik ve hidrolik bir modeli birleştirerek elde etmişlerdir. Risk yönetiminde taşkın tehlike haritalarının öneminden bahsetmişlerdir.

Terzioğlu (2018) Değirmendere, Karadere ve Fol Deresi için taşkın modelleri oluşturmuştur. "Huntington İnşaat Mühendisleri Birliği" tarafından önerilen zarar yüzdeleri tablosu, van Eck ve Kok derinlik-hasar eğrileri ile Pistrika ve Jonkman tarafından önerilen denklemi kullanarak zarar hesaplamalarını yapmıştır. Farklı yöntemlere göre risk değerlendirmesi de yapmıştır. Haritalar üzerinde binalar için zarar ve risk sınıflarını belirtmiştir.

Beden (2019) Doğu Karadeniz Havzası'nda bulunan Cevizdere için taşkın modelleri oluşturmuştur. Cevizdere akım verileri taşkın debi hesabında kullanmak için yeterli olmadığından yağış verileri kullanarak yağıştan akışa geçiş yöntemlerinden yararlanmıştır. Taşkın zarar hesapları için Pistrika ve Jonkman denklemi ile van Eck ve Kok, Huizinga ve ICBR yöntemlerini kullanmıştır.

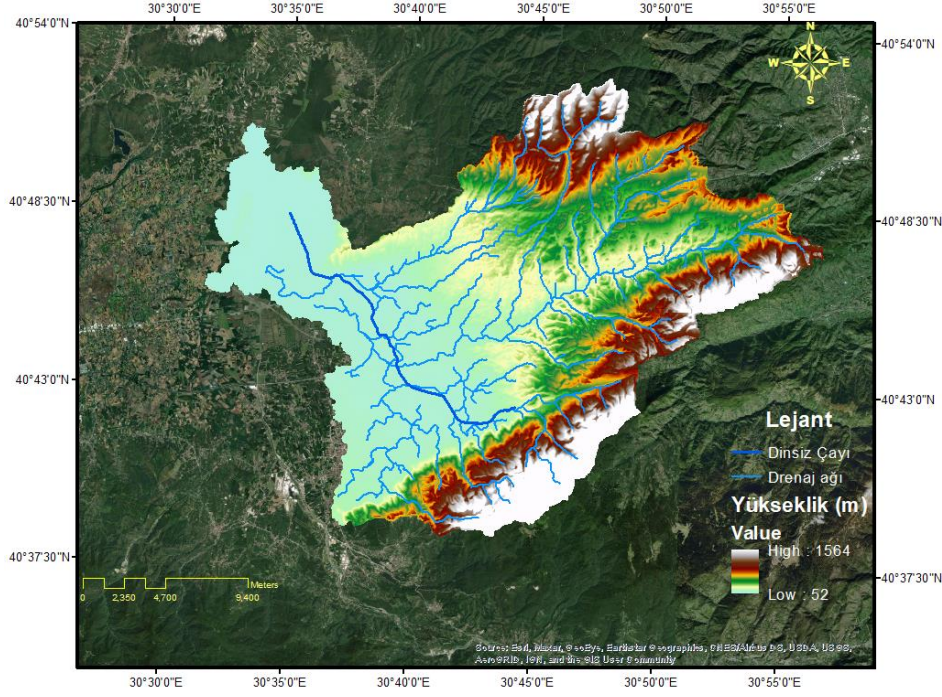
Demir (2020) bir ve iki boyutlu hidrolik modeller ile taşkın alanlarının ve taşkın zararlarını belirlemek üzere Samsun Mert Havzası'nda çalışma yapmıştır. Taşkın tekerrür debilerini ve taşkın hidrograflarının elde etmek için bölgesel ve noktasal taşkın frekans analizi ile Mockus, DSİ Sentetik ve Snyder gibi sentetik yöntemlere başvurmuştur. Taşkın modellerini hem HEC-RAS hem de FLO-2B programlarıyla oluşturmuştur. Modellerin sonucunda ArcGIS programı yardımıyla su yüksekliği, taşkın yayılımı ve su hızı haritalarını oluşturmuş bu haritalardan ise taşkın tehlike ve taşkın risk haritalarını elde etmiştir.

3. ÇALIŞMA ALANI

Mudurnu Çayı'nın en uzun kolu yaklaşık 34 km uzunluğa sahip olan Dinsiz Çayı'dır, kaynağı ise Sakarya'nın Hendek İlçesi'nde yer alan Keremali Dağı'dır. İlk olarak doğudan Fabrika Dere, ardından güneybatıdan Bıçkı Dere ve Kallen dereleri, daha sonra da ileride doğudan Balıklı Dere, Dinsiz Çayı'na katılmaktadır. Dinsiz Çayı Mudurnu Çayı'na, Mudurnu Çayı Sakarya Nehri'ne karışmadan yaklaşık 3.6 km önce, Adapazarı-Akyazı-Hendek ilçe sınırlarının kesiştiği yerde katılmaktadır. Çayın 2013-2017 yılları arasında yıllık ortalama akım miktarı $10.67 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak belirlenmiştir.

3.1. Topoğrafya

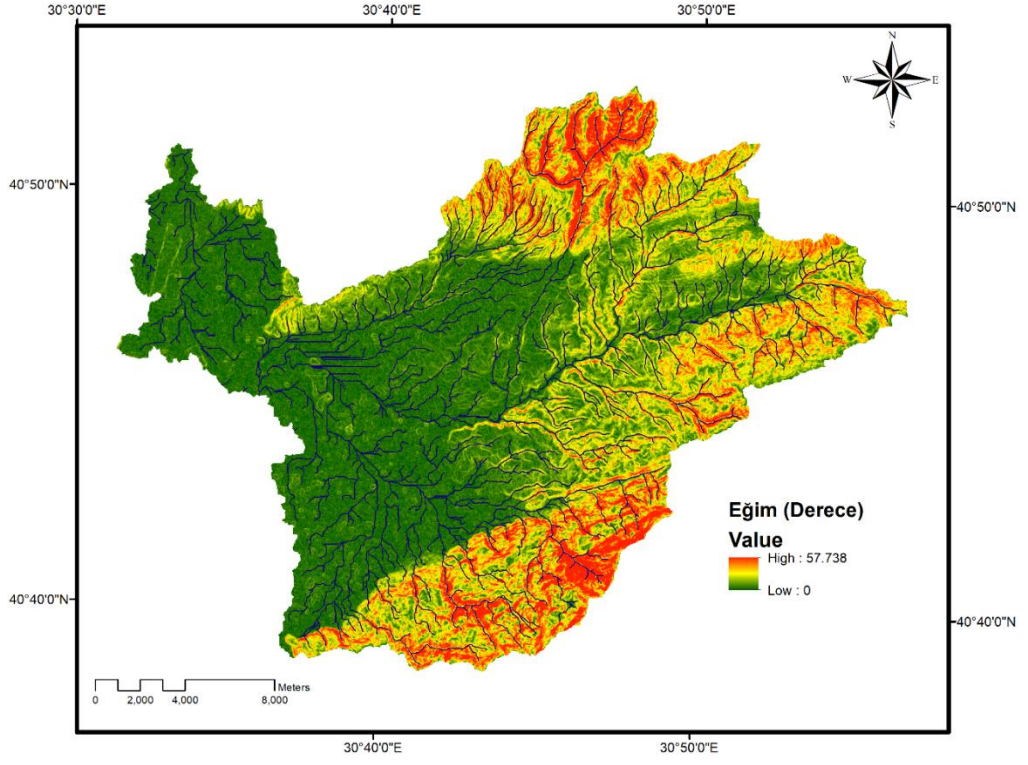
Sakarya, yüzey şekilleri açısından doğu-batı doğrultusunda uzanan birbirinden oldukça farklı kısımlardan meydana gelmiştir. Şehrin orta kesiminde Sakarya Nehri ve Mudurnu Suyu'nun taşıdığı alüvyonlarla oluşmuş ovalar bulunmaktadır. Havza Kocaeli Platosunun uzantısı olan az yükselteli platolar ve tepeler silsilesinden oluşur. Havza kuzeyden güneye %0.78'lik bir eğime sahiptir. Sakarya Havzası tamamıyla akarsu sedimentleriyle dolmuş olup günümüzde büyük bir kısmı tarımsal maksatlı kullanılmaktadır (Ağırlioğlu ve ark, 1998). Şekil 3.1'de Adapazarı Ovası'nda bulunan Dinsiz Çayı havzasının uydu görüntüsü ve sayısal yükseklik modeli sunulmuştur. Kurumlarda havza sınırlarının içine alacak kadar büyük ve yüksek çözünürlükte veri olmadığı için aşağıdaki şekilde sunulan model internet üzerinden (Alospalsar) temin edilen 1/25.000'lik DEM haritasının havza sınırlarına göre kesilmesiyle oluşturulmuştur.



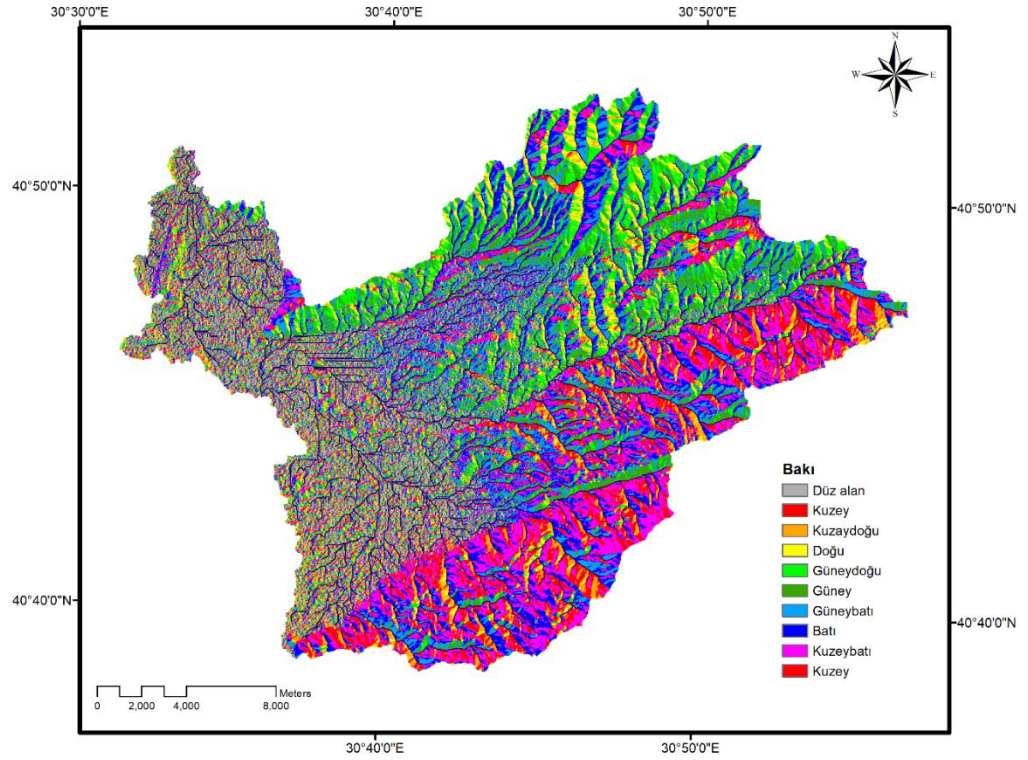
Şekil 3.1. Çalışma havzasının sayısal yükseklik modeli.

3.2. Eğim ve Bakı

Çalışmada kullanılan eğim değerleri Erol (1993) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre; %0-1 (tam düzlük), %1-2 (düzlük), %2-5 (dalgalı düzlük), %5-10 (az eğimli yamaç), %10-20 (eğimli yamaç), %20-40 (dik yamaç) ve +%40 (Çok eğimli yamaç) olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının eğim ve bakı haritaları ArcGIS programı yardımıyla SYM'den üretilmiştir ve Şekil 3.2 ve 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Dinsiz Çayı havzasının eğim haritası.



Şekil 3.3. Dinsiz Çayı havzasının bakı haritası.

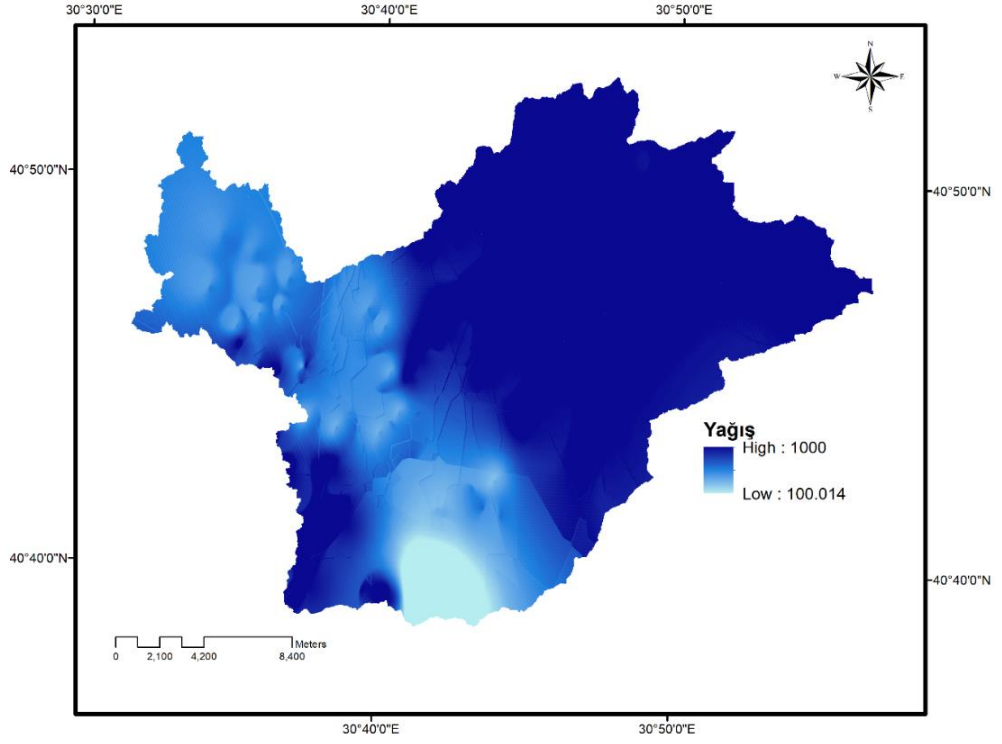
3.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Sakarya Marmara Bölgesi'nin Çatalca Kocaeli Platosu'nun doğusunda yer almaktadır ve iklim özelliklerinde yer şekilleri, coğrafi konum, denizellik, karasallık ve yükselti gibi etkenler önemli rol oynamaktadır. Nemli hava koşulları kuzeyindeki Karadeniz ve batısındaki Marmara Denizi'nin etkisiyle karasal iklim koşulları, Samanlı Dağları ile çevrili güneyde ve doğuda kara kütlelerinin etkisinden kaynaklanmaktadır (İkiel, 1998). Samanlı Dağları Sakarya'nın iklim özellikleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir ve Marmara Bölgesi'nin doğu kısmını oluşturan topografyada, doğu-batı (D-B) doğrultusunda uzanmaktadır (Bilgin, 1984).

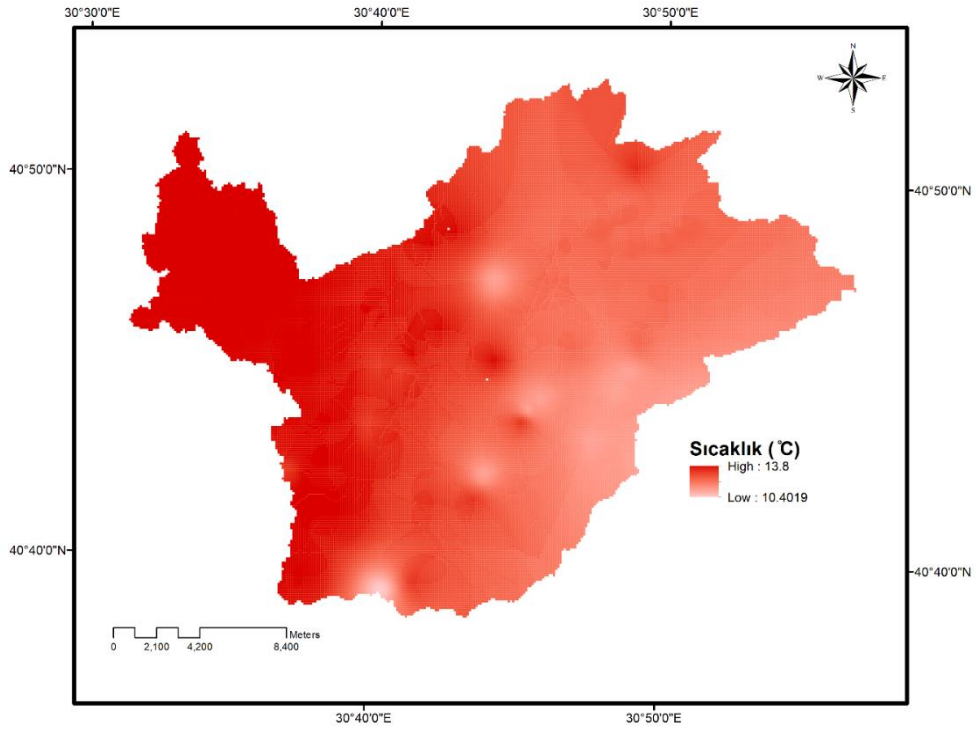
Morfolojik uzanışı ve jeolojik oluşumun bazı özellikleriyle Kuzey Anadolu silsilesinin batıda Marmara Bölgesi'ne sokulan bir devamı olarak bilinir ve kuzey-güney yönündeki depresyon dizilerinin oluşturduğu alçak sahalar arasında dağlar ve platolardan oluşan, devamlı yüksek bir sırt halinde uzanır (Bilgin, 1967).

3.4. Yağış ve Sıcaklık

Çalışma alanı için bölgeyi temsil edecek yağış ve sıcaklık haritaları Climate Data For Cities Worldwide (2021) internet sitesinden temin edilen, bölgedeki köylere göre ortalama yağış ve ortalama sıcaklık verileri kullanılarak hazırlanmıştır. İnternet sitesindeki veriler ArcGIS ortamına aktarılarak orada nokta veri olarak işlenmiştir. Daha sonra literatürde sık kullanılan ve ArcGIS araçlarından olan interpolasyon yöntemlerine göre haritalar elde edilmiş ve aşağıdaki Şekil 3.4 ve 3.5'de sunulmuştur.



Şekil 3.4. Dinsiz Çayı havzasının yağış haritası.

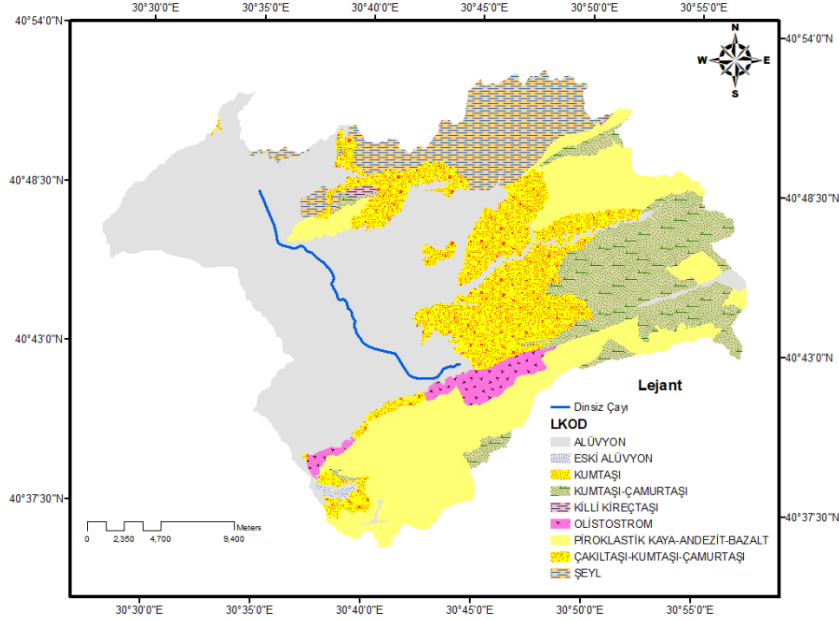


Şekil 3.5. Dinsiz Çayı havzasının sıcaklık haritası.

3.5. Jeolojik Özellikler

Karadeniz Sıradağları'nın batısında bulunan Sakarya şehri İstanbul, Armutlu-Almacık ve Sakarya zonları içerisinde sınıflandırılmış jeolojik birimlerden oluşmuştur (Yılmaz ve ark, 1997). Bu zonlarda bulunan kayaç grupları Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) yer aldığı ve Erken Eosen-Oligosen'de Intra-Pontid okyanusunun kapanmasından sonra ortaya çıkan kenet boyunca bir araya gelerek oluşmuştur. (Şengör ve Yılmaz, 1981). İstanbul zonunu Ordovisiyen-Alt Tersiyer yaşlı tortul kayalar, Sakarya zonunu ise metamorfik bir temel ve Jura-Kretase yaşlı tortul örtü oluşturmaktadır. Bu birimler Erken Eosen'den itibaren çökelen birimler tarafından örülmüştür. Adapazarı-Pamukova gibi genç tektonik ovalar içerisinde ve kenarlarında Pliyosen-Kuvaterner yaşlı birimleri görmek mümkündür.

Tektonik olarak ise paleotektonik ve neotektonik dönemlerden söz edilebilir ve bu iki dönem arasında dağ oluşumları ve kıta kıta çarpışmaları meydana geldiği söylenebilir. Sakarya, sağ yönlü doğrultu atımlı bir makaslama zonu olan ve genç tektonik ve morfotektonik gelişmiş Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) içerisinde oluşmuş aktif fay hatlarından etkilenir. Şehir güneyden Anadolu Levhası, kuzeyden Avrasya Levhası ve orta kesimlerden KAFZ sınırları içerisine girmektedir (Erturaç, 2018). Şekil 3.6'da Dinsiz Çayı havzasının jeolojik haritası verilmiştir.



Şekil 3.6. Dinsiz Çayı havzasının jeolojik haritası.

3.6. Depremsellik

Türkiye'nin güncellenmiş Sakarya alanının yarısından fazlası güncel Türkiye Deprem Haritası, (AFAD, 2018) 0.4 g ve üzeri yer ivmesi potansiyeli ve yüksek deprem tekrarlanma periyoduna (~250 yıl) sahip olarak değerlendirilmiştir. Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolu ve güney kolunun çatallandığı bölgede bulunan Sakarya ili, son yüz yıl içerisinde üç büyük depreme şahit olmuştur. Bu depremler il sınırları içerisinde önemli can ve mal kaybına neden olmuştur.

20 Haziran 1943 Hendek-Adapazarı depremi 15:32'de Adapazarı Hendek yakınlarında yıkıcı bir şekilde meydana gelmiştir. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın raporuna göre deprem nedeniyle 304 kişi yaşamını yitirmiş, 234 kişi yaralanmış, 5975 yapı onarılamayacak kadar ve 4361 yapı onarılabilecek şekilde zarar görmüştür (Eyidoğan ve ark, 1991).

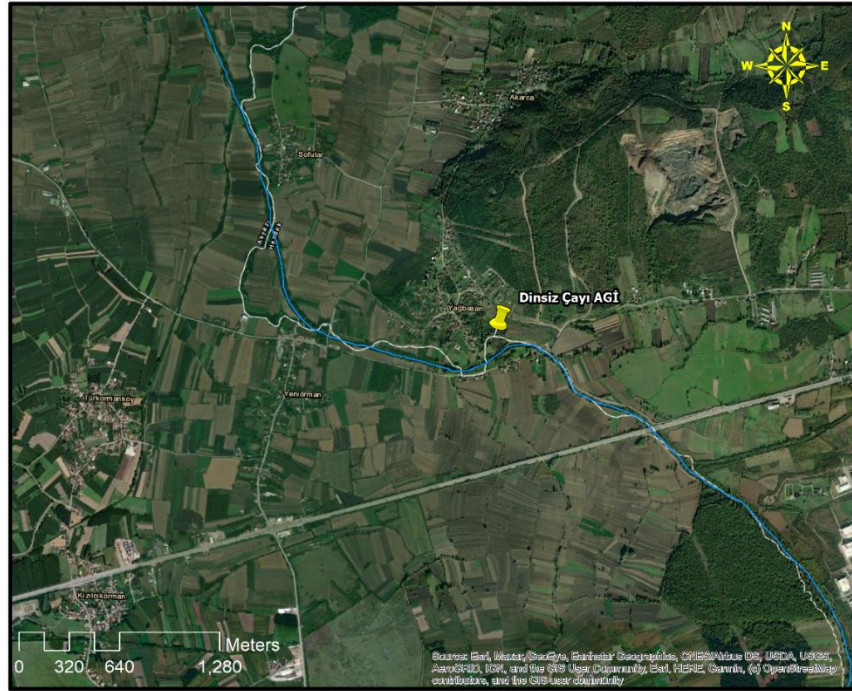
ISC tarafından depremin merkez üssü koordinatları 40.8° K 30.4° D olarak verilmiş ve McKenzie (1972) depremin büyüklüğünü (M) 6.3 olarak hesaplamıştır. Pamir ve ark. (1943) depremin Mercalli ölçeğine göre eş şiddet haritası hazırlamışlardır, buna göre en çok IX şiddetinde hissedilmiştir. Diğer önemli depremler: 22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi depremi ve 17 Ağustos 1999 İzmit depremi.

4. METARYAL

4.1. Akım Verileri

Taşkın tekerrür debilerinin hesaplaması için yararlanılan ve çalışma alanında ölçüm yapan akım gözlem istasyonunun konumu Şekil 4.1’de gösterilmiştir. AGİ’nin özellikleri Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Dinsiz Çayı akım gözlem istasyonu $30^{\circ} 36' 47''$ D - $40^{\circ} 46' 32''$ K Hendek - Adapazarı şosesi yakınında, Hendek'e 14 km. mesafedeki Yağbasan köyü önündedir. Akım gözlem istasyonu çalışma havzasını temsil etmediği için hesaplamalar yağış verileri ile yapılmış ve yağıştan akışa geçilmiştir.



Şekil 4.1. Havzadaki akım gözlem istasyonunun yeri.

Tablo 4.1. Akım istasyonu ile ilgili bilgiler.

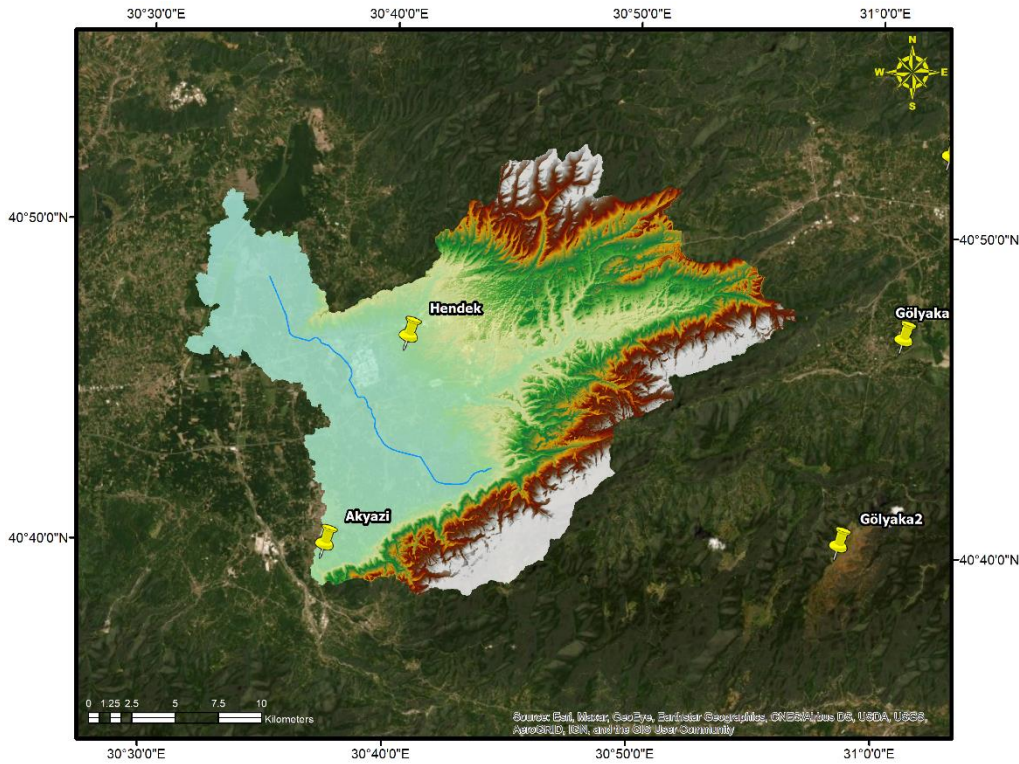
| İstasyon No | İstasyon Adı | Kot (m) | Yağış Alanı (km ²) | Gözlem Süresi (Yıl) |
|-------------|--------------------------|---------|--------------------------------|---------------------|
| E12A019 | Dinsiz Çayı- Yağbasan | 25 | 410.8 | 1952-2011 |

Tablo 4.2. Akım istasyonunun ölçüm yıllarındaki maksimum değerleri.

| Yıl | Maks. Akım | Yıl | Maks. Akım | Yıl | Maks. Akım | Yıl | Maks. Akım | Yıl | Maks. Akım |
|------|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|------------|
| 1950 | - | 1964 | 64.90 | 1978 | 182.00 | 1992 | 117.00 | 2006 | 119.00 |
| 1951 | - | 1965 | 82.00 | 1979 | 186.00 | 1993 | 75.00 | 2007 | 167.00 |
| 1952 | - | 1966 | 57.10 | 1980 | 146.00 | 1994 | 64.70 | 2008 | 150.00 |
| 1953 | 36.96 | 1967 | 53.70 | 1981 | 169.00 | 1995 | 96.60 | 2009 | 172.00 |
| 1954 | 69.20 | 1968 | 50.40 | 1982 | 141.00 | 1996 | 96.20 | 2010 | 126.00 |
| 1955 | 45.90 | 1969 | 0.00 | 1983 | 106.00 | 1997 | 169.00 | 2011 | 111.00 |
| 1956 | 65.04 | 1970 | - | 1984 | 119.00 | 1998 | 202.00 | 2012 | - |
| 1957 | 29.32 | 1971 | 188.00 | 1985 | 63.50 | 1999 | 112.00 | 2013 | - |
| 1958 | 51.20 | 1972 | 268.00 | 1986 | 133.00 | 2000 | 111.00 | 2014 | - |
| 1959 | 48.32 | 1973 | 70.00 | 1987 | 131.00 | 2001 | 107.00 | 2015 | - |
| 1960 | 42.16 | 1974 | 145.00 | 1988 | 131.00 | 2002 | 147.00 | 2016 | - |
| 1961 | 50.50 | 1975 | 206.00 | 1989 | 70.60 | 2003 | 77.90 | 2017 | - |
| 1962 | 45.20 | 1976 | 56.00 | 1990 | 171.00 | 2004 | 142.00 | 2018 | - |
| 1963 | 71.20 | 1977 | 98.00 | 1991 | 161.00 | 2005 | 96.80 | ---- | - |

4.2. Meteorolojik Veriler

Bu tez kapsamında çalışma bölgesinde bulunan AGİ sayısı yetersiz ve dereden uzak olduğu için taşkın tekerrür debilerinin belirlenmesinde yağıştan akışa geçiş modelleri kullanılmıştır. Kullanılan yağış gözlem istasyonlarının konumları Şekil 4.2’de, özellikleri ise Tablo 4.3’de sunulmuştur.



Şekil 4.2. Dinsiz Çayı havzasındaki meteoroloji gözlem istasyonları.

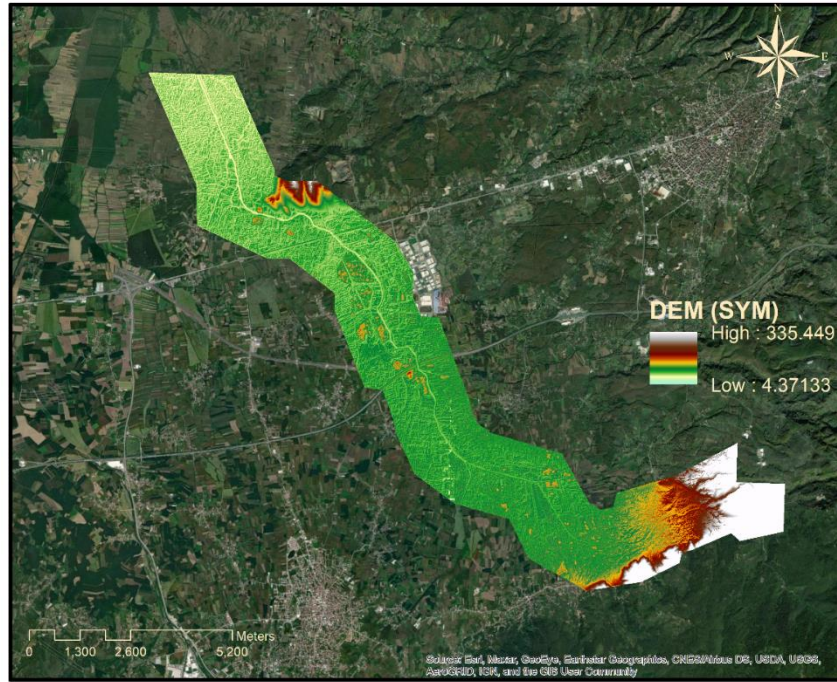
Tablo 4.3. Çalışma havzasında bulunan ve çalışmada kullanılan istasyonlar.

| İstasyon No | İstasyon Adı | Sensörler |
|-------------|--------------|-------------|
| 18105 | Hendek | S, K, Y |
| 18415 | Akyazı | R, S, N, Y |
| 18669 | Gölyaka | S, N, Y, KY |

Sensör; R: Rüzgâr, S: Sıcaklık, N: Nem, Y: Yağış, KY: Kar Yüksekliği

4.3. Sayısal Yükseklik Modeli

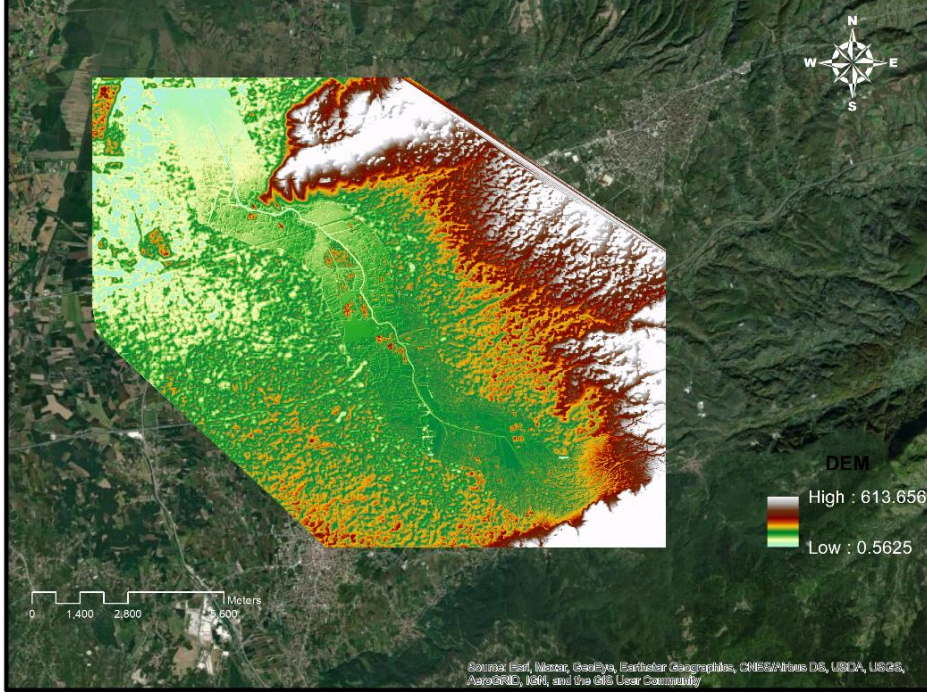
HEC-RAS programında 1 boyutlu ve 2 boyutlu modelleri oluşturabilmek için çalışma alanının sayısal yükseklik modeline (DEM) ihtiyaç duyulmaktadır. Analizler boyunca kullanılan bu veri Çevre Şehircilik Bakanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemler Genel müdürlüğünden, Dinsiz Çayının membaından mansabına kadar ve birer km sağ ve sol hattı boyunca, 1 metre çözünürlüğe sahip, 3 boyutlu nokta bulut verisi olarak satın alınmıştır. Bu veriler çeşitli GIS programlarıyla işlenerek çalışmaya uygun hale getirilmiştir.



Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan SYM haritası.

Şekil 4.3'te verilen SYM kullanılarak HEC-RAS yardımıyla elde edilen model sonucu çalışma sınırlarının genişletilmesi uygun görülmüştür. Bu nedenle ücretsiz olarak internetten indirilen ve Şekil 4.4'te gösterilen SYM kullanılarak modeller

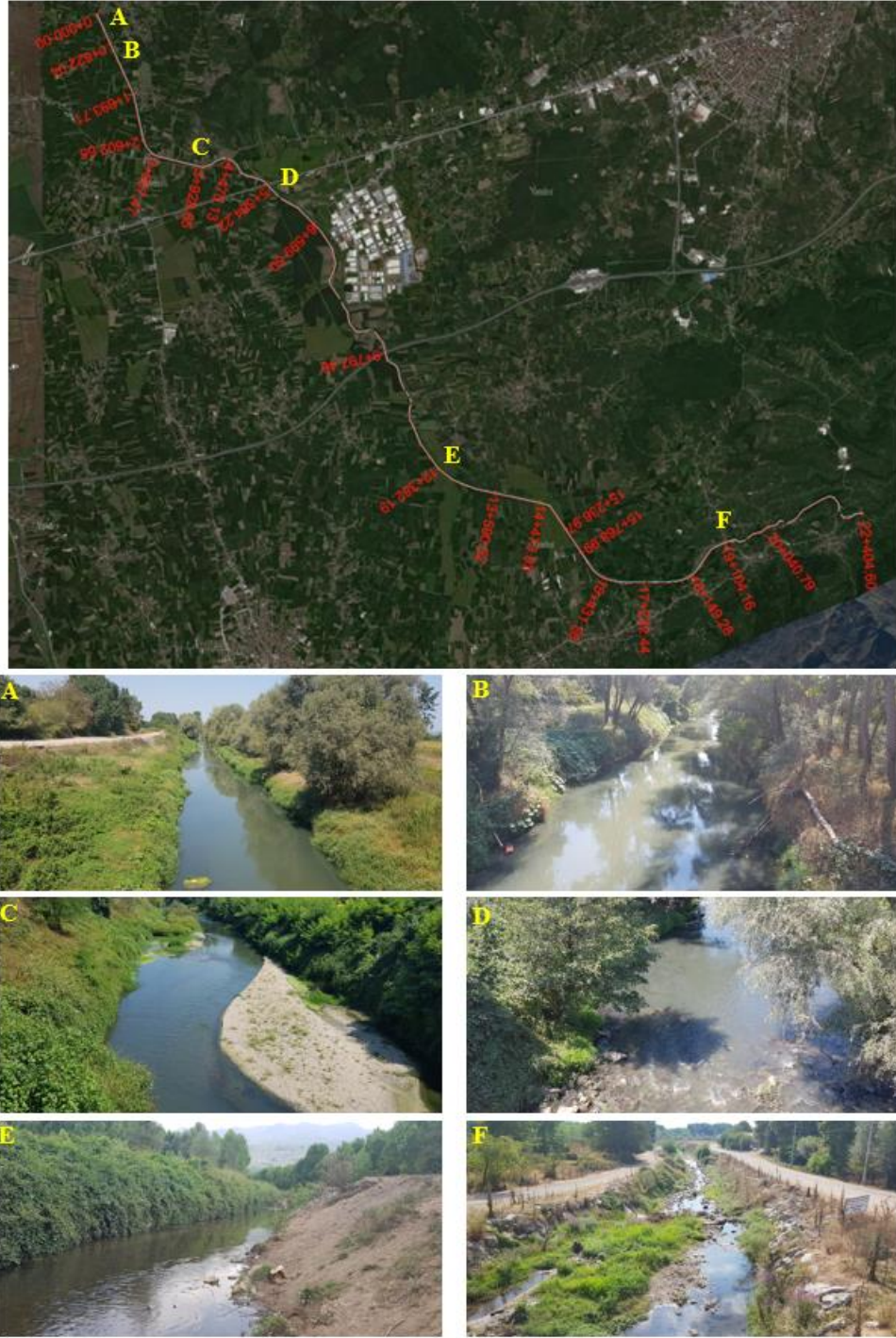
oluşturulmuştur. Şekil 4.4'teki veri kullanıma hazır hale getirilirken çay yatağını daha iyi temsil etmek, modellerin daha doğru sonuç vermesi için Şekil 4.3'teki veri aşağıdaki veriye gömülmüştür. Şekil 4.5'te ise modeller oluşturulurken kullanılan alan sınırı verilmiştir. Input giriş akımını, output çıkış akımını ifade etmektedir, sağ ve soldakiler ise çayı besleyen diğer akımların girişini göstermektedir.



Şekil 4.4. Genişletilmiş SYM haritası.

4.4. En Kesitler

Kullanılan programlardaki modellerin doğruluğunu arttırmak ve taşkın yayılımları ile ilgili daha doğru sonuca ulaşmak için en kesitlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak çalışma alanında kurumlar tarafından daha önce alınmış en kesit bilgileri mevcut olmadığından, ilgili en kesitler bu işi yapan bir harita mühendisine aldırılmıştır. Topografyanın engebeli olması ve Dinsiz Çayı'nın yanında bulunan özel firmaların bazı alanları kapatmış olması her ne kadar kesit almaya engel olsa da alınan kesitler aşağıdaki Şekil 4.5'de sunulmuştur.

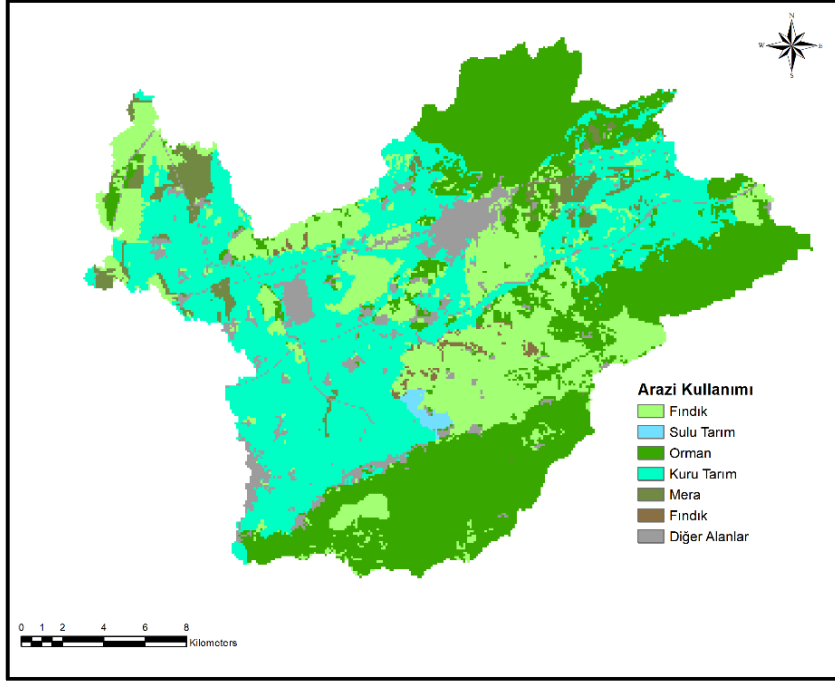


Şekil 4.5. Çalışma alanından alınan en kesitlerin yer haritası ve belirli noktalardaki dere görüntüleri.

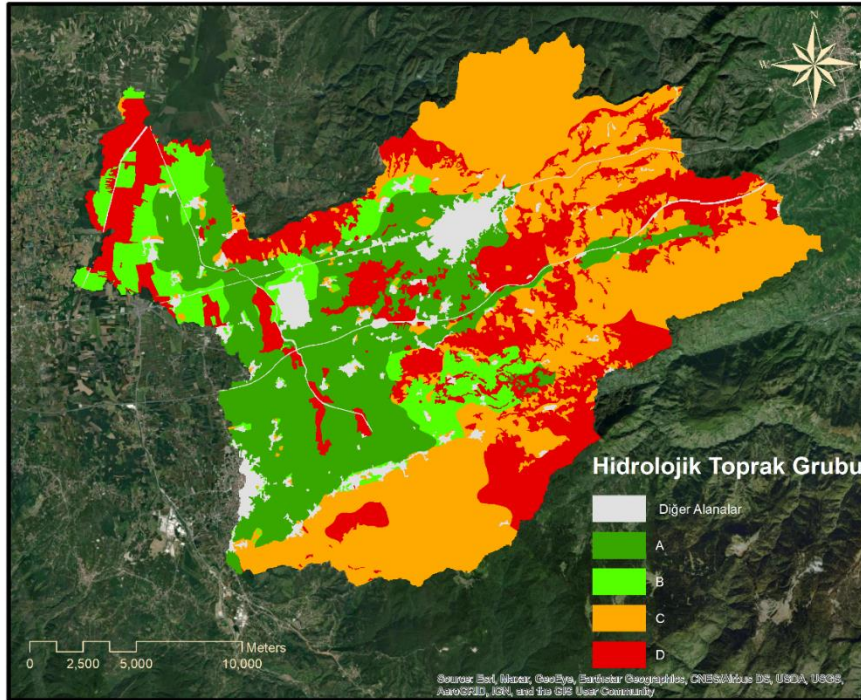
4.5. Arazi Kullanım Haritası

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Entegre İdare ve Kontrol Sistemleri Daire Başkanlığı'ndan, 1/25000 ölçekli G25a4, G25a3, G25b4, G25c1, G25d2 ve G25d1 numaralı paftalara ait toprak haritası temin edilmiştir. İlgili haritada gerekli düzeltmeler yapılarak arazi kullanım haritası oluşturulmuştur. Bu

harita havzanın CN katsayısını hesaplarken yardımcı olmuştur. Şekil 4.6’da Dinsiz Çayı havzasının arazi kullanım haritası ve Şekil 4.7’de ise Dinsiz Çayı havzasının hidrolojik toprak grubu haritası gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Dinsiz Çayı havzasının arazi kullanım haritası.



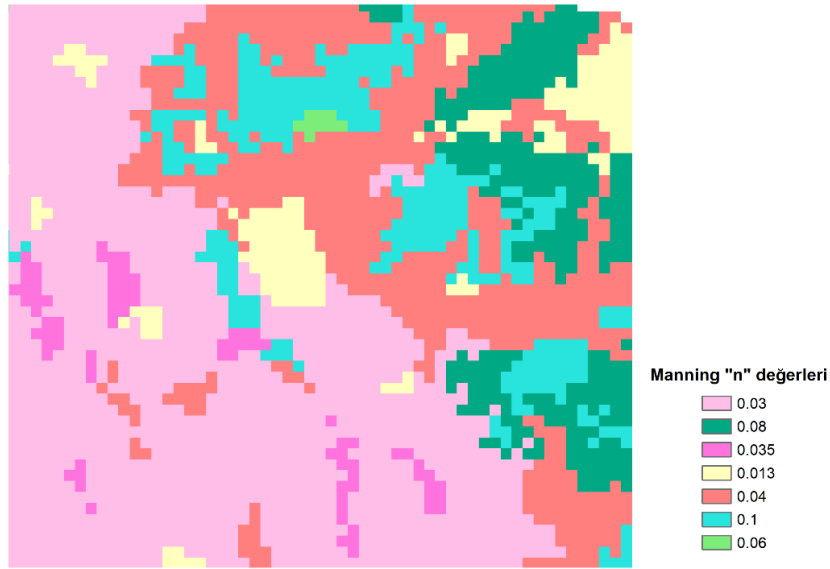
Şekil 4.7. Dinsiz Çayı havzasının hidrolojik toprak grubu haritası.

4.6. Manning Pürüzlülük Haritası

Bu tez kapsamında kullanılan manning n katsayısı değerleri Corrine Land Cover (2018) haritaları ve çeşitli kaynaklara göre belirlenmiştir. Corrine verilerine karşılık gelen n manning değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir. Şekil 4.8 ise çalışma alanına ait manning haritasıdır.

Tablo 4.4. Corine Land use verilerinde renklere ve numaralara karşılık gelen manning değerleri.

| Renk | Corrine no | Manning değeri |
|------|------------|----------------|
| | 12 | 0.03 |
| | 16 | 0.08 |
| | 18 | 0.035 |
| | 3 | 0.013 |
| | 20 | 0.04 |
| | 25 | 0.1 |
| | 29 | 0.06 |



Şekil 4.8. Çalışma bölgesinin Manning "n" katsayısı değerleri.

5. YÖNTEM

5.1. İstatistiksel Yöntemler

Bu tez kapsamında kullanılan akım verilerini elde edebilmek için yağıştan akışa geçilmiştir. Bu nedenle çalışma alanını temsil eden üç meteoroloji gözlem istasyonuna (Hendek, Akyazı ve Gölyaka) ait yağış verileri kullanılmıştır. Yağış verileri hidrolojide çokça kullanılan dağılım yöntemlerinden Log-Pearson Tip-3 (LP-T3), Pearson Tip-3 (P-T3), Log-Normal Tip-2 (LN-T2), Log-Normal Tip-3 (LN-T3), Gumbel (G) ve Normal (N)'e göre 50, 100, 200 ve 500 yıllık gelmesi muhtemel değerler hesaplanmıştır. Yöntemlerin uygunluğu ise istatistiksel hesaplama programları yardımıyla belirlenmiştir.

5.1.1. Normal dağılım

Normal dağılım (N), X_i rasgele değişkenler dizisinin bağımsız ve özdeş olarak dağılması durumunda, n bu tür rasgele değişkenlerin toplamının dağılımının,

$$f_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 \right] \quad (5.1)$$

burada μ_x dağılımın ortalaması ve σ_x^2 varyansdır. Normal dağılımın Eklenik Dağılım Fonksiyonu (EDF) sayısal integrasyon yoluyla tablo haline getirilerek hesaplanmaktadır. Rastgele değişken standart değişken (Z) haline getirilerek tek tip tablo hazırlanmıştır (Maidment, 1992).

$$Z = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \quad (5.2)$$

Normal dağılım ile p olasılığına karşılık gelen ifade,

$$x_p = \mu_x + Z_p \sigma_x \quad (5.3)$$

denklem 5.3 ile elde edilir. Burada standart normal dağılım için Z_p , p kuantilindeki standart değişken olarak tanımlanır. (Bayazıt ve Önöz, 2008; Bayazıt ve Yeğen Oğuz, 2005).

5.1.2. Log-normal dağılım

Rastgele değişken $Y = \log(X)$ normal dağılmışsa, X 'in log-normal dağılmış (LN) olduğu söylenir. Bu dağılım, merkezi limit teoremi nedeniyle, diğer değişkenlerin ürünleri olarak oluşturulan hidrolojik değişkenlere, bunların bağımsız ve özdeş olarak dağılmış olmaları koşuluyla uygulanabilir (Örn. Sangal ve Biswas (1970), Martins ve Stedinger (2001), hidrolojideki uygulamalar için Kroll ve Vogel (2002)). Log-normal dağılımın, sınırlı olması ($X > 0$) ve log dönüşümünün hidrolojik verilerde (özellikle aşırı uçlarda) yaygın olarak bulunan pozitif çarpıklığı azaltma eğiliminde olması gibi, normal dağılıma göre avantajları vardır, çünkü logaritma almak büyük sayıları küçük sayılara göre orantılı olarak daha fazla azaltır. Log-normal dağılımın bazı sınırlamaları, yalnızca iki parametreye sahip olması ve verilerin logaritmasının ortalamalarına göre simetrik olmasını gerektirmesidir. Ayrıca, boş değerler alabilen değişkenlerle uğraşırken log-normal dağılım kullanılamaz (örneğin, geçici nehirlerdeki deşarj).

$$Y = X_{ort} + \kappa \sqrt{\left(\frac{\sum X^2}{N} - \left(\frac{\sum X}{N} \right)^2 \left(\frac{N}{N-1} \right) \right)} \quad (5.4)$$

κ aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\kappa = \frac{e^{\left(\sqrt{a} \left(z - \frac{a}{2} \right) \right)} - 1}{\frac{\sqrt{b}}{X_{ort}}} \quad (5.5)$$

a ve b katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanır (Bayazıt ve Önöz, 2008; Bayazıt ve Yeğen Oğuz, 2005).

$$a = \ln \left(1 + \left(\frac{\sqrt{b}}{X_{ort}} \right)^2 \right) \quad (5.6)$$

$$b = \left(\frac{\sum X^2}{N} - X_{ort}^2 \right) \frac{N}{N-1} \quad (5.7)$$

5.1.3. Log-normal tip III dağılım

Çoğunlukla X rastgele değişkeninin logaritmaları alındığında değişken normal dağılıma uyum göstermemektedir. Fakat bir alt sınır değeri örn. X_0 çıkarılıp logaritmik dönüşüm yapılırsa değişken normal dağılıma uyum göstermektedir (Bayazıt ve Önöz, 2008; Bayazıt ve Yeğen Oğuz, 2005).

$$Y = \ln(X - X_0) \quad (5.8)$$

Bu denklemde Y normal dağılımı X_0 alt sınır değerini, X ise esas değişkeni ifade etmektedir. Yukarıdaki denklem yardımıyla taşkın tekerrür debilerini denklem 5.9 yardımıyla hesaplanır.

$$Y = X_{ort} + \kappa \sqrt{\left(\frac{\sum X^2}{N} - X_{ort}^2 \left(\frac{N}{N-1} \right) \right)} \quad (5.9)$$

κ aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\kappa = \frac{e^{(\sqrt{a}(z-\frac{a}{2}))} - 1}{f} \quad (5.10)$$

a , f ve c katsayılarını hesaplamak için sırasıyla denklem 5.11, 5.12 ve 5.13 kullanılır (Bayazıt ve Önöz, 2008; Bayazıt ve Yeğen Oğuz, 2005).

$$a = \ln(z^2 + 1) \quad (5.11)$$

$$f = \frac{\left(1 - \left(\frac{-c + \sqrt{c^2 + 4}}{2} \right)^{2/3} \right)}{\left(\frac{-c + \sqrt{c^2 + 4}}{2} \right)^{1/3}} \quad (5.12)$$

$$c = \frac{\left(\frac{\sum X^2}{N}\right) + 2X_{ort} - 3X_{ort} \left(\frac{\sum X^2}{N}\right)}{\left(\frac{\sum X^2}{N} - X_{ort}^2\right)} \quad (5.13)$$

5.1.4. Gumbel dağılımı

Hidrolojide meydana gelen pek çok olayın en büyük veya en küçük değerleri benzerlik göstermektedir. Gumbel 1958 ekstrem değerler teorisi ortaya koymuştur. Buna göre, bağımsız değişkenlerin sayısı sonsuza yaklaştığında örneklerdeki en büyük değişkenlerin dağılımının ekstrem değer dağılımlarından birine yakınsadığı varsayılmaktadır (Bayazıt ve Önöz, 2008; Bayazıt ve Yeğen Oğuz, 2005). Denklem 5.14'de P , X değerine eşit veya daha büyük bir olayın olma ihtimalini ifade etmektedir.

$$P = 1 - e^{-e^{-Y}} \quad (5.14)$$

Denklem 5.15'de Y tekerrür süresine bağlı bir fonksiyon olup özel indirgenmiş bir değerdir.

$$Y = a(X - X_0) \quad (5.15)$$

Denklem 5.16'de X_0 ise mod değerini ve a dağılımın ölçek parametresini ifade etmektedir. Veri sayısının 30'dan küçük ($N < 30$) olduğu küçük örneklerde X_0 ve a denklem 5.16 ile hesaplanmaktadır (Gumbel, 1958).

$$a = \frac{\sigma_N}{\sigma_X} \quad (5.16)$$

$$X_0 = \bar{X} - Y_N \left(\frac{\sigma_N}{\sigma_X}\right) \quad (5.17)$$

5.1.5. Pearson tip 3 dağılımı

Üç parametrelili gama dağılımı olarak da adlandırılan Pearson tip 3 dağılımı (P-T3), alt sınır olan üçüncü bir parametre sunar. Bu, parametreler değiştikçe bir dizi farklı şekil varsayıldığından çok esnek bir dağılımdır. Normal dağılım, Pearson tip 3'ün özel bir durumudur. Dağılım, çarpık olmayan bir değişkeni tanımlar. Pearson tip 3 dağılımı, hidrolojide ilk olarak Foster (1924) tarafından yıllık maksimum taşkın zirvelerinin olasılık dağılımını tanımlamak için uygulandı. Veriler çok olumlu bir şekilde çarpık

olduğunda, çarpıklığı azaltmak için bir günlük dönüşümü kullanılır. Uç değer analizinde Pearson tip 3 dağılımının kullanım örnekleri, diğerleri arasında Matalas ve Wallis (1973), Bobée ve Rasmussen (1995) ve Kroll ve Vogel (2002)'dir.

$$f(x) = |\beta|[\beta(x - \xi)]^{\alpha-1} \frac{\exp[-\beta(x - \xi)]}{\Gamma(\alpha)} \quad (5.18)$$

Denklem 5.18'de, ξ yer parametresi, β ölçek ve α biçim olarak ifade edilir. $\alpha > 0$, $\beta > 0$ için $x > \xi$ 'dur ve ξ alt sınırdır. $\beta < 0$ için ise $x < \xi$ 'dur ve ξ üst sınırdır. $x > \xi$ için $C_{sx} = \frac{2}{\sqrt{\alpha}}$ ve $x < \xi$ için ise $C_{sx} = -\frac{2}{\sqrt{\alpha}}$ 'dır.

Pearson Tip 3 dağılımı için EDF elde edilemediğinde kullanılan tablolarda çarpıklığa bağlı olarak K (frekans faktörü) değeri hesaplanmaktadır. Ortalaması sıfır, varyansı 1 olan standart P-T3 değişkeninin çarpıklığa bağlı olarak çeşitli p kuantilleri bu çizelgeden okunmaktadır.

$$x_p = \mu + \sigma K_p C_{sx} \quad (5.19)$$

Denklem 5.20, K ile kullanıldığında dağılımın parametrelerini hesaplamaya ihtiyaç kalmamaktadır. Standart sapma ve ortalama yardımıyla x_p kuantili elde edilebilir. K , $0.01 \leq p \leq 0.99$ ve $|C_{sx}| < 2$ için Wilson-Hilferty transformasyonu ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir ve ayrıca verilerden de elde alınabilir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

$$K_p(C_{sx}) = \frac{2}{C_{sx}} \left(1 + \frac{C_{sx}^2}{6} + \frac{C_{sx}^2}{36} \right) - \frac{2}{C_{sx}} \quad (5.20)$$

5.1.6. Log-Pearson tip 3 dağılımı

$\log(X)$ bir Pearson tip 3 dağılımını izliyorsa, X 'in bir log-Pearson tip 3 dağılımını (LP-T3) izlediği söylenir. Bu dağılım, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki yıllık maksimum taşkınların sıklık analizi için standart dağılımdır (Benson, 1968; Stedinger ve Griffis, 2008). Özel bir durum olarak, $\log(X)$ ortalamasına göre simetrik olduğunda, log-Pearson tip 3 dağılımı log-normal dağılıma indirgenir. Log-Pearson tip 3 dağılımındaki θ_1 sınırının konumu, verilerin çarpıklığına bağlıdır. Veriler pozitif olarak çarpıksa, $\log(X) > \theta_1$ ve θ_1 bir alt sınırdır, oysa veriler negatif çarpıksa, $\log(X) > \theta_1$ ve θ_1 bir üst sınırdır. Günlük dönüştürme, dönüştürülen verilerin eğriliğini azaltır ve pozitif çarpık orijinal verilerden negatif çarpık dönüştürülmüş

veriler üretebilir. Bu durumda, log-Pearson tip 3 dağılımının uygulanması, verilere yapay bir üst sınır dayatacaktır. Parametrelerin değerlerine bağlı olarak log-Pearson tip 3 dağılımı birçok farklı şekil alabilir. Kullanımı, birçok uygulamada, özellikle taşkın tepe verileri için iyi sonuçlar verdiğinin bulunması gerçeğiyle doğrulanır (Bobée, 1975).

$$Y = \ln(X) \quad (5.21)$$

$$X = \exp(Y) \quad (5.22)$$

x , S ve C_s dağılımın parametreleridir. C_s çarpıklık katsayısı, S standart sapma ve x ortalamayı göstermektedir, aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanırlar. (Bayazit ve Önöz, 2008). Yıllara ait akım verilerinin logaritmalarının ortalama değeri $\overline{\log x}$ ile ifade edilmektedir.

$$\overline{\log x} = \frac{\sum \log x}{N} \quad (5.23)$$

$$S_{\log x} = \sqrt{\frac{\sum (\log x - \overline{\log x})^2}{N - 1}} \quad (5.24)$$

$$C_s = \frac{N \sum (\log x - \overline{\log x})^3}{(N - 1)(N - 2)S_{\log x}^3} \quad (5.25)$$

5.2. Hidrolojik Modelleme ve HEC-HMS Hidrolojik Modeli

Beven (2019), havzaların hidrolojik sistemlerinin karmaşıklığının, herhangi bir modelin kalibrasyonunun küçük ölçekli heterojenliklerin entegrasyonuna dayanacak şekilde olduğunu savunuyor. Bu heterojenlikleri sayısal olarak temsil etmek, model karmaşıklığına bağlıdır. Beck (1991) ilk olarak modellerin artan model karmaşıklığına göre “metrik” (ampirik olarak da bilinir), “kavramsal” veya “fizik temelli” sınıflandırılmasını önerdi. Bu sınıflandırma, havza ölçeğinde hidrolojik modellemeyi değerlendiren önemli literatürde yaygın olarak kabul görmüştür (Gayathri ve ark, 2015).

Ampirik modeller (genellikle 'kara kutu' yaklaşımları olarak kabul edilir), hidrolojik sistemin dahili özelliklerini veya süreçlerini dikkate almadan bir girdiyi (örneğin yağış) bir çıktıya (örneğin havza ölçeğinde akış yanıtı) ilişkilendirir. Veriye dayalı olmaları, kurucu süreçlerin aşırı basitleştirilmiş temsilleri, tahmin güçlerinin zayıf olduğu anlamına gelir (Euser ve ark, 2013; Gharari ve ark, 2014). Yağışları yüzey akışına dönüştürmek için kullanılan uzun süreli deneysel modellerin örnekleri arasında rasyonel yöntem (Kuichling, 1889), Horton'un modeli (Horton, 1933) ve Taşkın Tahmini El Kitabında (Kjeldsen, 2007) oluşturulan yeniden canlandırılan yağış-akış yöntemi yer alır.

Kavramsal modellerin başlıca faydası, baskın hidrolojik süreci parametrik ve hesaplama açısından verimli bir şekilde yakalamalarıdır. Ancak Kavetski ve ark. (2006), bunun, parametrelerin ölçümlerden doğrudan bilgilendirilemeyeceği ve bir kalibrasyon prosedüründen çıkarılması gerektiği anlamına geldiğine işaret eder (örneğin, çıktı hidrografını gözlemlenenle karşılaştırarak). Beven ve ark. (2015), kavramsal modellerin bir diğer zayıf noktasının, kaçınılmaz olarak davranışı belirleyen “eşikler” içermeleri olduğunu savunur (örneğin, bir toprak deposunun dolduğunda, yağış yüzey deposuna aktarılır). Bu "pürüzsüzlük" eksikliği, depolama arasındaki transfer mekanizmalarını tanımlamak için diferansiyel denklemler kullanıldığında bir problemdir (bir çözücünün hesaplama kararlılığı). Buna rağmen, bu modeller, havza ölçeğinde bir yanıt oluşturmak için son derece yaygın bir yöntem olmaya devam etmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde sayısal modelleme ve analiz için çok sayıda ticari ve ticari olmayan yazılım aracı mevcuttur. Bu tez kapsamında kullanılan başlıca araçlar, yağış akış ilişkisi oluşturabilmek ve havzaya ait hidrografları elde etmek için HEC-HMS, bir ve iki boyutlu sayısal model HEC-RAS 5.0.7 beta sürümü ve uzamsal veri işleme için ArcGIS'tir. Mükemmel Grafik Kullanıcı Ara yüzlerine (GUI) sahip açık kaynaklı bir model olan HEC-RAS ABD Ordusu Mühendisler Birliği tarafından geliştirilmiştir. ArcGIS, jeo-uzamsal verileri görüntülemeyi, düzenlemeyi, oluşturmayı ve analiz etmeyi sağlayan Çevresel Sistemler Araştırma Enstitüsü'nü (ESRI) geliştirdi. Bu yazılım araçlarının açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

Hidrolojik modellemenin temel amacı, hidrodinamik modele girdi sağlamak için aşırı yağış olaylarını göz önünde bulundurarak farklı dönüş süreleri için akış hidrografları elde etmektir. Dinsiz Çayı havzasında akış gözlem istasyonundan temin edilecek

verinin kısıtlı olması nedeniyle yağış-akış modelleri geliştirilerek hidrolik modele memba akımları tahmin edilmiştir.

Bu çalışmada Dinsiz Çayı havzasında bulunan üç meteoroloji istasyonların (Hendek, Akyazı ve Gölyaka Meteoroloji İstasyonu) yağış verileri 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrür periyotları için hidrolojide kullanılan istatistiksel yöntemlerle hesaplanmıştır. Elde edilen bu yeni yağış verileri HEC-HMS programında akış hidrografları oluşturmak için kullanılmıştır.

HEC-HMS (Hidroloji Mühendisleri Merkezi - Hidroloji Modelleme Sistemi), ABD Ordusu Mühendisler Birliği (USACE) tarafından tasarlanmış bir yazılımdır. HEC-HMS modeli, yağış-akış süreçlerini (Scharffenberg, 2001) iki temel bileşen, havza modeli ve meteorolojik model aracılığıyla simüle etmek için kullanılır. Yazılım, dendritik havzadaki yağış akışı sürecini simüle etmek için geliştirilmiştir. Büyük nehir havzası su temini ve taşkın hidrolojisini ve küçük kentsel veya doğal havza yüzey akışı gibi çok çeşitli coğrafi alanlarda uygulanabilecek şekilde geliştirilmiştir. HEC-HMS, birden fazla değişik havzayı modelleyebilen genelleştirilmiş bir programdır. Program, bir veri tabanı, hesaplama motoru, veri giriş araçları ve sonuç raporlama araçlarıyla birlikte tamamen entegre bir çalışma ortamına sahiptir (Scharffenberg, 2013).

Model şu amaçlar için kullanılır:

- Taşkın kontrol projelerinin tasarımı ve işletilmesi,
- Taşkın yatağı faaliyetlerinin düzenlenmesi,
- Su kullanımının izlenmesi, yerel ve bölgesel havza planlaması,
- Su mevcudiyeti çalışmaları, kentsel drenaj tasarımı, akış tahmini,
- Suyolları üzerindeki kentleşme etkilerinin belirlenmesi,
- Rezervuar dolu savak tasarımı, taşkının belirlenmesi,
- Hasar azaltma ve sel olaylarının gerçek zamanlı sistem çalışması. (Chen ve ark, 2009; Scharffenberg, 2000).

Modelin ana girdileri şunlardır:

- Havza akışı ağı ve boyutu,
- Sızma kaybı yöntemi (İlk ve Sabit, Eksik ve Sabit, Üstel, Green Ampt, Smith Parlange, Toprak Nemi Muhasebesi, SCS eğri numarası),

- Fazla yağışı akışa dönüştürmek için Dönüştürme yöntemi (SCS, Clark veya Snyder birim hidrografları, Kinematik dalga, ModClark, Kullanıcı tarafından belirlenen birim hidrograf),
- Yönlendirme yöntemleri (Muskingum, Kinematik Dalga, Gecikme, Değiştirilmiş Pulslar, Muskingum Cunge ve Straddle Stagger) ve
- Meteorolojik veriler (yağış ve simülasyonun zaman aralığı).

Modelden beklenen çıktılar şunlardır:

- Akış hidrografları,
- Akış hacmi, optimizasyon parametresi ve
- Akış kalıntıları.

Bu tez çalışması kapsamında yağışı akışa dönüştürmek için HEC-HMS programı kullanılmıştır. Farklı yağış-akış modelleri kullanılarak HEC-HMS ile hidrolojik modelleme yapılabilmektedir. Bu çalışmada ve en yaygın olarak kullanılan yöntem Amerikan Zemin Koruma Servisi - eğri numarası (SCS-CN) yöntemidir (SCS, 1956). SCS-CN havzanın özelliklerine göre geliştirilen numarası (CN) değerleri için yağıştan akışa geçen su miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır ve ampirik yapıdaki bir modeldir. Yağıştan akışa geçen su miktarının hesaplanabilmesi için çalışma alanı ilgili bazı verileri kullanmak gerekir. Bunlar; arazi kullanım haritası, hidrolojik toprak grupları ve meteoroloji gözlem istasyonu verileridir. Şekil 5.1’de bu çalışma HEC-HMS programında kullanılan meteorolojik istasyonların yerleri ve Dinsiz Çayı havzasının akarsu ağı verilmiştir. HEC-HMS programıyla yağıştan akışa geçiş yöntemine göre elde edilen tekerrür debileri ise Şekil 5.1-5.5’de verilmiştir.

5.2.1. SCS eğri numarası

Toprak Koruma Hizmeti (SCS) Eğri Numarası (CN) modeli, aşağıdaki denklem 5.26 kullanarak kümülatif yağış, toprak örtüsü, arazi kullanımı ve önceki nemin bir fonksiyonu olarak yağış fazlalığını tahmin eder.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad (5.26)$$

Burada, Q akış, P yağış, S akış başladıktan sonra potansiyel maksimum tutma ve I_a başlangıç çekilmesidir.

Hidrolojide bulunan dört farklı toprak grubu için A grubunda düşük akım potansiyeli (yüksek sızma kapasitesi), D grubunda ise yüksek akım potansiyeli (düşük sızma kapasitesi) sahip topraklar bulunmaktadır (Özdemir, 2007). Aşağıdaki Tablo 5.1’de toprak gruplarına ait özellikler sunulmuştur.

Her bir arazi kullanım verisine göre dört farklı hidrolojik toprak grubuna ait CN değerlerini arazi kullanım haritaları göstermektedir. Bu nedenle ağırlıklı eğri numarasının hesaplanması için hidrolojik toprak grubu haritası ve arazi kullanım haritası eşleştirilerek kullanılmaktadır. Hangi arazi kullanım bölgesinin hangi toprak türüne karşılık gelen ve hangi CN değeri ile gösterildiği bu eşleştirme sayesinde olmaktadır. Havza üzerindeki ağırlıklı CN değeri denklem 5.27 ile hesaplanmaktadır.

$$CN_W = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (5.27)$$

Burada CN_W ağırlıklı eğri numarası; CN_i i . arazi kullanım bölgesine ait eğri numarası; A_i ise i . arazi kullanım bölgesinin alanıdır. Hidrolojik model oluştururken dikkate alınması gereken başka bir parametre de, havzanın çıkış noktasına en uzak noktada meydana gelen yağışın çıkış noktasına ulaşma süresi olan gecikme süresidir. Gecikme süresi süresidir. Denklem 5.28 yardımı ile elde edilmektedir.

$$T_{lag} = L^{0.8} \frac{\left(\left(\frac{1000}{CN_W} - 10 \right) + 1 \right)^{0.7}}{1900 \sqrt{S_{ort}}} \quad (5.28)$$

Burada, L drenaj çizgisinin uzunluğu (km), S_{ort} havzanın ortalama eğimi (%), CN_W ise ağırlıklı eğri numarasıdır.

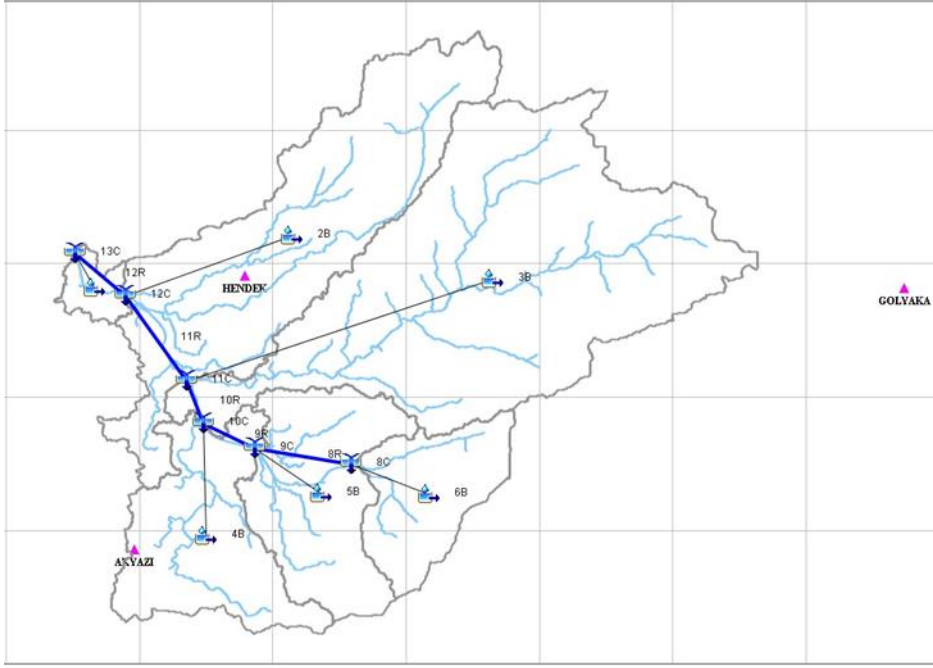
5.2.2. Eğri numarası (CN) belirlenmesi

Bölgede daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında hesaplanmış bir CN değeri olmadığı görülmüştür. Bu nedenle CN değeri manuel olarak ve CBS tabanlı programlar yardımıyla hesaplanmıştır. Arazi kullanım haritası (Şekil 4.6) ve hidrolojik toprak grubu haritası (Şekil 4.7) ArcGIS programında üst üste açılarak çakıştırılmıştır. Hangi arazi kullanım alanlarının hangi hidrolojik toprak türüne denk geldiği bulunmuştur. Daha sonra bu alanlara (A, B, C ve D) karşılık gelen birimler Tablo 5.1’den yararlanılarak belirlenmiştir. Bu bilgiler denklem 5.27’de yerine koyularak çalışma alanının CN değeri yaklaşık 70 olarak hesaplanmıştır.

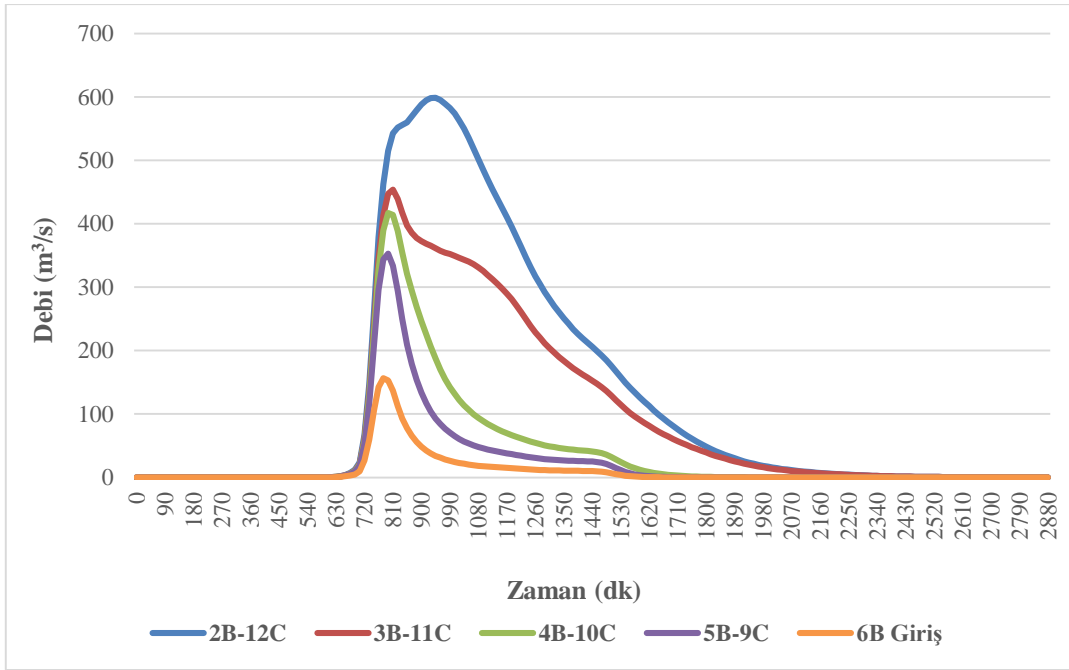
Ayrıca HEC-HMS programı yardımıyla hesaplanan bu değerin doğruluğu teyit edilmiştir. Çalışma haznesinde bulan yağış istasyonlarının thissen poligonlarına göre akış değerleri havzada bulunan akım gözlem istasyonunun olduğu yerdeki akım değerleri ile karşılaştırılmış ve doğru sonuç elde hesaplanan değerde yakalanmıştır.

Tablo 5.1. Hidrolojik toprak gruplarına göre eğri numarası (Halley ve ark, 2000).

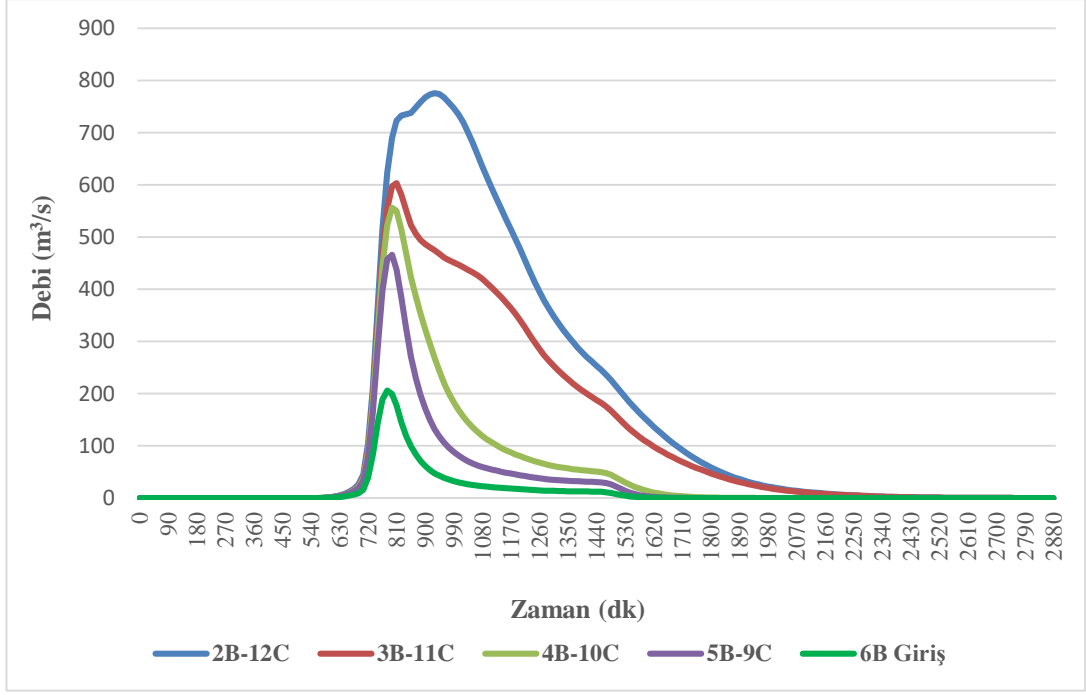
| Arazi Kullanımı/Örtüsü | Ortalama Geçirimsiz Alan (%) | Hidrolojik Toprak Gruplarına Göre Eğri Numarası | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|---|-----|-----|-----|
| | | A | B | C | D |
| Yerleşim (Yüksek yoğunluklu) | 65 | 77 | 85 | 90 | 92 |
| Yerleşim (Orta yoğunluklu) | 30 | 57 | 72 | 81 | 86 |
| Yerleşim (Düşük yoğunluklu) | 15 | 48 | 66 | 78 | 83 |
| Ticari alanlar | 85 | 89 | 92 | 94 | 95 |
| Endüstriyel alanlar | 72 | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Çakıl, taş ocağı vb | 5 | 76 | 85 | 89 | 91 |
| Tarım alanları | 5 | 67 | 77 | 83 | 87 |
| Açık alanlar (park, çim saha vb.) | 5 | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Çayır, otlak | 5 | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Sık orman, koru | 5 | 30 | 55 | 70 | 77 |
| Seyrek orman, koru | 5 | 43 | 65 | 76 | 82 |
| Su / Sulak alanlar | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |



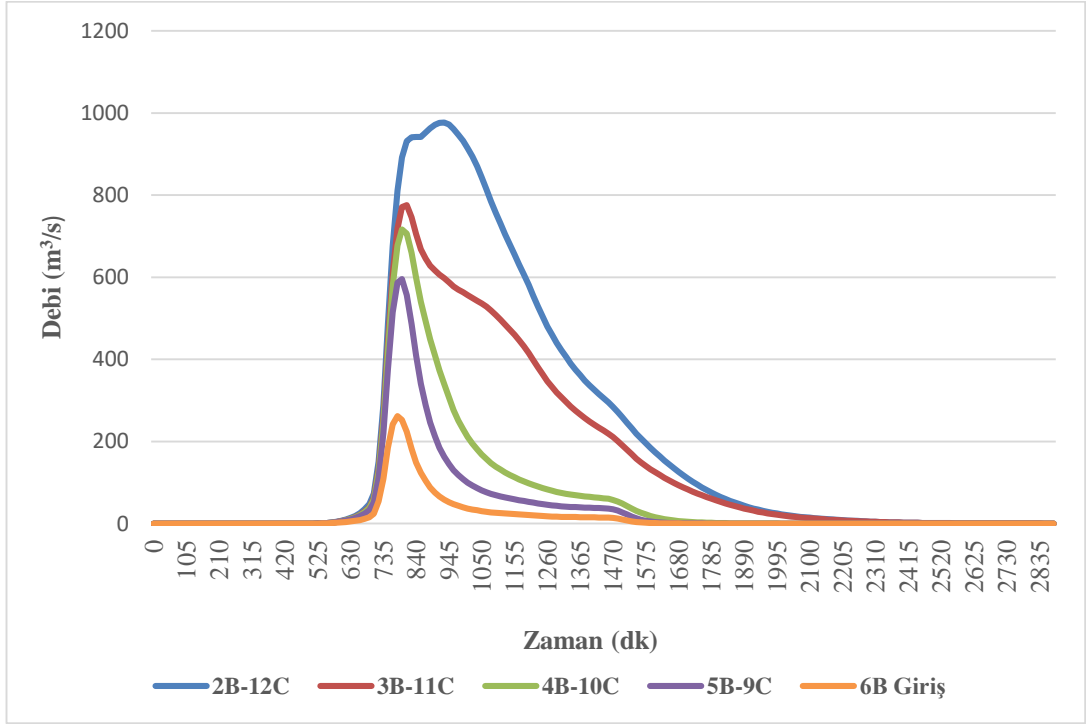
Şekil 5.1. HEC-HMS programıyla oluşturulan akarsu ağı ve yağış istasyonlarının yeri.



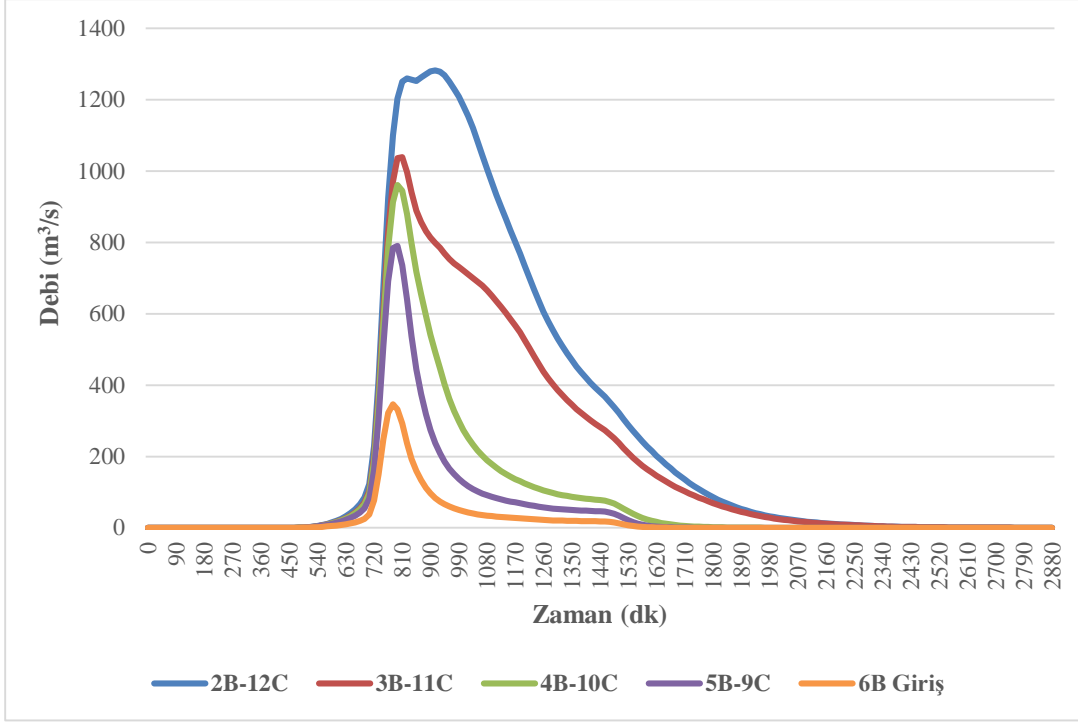
Şekil 5.2. Dinsiz Çayını besleyen noktaların 50 yıllık tekerrür debileri.



Şekil 5.3. Dinsiz Çayını besleyen noktaların 100 yıllık tekerrür debileri.



Şekil 5.4. Dinsiz Çayını besleyen noktaların 200 yıllık tekerrür debileri.



Şekil 5.5. Dinsiz Çayını besleyen noktaların 500 yıllık tekerrür debileri.

5.3. Hidrolik Modeller ve HEC-RAS Hidrolik Modeli

Hidrolik veya dağıtılmış yönlendirme, su seviyesi, akış hızı ve deşarj gibi akış ve akış özelliklerini bir havzadaki farklı konumlarda hesaplama yöntemidir (Chow ve ark, 1988). Su tutma tepkisi, hidrolik modeller kullanılarak da karakterize edilebilir. Hidrolik modeller, akışı açık yüzeyler boyunca yönlendirmek için tipik olarak fiziksel tabanlı St. Venant denklemlerinin (veya Sığ Su Denklemlerinin) bir çeşidini çözer. Bu genellikle 1B, 2B veya birleştirilmiş 1B/2B yaklaşımıyla elde edilir (Lin ve ark, 2006; Tayefi ve ark, 2007). Denklemler, etki alanındaki her hesaplama düğümü için çözülür, yani dağıtılmış modellerdir (Felder ve ark, 2017). Her iki havza modelleme biçiminin (yani 1B ve 2B) kalibrasyonu, genellikle ölçülmüş verileri kullanır (Domeneghetti ve ark, 2012). Bununla birlikte, girdi verileri gereksinimleri her 1B model için farklılık gösterir, genellikle kesitsel geometrik ve pürüzlülük verileri (ve öngörülen sınır koşulları) gerektirir.

HEC-RAS, ABD Ordusu Mühendisler Birliği'nin Hidrolojik Mühendislik Merkezi tarafından geliştirilen hidrodinamik bir modeldir. Hidrolik model, hem bir hem de iki boyutlu hidrolik modelleme kapasitesi sunar. HEC-RAS, nehir sistemlerinde taşkın yönlendirmesini simüle etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Hicks ve Peacock, 2005; Timbadiya ve ark, 2011b). Tam bir doğal ve yapılandırılmış kanal ağı için tek

boyutlu (1B), iki boyutlu (2B) veya birleşik 1B ve 2B hidrolik hesaplamalar yapmak üzere tasarlanmıştır (Brunner, 2016).

Model aşağıdaki yeteneklere sahiptir:

- Kullanıcıların tasarıma daha fazla odaklanmasını sağlarken aynı zamanda yüksek düzeyde verimlilik sağlayan bir kullanıcı ara yüzü,
- Sabit akışlı su yüzeyi profilleri, kararsız akış simülasyonu, tortu taşınması ve hareketli sınır hesaplamaları, su kalitesi analizi için nehir analizi bileşenleri,
- Veri depolama ve yönetim bileşeni,
- Hesaplamaların çıktılarını görüntülemek için grafikler ve raporlama.

Geçmiş versiyonunda, modelleme sırasında hesaplanan su yüzeyi profili, HEC-GeoRAS kullanılarak taşkın haritalarına dönüştürülmüştür. 5.0.5 sürümünden bu yana HEC-RAS, doğrudan HEC-RAS'ta sel baskını haritalarının oluşturulmasına izin veren "RAS Eşleştiricisi" adı verilen entegre bir jeo-uzamsal yetenekler bileşenine sahiptir. RAS Mapper, hidrolik modellerin geliştirilmesine yardımcı olmak için ilgili coğrafi verilerle birlikte HEC-RAS simülasyon sonuçlarının görselleştirilmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu yeteneklere ve yazılımın ücretsiz olması gerçeğine dayanarak, HEC-RAS birçok taşkın çalışmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Hidrolik simülasyon, HEC-RAS'ta yerleşik matematiksel ve fizik modelleri kullanılarak yürütülür. HEC-RAS'ta kararsız bir akış simülasyonu, Saint-Venant Denklemi tarafından yönlendirilir. Sadece bir bilgisayar aracılığıyla sayısal olarak çözülebilen çok karmaşık bir denklem setidir. Hesaplama sırasında, HEC-RAS yazılımı denklemlerin optimal örtük çözümünü arar. Saint-Venant Denklemi; süreklilik denklemi ve momentum denklemi olmak üzere iki kısımdan oluşur.

5.3.1. Bir boyutlu (1B) HEC-RAS modeli

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (5.29)$$

burada, Z_1 ve Z_2 ana kanal akışının yükseklikleri, Y_1 ve Y_2 her bir kesitteki su derinlikleri, V_1 ve V_2 her bir kesitteki ortalama hızlar, a_1 ve a_2 hız ağırlık katsayıları, g yerçekimi ivmesi sabiti ve h_e enerji yükü kaybıdır.

Sürekli hesaplamalara ek olarak, HEC-RAS kütle ve momentumun korunumu ilkelerinin uygulanması yoluyla tek boyutta kararsız akış yönlendirmesi

yapabilir. Bu kararsız akış hesaplama süreci, nehir sistemlerinde kararlı durum koşulları nadir olduğu için daha doğal kanal akış özelliklerini yansıtır. Kütle korunumu yasası, bir sistemdeki tüm kütle akış hızlarının, sistem dışındaki kütle akış hızları artı depolamadaki değişime eşit olduğunu belirtir ve süreklilik Denklem 5.30 ile ampirik olarak tanımlanır.

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_t = 0 \quad (5.30)$$

Yukarıdaki süreklilik denklemi, sıkıştırılamaz su hacminin korunumunu gösterir. Denklemde, Q akış, x akış yönündeki mesafe, A akışın kesit alanı q_t birim uzunluk başına yanal akış ve t zamandır.

Diğer taraftan, momentumun korunumu yasası, bir hacme etki eden tüm dış kuvvetlerin (basınç, yerçekimi, sürtünme) toplamına eklenen bir hacme giren momentum hızının, denklem 5.31'de ifade edilen momentum birikim hızına eşdeğer olduğunu belirtir.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (5.31)$$

V hız, $\frac{\partial z}{\partial x}$ su yüzeyi eğimi ve S_f sürtünme eğimidir.

Yukarıda bahsedilen denklemler uygulanarak, kanalın ve taşkın yatağının iki ayrı kanal olduğu varsayılarak ve ardından denklem 5.32 ve 5.33'te ifade edildiği gibi HEC-RAS'ta kararsız akış hızı çözümleri üretilerek iki boyutlu akış alanları bir boyutta yaklaşıkleştirilebilir (Bruner, 2016).

1B model, akış modellerinin tek tip, boylamsal olduğu ve kompakt, tutarlı akış çizgileri ile karakterize edildiği nehirlerde en etkilidir (Büchele ve ark, 2006).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\phi - Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1 - \phi)Q]}{\partial x_f} = 0 \quad (5.32)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{\phi^2 Q^2}{A_c} \right)}{\partial x_c} + \frac{\partial \left[\frac{(1 - \phi)^2 Q^2}{A_f} \right]}{\partial x_f} + gA_c \left[\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + gA_f \left[\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0 \quad (5.33)$$

burada, f ve c alt simgeleri taşkın yatağı ve kanal terimlerini gösterir. Q toplam akıştır.

$$\phi = \frac{K_c}{K_c + K_f}, K \text{ taşımazdır.}$$

1 boyutlu modeller geliştirmek de oldukça basittir ve hesaplamalı çalışma süresi, 2 boyutlu muadillerinden önemli ölçüde daha azdır. 1B model, taşkın suyu seviyelerini tahmin etme ve su altında kalma bölgelerini belirleme yeteneğine sahiptir, ancak 2B modeller için daha uygun olacak daha geniş taşkın yatağı olan alanlarda o kadar doğru olmayabilir (Büchle ve ark, 2006). 1B modelleme ile ilişkili dezavantajlar arasında taşkın dalgalarının yanal difüzyonunu simüle edememesi, taşkın yatağının sürekli bir yüzeyden ziyade kesitler olarak ayrı temsil edilmesi ve kesitlerin keyfi oryantasyonu yer alır (Teng ve ark, 2017).

5.3.2. İki boyutlu (2B) HEC-RAS modeli

HEC-RAS 5.0.7'nin en son sürümünde sağlanan 2 boyutlu modelleme yetenekleri, sel baskınının simüle edilmiş uzaysal-zamansal temsillerinin oluşturulmasıyla sonuçlanan ayrık mekansal hesaplamalar yapmak için uygulamanın CBS araçlarıyla birlikte kullanılmasına veya herhangi bir diğer önemli hidrodinamik olaya verir (Brunner, 2016). HEC-RAS, tam Saint-Venant denklemini çözer ve şunları yapabilir: türbülansı ve Coriolis etkisini açıklar. Dinamik taşkın dalgalarını, karışık akış rejimi koşullarını ve gelgit ortamlarını modelleme yeteneğine sahiptir. Kütle ve momentumun korunumu için tam 2B Saint-Venant denklemi denklem 5.34 'de ifade edilir (Paşa ve Hacı, 2023).

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} - q = 0 \quad (5.34)$$

Burada, H su yüzeyi yüksekliği, h su derinliği, u x- eksenindeki hız, v y-eksenindeki hız ve q bir kaynak akış terimidir (Paşa ve Hacı, 2023).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f_u \quad (5.35)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f_v \quad (5.36)$$

Saint-Venant veya Difüzyon Dalgası denklemleri, açık kanaldaki akışı iki boyutlu olarak modellemek için kullanılır. Saint-Venant denklemi, sıg su akışı koşulları için çözüldüğünde Navier-Stokes denkleminde türetilir. Navier-Stokes denklemi Claude-Louis Navier ve George Gabriel Stokes tarafından geliştirilmiştir (Sturm, 2009).

Denklem, Newton'un İkinci Hareket Yasasını sıvı akışına uygulayarak viskoz sıvı maddelerin hareketini tanımlar. Navier-Stokes denklemleri hava, boru akışı, genişleyen ve daralan akış, bir uçak kanadı etrafındaki akış ve okyanus akıntısı akışını modellemek için kullanılabilir. İki boyut için Navier-Stokes denklemi, u 'nun hız, t 'nin zaman olduğu denklem 5.37 ve 5.38'da gösterilmiştir. Burada u hız, t zaman, ρ yoğunluk, V viskoz kuvvetler, f yerçekimi kuvvetleri ve x ve y alt simgeleri yönü simgelemektedir.

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + V \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right) + f_x \quad (5.37)$$

$$\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + V \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} \right) + f_y \quad (5.38)$$

HEC-RAS yazılımı içinde, belirli bir durumun akış alanını belirlemek için bir Tam Momentum veya Difüzyon Dalga çözücüsü kullanılabilir. Saint-Venant denklemi, Adhémar Jean Claude Barré de Saint-Venant tarafından geliştirilmiştir (Sturm, 2009).

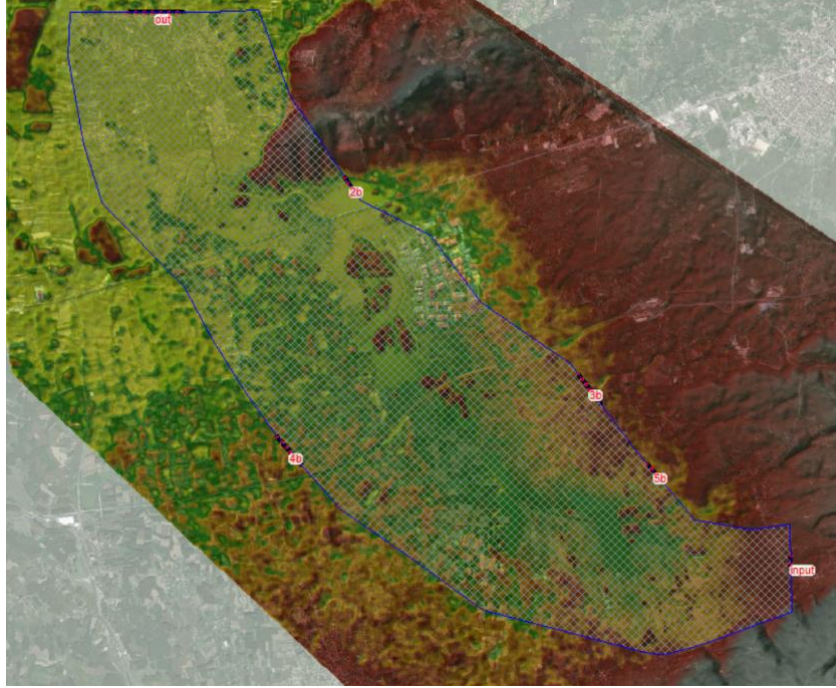
Saint-Venant denklemi sığ bir su denklemidir, yani yatay ölçek dikey ölçekten çok daha büyüktür. Bu türetme, Navier-Stokes Denklemine derinlemesine entegre ederek yapılır. Derinlik entegrasyonu, dikey hızın denklemden çıkarılmasına izin verir. Bu, dikey hızın 0 olduğu anlamına gelmez, ancak yatay hız bileşenleri ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir olduğu varsayılır. Saint Venant denklemi Navier-Stokes denkleminde türetilmiştir. Denklem 5.39 x yönündeki ve denklem 5.40 y yönündeki momentum denklemdir. h akış derinliğidir, u x yönündeki hızdır, v y yönündeki hızdır, z_b basınç yüzeyinin yükseklik sapmasıdır ve n pürüzlülük katsayısıdır (Manning's).

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial x} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - gn^2 u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (5.39)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - gn^2 v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (5.40)$$

Saint-Venant denklemi, HEC-RAS içindeki su yüzeyi yüksekliğini çözmek için Tam Momentum denklemine daha da indirgenir. Tam Momentum denklemi, su yüzeyi profilinin yanı sıra hız ve akış yönünü çözmek için HEC-RAS içinde kullanılır.

Bu tez kapsamında taşkın haritalarını üretmek için iki boyutlu (2B) modeller ve bu haritaları elde etmek için aşağıdaki SYM altlık harita olarak kullanılmıştır. Ayrıca mavi taralı alan çalışma alanı sınırlarını göstermektedir. Input giriş debisini, output ise çıkış debisini göstermektedir. Bunlara ek olarak Dinsiz Çayını besleyen diğer akımların giriş noktaları da aşağıdaki Şekil 5.6’da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. HEC-RAS programında kullanılan 2 Boyutlu çalışma alanı.

5.4. Taşkın Tehlike ve Risk Haritaları

Taşkın haritaları temel olarak tehlike ve risk olarak sınıflandırılabilir. Taşkın tehlike haritaları olayın olma olasılığı, büyüklüğü hakkında bilgi verirken risk haritaları ise olayın sonuçları hakkında bilgilendirici özelliktedir.

Tehlike haritası, belirli bir tehlikeden etkilenen veya buna karşı savunmasız olan alanları vurgulayan bir haritadır. Tipik olarak depremler, volkanlar, toprak kaymaları, sel ve tsunamiler gibi doğal tehlikeler için yaratılmıştır. Tehlike haritaları, ciddi hasar ve ölümlerin önlenmesine yardımcı olur (Udono ve Sah, 2002).

Taşkın tehlikesi haritalaması, sele eğilimli alanlarda uygun arazi kullanım planlaması için hayati bir bileşendir. Yöneticilerin ve planlayıcıların risk alanlarını belirlemelerini kolaylaştıran ve yapısal olmayan bir önlem olarak azaltma/tepki çabalarına öncelik veren, kolay okunan, hızlı erişilebilen çizelgeler ve haritalar oluşturur. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) sel tehlike haritaları üretmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Farklı

haritalardan ve sayısal yüksekliklerden bilgi toplamak için etkili bir yol sağlarlar (Sanyal ve Lu, 2004).

CBS kullanılarak, yerel yükseklikler ile aşırı su seviyeleri karşılaştırılarak selin boyutu hesaplanabilir. Arazi örtüsü, yükseklik, fizyografik ve jeolojik özellikler ve drenaj ağı verileri kullanılarak sel tehlike haritaları geliştirilebilir. Hidrolik bileşenler olarak selden etkilenen frekans ve sel derinliği kullanılabilir. Tehlike indeksi, su altında kalma derinliğine göre atanmalıdır. Ancak taşkın sıklığı, taşkın süresi gibi diğer faktörler de dikkate alınmalıdır (Islam ve Sado, 2000).

Taşkın ve taşkın yönetimini anlamak için tehlike kategorilerini tanımlamaya yardımcı olacak arazi türlerine bakmak daha iyidir (Hossain, 2013). Bunlar:

- **Orta dağlık, F1:** Taşkın mevsiminde normalde 90 cm derinliğe kadar su basan arazi,
- **Orta düz alan, F2:** taşkın mevsimi boyunca normalde 90 cm ile 180 cm arasında sular altında kalan arazi,
- **Düz arazi, F3:** Taşkın mevsiminde normalde 180 cm ile 300 cm arasında derinlikte sular altında kalan arazi
- **Çok alçak arazi, F4:** Taşkın mevsiminde normalde 300 cm'den daha derin sular altında kalan arazilerdir.

Buna ek olarak ülkemizde DSİ tarafından önerilen ve literatürde yaygın olarak kullanılan, İngiltere Tarım ve Çevre Bakanlığı Yöntemi (DEFRA) ile de tehlike seviyeleri belirlenmektedir. DEFRA taşkınlar anında insanların yapması yapmaması gereken davranışlara ait bilgileri içeren “insanlar için risk” rehberinde taşkın tehlike seviyelerini belirtmiştir. İnsanların taşkınlar anında yaralanma ve ölüm risklerinin artmasının çoğunlukla kendi hareketlerinden dolayı olduğuna değinilmiştir. Bu rehberde göre; insanlar taşkın suyunun kuvvetini anlayamazlar ve bir taşkın anında kapılıp gitmeleri mümkün olabilir, yetişkin bir insanın yaklaşık 1.5 m ve üzeri su derinliklerinde sel akımında ayakta durabilmesi zordur ve insanların ayakta kendilerini muhafaza edebilmeleri için su seviyesinin ve su hızının düşük olması gerekir. Hız ve derinlik faktörlerinin birlikte incelenmesi insanlar için önem taşıdığı anlatılmıştır. “Tehlike seviyesi (hazard rating)” yöntemi, insanlar için taşkın tehlikesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Anonymous, 2006).

DEFRA; Hollanda, Fransa ve İngiltere’de taşkın çalışmalarında kullanılmayı tercih edilen bir yöntemdir. Tehlike seviyesi hesaplanırken denklem 5.41 kullanılmaktadır (Anonymous, 2006).

$$TD = d(v + n) + MF \quad (5.41)$$

TD tehlike derecesi, MF moloz faktörü, n sabit bir değer ($n=0.5$), v hız (m/s), d derinlik (m) anlamına gelmektedir (Alphen ve Passchier, 2007; Anonymous, 2006). Tablo 5.2’de derinlik, hız ve arazi kullanımlarına denk gelen MF değerleri sunulmaktadır. Tablo 5.3 ise denklem 5.41 ile elde edilen TD değeri için taşkın tehlikesi seviyelerini göstermektedir.

Tablo 5.2. DEFRA yöntemi MF değerleri.

| Derinlik ve Hız | Kent | Orman | Ekilebilir alan/Mera |
|----------------------------------|------|-------|----------------------|
| 0.00-0.25 m | 0 | 0 | 0 |
| 0.25-0.75 | 1 | 0.5 | 0 |
| $d > 0.75$ m ve/veya $v > 2$ m/s | 1 | 1 | 0.5 |

Tablo 5.3. DEFRA yöntemi tehlike seviyeleri.

| Seviye | $TD = d(v + 0.5) + MF$ | Açıklama |
|------------|------------------------|---|
| Düşük | < 0.75 | Dikkat - “sığ akan su veya derin durgun su ile taşkın bölgesi” |
| Hafif | 0.75-1.25 | Halkın bir kısmı için tehlikeli (örn. çocuklar) - “Tehlike: derin veya hızlı akan suyla dolu bölge” |
| Yüksek | 1.25-2.5 | Halkın çoğu için tehlikeli - “Tehlike: hızlı akan su ile taşkın bölgesi” |
| Çok Yüksek | > 2.5 | Herkes için tehlikeli - “Aşırı tehlike: derin ve hızlı akan su ile taşkın bölgesi” |

Taşkın riski yönetimi alanında, kafa karışıklığı sadece riskle ilgili tanımın kullanımında değil, aynı zamanda farklı taşkın haritalarının adlandırılmasında da ortaya çıkmaktadır (De Moel ve ark, 2009). Örneğin, Tablo 5.4’de Merz ve ark. (2008), tarafından önerilen dört tür taşkın haritası; taşkın risk haritası, taşkın tehlike haritası, taşkın maruz kalma haritası ve taşkın hasarı risk haritası gösterilir.

Tablo 5.4. Yerel ölçekte sistematik sel haritalaması için öneri (Merz ve ark, 2008).

| Harita Türü | Açıklama |
|-----------------------------|---|
| Taşkın risk haritası | Aşılma olasılığı hakkında bilgi olmadan taşkın tehlikesinin uzamsal dağılımını gösterir. |
| Taşkın tehlike haritası | Taşkın tehlikesinin uzamsal dağılımını, yani tek veya birkaç sel senaryosu için sel yoğunluğu ve oluşma olasılığı hakkında bilgi gösterir. |
| Taşkın maruz kalma haritası | Taşkın hassasiyetinin uzamsal dağılımını gösterir, yani taşkına yatkın unsurların (nüfus, yapılı çevre, doğal çevre) maruziyeti ve/veya duyarlılığı hakkında bilgi. |
| Taşkın hasar risk haritası | Taşkın hasarı riskinin uzamsal dağılımını, yani belirli bir aşma olasılığı olan tek veya birkaç olay için beklenen hasarı gösterir. |

Ancak, Di Baldassarre ve ark. (2010) ve Merz ve ark. (2008), taşkın haritalarını taşkın tehlike haritası, taşkın maruz kalma haritaları ve taşkın risk haritaları olarak bilinen üç tür haritaya sınıflandırmıştır. Taşkın tehlikesini göstermek için kullanılan en yaygın harita kategorileri, farklı dönüş periyotları olan olaylar için bir harita gösterisi su baskını alanıdır. Tablo 5.5 farklı bilgi içeriği ile her sel haritası türünü gösterir.

Tablo 5.5. Taşkın haritasının içeriği (Di Baldassarre ve ark, 2010).

| Harita Türü | İçerik |
|-----------------------------|--|
| Taşkın tehlike haritası | Taşkınların yoğunluğunu ve bunlarla ilişkili aşma olasılıklarını görüntüler. |
| Taşkın maruz kalma haritası | Taşkınların ekonomi, toplum ve doğal çevre üzerindeki sonuçlarını örneklendirir. |
| Taşkın risk haritası | Doğal afetler için olan riskin mekansal dağılımını göstermek, belirli bir olayın meydana gelme olasılığının sonuçlarıyla çarpılması olarak tanımlanabilir. |

Avrupa Taşkın Direktifinde belirtildiği gibi, taşkın tehlikesiyle ilgili gelişmeler direktifin görevlerinden biridir. Van Alphen ve ark. (2009) sel tehlike haritasının içeriğini, amacını ve kullanıcılarını aşağıdaki Tablo 5.6'da gösterildiği gibi özetlemiştir.

Tablo 5.6. Taşkın tehlikesi ve taşkın riski haritalarının içeriği, amacı ve kullanıcıları (Van Alphen ve ark. (2009)'dan değiştirilmiştir).

| Taşkın hasar haritası | |
|-----------------------|---|
| İçerik | <ul style="list-style-type: none">• Olasılık sınıflarına göre sel kapsamı, geçmiş olaylara göre• Sel derinliği• Akış hızı• Sel yayılımı• Tehlike derecesi |
| Amaç ve kullanım | <ul style="list-style-type: none">• Arazi kullanım planlaması ve arazi yönetimi, havza yönetimi• Su yönetimi planlaması,• Yerel düzeyde tehlike değerlendirmesi• Acil durum planlaması ve yönetimi• Teknik önlemlerin planlanması• Genel farkındalık oluşturma |
| Hedef Grup/kullanım | <ul style="list-style-type: none">• Ulusal, bölgesel veya yerel arazi kullanım planlaması• Sel yöneticileri• Acil servisler• Orman hizmetleri (havza yönetimi)• Halk |

Dinh ve ark. (2012) taşkın derinliğini risk göstergesi olarak kabul etmişlerdir, Tablo 5.7’de derinliği bağlı 5 sınıf ve risk seviyeleri sunulmuştur. (Dinh ve ark, 2012).

Tablo 5.7. Dinh yöntemine göre taşkın risk sınıfları.

| Taşkın Riski | Taşkın Derinliği (m) |
|--------------|----------------------|
| Çok düşük | 0.0-0.2 |
| Düşük | 0.2-0.5 |
| Orta | 0.5-1.0 |
| Yüksek | 1.0-2.0 |
| Çok yüksek | > 2.0 |

2018 yılında yayınlanan FEMA “Taşkın Risk Analizi ve Haritalandırma” rehberine göre taşkın riski, derinlik ve hıza bağlı olarak sınıflarına ayrılmıştır (Anonymous, 2018). Tablo 5.8’de derinlik ile hızın çarpımına dikkate alınarak FEMA yöntemi risk sınıfları sunulmuştur.

Tablo 5.8. FEMA yöntemine göre taşkın risklerinin sınıflandırılması.

| Taşkın Riski | Hız × Derinlik (m ² /s) |
|--------------|------------------------------------|
| Düşük | < 0.2 |
| Orta | 0.2-0.5 |
| Yüksek | 0.5-1.5 |
| Çok Yüksek | 1.5-2.5 |
| Aşırı | > 2.5 |

Taşkın Tehlike ve Taşkın Risk Haritalarının Hazırlanması Kılavuzu ise Türkiye Cumhuriyeti ve Avrupa Birliği'nin finansal yardımıyla Romanya, Fransa ve Türkiye Cumhuriyeti arasında gerçekleştirilen "Taşkın Direktifinin Uygulanması İçin Kapasitenin Geliştirilmesi AB Eşleştirme Projesi" sonucunda oluşturulmuştur. Kılavuzda Batı Karadeniz pilot havzasında kazanılan tecrübelerden yararlanarak Taşkın Riski Yönetim Planı'nın hazırlanması yönteminin Türkiye'ye göre uyarlanmasına yönelik bilgiler bulunmaktadır. Risk sınıflandırması su derinliği ve arazi kullanımına bağlı yapılmaktadır.

CORINE (Coordination of Information on the Environment) arazi kullanım verileri kaynağı olarak teklif edilmiştir. CORINE 1985 yılından beri Avrupa Çevre Ajansının belirlediği kurallar ve sınıflandırmalara göre Avrupa Çevre Ajansı'na üye tüm ülkelerde, arazideki çevresel değişimleri ve çevre ile ilgili politikaları belirlemek, doğal kaynakları rasyonel yönetmek için aynı temel verilerin toplanması ve standart bir veri tabanını ortaya koymayı amaçlamıştır. Günümüze denk 1990, 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarına ait veriler ulaşılabilir haldedir. Tablo 5.9'da Kılavuz yöntemine göre hasar büyüklükleri sunulmuştur (Anonim, 2014).

Tablo 5.9. Kılavuz yöntemine göre taşkın hasar büyüklükleri.

| Hasar | İndeks | Derinlik Büyüklüğü (m) |
|--------|----------------|------------------------|
| Düşük | H ₁ | < 0.5 |
| Orta | H ₂ | 0.5-1.5 |
| Yüksek | H ₃ | > 1.5 |

Denklem 5.42 ile hasar büyüklüklerine göre risk unsuru elde edilebilir (Anonim, 2014).

$$Risk = Yuvarla \left(Derinlik\ sınıfı \times \frac{CLC_{Derece}}{10} \right) \quad (5.42)$$

Tablo 5.9'a göre buradaki *Derinlik sınıfı* belirlenmektedir. Düşük derinlik H_1 , orta derinlik H_2 ve yüksek derinlik H_3 olarak gösterilir. Derece ya da *CLC* (CORINE Land Cover) değerleri 1 – 10 arasında farklılık gösterir ve Tablo 5.10'da sunulmuştur. ArcGIS yardımıyla tablo CORINE arazi örtüsü ile karşılaştırılmıştır ve risk sınıfları belirlenmiştir.

Tablo 5.10. CLC risk sınıfları.

| CLC Kodu | CLC Sınıfı | Derece | Derinlik sınıfına karşılık gelen risk sınıfı | | |
|----------|--|--------|--|------------------|----------------|
| | | | Düşük (<0.5m) | Orta (0.5m-1.5m) | Yüksek (>1.5m) |
| 111 | Sürekli yerleşim alanı | 10 | 1 | 2 | 3 |
| 112 | Kesikli yerleşim alanı | 10 | 1 | 2 | 3 |
| 121 | Endüstriyel ya da ticari birimler | 9 | 1 | 2 | 3 |
| 122 | Yol ve demiryolu ağları ve ilgili araziler | 9 | 1 | 2 | 3 |
| 123 | Liman bölgeleri | 9 | 1 | 2 | 3 |
| 124 | Havalimanları | 9 | 1 | 2 | 3 |
| 131 | Maden çıkarma alanları | 8 | 1 | 2 | 2 |
| 132 | Çöplükler | 8 | 1 | 2 | 2 |
| 133 | İnşaat alanları | 8 | 1 | 2 | 2 |
| 141 | Yeşil kentsel alanlar | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 142 | Spor ve eğlence tesisleri | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 211 | Sulanmayan ekilebilir arazi | 6 | 1 | 2 | 2 |
| 212 | Sürekli sulanan alanlar | 6 | 1 | 2 | 2 |
| 213 | Pirinç tarlaları | 4 | 0 | 1 | 1 |
| 221 | Üzüm bağları | 6 | 1 | 2 | 2 |
| 222 | Meyve ağacı ve dutsu meyve | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 231 | Otlaklar | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 242 | Karmaşık ekim biçimleri | 6 | 1 | 1 | 2 |
| 243 | Önemli bir kısmı bitki örtüsüyle kaplı birincil olarak tarım amaçlı kullanılan alanlar | 4 | 0 | 1 | 1 |
| 311 | Geniş yapraklı orman | 6 | 1 | 1 | 2 |
| 312 | İğne yapraklı orman | 6 | 1 | 1 | 2 |
| 313 | Karışık orman | 6 | 1 | 1 | 2 |
| 321 | Doğal çayırlar | 3 | 0 | 1 | 1 |

Tablo 5.10. (Devamı) CLC risk sınıfları.

| CLC Kodu | CLC Sınıfı | Derece | Derinlik sınıfına karşılık gelen risk sınıfı | | |
|----------|-----------------------------|--------|--|------------------|----------------|
| | | | Düşük (<0.5m) | Orta (0.5m-1.5m) | Yüksek (>1.5m) |
| 322 | Fundalıklar ve çalılıklar | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 324 | Ağaçlık-ağaççık geçişi | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 331 | Plajlar, kumul, kum | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 332 | Çıplak kayalıklar | 3 | 0 | 1 | 1 |
| 333 | Seyrek bitki örtülü alanlar | 3 | 0 | 1 | 1 |

5.5. Taşkın Hasarının Tahmini

Kentsel sel hasarını tahmin etmenin en yaygın ve uluslararası kabul görmüş yöntemi, derinlik-hasar fonksiyonlarının kullanılmasıdır (Plazak, 1984; Smith 1994). Taşkın tehlikesinden kaynaklanan yapı ve içerik hasarı birçok faktörden etkilenir, ancak genellikle sadece bina kullanımı ve taşkın derinliği hasara neden olan faktörler olarak kabul edilir ve derinlik-hasar fonksiyonlarının formülasyonuna dahil edilir (Merz ve ark, 2004). Bina yaşı, temel tipi ve birinci katın kotu, derinlik-hasar fonksiyonlarının dışında bir yapının tahmini hasarına katkıda bulunan faktörler olarak dahil edilebilir (FEMA, 2009).

5.5.1. Hasar görebilirlik ve dayanıklılık

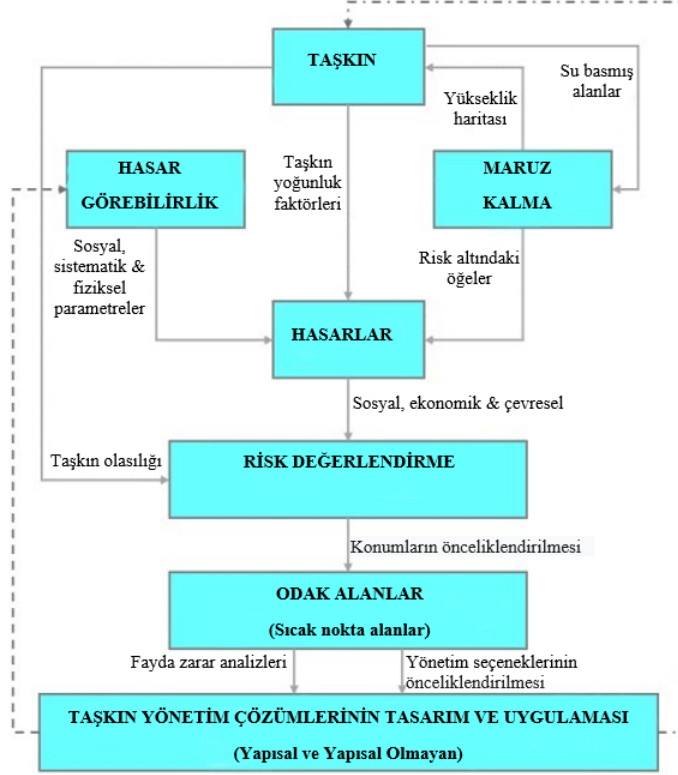
Hassasiyet, bir topluluğun tehlikenin etkisine karşı zayıflığını artıran fiziksel, sosyal, ekonomik veya çevresel faktörler veya süreçler tarafından belirlenen koşullar olarak tanımlanmaktadır (UNISDR, 2004). Öte yandan dayanıklılık ise tehlikeye maruz kalan bir kentsel sistem veya topluluğun kabul edilebilir bir işleyiş, organizasyon ve yapı düzeyine ulaşmak için direnerek veya değiştirerek uyum sağlama kapasitesidir (UNISDR, 2004).

Tanımlanmış hasar görebilirlik ve dayanıklılık terminolojisi, kentsel alanların ve mevcut sel risklerinin analizinde önemlidir, ancak bir yanda insanların sel zarar görebilirliği ve sel direnci ile diğer yanda kentsel yapı arasında bir ayrım yapılmalıdır. Esnekliğin genel bir tanımı yoktur, ancak entegre kentsel drenaj yönetiminde giderek daha fazla kullanılmaktadır (Ashley ve ark, 2007; De Bruijn, 2004; Klein ve ark, 1998; Sayers ve ark, 2003; Sendzimir ve ark, 2007; Vis ve ark, 2003). Walker ve ark. (2004) göre esneklik, bir sistemin rahatsızlığı absorbe etme ve aynı işleve, yapıya, özelliklere ve geri bildirim izin veren değişiklik düzeyine kadar yeniden düzenleme yeteneği

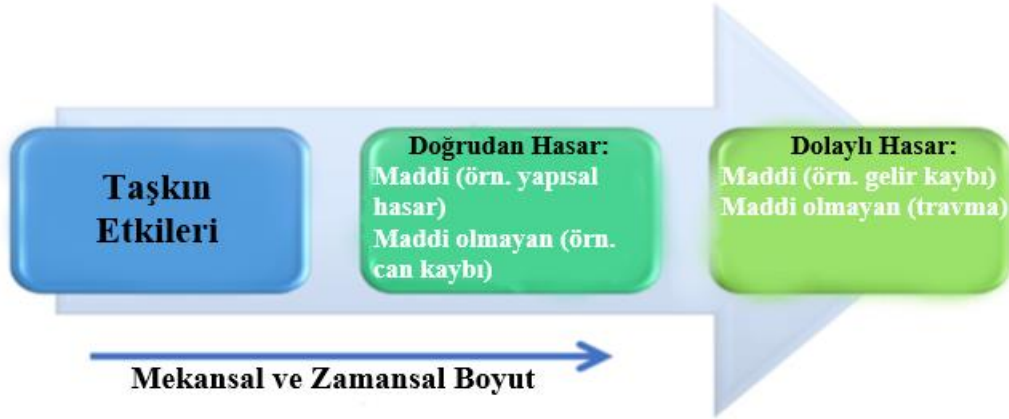
olarak tanımlanır. Ekosistem esnekliği dikkate alınır, tanımın ilk kısmı, ekosistemin bozulmayı kalıcılığa izin veren düzeyde kabul edeceği anlamında yerine getirilir. Şekil 5.7'de hasar görülebilirlik ve maruz kalmaya bağlı taşkın risk yönetim çerçevesi sunulmuştur.

Ayrıca, Adger (2000) tarafından tanımlanan sosyal dayanıklılık, insan topluluklarının sağlık, eğitim, toplum ilerlemesi, kar dağıtımını, istihdam ve sosyal refahı sağlayan hizmet ve mekanizmalara yönelik dış stresi tolere etme yeteneği ile ilgilidir.

Etkiler, hasarlar, kayıplar veya maliyetler dâhil olmak üzere bazı terminolojilerin anlamı veya kullanımı konusunda ortak bir anlaşma yoktur (Molinari, 2011). Ancak bunlar doğrudan ve dolaylı, somut ve soyut olarak sınıflandırılabilir (Merz ve ark, 2010). Bir sel olayı sırasında sel suyu ile su basmış nesnelere arasındaki fiziksel temas nedeniyle doğrudan hasar (örneğin mülklere ve bina içeriğine zarar) meydana gelir. Dolaylı hasarlar (örneğin tedarik zincirinin bozulması veya taşkın bölgelerin dışında toplu taşımanın bozulması) doğrudan kayıpların tetiklenmiş etkisidir ve taşkın sınırlarının dışında gerçekleşebilir. Bu nedenle, dolaylı kayıpların tanımlanması ve ölçülmesinin karmaşık bir süreç olduğu açıktır. Bu bağlamda, maddi kayıplar (örneğin altyapı ve tarım tesislerine verilen hasar) parasal olarak ifade edilebilirken, maddi olmayan grupların kapsamı (örneğin can kaybı ve yaralanmalar) olamaz (Hasanzadeh Nafari ve ark, 2016a). Şekil 5.8 taşkın etkilerinin zamansal değişimini göstermektedir.



Şekil 5.7. Taşkın riski değerlendirme ve yönetim çerçevesi (Merz ve ark, 2010).



Şekil 5.8. Taşkın etkileri süreci (Hasanzadeh Nafari ve ark, 2013).

Taşkın hasarı tahmini, güvenlik açığı değerlendirme, risk haritasının hazırlanması, en öncelikli konumların belirlenmesi, azaltma seçeneklerine ilişkin en uygun karar ve finansal değerlendirmelerin yerine getirilmesi için gerekli olan sel risk yönetiminin vazgeçilmez bir parçasıdır. (Merz ve ark, 2010). Buna göre, nüfusu gelecekteki sel senaryolarının etkilerine karşı korumak, toplulukların ve işletmelerin direncini artırmak ve kayıp olasılığını sistematik bir şekilde azaltmak için sel etki değerlendirme yöntemlerinin daha dikkatli bir şekilde ele alınması gerekmektedir.

Hasarı etkileyen parametreler, taşkın eylemleri ve bina direnci parametreleri olarak Tablo 5.11’de görüldüğü gibi gruplandırılabilir. Yukarıda tartışıldığı gibi su altında kalan alana bağlı olarak selin en önemli eylemleri su derinliği, yanal basınç, akış hızı, taşkın süresi, su kirliliği, tortu yükü, zamanlama ve taşkın sıklığıdır (Gissing ve Blong, 2004; Kelman ve Spence, 2004; Merz ve ark, 2013). Direnç parametreleri bina özellikleri, özel önlem, erken uyarı, acil durum önlemleri, sel deneyimi ve sosyoekonomik durum olarak sınıflandırılabilir (Hasanzadeh Nafari ve ark, 2016c; Thieken ve ark, 2005). Su altında kalan bir nesnenin selin etkilerine karşı kapasitesini veya yetersizliğini temsil eden direnç faktörleri birbirinden bağımsız veya bağımlı olabilir (örneğin, bireysel hazırlık ve erken uyarı birbirinden bağımsız değildir). Bu nedenle, sel hasarı değerlendirmesi karmaşık bir süreçtir ve etkileyen parametrelerin tek veya ortak etkilerini anlamak kapsamlı bir analiz gerektirir. Bununla birlikte, mevcut geleneksel yöntemlerin çoğu, yalnızca risk altındaki nesnelerin türüne ve işlevine ve sel suyunun aşamasına bağlı olarak bu parametreleri ihmal etmiştir.

Bunun nedeni, sektörde basitleştirilmiş bir yaklaşım kullanma eğilimi (örn. aşama-hasar fonksiyonları) veya güvenilir veri eksikliği ile ilgili olabilir (Cammerer ve ark, 2013; Hasanzadeh Nafari ve ark, 2016c).

Tablo 5.11. Farklı taşkın zararları türleri (Molinari, 2011).

| Maruz Kalan Nesne | Hasar | Tip |
|----------------------------|--|---|
| Konut inşaatları | Yapısal hasar, örn. yapı kumaşları | Doğrudan, somut |
| | İçerik hasarı, örn. mobilya | Doğrudan, somut |
| | Ek maliyet, yani temizleme | Dolaylı, somut |
| | Koruyucu önlemler, örn. kum torbası | Dolaylı, somut |
| | Duygusal kayıp, yani hatıraların kaybı | Dolaylı, maddi olmayan |
| Ticari/endüstriyel binalar | Yapısal hasar, örn. yapı kumaşları | Doğrudan, somut |
| | İçerik hasarı, örn. ürünler ve stok | Doğrudan, somut |
| | Ek maliyet, yani üretim kesintisi | Dolaylı, somut |
| | Koruyucu önlemler, örn. set duvarları | Dolaylı, somut |
| Ekonomik | Duygusal kayıp, yani hatıraların kaybı | Dolaylı, maddi olmayan |
| | Yaşam hattı ve altyapılar | Fiziksel hasar, örn. yollar ve köprüler |
| Kamu/hizmet binaları | Ek maliyet, yani tedarik zinciri kesintisi | Dolaylı, somut |
| | Ek maliyet, yani hizmet kesintisi | Dolaylı, maddi olmayan |
| | Yapısal hasar, örn. yapı kumaşları | Doğrudan, somut |
| | İçerik hasarı, örn. taşınabilir stoklar | Doğrudan, maddi |
| | Ek maliyet, yani hizmet kesintisi | Dolaylı, somut |
| Kamu/hizmet binaları | Koruyucu önlemler, örn. set duvarı | Dolaylı, somut |
| | Duygusal kayıp, yani hatıraların kaybı | Dolaylı, maddi olmayan |

Tablo 5.11. (Devamı) Farklı taşkın zararları türleri (Molinari, 2011).

| Maruz Kalan Nesne | | Hasar | Tip |
|-----------------------------------|----------------------------|--|---|
| Sosyal | Nüfus | Fiziksel, ör. can kaybı ve yaralanma Psikolojik, ör. travma | Doğrudan, maddi olmayan Dolaylı, soyut |
| Çevresel | Tarım bitkileri ve doğa | Fiziksel kayıp, ör. kırılma | Doğrudan, somut |
| | | Ek maliyet, yani gelir kaybı | Dolaylı, madd |
| | | Ek maliyet, yani tedarik zinciri kesintisi | Dolaylı, somut |
| | | Koruyucu önlemler, örn. kum torbası | Dolaylı, somut |
| | | Ek maliyet, yani hizmet kesintisi | Dolaylı, maddi olmayan |
| Ekolojik hasar ve çevresel mallar | Doğrudan, maddi olmayan | | |
| Duygusal kayıp | Dolaylı, maddi olmayan | | |

Hasarlar, fiili veya potansiyel olarak değerlendirilebilir veya ifade edilebilir. Potansiyel hasar, herhangi bir azaltıcı önlemin yokluğunda selin olası maksimum maliyeti anlamına gelir. Gerçek kayıp, belirli bir sel senaryosu için ve gerçek azaltma eylemlerinin varlığında gerçek zararların büyüklüğüdür (Gissing ve Blong, 2004; Smith ve Greenaway, 1994). Hasar tahmin süreçlerinin uzaysal ölçeği mikrodan orta veya makro ölçeğe kadar değişebilir. Mikro ölçekli üniteli hasar değerlendirme modellerinin odak noktası, su basmış bireysel nesnelere veya risk altındaki unsurlardır, örn. yollar, binalar veya köprüler. Bununla birlikte, modellerin mekansal ölçeğini orta veya makro ölçeğe değiştirerek, mekansal kapsam arazi kullanım birimlerine (örneğin ticari veya konut bölgeleri ve posta kodu alanları) veya geniş alan bölgelerine (örneğin belediyeler) artırılacaktır (André ve ark, 2013; Jongman ve ark, 2012).

Ekonomik değerlendirme, hasarlı bileşenlerin değiştirme maliyetine veya amortismanına tabi tutulmuş değerine (yani, su basması sırasındaki gerçek değere) dayalı olarak gerçekleştirilebilir. Eski malların tam değiştirme maliyetine dayalı hasar değerlendirmesi, kayıpların olduğundan fazla tahmin edilmesine yol açarken, hasarın boyutu büyükse veya hasarlı bileşenlerin üretim dışı kalması durumunda değiştirme onarımdan daha ucuz olabilir (Hasanzadeh Nafari ve ark, 2016b; Merz ve ark, 2010).

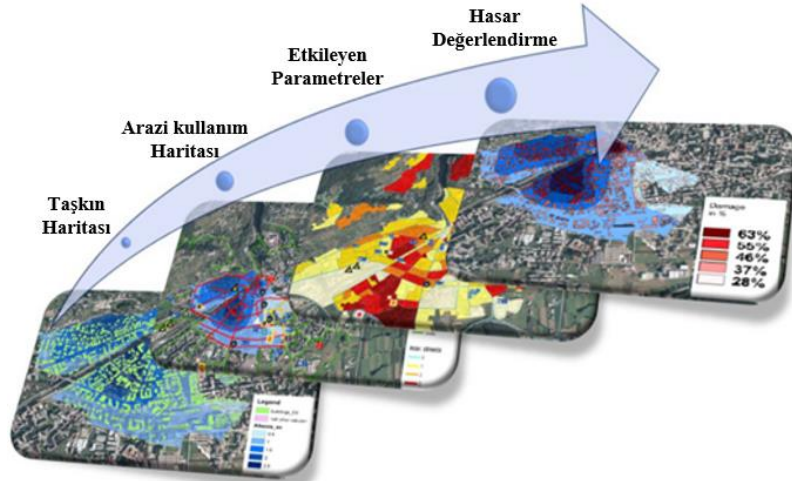
Son olarak, çalışmanın zamanlamasına bağlı olarak, taşkın hasar değerlendirmeleri, önceden ve sonradan olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Ön hasar değerlendirmesi, olaydan önce olası kayıpların tahminidir. Nihai hasar değerlendirmesi, müdahale ve kurtarma konularının koordinasyonunu ve bir olaydan sonra maliyetlerin değerlendirilmesini amaçlar. Nihai hasar değerlendirme sonuçları, beklenen hasar değerlendirme modellerinin kalibrasyonu için de kullanılabilir (André ve ark, 2013). Hasar değerlendirme modellerinin mantığı, su baskını sınırı, yöntemlerin mekansal

ölçeği, çalışmanın zamanlaması ve çalışmanın arkasındaki mantık, kullanım amaçlarına ve son kullanıcıların sektörüne bağlıdır. Örneğin sigorta ve tali şirketleri sorumluluklarına, hizmetlerine ve sözleşmelerine göre yapmaları gerekirken; politika karar vericileri bunu, konumların önceliklendirilmesi veya bir dizi risk azaltma seçeneğinin seçilmesi gibi diğer endişelere dayanarak yapabilir (Merz ve ark, 2010).

Taşkın hasarı değerlendirmesi aşağıdaki adımlarda gerçekleştirilebilir (Hasanzadeh Nafari ve ark, 2013):

- Maruziyet analizi: sel ve arazi kullanım haritalarını kullanarak tehlikeli bir bölgedeki insan ve malların sayısını, boyutunu ve değerini değerlendirmek,
- Sınıflandırma: taşan nesnelere kullanım türüne göre homojen sektörler veya sınıflar halinde sınıflandırmak,
- Hasarı etkileyen parametreler: her maruziyet sınıfı için sel etki faktörlerini ve kırılma özelliklerini değerlendirme,
- Maliyet değerlendirmesi: Risk altındaki her kategori için kırılma faktörleri, etki parametreleri ve kayıpların kapsamı arasında bir ilişki kurmak.

Taşkın hasarının değerlendirilmesini ifade eden görsel Şekil 5.9'da sunulmuştur.



Şekil 5.9. Taşkın hasarı değerlendirme için genel prosedürü (Hasanzadeh Nafari ve ark, 2013).

Maruz kalma değeri, zaman ve mekanın bir fonksiyonudur. Zaman içinde, risk altındaki unsurların değeri, enflasyon, yenileme veya yaş nedeniyle değişiklik gösterebilir. Öte yandan, varlıkların değerleri bölgesel faktörlere göre farklılık gösterir, örn. hammadde fiyatları ve ücretler. Bu nedenle, güncellenmiş bir yerel veri

setinin mevcudiyeti, maruziyet analizinin doğruluğu ile önemli bir ilişkiye sahiptir. Ayrıca, arazi kullanım verileri ve su baskını haritası arasındaki örtüşmenin bir sonucu olarak maruziyet değerlendirmesi şu noktalarda gerçekleştirilebilir: Verilerin mevcudiyetine, gerekli doğruluk ve analizin amacına bağlı olarak mikro, orta veya makro ölçekler (Merz ve ark, 2010).

Risk altındaki her bir unsur için hasar değerlendirmesi, gerekli veriler (yani sel etkileri ve direnç faktörleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir veri seti) mevcut olmadığı için mümkün değildir.

Veriler mevcut olsa bile, önemli bir çaba gerektireceğinden analiz zaman alıcı olacaktır. Bu nedenle, maruz kalan bileşenler homojen gruplara ayrılmalı ve risk altındaki her bir element sınıfı için hasar değerlendirmesi yapılmalıdır. Bu homojenlik, bir sınıf için selin etkilerine karşı davranışın benzerliği ve diğer sınıflara göre önemli bir farklılık olması temelinde tartışılabilir (Merz ve ark, 2010). Bu bağlamda, Smith ve Greenaway (1994), Birleşik Krallık gibi barınma tiplerinde önemli farklılıklar bulunan bir bölgedeki nüfusun sosyoekonomik faktörlerinin (örneğin hane geliri), bir ekonomik sektörün (örneğin konut binaları) direncini etkileyebileceğini öne sürmektedir (Smith ve Greenaway, 1994). Bu nedenle, daha yüksek bir sınıflandırma düzeyini dikkate almak faydalı olabilir. Ayrıca, Kreibich ve Dimitrova (2010) ve Kreibich ve Thielen (2008), hasarlı bileşenlerin su altında kalma türlerine (örn. ani sel, kara akışı, nehir sel) göre sınıflandırılmasını önermektedir (Kreibich ve Thielen, 2008; Kreibich ve Dimitrova, 2010). Bir diğer önemli faktör de verinin mevcudiyetidir. Yeterli veri desteği olmadan çok ayrıntılı sınıfların tanımlanması, sonuçta yüksek düzeyde belirsizliğe yol açar.

Buna göre, etkilenen alanların (örneğin konut binaları, ticari binalar, endüstriyel binalar, kamu sektörleri, altyapı ve tarım) sosyal ve/veya ekonomik işlevlerine dayalı olarak bir başlangıç sınıflandırması yapılabilir. Bu sınıflandırma, daha önce açıklandığı gibi, farklı özellikler ve bunların davranışları ve sel hasarını etkileyen parametrelerdeki farklılıklar nedeniyle tavsiye edilmektedir. Örneğin, araştırmalar, kentsel konut binaları için en önemli hasarı etkileyen parametrenin su derinliği olduğunu gösterirken (Cammerer ve ark., 2013), tarım bitkilerinde meydana gelen hasar, çoğunlukla selin zamanına ve süresine bağlıdır (Merz ve ark, 2010). Bu sınıflandırmaya ek olarak, yukarıda tartışıldığı gibi her kategori Tablo 5.12'deki gibi alt sınıflara ayrılabilir.

Tablo 5.12. Taşkın etkileri ve dayanıklılık faktörleri dahil olmak üzere hasarı etkileyen parametreler.

| Bölümler | | Etkileyen Parametreler |
|----------------------------|----------------------|--|
| Etki Parametreleri | Hasar yoğunluğu | Derinlik Hız Bulaşma Süre Sediment yükü Sıklık Zamanlama |
| | Acil durum önlemleri | Acil durum eylemleri |
| Dayanıklılık Parametreleri | Önlem ve deneyimi | Önlem eylemleri Eski sel deneyimi |
| | Bina özellikleri | Mülk kalitesi Mülkün değeri Kişi başına taban alanı |
| | Sosyoekonomik durum | Yardıma ihtiyacı olan sakinler Sahiplik durumu Aylık gelir Düşük eğitilmiş sakinler |
| | | |

5.5.2. Hasar fonksiyonları

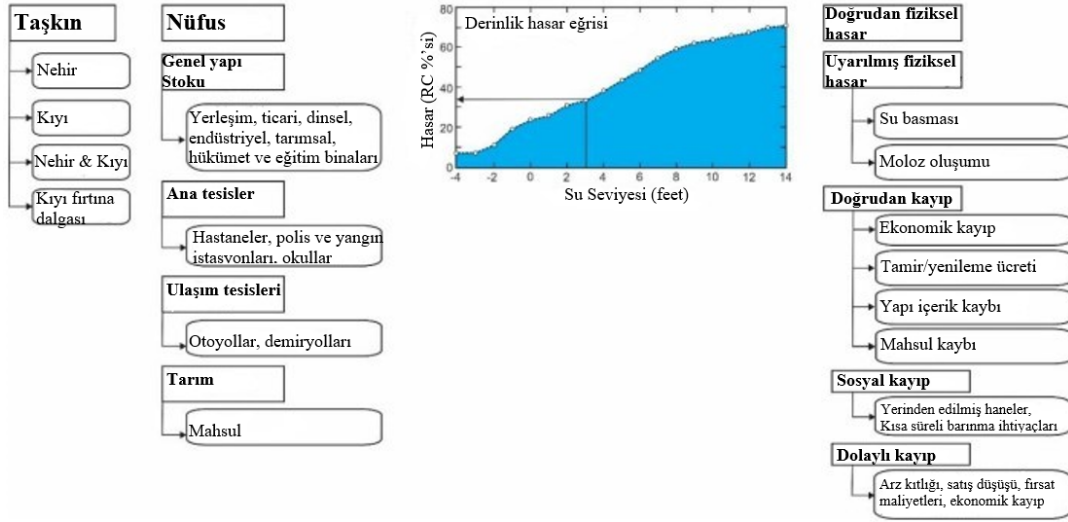
Hasar fonksiyonları göreceli veya mutlak ve ampirik veya sentetik olarak sınıflandırılır. Göreceli işlevler, zararın büyüklüğünü, hasar gören mülkün toplam değerinin (yani, amortisman değeri veya yenileme maliyetinin) bir yüzdesi olarak ifade ederken, mutlak işlevler, zararların boyutunu mali değerlerle gösterir (André ve ark, 2013; Hasanzadeh Nafari ve ark, 2017). FLEMO, HAZUS ve USACE yöntemleri birinci türün örnekleridir (Kreibich ve ark, 2010; Scawthorn ve ark, 2006; Thielen ve ark, 2008; USACE, 2003) ve ikinci yaklaşım için bir örnek ANUFLOOD'dur (Smith ve Greenaway, 1994). Şekil 5.10 tehlike, envanter, hasar görebilirlik ve risklerin şematik sunumunu göstermektedir.

TEHLİKE x ENVANTER

x

HASAR GÖREBİLİRLİK

= SONUÇLAR



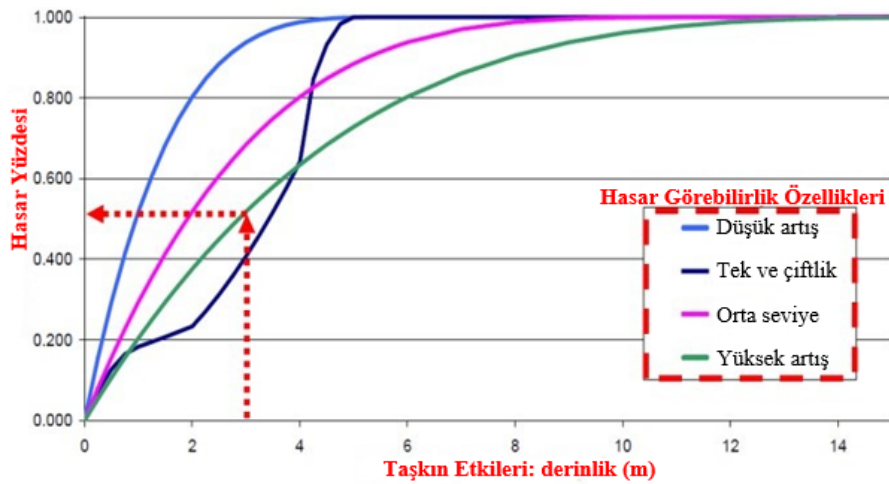
Şekil 5.10. Tehlike, envanter hasar görebilirlik ve risklerin şematik sunumu (Nastev ve Todorov, 2013).

5.5.3. Derinlik-hasar eğrileri

Gilbert F. White, 1945 yılında, risk altındaki elementin maruz kaldığı hasar ile taşkın derinliği arasındaki ilişkiyi temsil etmek için kullanılan derinlik – hasar eğrileri kavramını önerdi. Bu, doğrudan sel hasarı değerlendirmelerinin dayandığı temel yapı taşıdır (Smith ve Greenaway, 1994). O zamandan beri, hasar fonksiyonları sel kaybı tahmininde baskın fikir haline geldi. Bina tipi, yapı malzemesi ve doluluk gibi bina özelliklerini göz önünde bulundurarak farklı su altında kalma derinliğindeki ortalama hasarı temsil eder.

Derinlik – Hasar eğrileri, ampirik yaklaşım ve sentetik yaklaşım olmak üzere iki ana yaklaşım kullanılarak geliştirilebilir. Ampirik yaklaşım, bir sel olayı sonrasında veri toplamak için kapsamlı bir araştırma yürütür ve sel hasarı veya kayıplarının sel derinliği ile ilişkisini türetir. Toplanan veriler gerçek hasar bilgilerini içerir, bu nedenle kayıp fonksiyonunda daha fazla doğruluk ve her kategorideki tutarsızlıkların daha iyi tezahürü ve buna karşılık gelen su derinliği vardır (Gissing ve ark, 2004; Merz ve ark, 2004). Bununla birlikte, farklı büyüklükteki taşkınlar ve daha yüksek derinlikteki hasar detayları ile ilgili bilgilerin azlığı, ekstrapolasyon gerektirir. Almanya'dan Avustralya Modeli Anuflood (Dutta ve ark, 2003), FLEMOps (Thieken ve ark, 2008) ve FLEMOcs (Kreibich ve ark, 2010) ilk yaklaşımın örnekleridir. İngiltere'nin MCM modeli ise ikincisi için örnektir. USACE ve ABD'nin HAZUS-MH kayıp/hasar tahmin modellerinde olduğu gibi her iki yaklaşımı da birleştirmek mümkündür.

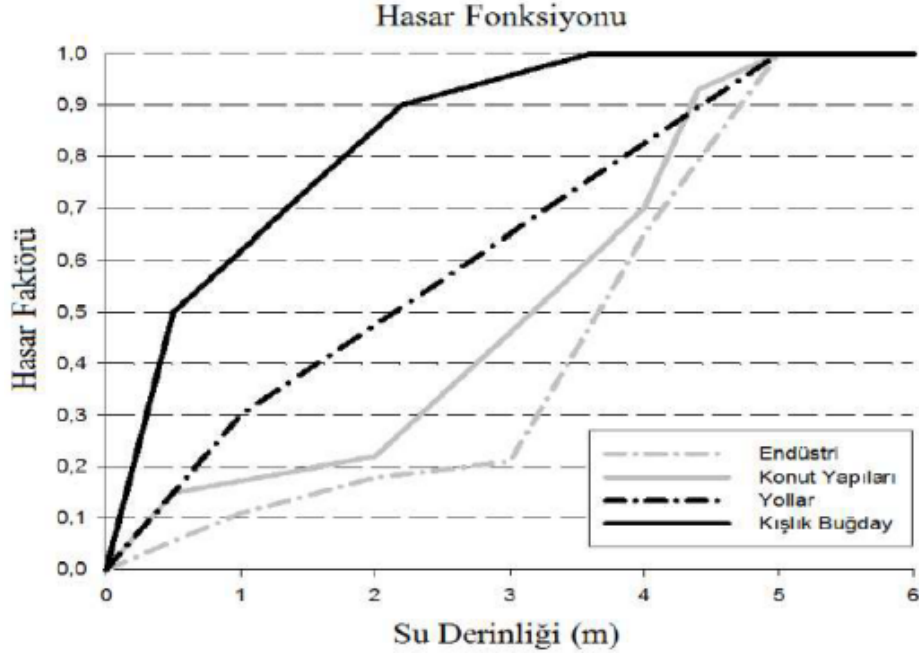
Taşkın sonrası ailelerin yaşadığı travma, hasar ve kayıp verilerini elde etmek için kapsamlı saha araştırmaları yapmayı zorlaştırıyor. Kayıp anketini geciktirmek, insanlar kayıplarını unutmaya başlayacağından elde edilen verilerin kalitesinin düşmesine neden olabilir. Bu durumda sentetik yöntemler işe yarar. Sentetik yöntem, what-if (varsayımsal) sorguları tarafından toplanan hasar verilerini kullanır. Ampirik yaklaşımla karşılaştırıldığında, kapsamlı hasar bilgisi kolaylıkla alınabilir (Pening-Rosell ve Chatterton, 1977). Herhangi bir gerçek sel olayına gerek olmadığı için, daha yüksek derecede standardizasyona sahip herhangi bir alanda kayıp fonksiyonları kolaylıkla geliştirilebilir (Smith ve Greenaway, 1994). Ancak bu süreç, her bir kategori için yeterli veriye ulaşmak için ayrıntılı ve büyük anketleri içeren zahmetlidir. Yöntem ayrıca, azaltma eylemlerinin etkisini ve binaların eşitsizliğini bir kategoriye dâhil etmede başarısız olmaktadır. Şekil 5.11’de göreceli bir seviye-hasar fonksiyonunun görsel hali sunulmuştur.



Şekil 5.11. Göreceli bir derinlik-hasar fonksiyonunun görselleştirilmesi.

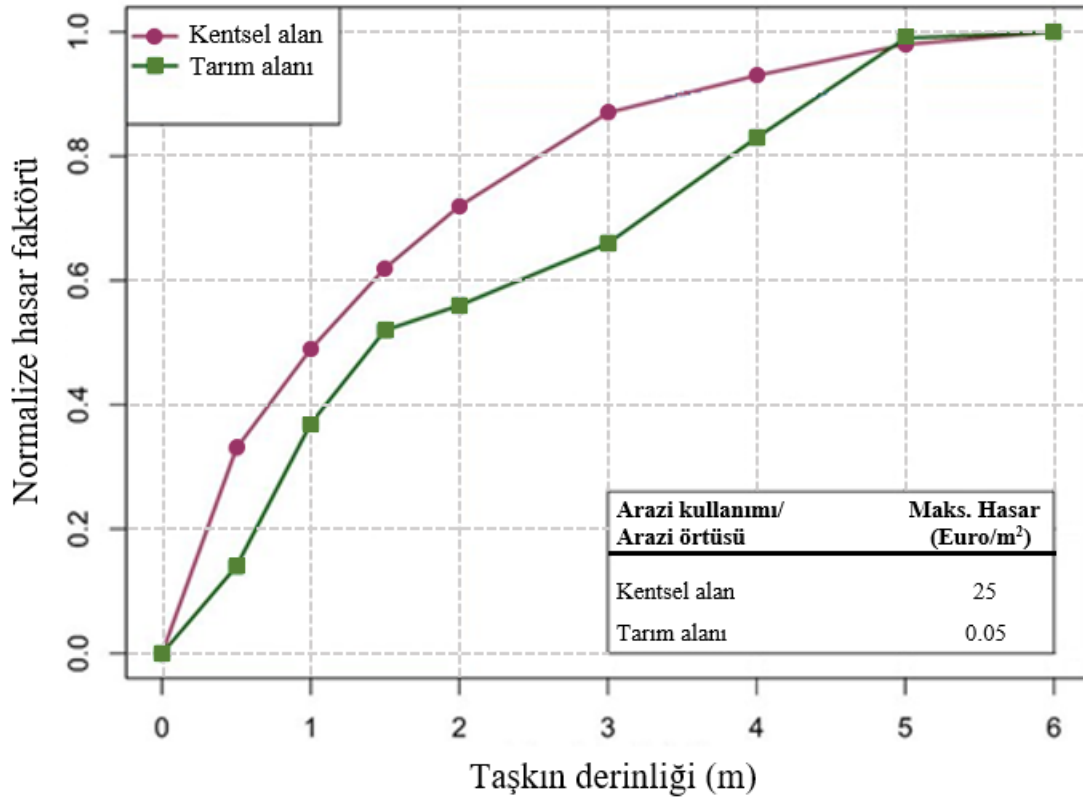
Bu tez kapsamında, ICBR, Huizinga (2017) ve van Eck ve Kok (2001) derinlik-hasar eğrilerinin yanı sıra Pistrika ve Jonkman (2010) denklemi ve HAZUS fonksiyonları kullanılarak taşkından sonra oluşacak zarar için hesaplamalar yapılmıştır.

Van Eck ve Kok (2001) derinlik-hasar eğrisi kışık buğday, yollar, konut ve endüstri, olarak dört sınıfa ayrılmıştır ve Şekil 5.12’de verilmiştir.



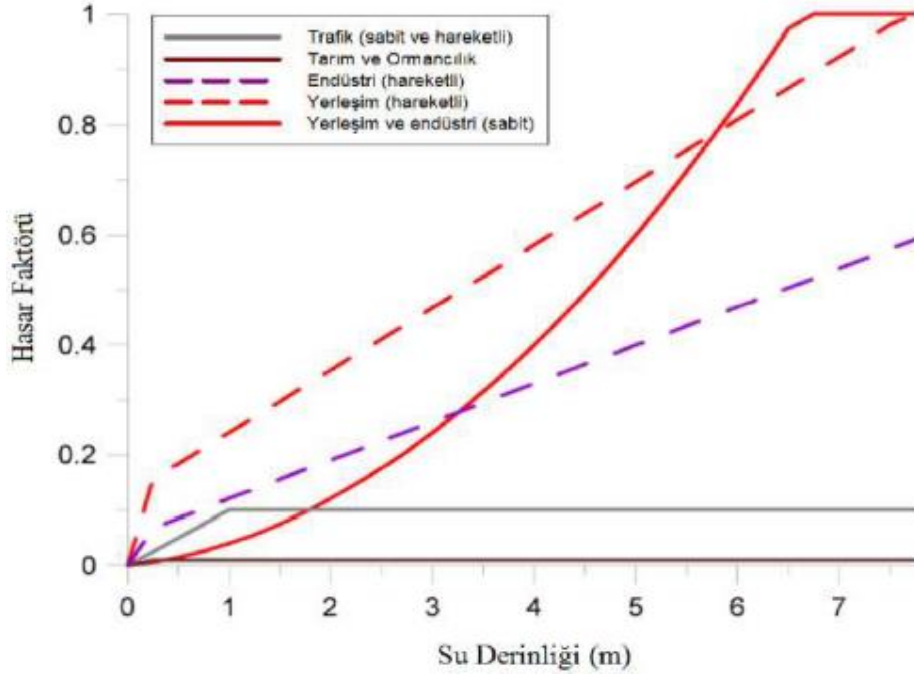
Şekil 5.12. Van Eck ve Kok hasar eğrileri.

Huizinga (2017) derinlik-hasar eğrisinde tarım ve kentsel alanlar olarak iki kategoriden oluşmaktadır ve aşağıdaki Şekil 5.13’de sunulmuştur.



Şekil 5.13. Huizinga (2017) derinlik hasar eğrisi.

ICBR tarafından geliştirilen derinlik-hasar eğrilerindeki beş kategori şu şekildedir; endüstri, yerleşim, tarım ve ormancılık ve trafik (ICBR, 2001; De Moel ve Aerts, 2011). Şekil 5.14, ICBR eğrisini göstermektedir.



Şekil 5.14. ICBR derinlik hasar eğrileri.

2005 yılında yaşanan Katrina kasırgasından sonra Pistrika ve Jonkman (2010), New Orleans'ta sular altında kalan binalarda meydana gelen hasarı incelemiştir. Bu çalışmalarında kamu bilgilerini alarak ekonomik zarar ile taşkın özellikleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlar ve buna dayanarak aşağıdaki denklemi türetmişlerdir.

$$D = 0.45 + 0.063dv^{0.654} \quad (5.43)$$

Burada, D taşkın zarar faktörünü (%), d taşkın derinliğini (m), v taşkın hızını (m/s) simgelemektedir. Pistrika ve Jonkman (2010) diğerler yöntemlerden farklı olarak taşkın hızını hesaplamaya katmaktadır ve zarar değerlendirilmesi yapılar üzerinde yapılmaktadır.

Derinlik – hasar eğrileri göreceli veya mutlak olabilir. Göreceli hasar fonksiyonları, toplam ikame değerinin yüzdesi cinsinden kaybı temsil eder. Mutlak zararı elde etmek için varlığın değeri kayıp oranıyla çarpılacaktır. Mutlak hasar fonksiyonları, kayıpları doğrudan para birimi cinsinden temsil eder. Göreceli ve mutlak hasar fonksiyonlarının olumlu ve olumsuz yönleri Tablo 5.13'de sunulmuştur.

Tablo 5.13. Göreceli ve mutlak hasar fonksiyonlarının karşılaştırılması.

| Fonksiyon | Avantajlar | Dezavantajlar |
|------------------------------|---|--|
| Göreceli kayıp fonksiyonları | Varlık değerleri kamuya açık veri kaynaklarından elde edildiğinden türetilmesi kolaydır. Piyasa dalgalanmalarından bağımsızdırlar. | Varlık değeri tahmini belirsizliği artırabilir |
| Mutlak kayıp fonksiyonları | Parasal kayıp, doğrudan hasarlı nesnenin değerinden hesaplanır | Kayıp verilerinin kalibrasyonu düzenli aralıklarla yapılmalıdır. |

Tablo 5.14, taşkın hasarını ve kayıplarını analiz eden ve tahmin eden çeşitli çalışmaları sunmaktadır. Burada; tehlike parametresi (derinlik, hız, dalgalanma, kirlilik vb.), taşkın tipi (tatlı su, nehir, deniz), hasar fonksiyonlarının türü (bağıl, mutlak veya çökme potansiyeli), geliştirme (ampirik veya sentetik), yapı malzemesi türü (duvar, ahşap, beton, çelik, tuğla veya diğer) ve ölçek (mikro, mezo veya makro).

Tablo 5.14. Mevcut taşkın kaybı tahmin modellerinin/yöntemlerinin gözden geçirilmesi.

| Çalışma | Ülke | Ölçek | Tehlike | Geliştirme | Fonksiyon | Yapı Malzemesi | Açıklama |
|---------------------------------|---------|---------------|---------|------------|-----------|----------------|--|
| Dutta ve ark. (2003) | Japonya | Mikro | D | E | R | Ahşap RCC | Yayınlanmış verilerden sel zararlarını değerlendirmek için bir matematiksel model geliştirdi. Hidrolojik modele benzer tek tip kare ızgaralar ağına sahip ızgara tabanlı kayıp tahmin modeli kullanılmıştır. Hem yapı hem de içeriği için derinlik-hasar eğrileri geliştirildi. |
| ICPR Modeli | Almanya | Mezo | D | E S | R | N.A | Almanya-HOWAS'ın sel kaybı veri tabanından binalar, hareketsiz ve ekipman için derinlik-hasar eğrileri geliştirilmiştir. Sel hasarı 5 kayıp fonksiyonu kullanılarak hesaplanır. |
| MURL Modeli | Almanya | Mezo | D | E | R | N.A | Konut ve ticari sektörler için bina, muhteviyat ve envanter için kayıp fonksiyonları oluşturulmuştur. |
| Hydrotec Modeli | Almanya | Mezo | D | E | R | N.A | HOWAS 21 veri tabanından alınan hasar verileri, konut mülkleri için kayıp fonksiyonlarını geliştirmek için kullanıldı. Kayıplar, bina yapı kaybı ve içerik kaybı dahil olmak üzere tek bir rakamda temsil edildi. |
| FLEMAOps (Thieken ve ark, 2008) | Almanya | Mezo Mikro | D C | E | R | N.A | Çok faktörlü konut sel kaybı tahmin modeli, Ağustos 2002'de Elbe ve Tuna havzasındaki büyük sel veri setinden geliştirilmiştir. Bina ve içindekiler için derinlik-hasar fonksiyonları geliştirildi. FLEMOps, kayıp fonksiyonlarını geliştirirken su derinliği dışında 3 bina tipi ve 2 kalite sınıfını da göz önünde bulundurmıştır. FLEMOps+ modelindeki 3 kirlilik sınıfı ve 3 önlem sınıfı için ölçeklendirme faktörleri türetilmiştir. |

Tablo 5.14. (Devamı) Mevcut taşkın kaybı tahmin modellerinin/yöntemlerinin gözden geçirilmesi.

| Çalışma | Ülke | Ölçek | Tehlike | Geliştirme | Fonksiyon | Yapı Malzemesi | Açıklama |
|---|------------|---------------|-------------|------------|-----------|----------------------|--|
| FLEMAOps (Kreibich ve Thieken, 2008) | Almanya | Mezo Mikro | D C P | E | R | N.A | Ticari zarar tespit modeli sektörü, ticari kuruluşların bina, ürün ve stoklarındaki mal ve teçhizata verilen hasarı iki aşamada tahmin etmiştir. İlk aşamada, şirketin ait olduğu ticari sektör türü, su derinliği ve şirket büyüklüğü dikkate alınarak zarar tahmini yapılır. İkinci aşamada, yukarıda elde edilen kayıp değerleri, uygulanan ihtiyati tedbirlerin etkisi ve taşkınlardan kaynaklanan kirlilik dikkate alınarak ölçeklendirme faktörleri ile çarpılacaktır. |
| Kang ve ark. (2005) | Tayvan | Mezo | D | S | A | N.A | Sosyo-ekonomik verilere dayalı olarak tek ve çok aileli konutlar için aşama-hasar eğrileri geliştirilmiştir. Hasarın mekansal karakteristiği, daha sonra toplu sosyal verileri ayrıştırmak için kullanılan mekansal veriler kullanılarak yakalandı. Model haneler sosyo-ekonomik verilere dayalı olarak inşa edilmiş ve sahiplik oranı %40'ın üzerinde olan ev aletleri model evde içerik olarak yer almıştır. Sentetik değerlendirmeler, müteahhitler, marangozlar ve işçilerle görüşmeden toplanan onarım maliyeti verilerine dayanıyordu. |
| Su ve ark. (2009) | Tayvan | Mezo | D | E | A | N.A | Nari tayfununun sel olayından sonra vergi indirimi dolgularından elde edilen hasar verilerinden yola çıkarak endüstriyel ve ticari sektörler için derinlik-hasar eğrileri geliştirildi. Bu sektörler daha sonra imalat, perakende ticaret, toptan ticaret ve hizmetler sektörlerine de ayrıldı. Ayrıca küçük ölçekli ve büyük ölçekli olarak gruplandırılmıştır. Daha sonra her kategori ve alt grup için kayıp fonksiyonları geliştirildi. |
| Dale ve ark. (2004) | Avustralya | | D V | | C P | Tuğla Elyaf Ahşap | Konut yapısının çöktüğü su derinliği ve hızının kritik kombinasyonu, ABD'de Black (1975) tarafından kullanılan metodolojiye dayalı olarak türetilmiştir. Su derinliği ve hızının çeşitli kombinasyonları için, her yapı için hidrodinamik kuvvetler, kaldırma kuvveti ve öz ağırlık değerlendirilerek çökme eğrileri geliştirildi. |
| CH2M Hill | USA | N.A | D V | | D | N.A | Derinlik-hasar eğrileri geliştirilmiş ve kayıplar parasal olarak ifade edilmiştir. Hız ve derinliğin kritik kombinasyonu için Çöküş potansiyeli oluşturuldu. |

Tablo 5.14. (Devamı) Mevcut taşkın kaybı tahmin modellerinin/yöntemlerinin gözden geçirilmesi.

| Çalışma | Ülke | Ölçek | Tehlike Geliştirme | Fonksiyon | Yapı Malzemesi | Açıklama | |
|----------------------------|---------|-------|-----------------------|-----------|-------------------|---------------------|---|
| JICA | Tayland | Mikro | D Süre | E | A | N.A | Araştırılan verilere dayalı olarak kayıp fonksiyonları geliştirilmiştir. Konut ve endüstriyel alanlar için taşkın kayıpları, taşkın derinlikleri ile taşkın süresi arasında doğrusal bir ilişki sergilemiştir. |
| McBean ve ark. (1988a) | Kanada | N.A | D | S | A | Duvarcılık Ahşap | Mülakat anketlerinden elde edilen potansiyel yapısal ve içerik hasarları, her bina tipinin derinlik-hasar eğrilerini geliştirmek için kullanıldı. 28 farklı yapısal kategori 7 temel grupta incelenmiştir. Daha sonra taşkın kayıpları tespit edildi ve yapı tipleri arasında çok fazla olduğu bulundu. Nihai taşkın kayıpları, 7 temel yapı tipinden alınan ortalama hasar eğrileri kullanılarak tahmin edildi. |
| McBean ve ark. (1988b) | Kanada | N.A | D Süre V Buz | S | A | N.A | Kanada'daki 7 derinlik-hasar eğrisi için uzun süreli sel, sel uyarısı, yüksek hız ve buzun etkilerini yansıtmak için ayarlama faktörleri geliştirilmiştir. Hane halkı özelliklerinin sel zararları üzerindeki etkileri regresyon analizi ile araştırılmıştır. Ancak, farklı konut kategorilerinde sel hasarlarındaki değişkenlik güvenilir olarak belirlenmemiştir. |
| Pistrika ve ark. (2014) | ABD | Mezo | D V | E | C P | N.A | New Orleans'taki Katrina kasırgasından sonra konut sektörü için ekonomik hasar ve sel özellikleri arasındaki ilişki analiz edildi. Bu çalışmadaki istatistiksel analiz, hız veya taşkın derinliği veya derinlik ve hız ürünü ile hasar yüzdesi arasındaki doğrudan ilişkinin olmadığı sonucuna varmıştır. İncelenen polderlerdeki hasarın doğasında sel özellikleri önemli bir rol oynamıştır. Set arızalarından kaynaklanan sel hasarlarının kapsamını belirlemek için, Clausen (1989)'in kriterine benzer şekilde, derinlik ve hız çarpımına dayalı olarak farklı hasar bölgelerini ayırt etmek için alternatif bir yaklaşım önerilmiştir. Derinlik-hız çarpımına dayalı hasar fonksiyonu daha sonra türetilmiştir. |

Tablo 5.14. (Devamı) Mevcut taşkın kaybı tahmin modellerinin/yöntemlerinin gözden geçirilmesi.

| Çalışma | Ülke | Ölçek | Tehlike | Geliştirme | Fonksiyon | Yapı Malzemesi | Açıklama |
|---------------------------|---------------|------------------------|---------|------------|-----------|--|--|
| Schwarz ve Maiwald (2008) | Almanya | Mikro Mezo Macro | D V | E | R | Kil Pre-Fab Çerçeve Duvar SSB | Su derinliği ile birlikte yapısal parametreleri (direnç parametresi) dikkate alan binaların mühendislik değerlendirmesi kullanılarak yeni bir hasar ve kayıp tahmin modeli önerildi. Çalışma, hasarları, sel etkisi ve kayıpları birbirine bağlayan hasar derecelerine göre sınıflandırdı. Daha sonra EMS 98'in geliştirilmesi için kullanılan prosedüre dayalı olarak hasar dereceleri geliştirildi. Ağustos 2002 taşkınları, Bavyera'daki 2005 taşkınları ve Saksonya'daki 2006 taşkınlarından elde edilen veriler kullanılarak ve geliştirilen hasar derecesi kullanılarak yapıların hasar görebilirlik sınıfları belirlendi. |
| Risk Alanı Taşkın Modeli | Yeni Zellanda | Makro Mezo | D V | E S | R | Ahşap RCC Duvarcılık | Hem yapı hem de içeriği için kırılma eğrileri geliştirilmiştir. Yapısal hasarlar, her bir bina tipiyle ilişkili hasar oranlarıyla birlikte hasar durumlarında ifade edildi. İçerik hasarları, her kata ayrı ayrı uygulanabilen tek bir kırılma eğrisi kullanılarak temsil edildi. Hızın etkisi, diğer araştırma çalışmalarında ayrıntılı olarak açıklanan yaklaşım kullanılarak hesaplanmıştır (Black, 1975; Dale ve ark, 2004). Derinlik-hız ürünü, hasarı selden kaynaklanan hasar, hızdan kaynaklanan ek hasar ve son olarak tamamen çökme olarak sınıflandırdı. |
| Hasar Tarayıcı Modeli | Hollanda | Mikro | D | S | R | | Taşkın suyu derinliği ve arazi kullanımı bilgilerine dayalı olarak, yedi derinlik – hasar fonksiyonu ile olası taşkın zararları hesaplanmıştır. |

(D: Derinlik, V: Hız, Dur: Süre, E: Ampirik, S: Sentetik, R: Bağlı ve A: Mutlak)

5.5.4. HAZUS-MH taşkın modeli

HAZUS-MH, rüzgâr, sel ve deprem gibi doğal afetlerin neden olduğu hasarı bölgesel ölçekte hesaplamak için FEMA tarafından orijinal olarak ABD için desteklenen ve şu anda dünya genelinde kullanılan bir araçtır (FEMA, 2013). HAZUS-MH sel modeli, sel hasarında son teknolojiyi kullanan ArcGIS tabanlı bir araçtır. FEMA tarafından ve ayrıca Birleşik Devletler Ordusu Mühendisler Birliği (USACE) tarafından geliştirilen derinlik-hasar eğrilerine dayalı değerlendirme (Schneider ve Schauer, 2006). Model, ekonomik kaybı (McGrath ve ark, 2015), barınma gereksinimini ölçmeyi (Vecere ve ark, 2017), selin toplum üzerindeki etkisini değerlendirmeyi ve hafifletmeye yardımcı olmayı amaçlamaktadır (Blais ve ark, 2006). Bu hasar tahmin modeli nehir kıyısı, kıyı ve nehir/kıyı sel tehlikelerini üç analiz düzeyinde (düzey 1, düzey 2 ve düzey 3) gerçekleştirebilir (FEMA, 2013).

Model hidrolojik ve hidrolik bir analiz gerçekleştirir. Hidrolojik analiz için model, USGS tarafından geliştirilen her bir erişim için Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) ve bölgesel regresyon denklemlerini kullanarak her bir hidrolojik bölge için yıllık aşılma olasılığı ile deşarj değerlerini hesaplar (Jennings ve ark, 1994). Hidrolik analiz 2B olarak yapılı ve kanal ile taşkın yatağı sınırı arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak herhangi bir noktadaki taşkın derinliğini hesaplamak için kademe-deşarj ilişkisini (derecelendirme eğrisi) kullanır. Bir akış kesitindeki hızlar, her bir kesit için deşarj ve akış alanı arasındaki oran olarak hesaplanır. Taşkın hızları, bir kesitteki taşkın derinliğinin ortalama derinliğe bölünmesiyle hesaplanır.

Taşkın parametrelerinin (taşkın derinliği ve taşkın hızı) elde edilmesi için gereken girdi verileri DEM, oluşma sıklığı, akış hızı ve kesitlerdir. Çıktılar, taşkın derinliği ızgaraları ve hız ızgaralarıdır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki herhangi bir bölge için derinlik-frekans bilgisi, Dijital Sel Sigortası Oran Haritaları, Q3 verileri (FEMA'nın 1999 Sel Sigortası Oran Haritalarına karşılık gelir) gibi derinlik-frekans verilerinden elde edilebilir. Diğer ülkeler için kullanıcının bu bilgilere sahip olması gerekir.

Doğrudan ve dolaylı ekonomik kayıplar daha sonra tüm bileşenler için derinlik-hasar eğrileri kullanılarak tehlike analizinin sonuçlarına dayalı olarak tahmin edilir (binalar, ulaşım, temel tesisler ve kamu hizmetleri). Tarımsal kayıplar için, diğer faktörlere bağlı olan ampirik bir formül uygulanır. Sosyal etkiler, konutların yaşanabilirliğinin

kaybı nedeniyle barınmaya ihtiyaç duyan insan sayısı ve ölümler açısından tahmin edilmektedir. Tarımsal kayıplar için, diğer faktörlere bağlı olan ampirik bir formül uygulanır. Sosyal etkiler, konutların yaşanabilirliğinin kaybı nedeniyle barınmaya ihtiyaç duyan insan sayısı ve ölümler açısından tahmin edilmektedir.

HAZUS-MH'de kullanılan sel hasarı fonksiyonları, esas olarak, toplam yenileme maliyeti açısından sel suyunun yüksekliğini karşılık gelen hasar miktarıyla ilişkilendiren aşama-hasar eğrileri kümesidir. HAZUS-MH taşkın kayıp tahminlerinde kullanılan derinlik-hasar eğrileri çalışma alanına bağlı olarak Federal Sigorta İdaresi (FIA), USACE, USACE Su Kaynakları Enstitüsü (USACE IWR) gibi farklı kaynaklar tarafından geliştirilmiştir (Scawthorn ve ark, 2006). Kayıp tahmini için HAZUS-MH tarafından tip ve içeriğine göre kütüphaneden derinlik-hasar eğrileri seçilir (FEMA, 2013). Hasar eğrileri, doluluk sınıfı, bina tipi, temel tipi, bina yaşı, birinci kat kotu ve sel derinliği gibi çok sayıda faktöre bağlıdır.

HAZUS-MH modeli, genel bina stokları (metrekare, doluluk tipi, bina sayıları vb.), temel hizmetler (polis karakolu, okullar, hastaneler, itfaiye istasyonları, potansiyel kayıp tesisleri (nükleer santraller), taşıma sistemleri (yollar ve köprüler) ve kamu hizmetleri (elektrik, içme suyu, gaz) dahil olmak üzere bilgileri içeren ulusal düzeyde varsayılan toplu veri tabanı üzerinde çalışır.

HAZUS-MH'nin avantajlarından biri, gerekli girdi verilerini tamamlamak için kullanılabilecek Amerika Birleşik Devletleri Nüfus Sayımı ve diğer ulusal veri tabanlarından alınan kırılmalı envanter ve tehlike verilerini içermesidir. Modelin tüm süreçleri HAZUS-MH yazılımı üzerinden otomatikleştirilir. Deterministik ve olasılıksal risk değerlendirmesini hesaplar. Hasarların mekansal dağılımını gözlemlemek için sonuçlar tablo ve harita formatında elde edilebilir. Sosyal riski tahmin eder. Öte yandan, modelin ABD koşullarına ağır bir şekilde kalibre edilmiş olması dezavantajına sahiptir ve modelde yer alan bina tipleri için derinlik-hasar fonksiyonları ABD bina tiplerine uygulanabilir. Ayrıca yazılım, ArcGIS yazılımının çalışmasını gerektirir ve açık kaynak değildir.

5.5.5. HAZUS-MH kayıp tahmininde belirsizlikler

HAZUS-MH gibi maliyet değerlendirme modelleri, rafine veri kaynakları ve hasara neden olan süreç hakkında bilgi eksikliği nedeniyle her zaman belirli derecede belirsizliklere maruz kalmaktadır (Meyer ve ark, 2013). Model tahmininde belirsizliklere yol açan taşkın kaybı tahmininde (Merz ve ark, 2004) ve modelin karmaşıklığı ile daha da artan (Schröter ve ark, 2014) çeşitli parametreler vardır. Bazı çalışmalar, bu belirsizliklerin hidrolojik bileşenden (De Moel ve Aerts, 2011), modelleme tekniklerinden (Horritt ve Bates, 2002) ve derinlik-hasar eğrilerinden (Merz ve ark, 2010) kaynaklandığını göstermektedir.

HAZUS-MH model tahmini, temel olarak SYM kalitesinden, taşkın derinliklerinin hesaplanmasından, bina veri tabanının doğruluğundan ve bir hasar modelinin tahmininden kaynaklanan belirsizlikleri içerir (Tate ve ark, 2014).

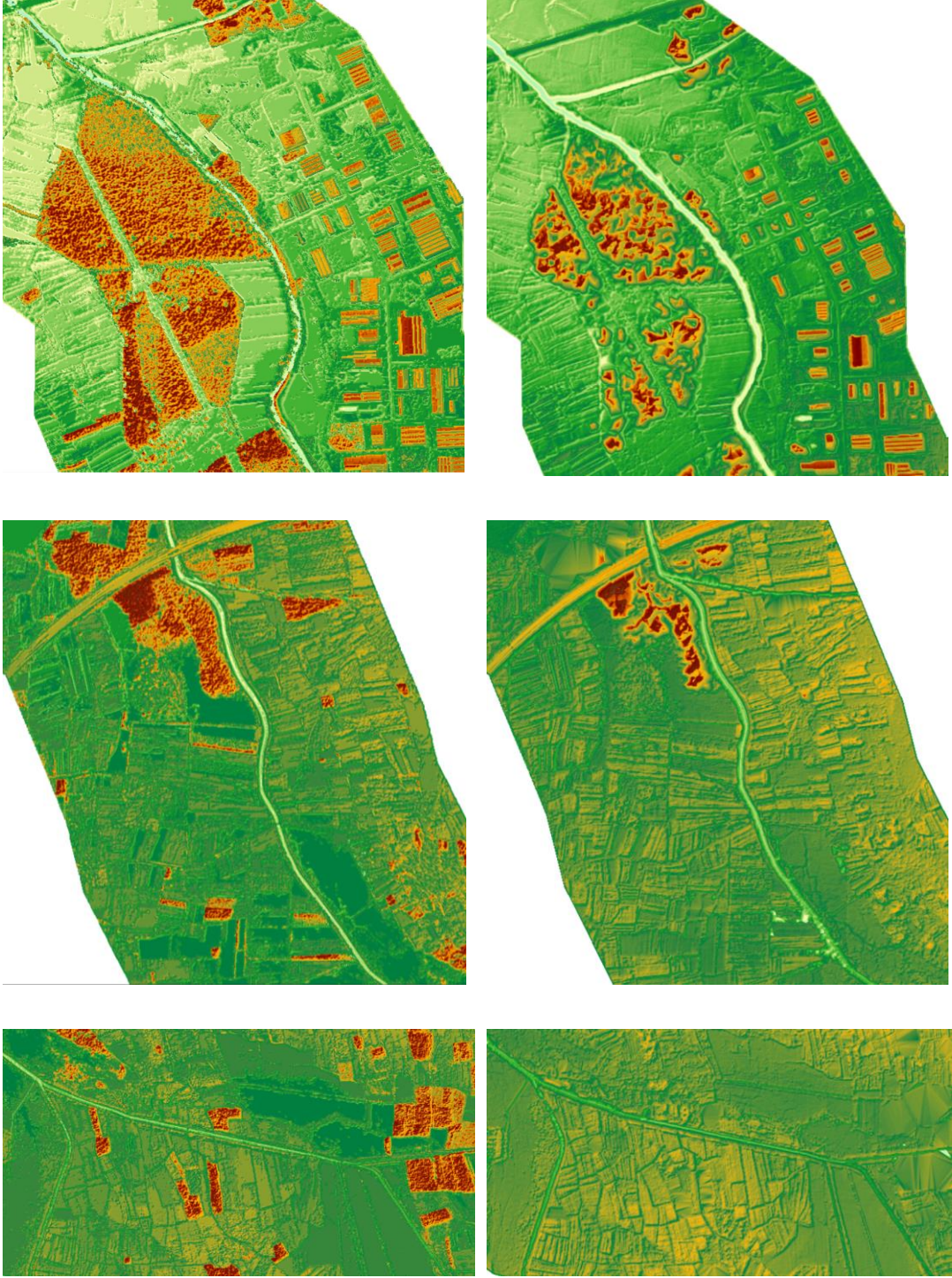
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Model Sonuçları

Büyük bir taşkın sonrasında taşkın hasarının değerlendirilmesi, planlamacıların, acil müdahale ekiplerinin ve sigorta şirketlerinin atması beklenen önemli adımlardan biridir. Taşkın hasarının değerlendirilmesi, taşkın önleme yöntemlerinin değerlendirilmesi, taşkın hassasiyetinin çalışılması, risk haritalaması ve karşılaştırmalı risk analizi için çok önemlidir. Bununla birlikte, taşkın hasarı modelinin tahmininin doğruluğu, yalnızca çok sayıda model girdisinden etkilenmekle kalmaz, aynı zamanda belirli derecede belirsizliklerle de ilişkilidir. Bu nedenle, bu araştırmanın genel amacı, tek boyutlu (1B) ve iki boyutlu (2B) hidrolik simülasyon, envanter ve topografik verilerin seçiminden hasar tahmininin nasıl etkilendiğini araştırmaktır.

Dinsiz Çayı havzası içerisinde çayı temsil edecek havzaya ait yersel ölçümler kurumlardan temin edilemediği için (imar haritaları, hali hazır haritalar, sayısal yüksek modeli) çalışmada kullanılan SYM, “Çevre Şehircilik Bakanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemler Genel Müdürlüğü’nden temin edilen 1 metre çözünürlüklü, üç boyutlu nokta bulut verileri GIS tabanlı programlar yardımıyla oluşturulmuştur. Ancak oluşturulacak modellerin daha iyi sonuç vermesi için SYM’de bulunan çukurlar doldurulup tepeler kırılarak iyileştirme işlemleri yapılmıştır, değişiklikler Şekil 6.1’de sunulmuştur.

Bakanlıktan temin edilen verilerin sınırlı olması, (veriler temin edildiği tarihte henüz çalışma alanının tamamı için ölçüm yapılmamış olmaması) çalışma alanını genişletip havza sınırını belirlemek için “<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>” web adresinden güncel görüntüleri indirerek kullanmayı gerekli kılmıştır. Bakanlıktan temin edilen veri indirilen görüntünün içine gömülerek Dinsiz Çayı ve 1’er km sağ ve sol hattını temsil edilen sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir.



Şekil 6.1. Sayısal yükseklik modelinin ham veri (sol taraf) ve işlenmiş veri (sağ taraf) görüntüleri.

Dinsiz Çayı, Sakarya ili Hendek ve Akyazı ilçelerinin sınırlarından geçer ve Mudurnu Çayı'nın bir kolu olarak doğar. Hendek civarında kaynağını bulan bu çay, daha sonra doğudan Fabrika Dere ve Balıklı Dere, güneyden Bıçkı ve Gürcü Deresi ile birleşir ve nihayetinde Mudurnu Bataklığı'na doğru yol alır. Bataklığın büyümesi ile bu bölgede

Dinsiz Çayı, Mudurnu Çayı ile birleşir ve Sakarya Nehri'nin kuzeyinde ovanın sularına karışır. Dinsiz Çayı, Mudurnu Çayı'nın en uzun koludur ve 34 kilometrelik bir uzunluğa sahiptir. Kaynağını Sakarya'nın Hendek İlçesi'nde Keremali Dağı'ndan alır. Dinsiz Çayı'na önce doğudan Fabrika Dere, daha sonra güneybatıdan Bıçkı Dere-Kallen dereleri, daha sonra da doğudan Balıklı Dere karışır. Mudurnu Çayı'nın Sakarya Nehri'ne katıldığı noktadan yaklaşık 3.6 kilometre önce, Adapazarı-Akyazı-Hendek ilçe sınırlarının kesiştiği bir bölgede Mudurnu Çayı ile birleşir. Ortalama akımı yıllık $10.67 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir (2013-2017).

Çalışma alanı ilk olarak derenin 1'er km sağ ve solu sınır olacak şekilde belirlenmiş olsa da, kurulan modeller sonucu bunun yeterli olmadığı görülmüş ve daha sonra internetten indirilen SYM haritaları yardımıyla sınırlar mümkün olduğunca genişletilmiştir. Çalışma alanı olarak buranın seçilmesinin nedeni, çayın hemen yakınında şehrin en önemli gelir kaynaklarından biri olan Hendek 2. Organize sanayi bölgesinin burada olmasıdır. Ayrıca tarım alanları, şehirlerarası otoyola ve yaşam alanları da çaya çok yakındır.

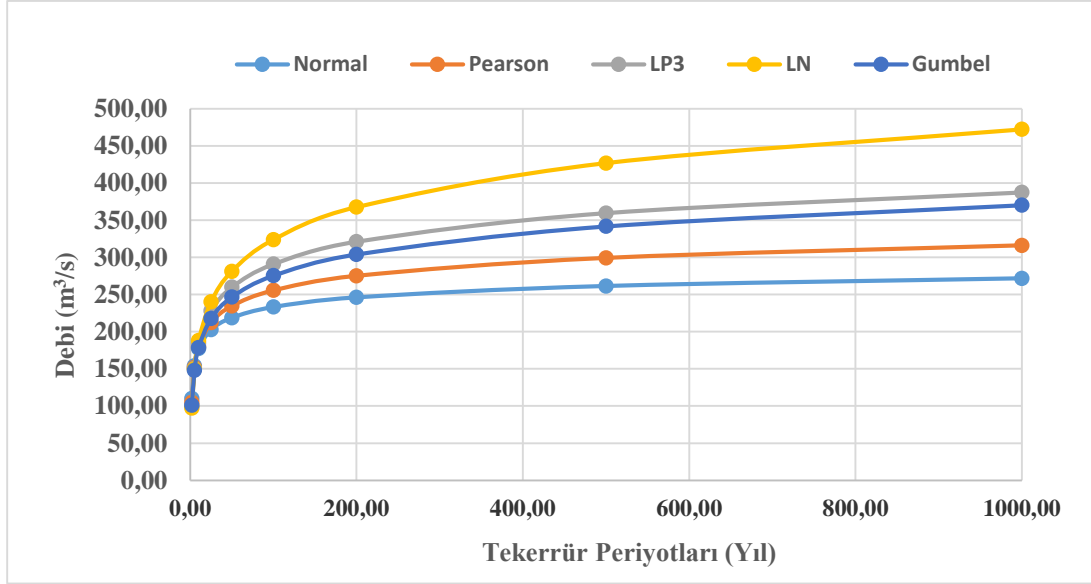
6.2. Taşkın Debilerinin Elde Edilmesi

Taşkın debileri, yağıştan akışa geçiş ve Olasılık Dağılım Fonksiyonları (ODF) yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan dağılım fonksiyonları şu şekilde sıralanır; G, LN-T2, LN-T3, N, P-T3, LP-T3. Dinsiz Çayı AGİ verisinin yetersiz olması nedeniyle, yağıştan akışa geçiş yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemde kullanılan yağış gözlem istasyonları Hendek, Akyazı ve Gölyaka'dır.

Akarsularda yapılan akım ölçümleri ve bunların analizleri taşkın tekerrür debilerini hesaplarken en çok kullanılan ve ilk akla gelen yöntemlerden biridir. Ancak ülkemizdeki tüm akarsularda ölçüm yapılamadığından veya istatistiksel analizler yapabilmek için yeterli veri bulunmadığından her zaman akım gözlem ölçümleri kullanılmamaktadır. AGİ'lerin çalışma alanını temsil edebilmesi için ilgili uzun yıllar gözlem yapmış olması ve bu değerlere sahip olması taşkın analizlerinde önemli rol oynamaktadır. Dinsiz Çayı'nı temsil eden veriler yeterli uzunluğa sahip değildir (12 yıl) ayrıca akım gözlem istasyonu çayı temsil edecek noktada değildir. Dinsiz Çayı'na yakın olan AGİ'nin YAMA değerleri kullanılarak diğer yöntemlerle karşılaştırmak için taşkın tekerrür analizleri gerçekleştirilmiştir.

6.2.1. Akım verilerinin istatistiksel analizi

G, LN-T2, LN-T3, N, P-T3, LP-T3 dağılımları, Dinsiz Çayı YAMA verilerine uygulanarak 2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık taşkın tekerrür debileri elde edilmiştir ve bu değerler Şekil 6.2’de sunulmuştur. Tablo 6.1’de ise bu değerlerin uygunlukları gösterilmektedir.



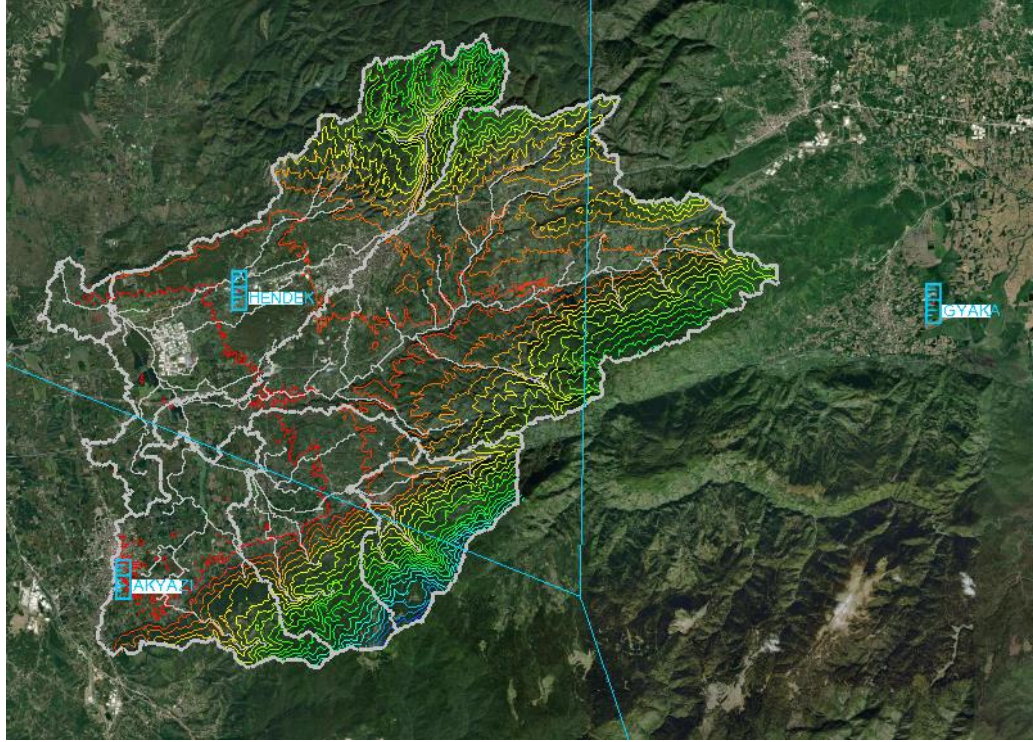
Şekil 6.2. E12A019 numaralı AGİ istasyonunun istatistiksel yöntemlere göre dağılımı.

Tablo 6.1. E12A019 numaralı AGİ istasyonunun dağılım fonksiyonları ve sıralamaları.

| Dağılım | Kolmogorov Smirnov | | Anderson Darling | | Chi-Squared | |
|-----------------|--------------------|------|------------------|------|-------------|------|
| | İstatistik | Sıra | İstatistik | Sıra | İstatistik | Sıra |
| Gumbel Max | 0.11357 | 33 | 0.87158 | 29 | 3.5477 | 28 |
| Log-Pearson 3 | 0.08843 | 12 | 0.59382 | 10 | 2.9282 | 18 |
| Log-normal | 0.09348 | 14 | 0.74287 | 23 | 1.8575 | 1 |
| Log-normal (3P) | 0.09233 | 13 | 0.69456 | 16 | 2.8989 | 17 |
| Normal | 0.11925 | 35 | 0.77534 | 25 | 2.6486 | 8 |
| Pearson 5 (3P) | 0.1 | 23 | 0.70836 | 20 | 2.8359 | 15 |

6.2.2. Yağış verilerinin ODF değerlendirmesi

Dinsiz Çayı Havzası, Thiessen poligonlarına göre Hendek, Akyazı ve Gölyaka meteoroloji gözlem istasyonlarının etki alanının içerisinde yer almaktadır. İstasyonların konumları ve Thiessen poligonları Şekil 6.3’de yer almaktadır.



Şekil 6.3. Çalışma alanındaki istasyonların Thiessen Poligonlarına göre durumu.

Bu gözlem istasyonlarına ait uzun yıllar gözlem değerleri mevcut olmasına rağmen bazı uç değer ve eksik değerler vardır. Uç değerler seriden çıkarılmıştır, eksik değerler ise istasyonlar arası benzerlik kurularak regresyon analizleri ile bulunmuştur. Daha sonra akın gözlem istasyonundaki değerlerde olduğu gibi olasılık dağılım fonksiyonları bu seriler için hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken EasyFit programı kullanılmıştır. Program hem kullanım ve hesap açısından kolaylık sağlamış hem de Smirnov, Chi Kare testlerine göre en uygun dağılımın hangisi olduğunu sunmuştur. Aşağıdaki Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6’da sırasıyla Akyazı, Hendek ve Gölyaka istasyonlarının yağış değerlerinin uygulanan istatistiksel yöntemlerden en uygun olanına göre dağılımları verilmiştir. Tablo 6.2, 6.3 ve 6.4’de ise diğer dağılım fonksiyonları ve uygunluk sıraları sunulmuştur. Hendek istasyonu için Log-normal daha uygun görünmektedir ancak dağılım incelendiğinde LogPearson 3 hidrolojik açıdan daha uygun görüldüğü için LogPearson 3 kullanılmıştır. Şekil ve tablolar Easyfit programı yardımıyla elde edilmiştir.

Tablo 6.2. Akyazı istasyonunun dağılım fonksiyonları ve sıralamaları.

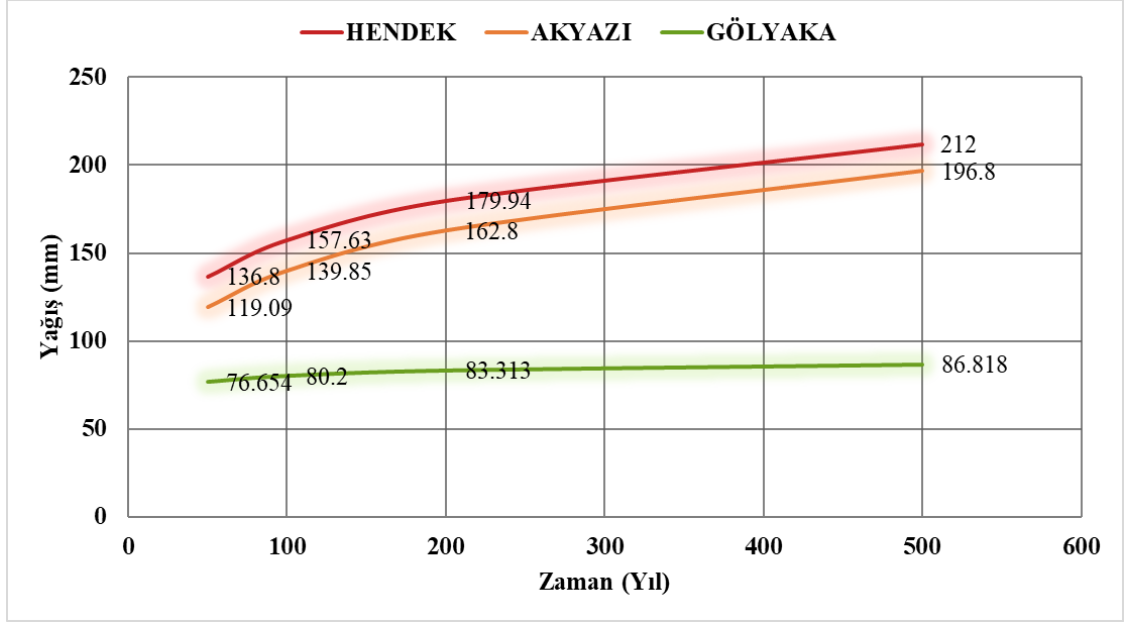
| Dağılım | Kolmogorov Smirnov | | Anderson Darling | | Chi-Squared | |
|-----------------|--------------------|------|------------------|------|-------------|------|
| | İstatistik | Sıra | İstatistik | Sıra | İstatistik | Sıra |
| Gumbel Max | 0.15827 | 27 | 0.47467 | 17 | 2.4488 | 20 |
| Log-Pearson 3 | 0.12823 | 17 | 0.32318 | 4 | 0.59017 | 6 |
| Log-normal | 0.16222 | 28 | 0.52161 | 18 | 2.4643 | 22 |
| Log-normal (3P) | 0.09146 | 2 | 0.33987 | 6 | 1.0282 | 11 |
| Normal | 0.22299 | 42 | 1.174 | 30 | 6.2369 | 42 |
| Pearson 5 (3P) | 0.09654 | 5 | 0.3193 | 3 | 1.474 | 15 |

Tablo 6.3. Hendek istasyonunun dağılım fonksiyonları ve sıralamaları.

| Dağılım | Kolmogorov Smirnov | | Anderson Darling | | Chi-Squared | |
|-----------------|--------------------|------|------------------|------|-------------|------|
| | İstatistik | Sıra | İstatistik | Sıra | İstatistik | Sıra |
| Gumbel Max | 0.11199 | 11 | 0.42995 | 20 | 0.89205 | 8 |
| Log-Pearson 3 | 0.10792 | 9 | 0.37631 | 6 | 2.7763 | 40 |
| Log-normal | 0.09706 | 2 | 0.40007 | 8 | 1.0035 | 14 |
| Log-normal (3P) | 0.12952 | 23 | 0.42827 | 18 | 0.84006 | 4 |
| Normal | 0.17154 | 42 | 1.1009 | 38 | 2.6248 | 37 |
| Pearson 5 (3P) | 0.12155 | 18 | 0.41993 | 15 | 1.615 | 28 |

Tablo 6.4. Gölyaka istasyonunun dağılım fonksiyonları ve sıralamaları.

| Dağılım | Kolmogorov Smirnov | | Anderson Darling | | Chi-Squared | |
|-----------------|--------------------|------|------------------|------|-------------|------|
| | İstatistik | Sıra | İstatistik | Sıra | İstatistik | Sıra |
| Gumbel Max | 0.29285 | 46 | 0.80266 | 42 | N/A | |
| Log-Pearson 3 | 0.22386 | 14 | 0.43317 | 10 | N/A | |
| Log-normal | 0.2737 | 38 | 0.60237 | 31 | N/A | |
| Log-normal (3P) | 0.23601 | 21 | 0.52766 | 20 | N/A | |
| Normal | 0.22649 | 16 | 0.45298 | 11 | N/A | |
| Pearson 5 (3P) | 0.25835 | 30 | 0.55295 | 23 | N/A | |



Şekil 6.4. Akyazı- Hendek-Gölyaka yağış istasyonunlarının olasılıksal yöntemler ve tekerrür periyotlarına göre beklenen değerleri.

6.3. Yağıştan Akışa Geçiş Yöntemi

Çalışmada kullanılan debileri elde etmek için yağıştan akış geçiş yönteminden yararlanılmış bunun için de HEC-HMS programı kullanılmıştır. Programda debi hesabı yapabilmek için SCS Curve Number yöntemi ile hesaplamalar yapılmış, Curve Number değeri arazi kullanım haritası ve toprak haritası CBS ortamında üst üste çakıştırılarak yaklaşık 70 bulunmuştur.

6.4. Manning Pürüzlülük Katsayısının Elde Edilmesi

Manning sürtünme katsayısını etkileyen bir çok faktör vardır. Bunlar; seviye ve debi, bitki örtüsü birikim ve aşınma, kanal şekli, boyutu ve enkesti, kanal düzensizliği, yüzey pürüzlülüğü, kanal eğriliği, mevsimsel değişimler olarak sıralanabilir. Pürüzlülük katsayıları çalışma alanında uzaktan algılama görüntü sınıflandırma teknikleriyle elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan manning pürüzlülük değerleri için bölüm 4.6’da sunulan Corrine arazi kullanım haritalasından yararlanılmıştır. HEC-RAS 2B model yaparken kullanılan DEM verisinin altına açılan manning haritası ile çakıştırma yapılarak bölgelere karşılık gelen “n” değerleri programa eklenmiştir.

6.5. Hidrolik Modelleme

Taşkın alanlarını HEC-RAS ile tanımlamak için, nehir veya nehirlerin taşkın tekrar debilerini hesaplamak, Manning katsayılarını ve nehirde bulunan yapıların geometrik özelliklerini bilmek gereklidir. Bu bölümde, taşkın modelleri HEC-RAS programı kullanılarak hem bir boyutlu hem de iki boyutlu olarak uygulanmıştır.

6.5.1. Bir boyutlu modelleme

Bir boyutlu modelleme SYM, taşkın debileri, araziden alınan en kesitler, 6. Bölümde gösterilen Manning pürüzlülük değeri haritası ve köprülere ait geometrik bilgiler kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra su yüzü profilleri elde etmek için Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} ve Q_{500} tekerrür debilerine göre nehir kesitleri kullanılmıştır. Taşkın haritaları içine bir boyutlu modelleme kullanılmamıştır, bu modeller akarsu kesitlerinin ve köprülerin taşıma durumunu anlamaya yardımcı olmuştur.

Dinsiz Çayı Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} ve Q_{500} tekerrür debilerinde arazinin düşük kotlarına doğru daha çok yayılma eğilimi göstermektedir. Bir boyutlu modeller taşkın yayılımlarını incelemek için yeterli olmadığından iki boyutlu modeller taşkın yayılımının gerçekçi ve kesintisiz bir şekilde elde edebilmek için kullanılmıştır.

Bir boyutlu modeller ile taşkın yayılımı oluşturmak için enkesitler büyük önem taşımaktadır, en kesitlerin genişlikleri yeterince artırılabilir veya araziyi temsil edebilmek için daha sık enkesitler alınabilir. Ancak bu tez çalışmasında arazi yapısı çok elverişli olmadığı için alınan en kesitler ile modellerde kullanılmamıştır. Ayrıca, sadece enkesitlere bağlı olarak üretilen taşkın yayılım haritalarında suyun hareketini tek yönlü düşünmenin doğruluğu iki boyutlu modellerden daha azdır.

Bu tez çalışması kapsamında bir boyutlu modeller sadece taşkın yayılımını incelemek maksadıyla üretilmemiştir, burada asıl amaç programın işleyişini anlamak ve ön çalışma yapmış olmaktır. Taşkın yayılımı bir boyutlu modellerde kesit geometrisine göre değişiklik gösterebileceğinden taşkın yayılımını daha iyi anyalabilmek amacıyla iki boyutlu modeller HEC-RAS 2B programıyla oluşturulmuştur.

6.5.2. İki boyutlu modelleme

İki boyutlu modeller kullanılarak Sakarya Dinsiz Çayı'nda farklı tekerrür debileri için taşkın yayılım haritaları oluşturulmuştur. Hidrolik analizler HEC-RAS 2B programıyla yapılmıştır. Modellemede Manning sürtünme katsayıları 3. Bölümde

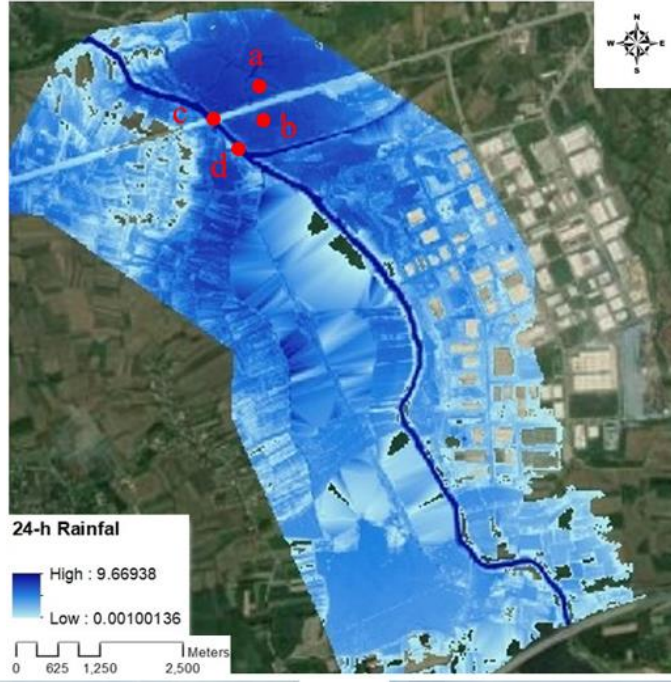
verilen değerler kullanılarak programa girilmiştir. Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} ve Q_{500} tekerrür debileri hidrolik modellere eklenerel taşkın farklı yıllara ait taşkın senaryoları oluşturulmuştur.

Tekerrür debilerine ait su seviyeleri belirlendikten “RAS Mapper” yardımıyla tüm veriler ArcGIS’e aktarılmıştır. Bu sayede taşkın yayılım haritaları elde edilmiştir.

6.6. Kalibrasyon

Kalibrasyon yaparak arazi şartlarını oluşturmak için daha önceki yıllarda meydana gelmiş olan taşkınlara ait verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler: taşkın debisinin, taşkının akarsu kesitlerinde (binalarda ve köprülerde gözlenen su izleri gibi) ölçülmüş su seviyelerinin, uydu görüntülerinin ve taşkın yayılım alanının görüldüğü görüntülerdir.

Bu tez kapsamında ilk olarak daha önceki taşkın uydu görüntülerinin olup olmadığı çeşitli kurumlara sorulmuş ancak ne taşkın anında ne de yakın tarihlerde herhangi bir uydu görüntüsü olmadığı öğrenilmiştir. Bu yüzden 2021 yılı temmuz ayında meydana gelen taşkın izleri, fotoğraflarıyla (şekil 6.5) mekansal tespitler yapılarak ve yaşanmış olan bu taşkının yağış verisi ile bir model oluşturularak kalibrasyon yapılmıştır. 2 boyutlu model ile kalibrasyon yapılırken taşkının meydana geldiği bölgeyi içine alacak şekilde alan oluşturulmuştur. Model sonuçları ile taşkının meydana geldiği yerlerdeki su seviyeleri incelenmiştir.



Şekil 6.5. 2021 Temmuz ayı Akyazı Hendek ilçelerinde meydana gelen taşkına ait yağış verileri ve fotoğraflar ile yapılan kalibrasyon.

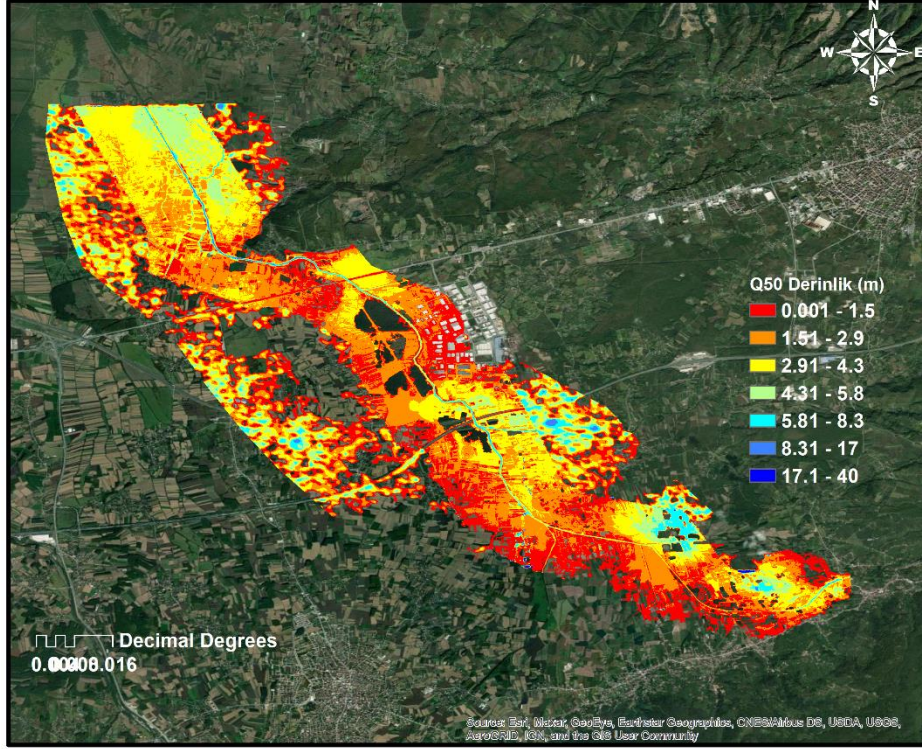
6.7. Taşkın Tehlike Haritaları

6.7.1. Taşkın yayılım haritaları

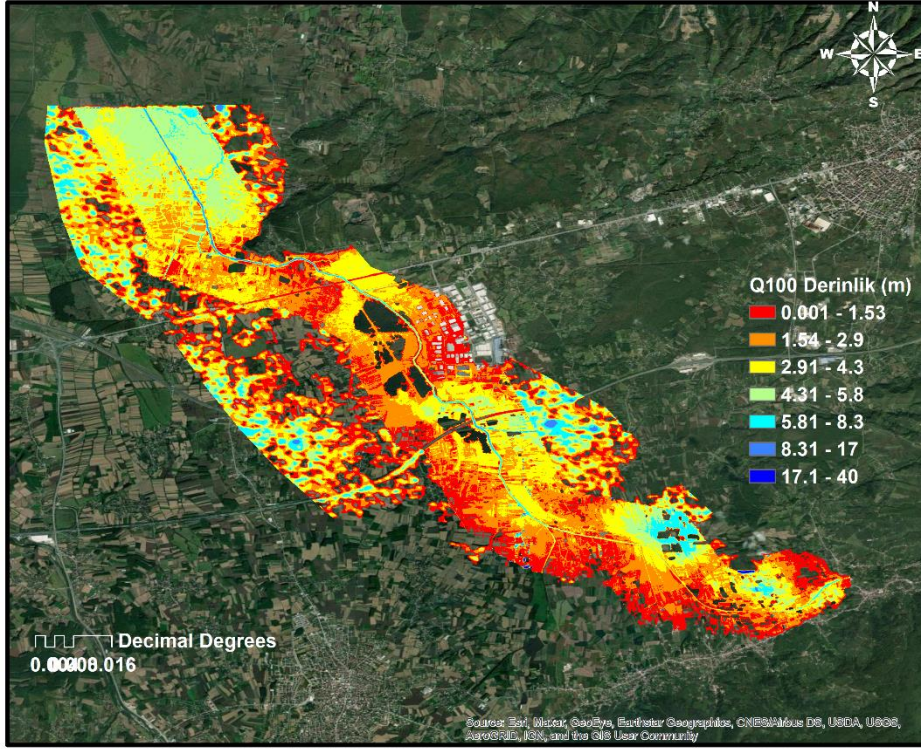
Q₅₀₀, Q₁₀₀, Q₂₀₀ ve Q₅₀₀ debilerine göre yayılım alanları gösteren haritalar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

6.7.2. Taşkın derinlik haritaları

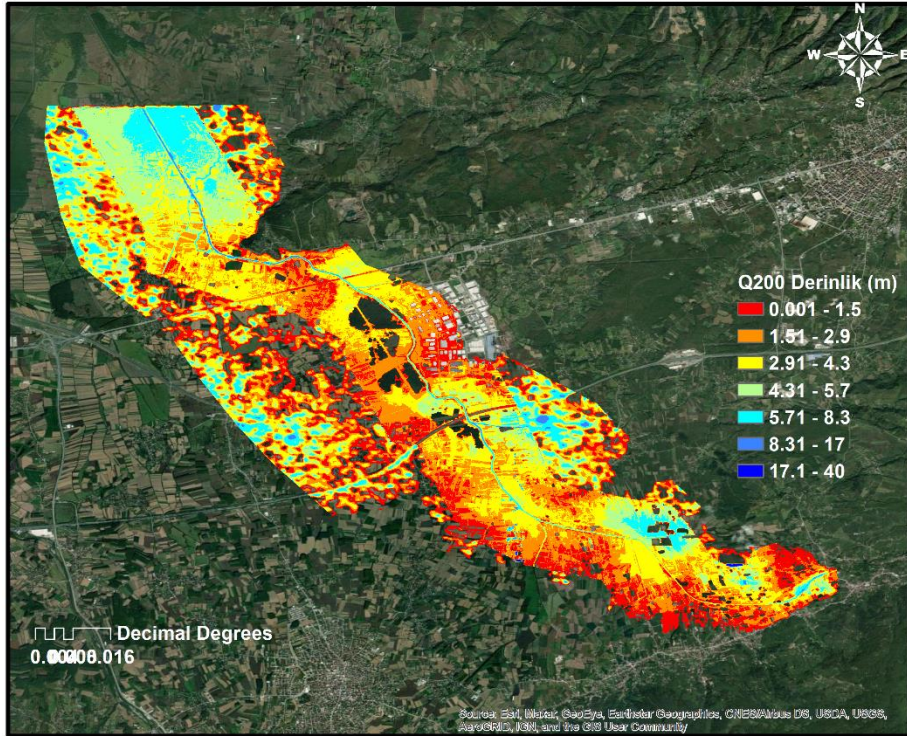
Tehlike, risk haritalarının oluşturulmasında ve taşkın zararlarının hesaplanmasında taşkın derinlik haritaları, kullanılmaktadır. Su derinliklerinin daha iyi anlaşılması için haritalarda su derinliği 7 sınıfa ayrılmıştır, renklere göre her derinlik sınıfında ne etkilenen alanların büyüklüğü de görülmektedir. Şekil 6.6-6.9'de Q₅₀, Q₁₀₀, Q₂₀₀ ve Q₅₀₀ taşkın debileri için derinlik sınıflarına göre haritalar verilmiştir.



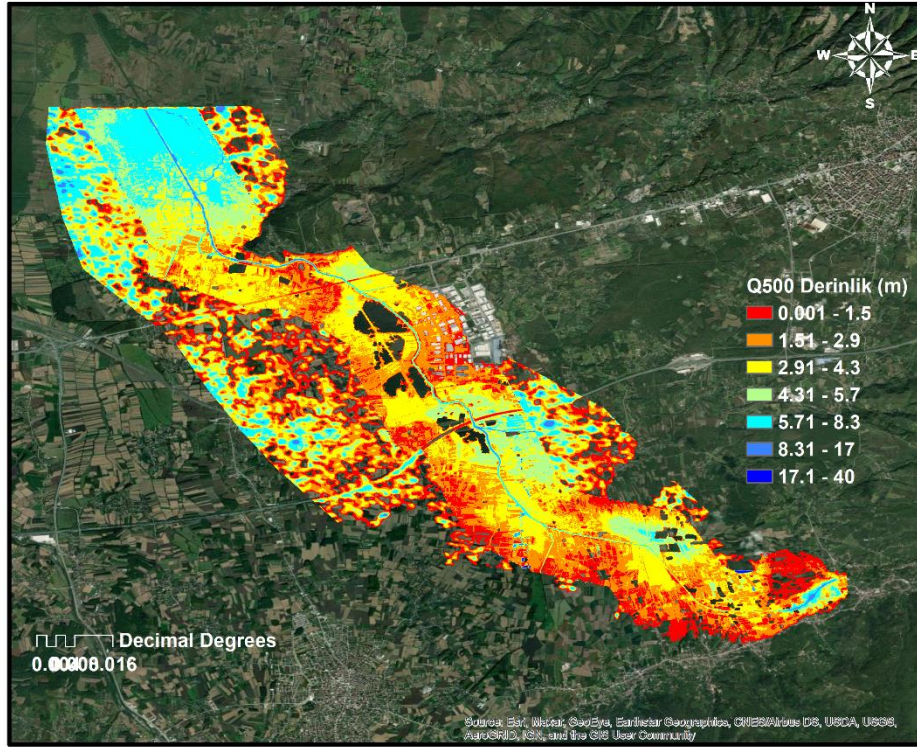
Şekil 6.6. 50 yıllık debi için gelebilecek su seviyesi haritası.



Şekil 6.7. 100 yıllık debi için gelebilecek su seviyesi haritası.



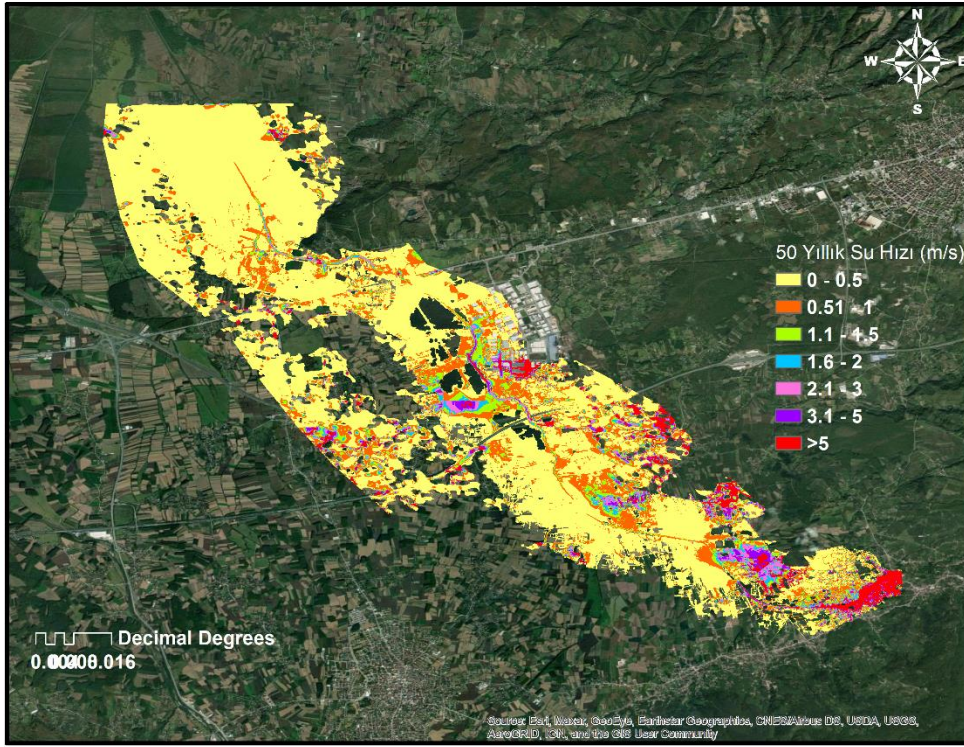
Şekil 6.8. 200 yıllık debi için gelebilecek su seviyesi haritası.



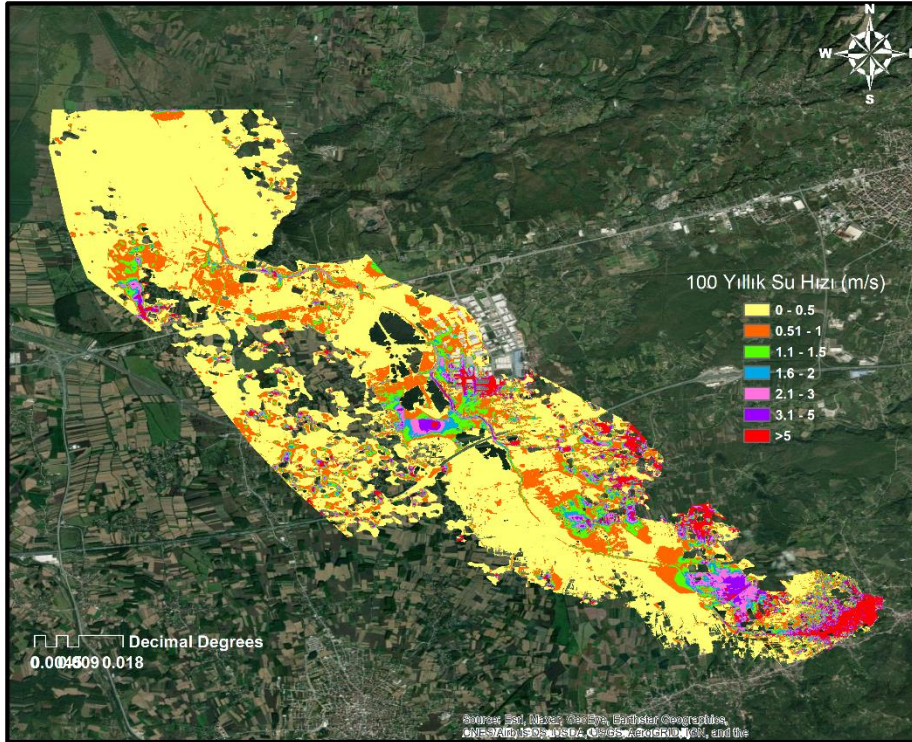
Şekil 6.9. 500 yıllık debi için gelebilecek su seviyesi haritası.

6.7.3. Taşkın su hızı haritaları

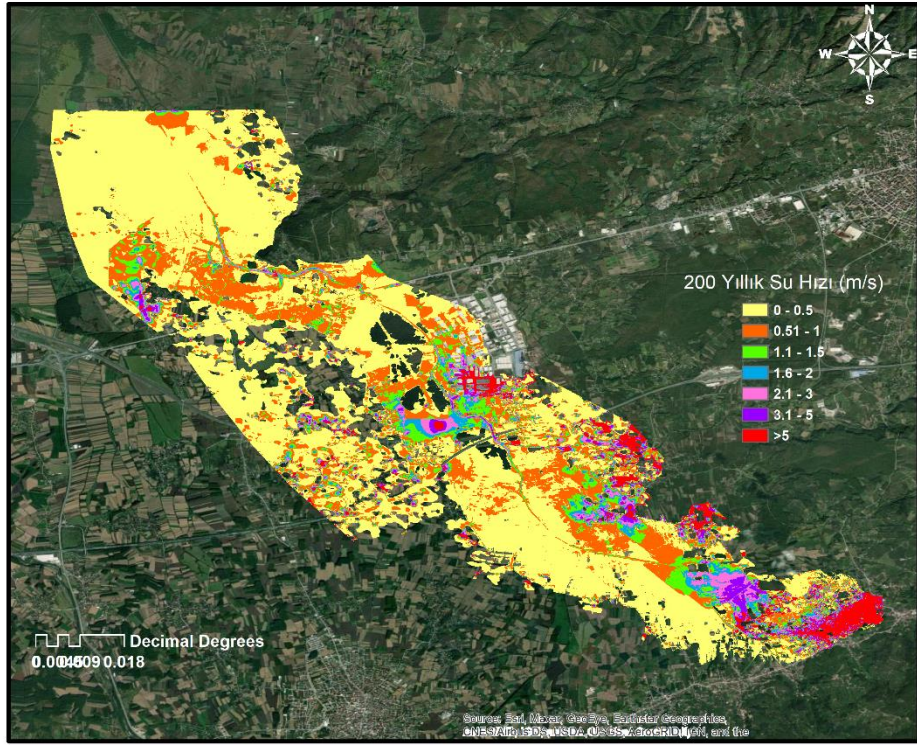
Taşkın derinlik haritaları gibi su hızı haritaları da taşkın risk haritalarını elde etmek ve taşkın zararlarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Su hızını daha iyi anlamak için haritalarda su hızı 7 sınıfa bölünmüştür. Şekil 6.10-6.11’de sırasıyla 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrür debileri için su hızı haritaları sunulmuştur.



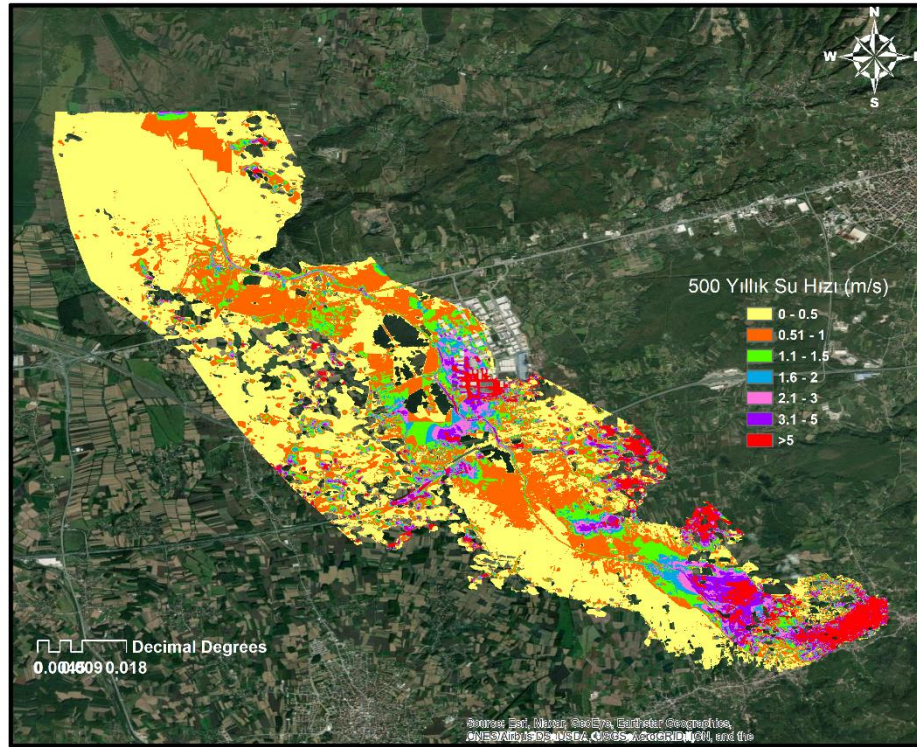
Şekil 6.10. 50 yıllık debiye göre oluşabilecek su hızı haritası.



Şekil 6.11. 100 yıllık debiye göre oluşabilecek su hızı haritası.



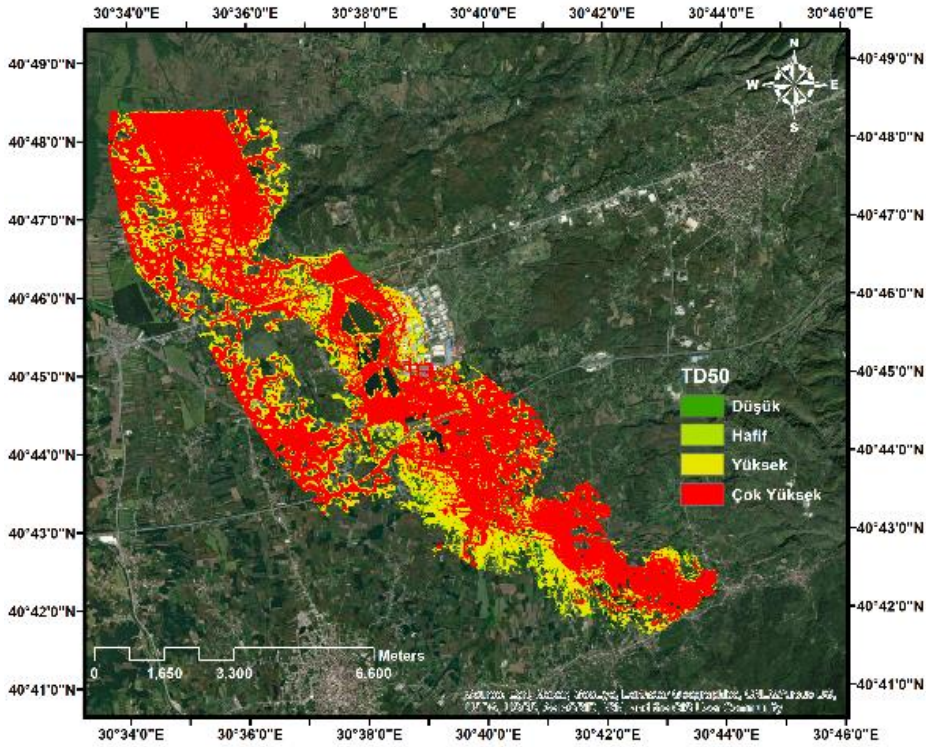
Şekil 6.12. 200 yıllık debiye göre oluşabilecek su hızı haritası.



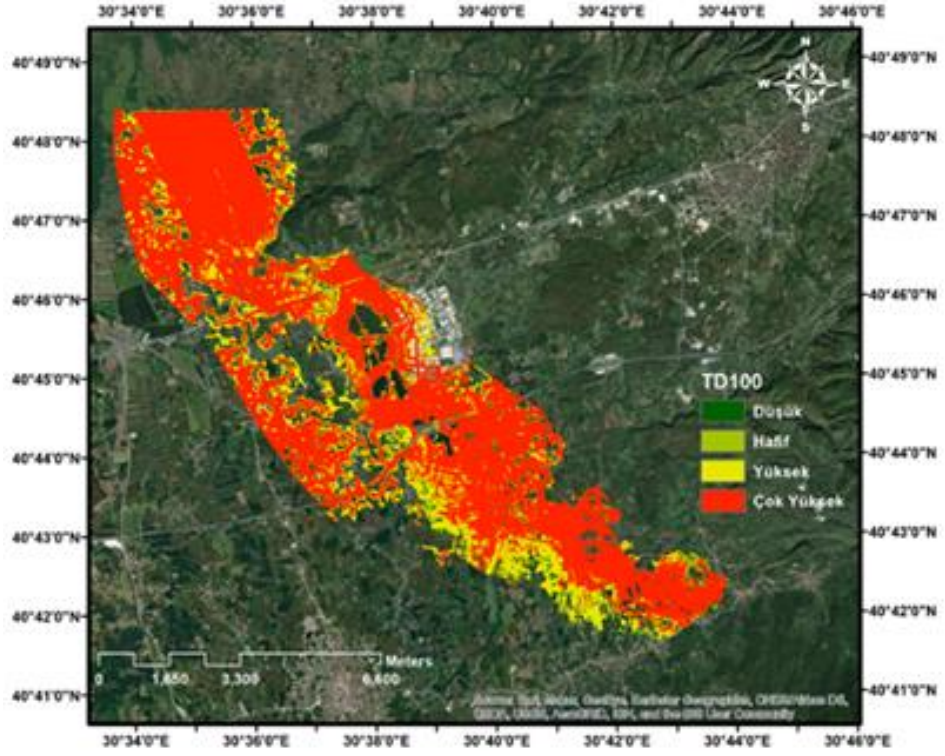
Şekil 6.13. 500 yıllık debiye göre oluşabilecek su hızı haritası.

6.7.4. Taşkın tehlike seviyesi haritaları

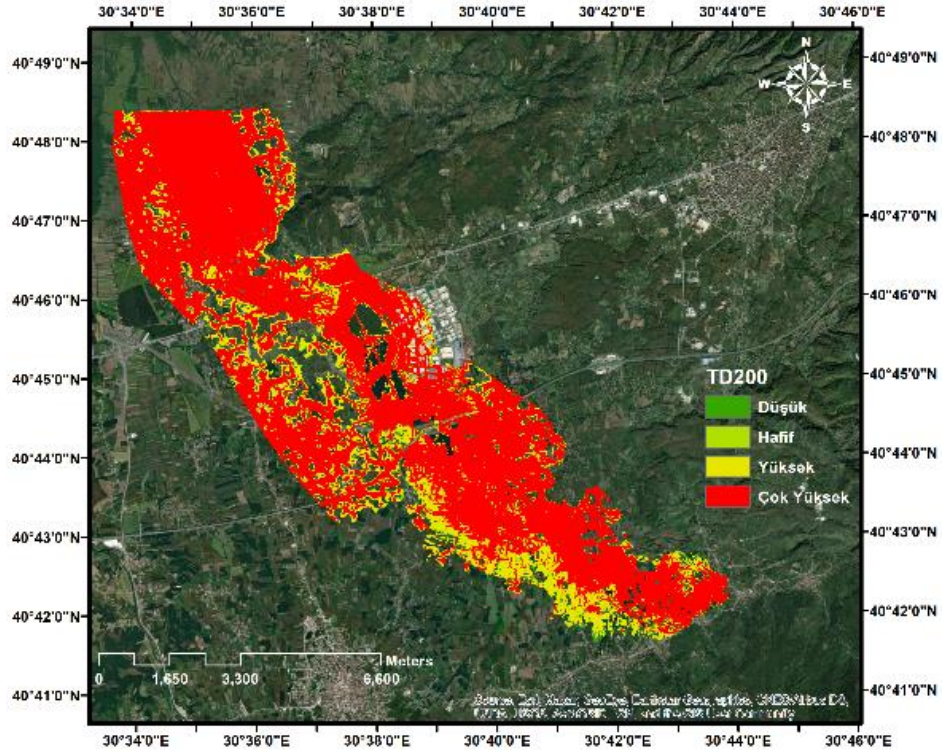
Taşkın tehlike seviyesi haritaları DEFRA yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında ekonomik kaybı hesaplanan alan organize sanayi bölgesi olduğu için tüm harita boyunca alanın değişmediği kabul edilmiş ve buna göre DEFRA yönteminde kullanılan moloz faktörü kent olarak alınmıştır. Taşkın tehlike seviyesi haritaları farklı tekerrür debileri için aşağıdaki Şekil 6.14 - 6.17’de sunulmuştur.



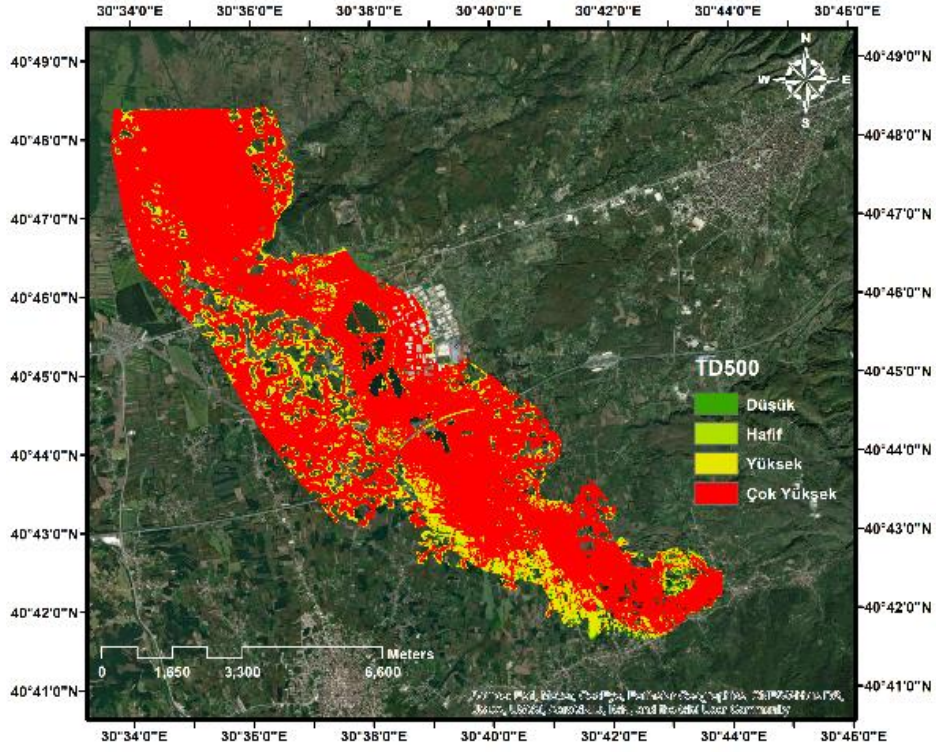
Şekil 6.14. 50 yıllık tekerrür debisi için DEFRA yöntemine göre taşkın tehlike seviye haritası.



Şekil 6.15. 100 yıllık tekerrür debisi için DEFRA yöntemine göre taşkın tehlike seviye haritası.



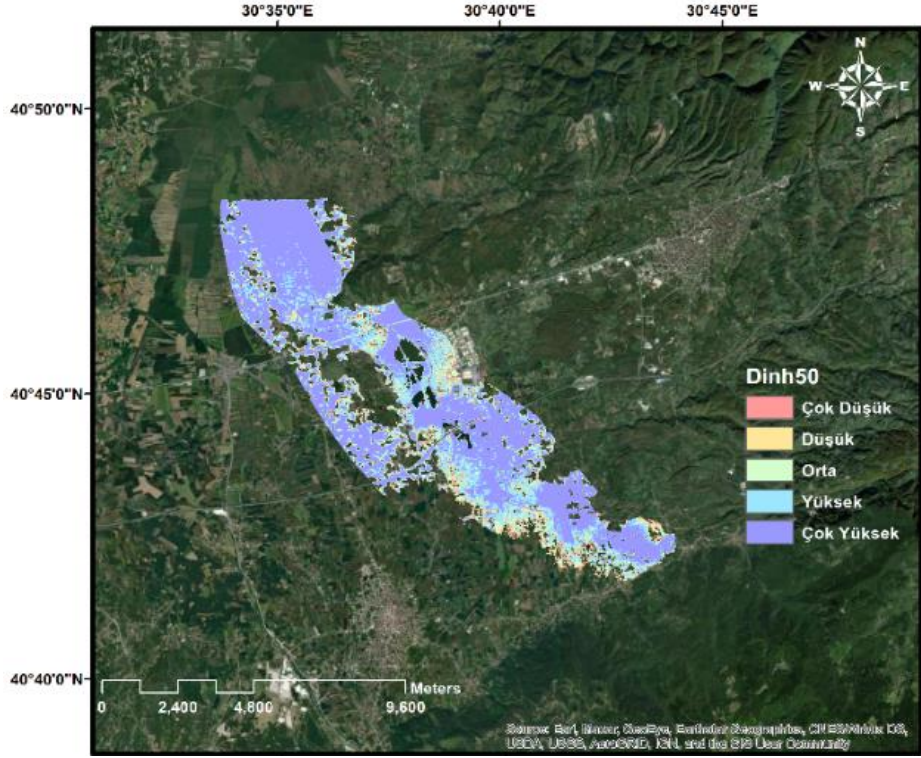
Şekil 6.16. 200 yıllık tekerrür debisi için DEFRA yöntemine göre taşkın tehlike seviye haritası



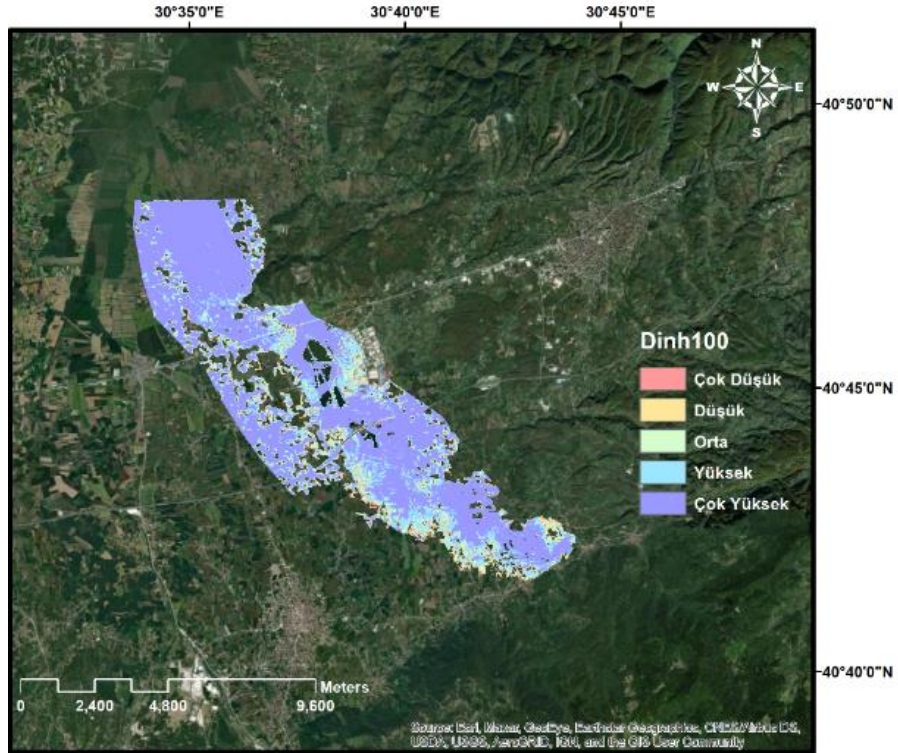
Şekil 6.17. 500 yıllık tekerrür debisi için DEFRA yöntemine göre taşkın tehlike seviye haritası

6.7.5. Taşkın risk haritaları

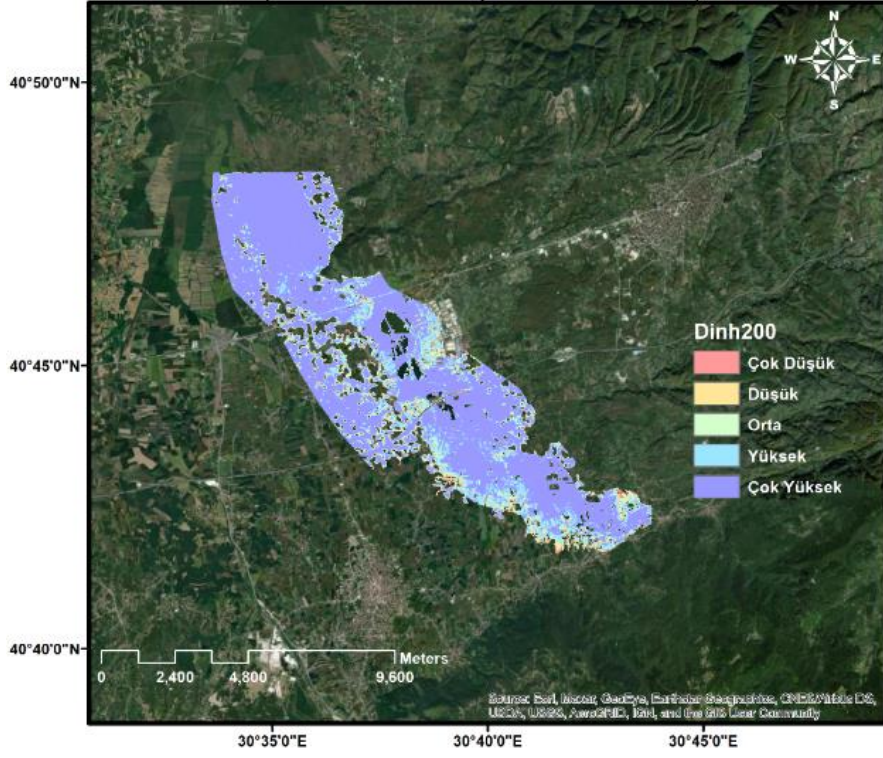
Taşkın risk haritaları Dinh ve ark. (2012) yöntemiyle hazırlanan Şekil 6.18-6.21’de sunulmuştur.



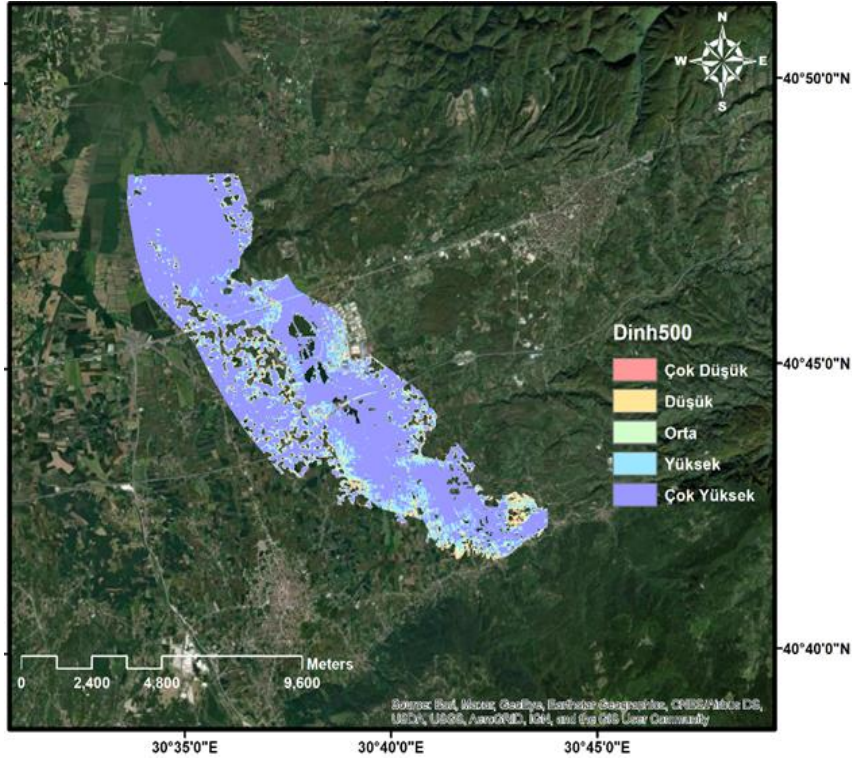
Şekil 6.18. Dinh yöntemine göre 50 yıllık debi için taşkın risk haritası.



Şekil 6.19. Dinh yöntemine göre 100 yıllık debi için taşkın risk haritası.

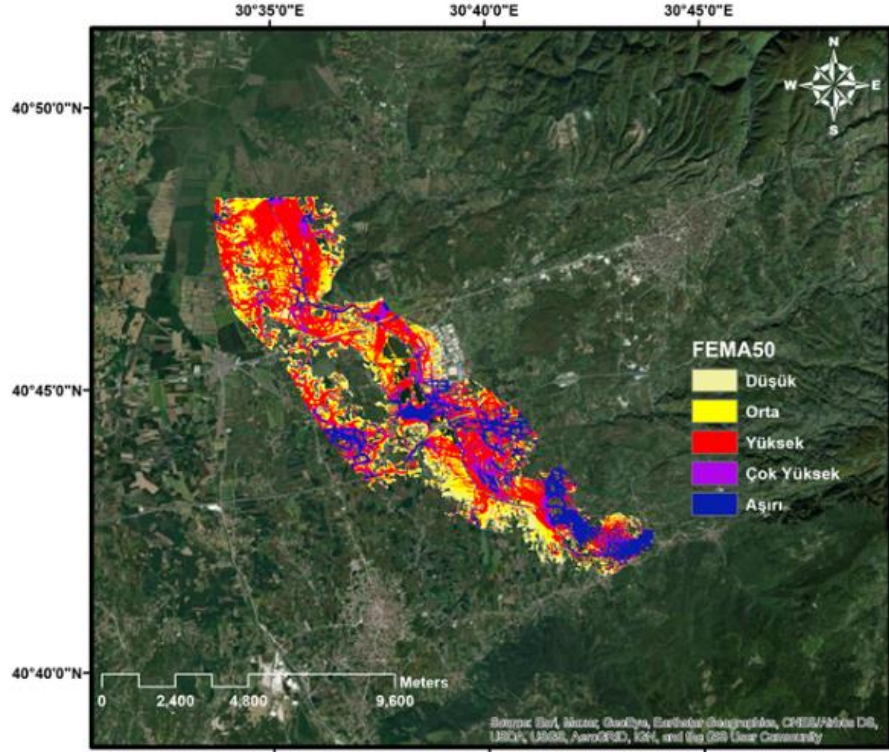


Şekil 6.20. Dinh yöntemine göre 200 yıllık debi için taşkın risk haritası.

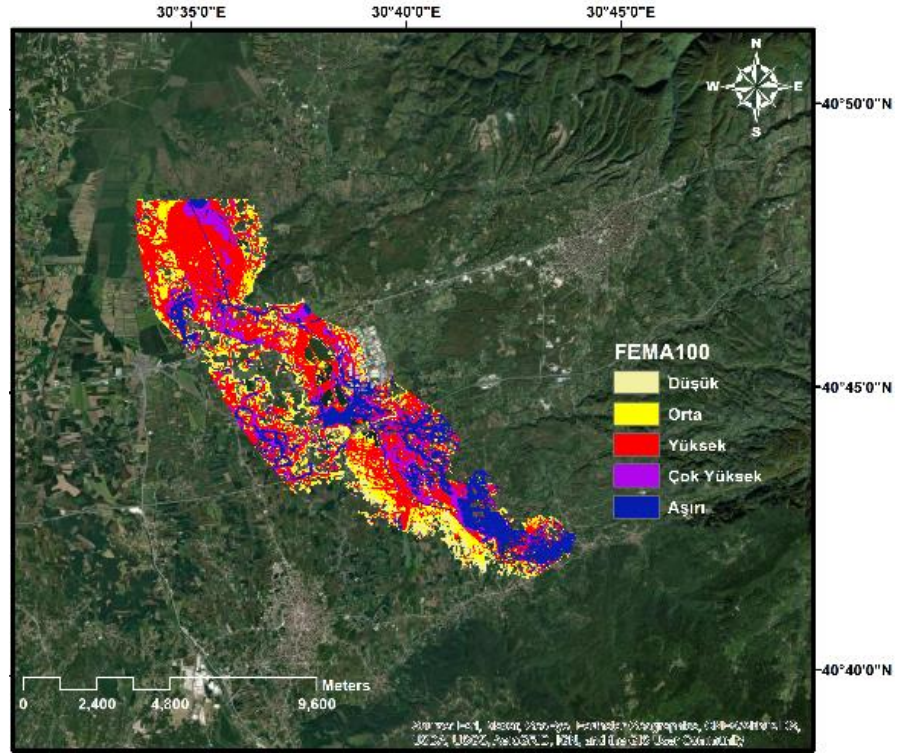


Şekil 6.21. Dinh yöntemine göre 500 yıllık debile için taşkın risk haritası.

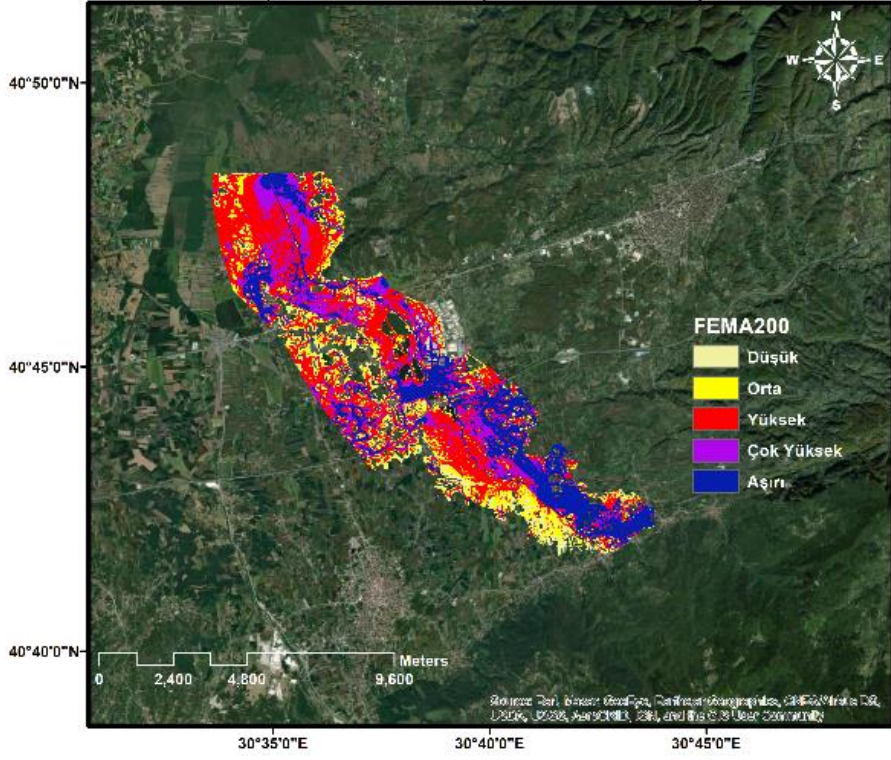
Taşkın risk alanları FEMA yöntemine göre hesaplanmış ve Şekil 6.22-6.25’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 6.26’da risk seviyelerine göre her bir tekerrür debisi için ne kadar alanının etkilendiği sunulmuştur.



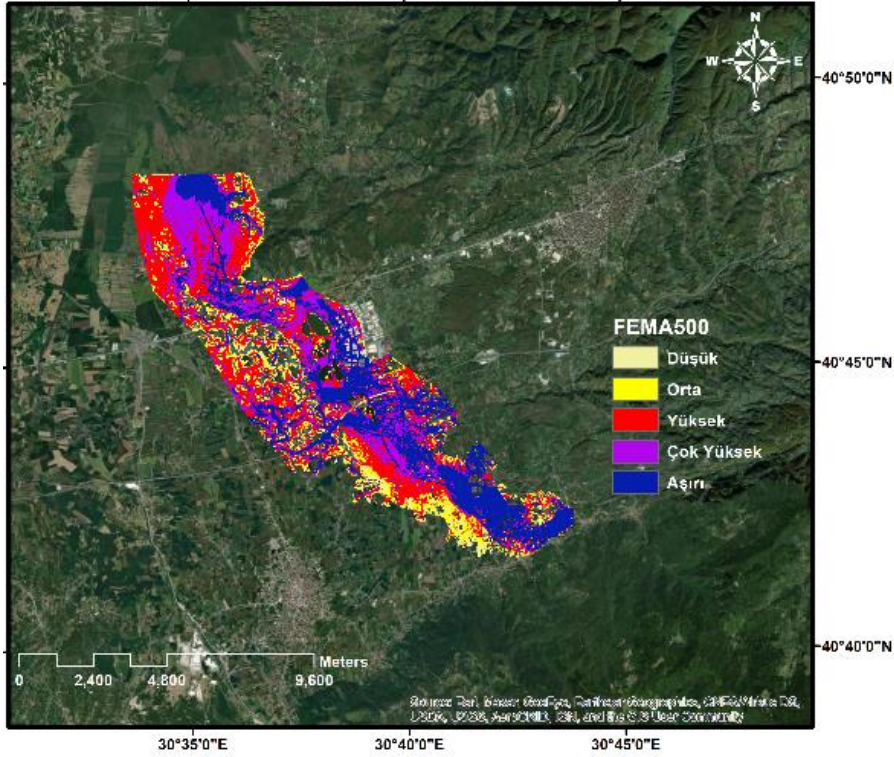
Şekil 6.22. FEMA yöntemine göre 50 yıllık debi için elde edilen taşkın risk haritası.



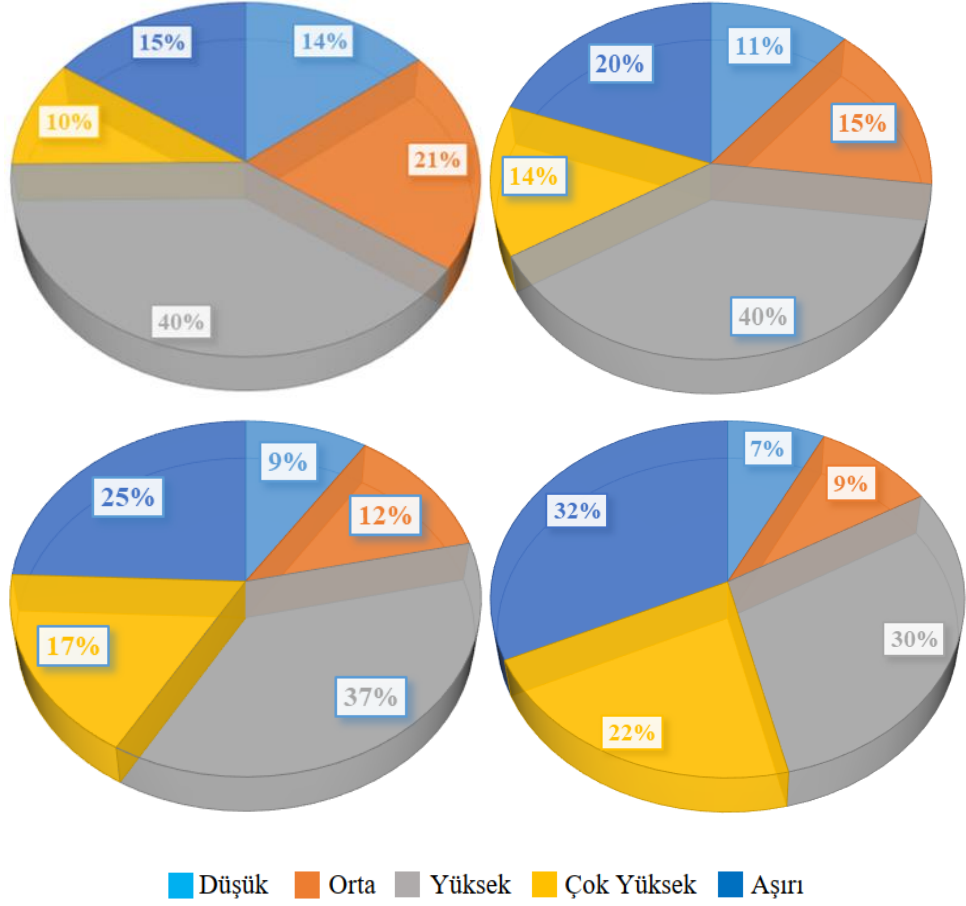
Şekil 6.23. FEMA yöntemine göre 100 yıllık debi için elde edilen taşkın risk haritası.



Şekil 6.24. FEMA yöntemine göre 200 yıllık debi için elde edilen taşkın risk haritası.

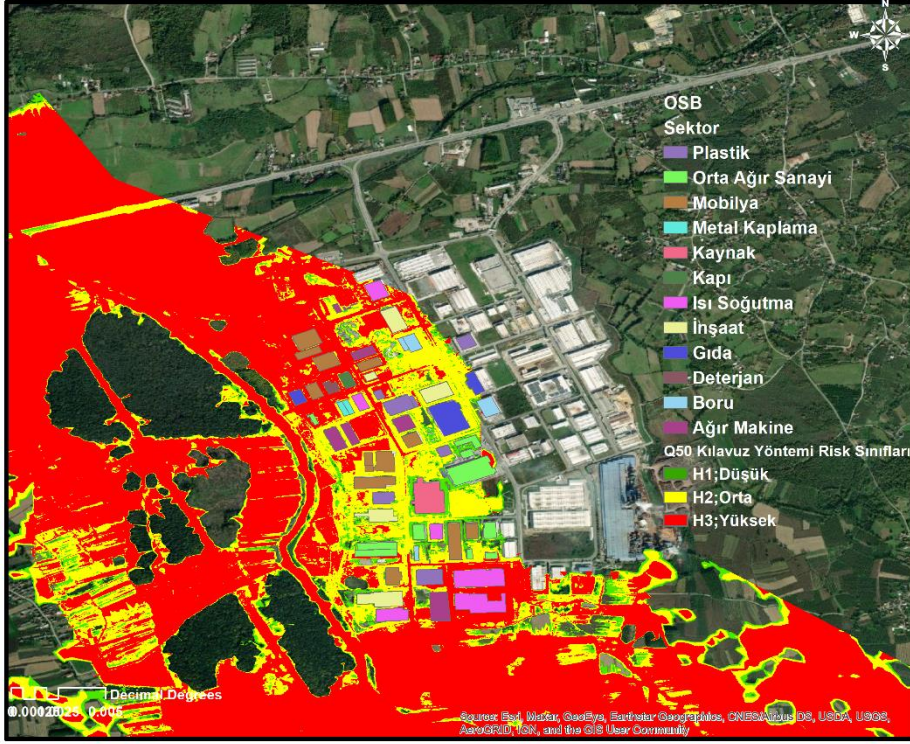


Şekil 6.25. FEMA yöntemine göre 500 yıllık debi için elde edilen taşkın risk haritası.

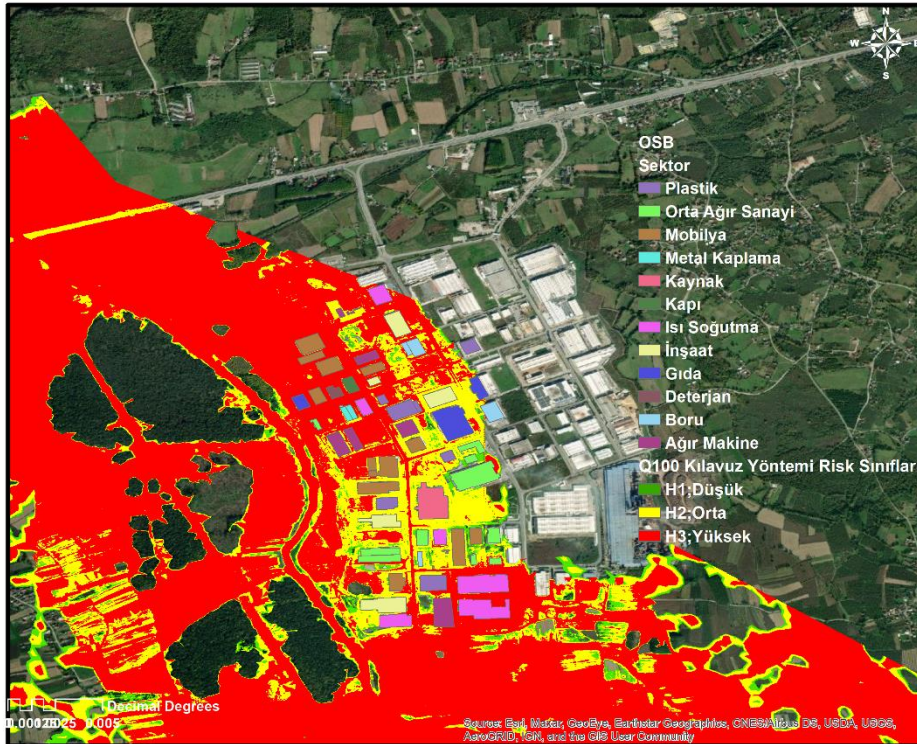


Şekil 6.26. FEMA yöntemindeki 50, 100, 200 ve 500 yıllık debiler için risk seviyelerinin alansal dağılımları.

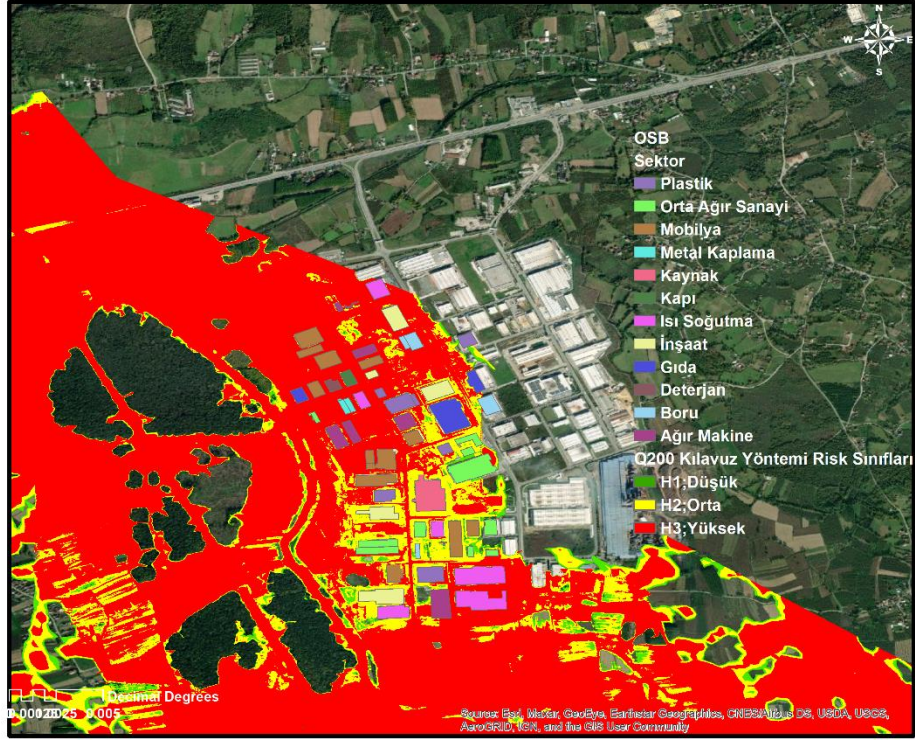
Hendek 2. Organize Sanayi Bölgesi'nin taşkın risk alanları Kılavuz yöntemine göre haritalandırılmış ve Şekil 6.26-6.30'da verilmiştir.



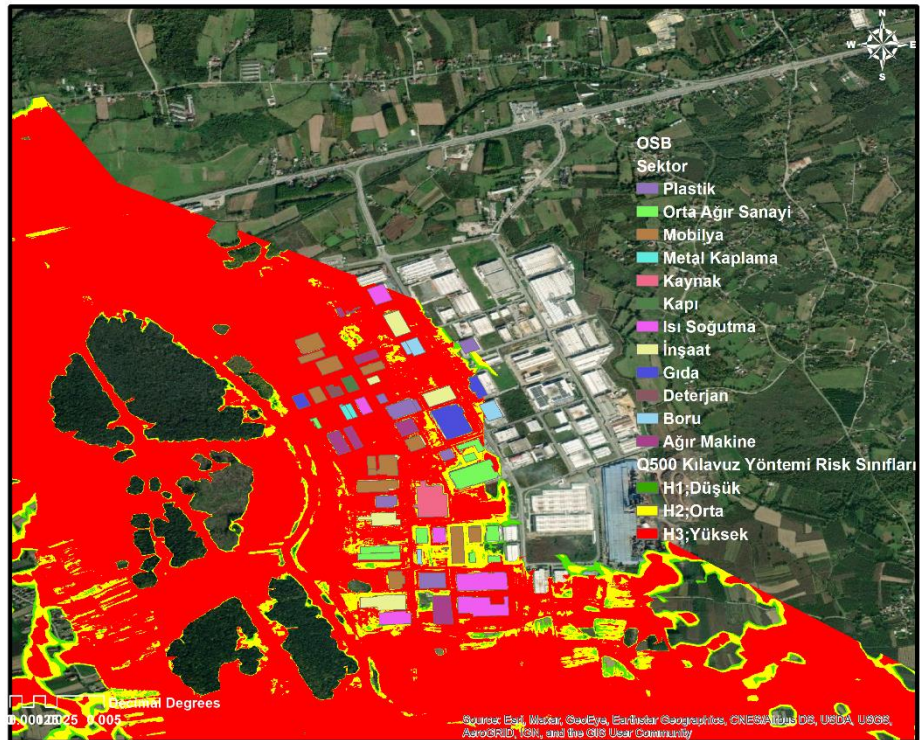
Şekil 6.27. Kılavuz yöntemine göre 50 yıllık debi için taşkın risk seviyeleri ve etkilenen firmalar.



Şekil 6.28. Kılavuz yöntemine göre 100 yıllık debi için taşkın risk seviyeleri ve etkilenen firmalar.



Şekil 6.29. Kılavuz yöntemine göre 200 yıllık debi için taşkın risk seviyeleri ve etkilenen firmalar.



Şekil 6.30. Kılavuz yöntemine göre 500 yıllık debi için taşkın risk seviyeleri ve etkilenen firmalar.

6.8. Organize Sanayi Bölgesi Hasar Analizi ve Haritaları

Ülkemizde taşkın hasarını hesaplamak için hasar-seviye eğrileri henüz olmadığı için binalarda meydana gelebilecek zararların hesabında literatürde sıklıkla kullanılan yöntemlerden yararlanılmıştır. En doğru zarar değerine ulaşabilmek için dört farklı yöntemin yanı sıra HAZUS-MH fonksiyonları da kullanılmış ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Zarar yüzdeleri, Huizinga, van Eck ve Kok ve Pistrika ve Jonkman, ICBR yöntemleriyle hesaplanmıştır. Taşkından etkilenen her sanayi binasının taban alanı temin edilen haritalar ile hesaplanmıştır. ArcGIS Programı yardımıyla binalar için derinlik ve hız değeri elde edilmiş daha sonra da yapıların taban alanları zarar yüzdeleri ile çarpılarak zarar miktarları hesaplanmıştır. Huizinga (2017)'nin eğrisine göre “kentsel alanlar” kullanılırken, van Eck ve Kock ve ICBR eğrilerine göre “endüstriyel alanlar” dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. HAZUS-MH fonksiyonları ile sel kayıplarının hesaplanmasında organize sanayi bölgesindeki yapılar IND1, IND2, IND3, IND4, IND5 ve IND6 olmak üzere altı sınıfta incelenmiştir.

Çalışma alanındaki binaların tanımlanmasında ve değerlemesinde TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan “2022 Bina Birim Değerleme Tablosu” kullanılmıştır (Resmi Gazete 2022). Buna göre her bina 3. sınıf A grubu yapılar (ticari amaçlı binalar, alışveriş merkezleri) olarak kabul edilmiştir. Organize sanayi bölgesindeki yapılar özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Kabul edilen birim bina değerlemeleri: endüstriyel binalar için 113 €/m² (Resmi Gazete 2022). Bir Euro 15 TL olarak kabul edilmiştir. Yıpranma payı ise 02.12.1982 Gün ve 17886 Sayılı Resmi Gazete'ye göre çalışma alanındaki binalar 16-20 yaş aralığında ve çelik karkas ya da betonarme karkas olarak kabul edildiğinden %20 alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Binalara denk gelen muhtemel taşkın zarar yüzdeleri seçilen yöntemlere göre hesaplanmıştır.

Dinsiz Çayı, Hendek ve Akyazı ilçeleri sınırlarından geçmekte olup, Organize Sanayi Bölgesi dere kenarında olduğu için selden maddi ve manevi en çok etkilenecek an bu andır. HAZUS-MH fonksiyonları ile yapılan sel kayıplarında yapıların sektör ve yapı özelliklerine göre su derinliğine karşılık gelen hasar yüzdeleri bulunmuştur. Analiz sırasında binaların bodrumsuz iki katlı binalar olduğu dikkate alınmıştır. Ayrıca sanayi bölgesi içindeki farklı üretim tesisleri için fonksiyonlar seçilmiştir. Bu değerler resmi

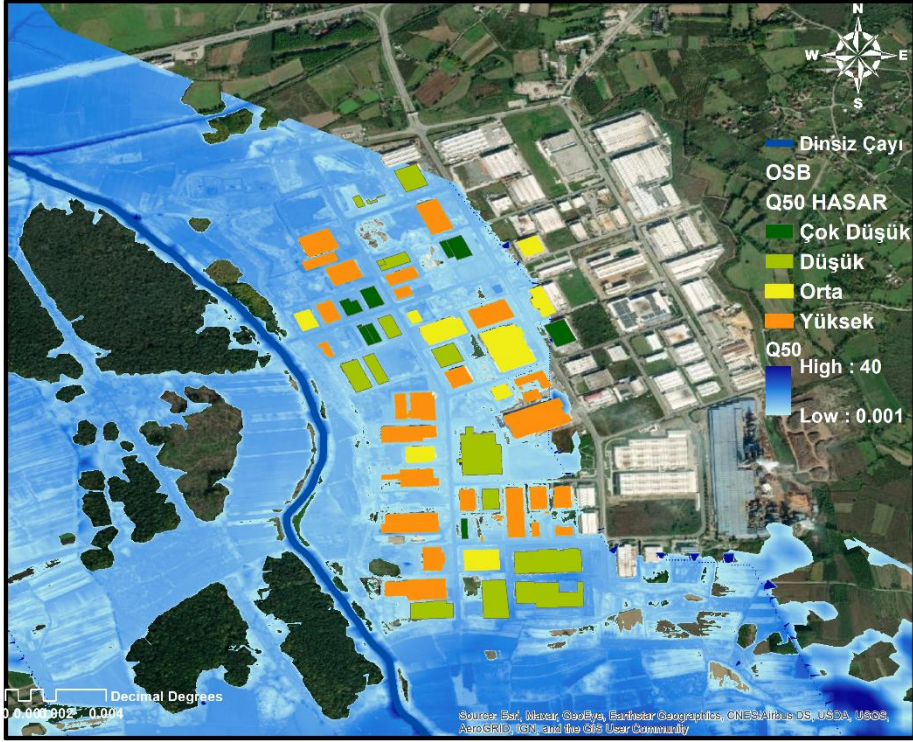
gazetede yer alan m² değerleri ve amortisman değerleri ile çarpılarak ekonomik zarar hesaplanır.

Sanayi tipleri alt sınıflara ayrılmış (Tablo 6.5) ve 50, 100, 200 ve 500 yıllık debilere göre bu binalara karşılık gelen su yükseklikleri bulunmuştur. HAZUS hasar fonksiyonlarında hasar seviyeleri feet olarak verildiğinden metreye dnştrlmşr. Bu değerlere karşılık gelen HAZUS hasar oranları bulunmuş ve binaların muhteviyat maliyetleri için aynı şekilde hesaplamalar yapılmıştır.

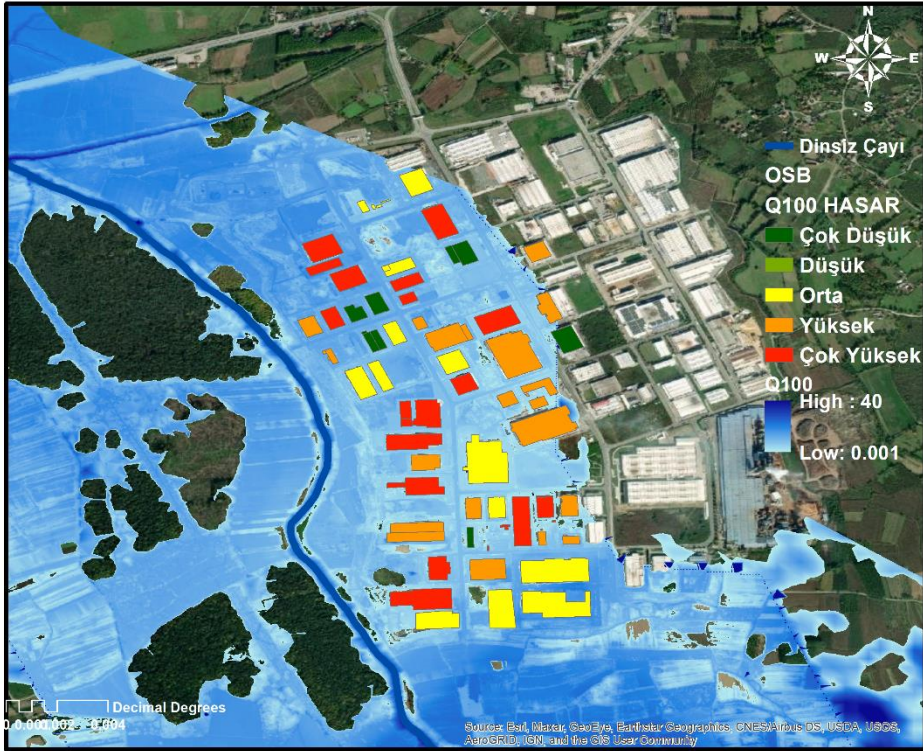
Tablo 6.5. HAZUS-MH fonksiyonlarının sınıflandırılması (FEMA, 2013).

| HAZUS Sınıfları | Sınıf Tanımı |
|-----------------|--|
| IND1 | Ağır (Makine endüstri, madencilik, metalürji, enerji, savunma sanayi ve kimyasal endüstri) |
| IND2 | Hafif (Gıda sanayi, Kağıt yapımı, Deri sanayi, Tekstil ve Elektrikli ev aletleri) |
| IND3 | Yiyecek/içecek/kimyasal |
| IND4 | Metal maden işleme |
| IND5 | İleri teknoloji |
| IND6 | Yapım |

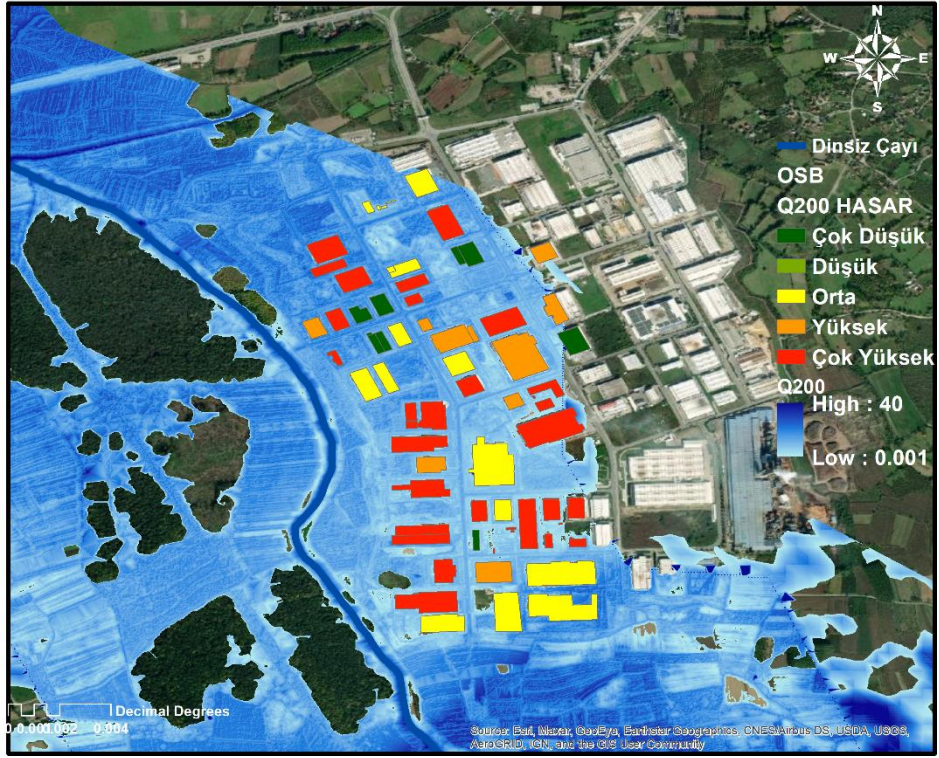
Bu çalışmada literatürde sıklıkla kullanılan derinlik hasar eğrilerine ek olarak HAZUS fonksiyonları ile bir hasar analizi gerçekleştirmiştir. Endüstri tiplerine göre farklı hasar oranları belirlendiği için HAZUS'un diğer eğrilere göre daha doğru sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Ayrıca içerik hasarı için farklı işlevleri vardır. Bu çalışmada özellikle sel kayıplarının HAZUS ile değerlendirilmesi son derece önemlidir nk HAZUS Türkiye'deki diğer doğal afetler için kullanılırken taşkın için kullanılmamıştır.



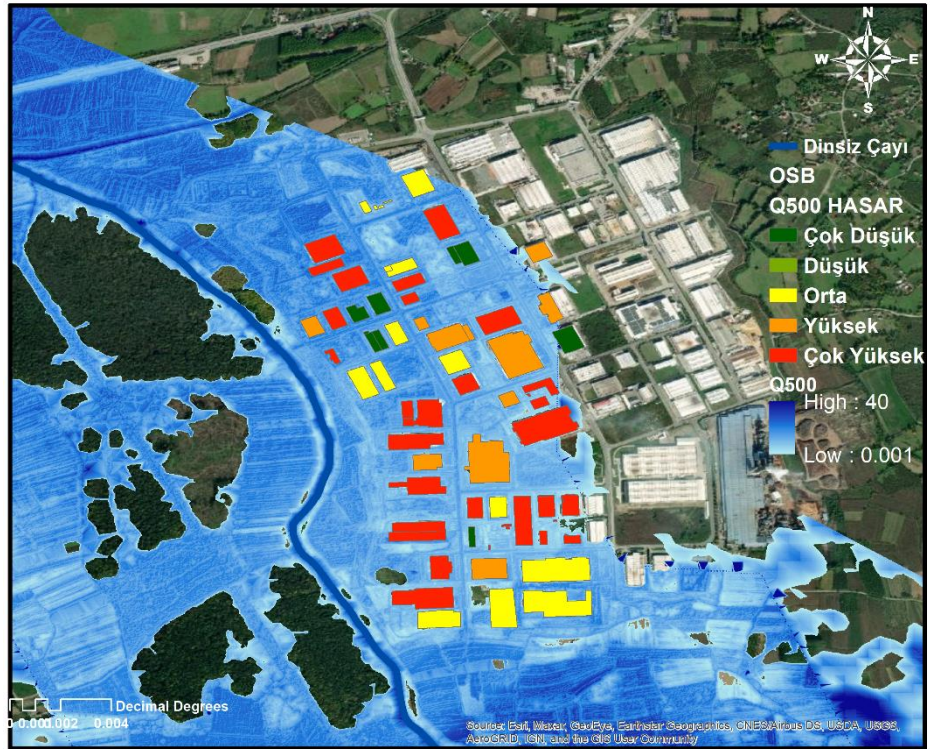
Şekil 6.31. 50 yıllık debi için HAZUS fonksiyonları ile hesaplanan organize sanayi taşkın hasar haritası.



Şekil 6.32. 100 yıllık debi için HAZUS fonksiyonları ile hesaplanan organize sanayi taşkın hasar haritası.



Şekil 6.33. 200 yıllık debi için HAZUS fonksiyonları ile hesaplanan organize sanayi taşkın hasar haritası.



Şekil 6.34. 500 yıllık debi için HAZUS fonksiyonları ile hesaplanan organize sanayi taşkın hasar haritası.

Şekil 6.31-6.34, 50, 100, 200 ve 500 yıllık gelmesi muhtemel debilere göre organize sanayi bölgesinde hasar alan binaları göstermektedir. Burada hasar Euro olarak

düşünülmüştür ve beş sınıfa ayrılmıştır. 0-50.000 Euro arası çok düşük, 50.000-100.000 Euro arası Düşük, 100.000-250.000 Euro arası Orta, 250.000-500.000 Euro arası yüksek ve 500.000 Euro ve üzeri Çok yüksek olarak sınıflandırılmıştır. Bu harita HAZUS değerlerine göre oluşturulmuştur, çünkü orada her bir yapının sektörü farklı olduğundan farklı hasar hesapları yapılabilmektedir.

Tablo 6.6'da olası taşkın suyu derinliklerine göre oluşacak hasar yüzdeleri ve buna bağlı kayıp maliyetleri sunulmaktadır. Burada modeller sonucunda su seviyesi 1-4 metre arasında değiştiği için tabloda dört metreye kadar farklı su derinlikleri için hasar oranları ve hasar bedelleri verilmiştir. Van Eck ve Kok ve ICBR eğrilerinde iki metreye kadar hasar oranı aynı iken, ICBR yönteminde iki metreden daha yüksek derinliklerde artış daha fazla olurken, van Eck ve Kok yönteminde üç metreden sonra daha yüksek artışlar gözlenmektedir. Dört yöntem arasında en yüksek değerleri Pistrika ve Jonkman yöntemleri vermektedir. Organize sanayi bölgesinde 100 yıllık taşkın tekerrür periyoduna göre gelebilecek su seviyesi ortalama 1 metre olup, dört farklı yöntemin toplam hasar oranları dikkate alındığında, Pistrika ve Jonkman yaklaşık %51 ile en yüksek iken, ICBR ve van Eck ve Kok %10 ile en düşük olanlardır. Aynı şekilde 200 yıllık akış için bu seviye 1.5 metre iken en yüksek hasar oranı Pistrika ve Jonkman'da %55, en düşük ise ICBR ve van Eck ve Kok %14'dür. Su seviyesi maksimuma ulaştığında ise yine en yüksek hasar Pistrika ve Jonkman yöntemine göre hesaplanmıştır. Huizinga yönteminde ise bazı seviyeler için hasar değeri diğer yöntemlerden daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 6.7'de verilen firmalar sektörlerine göre HAZUS hasar fonksiyonları kullanılarak su seviyesine karşılık gelen hasar yüzdeleri belirlenmiştir. HAZUS kullanımının amacı diğer yaklaşımlarda bina yapı ve içerik olarak fonksiyonların ya da grafiklerin ayrı ayrı değil tek bir halde verilmiş olmalarıdır. Ağır sanayi binalarındaki hasar oranı diğerlerine göre oldukça yüksek çıkmıştır.

Tablo 6.6. Derinlik hasar eğrileri metodolojisine dayalı olarak farklı su derinlikleri için sel hasarı miktarları (€).

| Derinlik Hasar Eğrileri | ICBR metodu | | Pistrika ve Jonkman (2010) | | van Eck and Kok (2001) | | Huizinga (2017) | | HAZUS | |
|-------------------------------|--------------|-----------|-------------------------------|-----------|---------------------------|-----------|-----------------|-----------|--------------|-----------|
| | Hasar (€) | Hasar (%) | Hasar (€) | Hasar (%) | Hasar (€) | Hasar (%) | Hasar (€) | Hasar (%) | Hasar (€) | Hasar (%) |
| 1 | 1,064,984.98 | 10 | 5,422,852.44 | 0.51 | 1,064,984.98 | 10 | 5,324,924.88 | 50 | 1,910,744.42 | * |
| 1.5 | 1,490,978.97 | 14 | 5,873,392.14 | 0.55 | 1,490,978.97 | 14 | 6,389,909.85 | 60 | 2,594,141.98 | * |
| 1.75 | 1,703,975.96 | 16 | 6,397,666.11 | 0.60 | 1,703,975.96 | 16 | 6,815,903.84 | 64 | 2,962,128.38 | * |
| 2 | 1,916,972.96 | 18 | 6,801,891.96 | 0.64 | 1,916,972.96 | 18 | 7,667,891.82 | 72 | 3,267,066.91 | * |
| 2.5 | 2,342,966.95 | 22 | 7,506,335.42 | 0.71 | 2,129,969.95 | 20 | 8,519,879.80 | 80 | 4,066,749.01 | * |
| 3 | 2,662,462.44 | 25 | 8,287,820.47 | 0.78 | 2,236,468.45 | 21 | 9,371,867.78 | 88 | 4,271,317.79 | * |
| 3.5 | 3,194,954.93 | 30 | 9,142,657.85 | 0.86 | 4,259,939.90 | 40 | 9,584,864.78 | 90 | 5,076,001.60 | * |
| 4 | 3,461,201.17 | 32.5 | 10,372,285.55 | 0.97 | 6,922,402.34 | 65 | 10,010,858.77 | 94 | 5,357,534.32 | * |

* HAZUS ile taşkın hasar hesaplarında her bir sanayi türü ayrı ayrı değerlendirildiğinden derinliklere karşılık gelen hasar değeri tek bir tane değildir, her sanayi türü ve her derinlik için farklıdır. Bu hasar değerleri 7. Bölüm’de Tablo 7.1’de ayrıntılı verilmiştir. Burada hasar her bir sanayi türü için belirtilen derinliklere göre ayrı ayrı hesaplanmış daha sonra toplanarak toplam hasar elde edilmiştir.

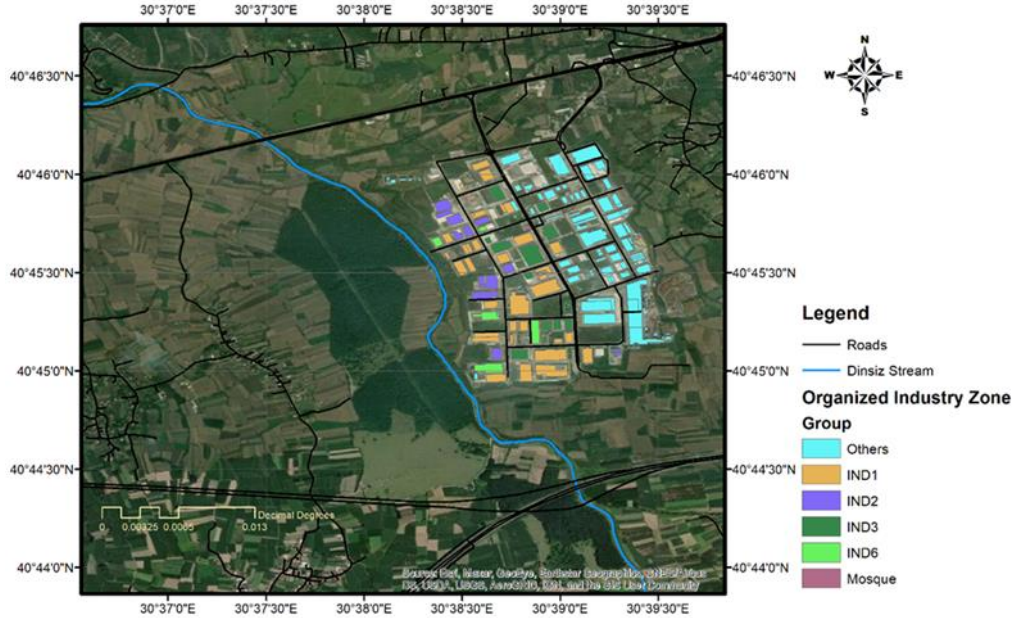
Tablo 6.7. Sakarya 2. Organize Sanayi Bölgesinde bulunan firmaların makine teçhizat ve ham madde fiyatları ve sektörleri.

| Sektör | Yatırım Tutarı |
|-----------------------------------|---|
| Metal Döküm | 40 milyon TL |
| Makine Vana | 150 milyon TL |
| Kaynak Elektrotları ve Makinaları | 300 milyon TL |
| Kimya | Makine teçhizat 100 milyon TL Tescili sermaye 18 milyon TL |
| Medikal Kimya | 95 milyon TL |
| Otomotiv ve Ana Metal | Makine teçhizat 1.3 milyon TL Tescili sermaye 1 milyon TL |
| Tekstil Sanayi | Makine teçhizat 22 milyon TL Tescili sermaye 100 milyon TL |
| Otomotiv ve Ana Metal | Makine teçhizat 5 milyon TL Tescili sermaye 500 bin TL |
| Otomotiv ve Ana Metal | 2 istitat makinesi, 4 forklift 1 kesme makinesi, 600 ton profil demir |
| Gıda Sanayi | 27 milyon TL 100 bin TL |
| Otomotiv ve Ana Metal Plastik | Makine teçhizat 13 milyon TL Tescili sermaye 14 milyon TL |
| Yapı Elemanları | Makine teçhizat 72 milyon TL Tescili sermaye 160 milyon TL |
| Otomotiv ve Ana Metal | Makine teçhizat 4.5 milyon TL Tescili sermaye 2.5 milyon TL |
| Metal | Makine teçhizat 32 bin TL Tescili sermaye 200 bin TL |
| Kimya Sanayi | Makine teçhizat 125 milyon TL (Euro 3.5 TL kur fiyatları) |
| Otomotiv ve Ana Metal | Makine teçhizat 92 milyon TL (Euro 3.5 TL kur fiyatları) |
| Otomotiv ve Ana Metal | Makine teçhizat 77 milyon EUR Altyapı bina 6 milyon EUR Hammadde 9 milyon EUR |

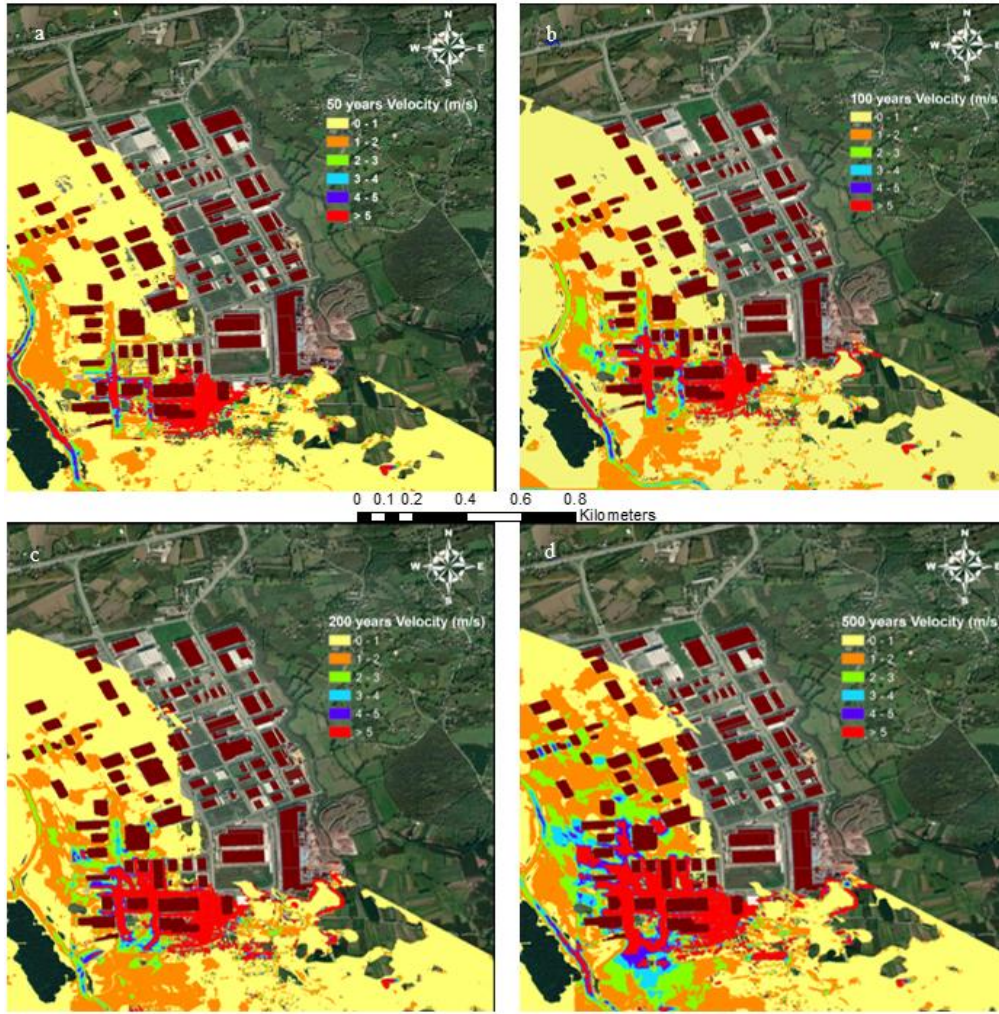
7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sakarya Havzası ile ilgili literatürde çok fazla çalışma olmasına rağmen Sakarya Havzası'nın alt havzalarından birinde yer alan literatürde Dinsiz Çayı Havzası'nda yapılmış çalışma bulunmamaktadır. Dinsiz Çayı, Hendek 2. Organize Sanayi Bölgesinin hemen yanından geçmekte olup, aktığı güzergâh boyunca hem yerleşim hem de tarım alanları bulunmaktadır. Bu nedenle burada meydana gelmiş ve gelecek olan taşkınların etkileri de bir hayli büyük olacaktır.

Ülkemizde ve dünyada yapılan birçok çalışma gibi ilk olarak taşkınlar modellendikten sonra taşkın hasarlarına ait zararlar hesaplanmıştır. Bu doktora tezi kapsamında bölgede ilk defa HEC-RAS 2B modellemesi ve hasar tahmin çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen taşkın yayılım, derinlik, hız, risk ve tehlike haritalarının yanı sıra meydana gelebilecek zarar maliyetleriyle ekonomik kaybı da göz önüne sermek taşkınların ne kadar büyük yıkıcı etkileri olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Organize Sanayi Bölgesi'nin HAZUS'a göre sınıflandırılması Şekil 7.1'de sunulmuştur.



Şekil 7.1. Organize Sanayi Bölgesindeki firmaların HAZUS'a göre sınıfları.



Şekil 7.2. Tekerrür periyotlarına göre hız haritası (a) 50 yıl, (b) 100 yıl, (c) 200 yıl ve (d) 500 yıl.

Pistriska ve Jonkman denkleminde kullanılan farklı dönüş aralıklarına göre taşkın hızını gösteren harita Şekil 7.2’de sunulmuştur. Organize sanayi bölgesinde her dönüş periyodu için hızın arttığı görülmektedir.

Taban alanları ve sel nedeniyle yapılarda meydana gelen hasarın maliyetleri Tablo 7.1’de verilmiştir. İncelenen tüm binalar aynı zamanda dört tekerrür döneminde de taşkın akışlarından etkilenmektedir, dolayısıyla etkilenen toplam bina alanı 471232.29 m²’dir. Tablo 7.1 ve Tablo 7.2’de HAZUS kullanılarak farklı sanayi bölgeleri ve dönüş süreleri için sırasıyla sel hasar oranı (%) ve sel hasar değeri (€) sunulmaktadır.

Tablo 7.1’de görüldüğü gibi sektörlerin çoğunda su seviyesi dört metreye ulaştığında hasar yüzde 50’nin üzerine çıkıyor. Isı sektöründe hasar değeri belli bir seviyeden sonra aynı kalmaktadır. Boru sektöründe iki metreden sonra hasar oranı ciddi oranda artıyor, dolayısıyla asıl tehlike gelecek için. Kaynak sektörünün istikrarlı bir şekilde

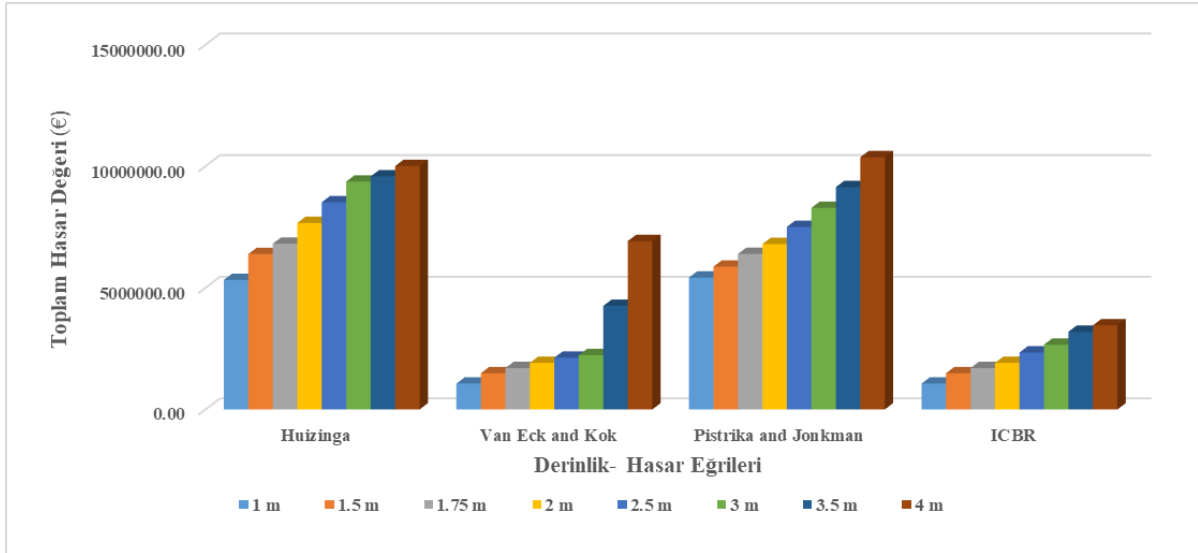
artması, her seviyedeki hasarın önemli olduğunu gösterir. Metal ısıtma-soğutma sektörlerinde hasar yüzdesi üç metreye kadar değişmezken, üç metreden sonra değişim yüzde bir düzeyindedir. Tüm sektörler arasında en yüksek hasar yüzdesi inşaat malzemelerinde, yani IND6'da görüldü. Ayrıca IND3 sınıfı plastik gıda-içecek ve deterjan sektörlerinde artış hızı düşüktür.

Tablo 7.1. Sanayi bölgeleri için farklı su seviyeleri için ve HAZUS-MH fonksiyonları metodolojisine göre sel hasar oranı (%).

| Sınıf | Toplam alan (m ²) | Endüstriyel tipler ve sayılar | Derinlikler için Hasar Oranı (%) | | | | | | | |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------|------|------|-----|----|-----|-----|
| | | | 1 | 1.5 | 1.75 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 |
| | 68699.0 | Isı Soğutma(3) | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 9 |
| | 24452.82 | Kaynak (1) | 18 | 32 | 43 | 50 | 61 | 66 | 73 | 78 |
| | 35023.94 | Ağır makine (4) | 12 | 20 | 24 | 28 | 35 | 40 | 50 | 60 |
| IND1 | 20994.79 | Boru (4) | 10 | 10 | 10 | 10 | 50 | 50 | 75 | 75 |
| | 4664.23 | Metal kaplama (1) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 27 |
| | 4856.86 | Kapı (1) | 26 | 31.7 | 32.5 | 33.5 | 35 | 35 | 35 | 43 |
| | 96014.27 | Ortalama ağır sanayi (7) | 16 | 21 | 25 | 28 | 35 | 39 | 48 | 51 |
| | 43886.62 | Plastik (6) | 23 | 27 | 27.5 | 28.5 | 30 | 30 | 35 | 39 |
| IND3 | 45282.06 | Gıda (3) | 19 | 25 | 26 | 29 | 33 | 34 | 39 | 42 |
| | 5130.25 | Deterjan (1) | 3 | 8 | 11 | 14 | 21 | 26 | 38 | 50 |
| IND6 | 45828.68 | İnşaat (5) | 32 | 50 | 58 | 65 | 80 | 80 | 100 | 100 |
| IND2 | 76398.73 | Mobilya (9) | 25 | 31 | 36 | 39 | 46 | 48 | 50 | 50 |

Tablo 7.2. HAZUS-MH fonksiyonlarının metodolojisine dayalı olarak farklı sanayi bölgeleri ve geri dönüş süreleri için sel hasarı (€).

| Endüstriyel Tipler ve Sayılar | Hasar Değeri (€) | | | |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Q ₅₀ | Q ₁₀₀ | Q ₂₀₀ | Q ₅₀₀ |
| Isı-Soğutma | 77629.94 | 108681.91 | 108681.91 | 108681.91 |
| Kaynak | 99474.04 | 176842.73 | 237632.42 | 276316.77 |
| Ağır Makine | 94984.93 | 158308.22 | 189969.86 | 221631.51 |
| Boru | 47448.22 | 47448.22 | 47448.22 | 47448.22 |
| Metal Kaplama | 26352.90 | 26352.90 | 26352.90 | 26352.90 |
| Kapı | 28538.88 | 34795.48 | 35673.60 | 36771.25 |
| Ortalama Ağır Sanayi | 347187.60 | 455683.72 | 542480.62 | 607578.30 |
| Plastik | 228122.66 | 267796.16 | 272755.35 | 282673.73 |
| Gıda | 194441.14 | 255843.61 | 266077.36 | 296778.59 |
| Deterjan | 3478.31 | 9275.48 | 12753.79 | 16232.10 |
| İnşaat | 331432.98 | 517864.03 | 600722.27 | 673223.24 |
| Mobilya | 431652.82 | 535249.50 | 621580.06 | 673378.40 |
| Toplam Hasar (€) | 1,910744.42 | 2,594141.98 | 2,962128.38 | 3,267066.91 |



Şekil 7.3. Farklı derinlik-hasar eğrileri için Euro cinsinden derinlik maliyetleri.

Şekil 7.3'te dört farklı derinlik-hasar eğrisi için derinliğe göre hesaplanan kayıp değerleri sunulmaktadır. Buna göre her derinlik için en yüksek değerler Pistrika ve

Jonkman eğrilerinde bulunmuştur. Bunun temel nedeni, Pistrika ve Jonkman'ın taşkın suyu derinliğinin yanı sıra taşkın suyu hızını da hesaba katmalarıdır. Pistrika ve Jonkman yönteminde hasar analizi diğer yöntemlerden farklı olarak bir denklem yardımıyla yapılır, bu denklemde hem taşkın hızı hem de taşkın derinliği vardır. Bu bileşenlerin çoğaltılması diğer yöntemlere göre daha yüksek sonuçlarda etkili olabilir çünkü diğer yöntemlerde hasar oranları sadece su seviyesine göre belirlenmektedir.

HAZUS fonksiyonları ile yapılan hesaplamalara göre sonuçlar van Eck Kok ve ICBR'den daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca van Eck ve Kok ve ICBR sonuçları eşitti. Hesaplamalarda en yüksek sonuçları Pistrika ve Jonkman denklemi verirken, en düşük sonuçları ise van Eck ve Kok ve ICBR eğrisi vermiştir. Su derinliğinin artmasıyla birlikte binaların hasar oranlarında ve buna bağlı maliyetlerde artış gözlemlendi. HAZUS fonksiyonları, hem bina hem de içindekiler için hasar hesaplamalarına yardımcı olur. Sanayi ve yerleşim alanları gibi evler bodrumlu/bodrumsuz, iki katlı tek katlı, kimya, metal geri dönüşüm gibi özelliklerine göre bölünebilir ve her birinin ayrı hasar değeri vardır.

Bu özelliklere göre yapılacak hesaplamada doğruluk oranı diğer hasar seviyelerine göre daha yüksek olabilir. Kullanıcılar çalıştığı alandaki her binayı kendi özelliklerine göre ayırabilir, aksi takdirde tüm konut ve sanayi alanları aynı eğriye göre hesaplanacaktır. Bunlara ek olarak konut ve sanayi için içeriğe göre hasar hesaplanabilmesi, kişilerin kayıplarını daha net tespit etmelerine yardımcı olabilir. Bu çalışmada HAZUS fonksiyonları diğer eğrilerle karşılaştırıldığında içerik hesaplaması yapılmamış, bu nedenle sadece yapı değerleri dikkate alınmıştır.

Çalışma alanından geçen Adapazarı-Düzce Yolu ve Anadolu Otoyolu çalışma alanını üç bölgeye ayırmaktadır. Adapazarı-Düzce Yolunun kuzey kısmında, 2021 AFAD verilerine göre; 221 bina ve 12986 nüfus, iki yolun orta kısmında 638 bina ve 17210 nüfus, Anadolu Otoyolunun güney kısmında ise 713 bina ve 12937 nüfus bölgede meydana gelebilecek taşkınlardan etkilenmektedir.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan "Sakarya Havzası Taşkın Yönetim Planı" incelenmiştir. Bu raporda Dinsiz Çayı'nda meydana gelebilecek taşkınlara ait şu ifadeden başka bir bilgi yoktur. "Akyazı İlçesi'nde Dinsiz Çayı'nda yaşanacak 50 yıl tekerrürlü taşkın olayında 261 kişinin,

100 yıl tekerrürlü taşkın olayında 320 kişinin, benzer şekilde 500 yıl tekerrürlü taşkın olayında da yaklaşık 562 kişinin etkilenmesi beklenmektedir”.

Özellikle taşkın gibi doğa olaylarının doğru bir şekilde modellenmesi için topoğrafyanın iyi bir şekilde yansıtılması gerekmektedir. Bu tez çalışması boyunca modellemeler de kullanılan sayısal yükseklik modellerinin ne kadar önemli olduğu görülmüştür. Çünkü SYM’deki bozukluk programların doğru sonuç vermemesine ve hata sebeplerini bulana kadar modellerin tekrar yapılmasına bu da büyük zaman kayıplarına neden olmuştur. Kullanılan SYM’lerinin yanı sıra Dinsiz Çayı’nda daha önce çalışma yapılmamış olması tez çalışması kapsamında gerekli diğer verilere ulaşmada zorluklar meydana getirmiştir.

Tez çalışmasının ana amacı olarak Hendek 2. Organize Sanayi Bölgesi’nde meydana gelecek zararların hesaplamasında HAZUS fonksiyonları kullanılmıştır. HAZUS programı henüz ABD dışında diğer ülkelerde kullanılsa da uzmanlarla ve programı kullananlarla görüşülerek hesaplamalar elle yapılmıştır. Programın fonksiyonları Amerika’ya göre üretildiği için bu kabuller varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. HAZUS fonksiyonları yapıların içerik olarak zararların da dikkate aldığı için diğer zarar fonksiyonlarına göre daha doğru sonuçlar vereceği düşünülmüştür.

Taşkınlara karşı alınabilecek önlemleri ayrıca şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1) Taşkın haritalarının oluşturulması ve kullanılması: Taşkın risk bölgelerini belirlemek ve bu bölgelerdeki yapılaşmayı sınırlamak veya düzenlemek için taşkın risk haritaları oluşturulabilir ve kullanılabilir.
- 2) Altyapı iyileştirmeleri: Su tahliye sistemlerini geliştirmek, nehir ıslahları yapmak, su seviyesini kontrol etmek için barajlar inşa etmek ve yağmur sularını etkili bir şekilde yönetilebilir.
- 3) Su yollarının ve göletlerin inşası: Aşırı yağışlarda fazla suyun depolanmasına ve yavaşça tahliye edilmesine yardımcı olur.
- 4) Evlerin ve altyapının yüksek inşa edilmesi: Evler ve altyapı, taşkın bölgesinde yüksek inşa edilerek suyun etkilerinden korunabilir.
- 5) Taşkın sigortası, taşkınlardan dolayı oluşabilecek maddi hasarları karşılayabilir. Bu sigortalar, taşkın riski taşıyan bölgelerde yaşayanlar için önemlidir.
- 6) Erken Uyarı Sistemleri: Taşkınlardan yaklaştığını önceden haber veren erken uyarı sistemleri, insanların güvende olmalarını sağlayabilir.

- 7) Toprak Erozyonunu Önleme: Toprak erozyonunu önlemek için ağaçlandırma, erozyon kontrol yapıları ve erozyon engellemesi gibi önlemler alınabilir.
- 8) Kamu Bilincinin Artırılması: Halkın taşkın riskleri ve güvence tedbirleri hakkında bilinçlenmesi, acil durumlar sırasında nasıl davranacaklarını bilmelerine yardımcı olabilir.
- 9) Çevresel Koruma: Doğal alanların ve nehir havzalarının korunması, suyun akışını ve çevresel dengeleri iyileştirebilir.
- 10) Planlama ve İnşaat Kuralları: Taşkın riski taşıyan bölgelerdeki inşaat kuralları ve planlamalar, zararın minimize edilmesine yardımcı olabilir.
- 11) İyi bir iletişim ve eğitim: Topluluk üyelerine, taşkınlıkla nasıl başa çıkacakları ve olası riskleri nasıl tanıyacakları konusunda eğitim vermek önemlidir.
- 12) Güvenlik planları: Etkin bir güvenlik planı oluşturmak ve bunu uygulamak, taşkın durumlarına hazırlıklı olmanızı sağlar. Bu planlar, toplulukların ve organizasyonların ihtiyaçlarına göre özelleştirilmelidir.
- 13) İzleme ve teşhis: Taşkınlık belirtilerini takip etmek ve teşhis etmek, olası bir tehdidi erken aşamada tespit etmek için önemlidir.
- 14) İyi bir güvenlik ekibi: Profesyonel güvenlik ekibi tutmak, taşkınlara karşı hızlı ve etkili bir yanıt sağlayabilir.
- 15) Fiziksel güvenlik önlemleri: Altyapıyı korumak için fiziksel güvenlik önlemleri alınmalıdır. Bu, güvenlik kameraları, bariyerler, kapılar, giriş kontrolleri vb. içerebilir.
- 16) Acil durum tatbikatları: Taşkınlık senaryolarını simüle etmek için düzenli acil durum tatbikatları yapmak, personelin hazırlıklı olmasına yardımcı olur.
- 17) İnternet izleme ve analizi: Sosyal medya ve diğer çevrimiçi platformları izleyerek, taşkınlık tehditlerini ve belirtilerini erken tespit edebilirsiniz.
- 18) İşbirliği: Yerel polis, kamu güvenliği birimleri ve diğer yetkililerle yakın işbirliği yapmak, taşkınlara karşı etkili bir yanıt sağlar.
- 19) Kriz iletişimi: Olası bir taşkınlık durumunda, kriz iletişimi planları geliştirmek ve uygulamak, kamuoyuyla etkili bir iletişim sağlar.
- 20) Bilinçlendirme kampanyaları: Toplumun taşkınlık ve şiddet konusunda farkındalığını artırmak için bilinçlendirme kampanyaları düzenlemek önemlidir.
- 21) Risk Değerlendirmesi: Öncelikle potansiyel taşkınlık risklerini değerlendirin. Hangi alanlarda, durumlarda veya organizasyonlarda taşkınlık olasılığı yüksekse bu alanları belirleyin.

- 22) Güvenlik Planı Oluşturma: Taşkınılığa karşı bir guvenlik planı oluşturun. Bu plan, risklere ozgu olarak tasarlanmalıdır. Plan, taşkınılık oncesi, taşkınılık sırası ve sonrası iwin rehberlik eden ayrı bdlumlur iwerebilir. Plan aynı zamanda acil iletişim, guvenlik personelinin guvrevleri, alarm sistemleri ve acil cıkış noktaları gibi detayları iwermelidir.

KAYNAKLAR

- Adger, W. N. (2000). Social and ecological resilience: Are they related? *Progress in Human Geography*, 24, 347-364. <http://dx.doi.org/10.1191/030913200701540465>
- Ağırlioğlu, N., Çallı, İ., Saltabaş, L., Sümer, B., Eryılmaz, B., Gündüz, Z., Şaşal, M., Karpuz, S. & Demir, İ. H. (1998). *Aşağı Sakarya Nehri ulaşım projesi fizibilite çalışması*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
- Alcrudo, F. (2004). *Advanced mathematical modelling techniques for flood propagation in natural topographies*. IMPACT project, Universidad de Zaragoza, Spain.
- Allan, R. P. & Soden, B. J. (2008). Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. *Science*, 321(5895), 1481-1484. <https://doi.org/10.1126/science.1160787>
- Alphen, J. & Passchier, R. (2007). *Atlas of flood maps, examples from 19 European countries, USA and Japan*. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Netherlands. https://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_atlas/pdf/flood_maps_ch1_3.pdf (Erişim tarihi: 10.10.2021)
- André, C., Monfort, D., Bouzit, M. & Vinchon, C. (2013). Contribution of insurance data to cost assessment of coastal flood damage to residential buildings: Insights gained from Johanna (2008) and Xynthia (2010) storm events. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, 2003-2012. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2003-2013>
- Anonim (2014). *Taşkın riski yönetim planlarının hazırlanması kılavuzları, Taşkın direktifinin uygulanması için kapasitenin geliştirilmesi AB eşleştirme projesi*. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara. http://taskinyonetimi.suyonetimi.gov.tr/taskin/Files/Outputs/TRYP_Kilavuzlar.pdf (Erişim tarihi: 15.10.2021)
- Anonymous (2006). *Flood risks to people*. Department for environment, food and rural affairs. http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=FD2321_3437_TRP.pdf
- Anonymous (2018). *Guidance for flood risk analysis and mapping*. Federal Emergency Management Agency. <https://www.fema.gov/multimedia-library>. (Erisim tarihi: 05.11.2021)
- Aronoff, S. (1989). Geographic information systems: A management perspective. *Geocarto International*, 4(4), 58. <https://doi.org/10.1080/10106048909354237>
- Ashley, R. M., Blanksby, J., Cashman, A. & Newman, R. (2007). An adaptable approach to flood risk management for local urban drainage. In Defra Flood and Coastal Erosion Conference, York.

- Assefa, T. H. (2018). Flood risk assessment in Ethiopia. *Civil and Environmental Research*, 10(1), 35-40.
- Azouagh, A., El Bardai, R., Hilal, I. & Stitou el Messari, J. (2018). Integration of GIS and HEC-RAS in floods modeling of Martil River (Northern Morocco). *European Scientific Journal*, 14(12), 130. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n12p130>
- Bates, P. D. & De Roo, A. P. J. (2000). A simple raster-based model for flood inundation simulation, *Journal of Hydrology*, 236(1-2), 54-77. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00278-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00278-X)
- Batica, J., Gourbesville, P. & Tessier, F. (2013). Methodology for maturity of flood risk management frameworks assessment – application to Asian and European cities *International Conference on Flood Resilience Experiences in Asia and Europe – ICFR*, Exeter, United Kingdom.
- Bayazıt, M. & Yeğen Oğuz, B. (2005). *Mühendisler İçin İstatistik*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Bayazıt, M. & Önöz, B. (2008). *Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi*. Nobel Basımevi, Ankara.
- Beck, M. B. (1991). Forecasting environmental change. *Journal of Forecasting*, 10(1-2), 3-19. <https://doi.org/10.1002/for.3980100103>
- Beden, N. (2019). *Cevizdere havzasının sayısal modelleme sistemlerine dayalı taşkın analizi ve taşkın zararlarının değerlendirilmesi* [Doktora tezi] Ondokuzmayıs Üniversitesi.
- Beltaos, S. (2014). Comparing the impacts of regulation and climate on ice-jam flooding of the Peace-Athabasca Delta. *Cold Regions Science and Technology*, 108, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2014.08.006>
- Beniston, M. (2009). Trends in joint quantiles of temperature and precipitation in Europe since 1901 and projected for 2100. *Geophysical Research Letters*, 36(7), L07707. <https://doi.org/10.1029/2008GL037119>
- Benson, M. A. (1968). Uniform flood-frequency estimating methods for federal agencies. *Water Resources Research*, 4(5), 891-908. <https://doi.org/10.1029/WR004i005p00891>
- Bergman, N., Sholker, O., Roskin, J. & Greenbaum, N. (2014). The Nahal Oz Reservoir dam-break flood: Geomorphic impact on a small ephemeral loess-channel in the semi-arid Negev Desert, Israel. *Geomorphology*, 210, 83-97. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.12.024>
- Beven, K., Bathurst, J., O'Connell, E., Littlewood, I., Blackie, J. & Robinson, M. (2015). Hydrological modelling. In Rodda, J. C. & Robinson, M. (Ed.), *Progress in modern hydrology: Past, present and future*, (chapter 7, pp. 216-239). John Wiley & Sons, Chichester.
- Beven, K. (2019). How to make advances in hydrological modelling. *Hydrology Research*, 50(6), 1481-1494. <https://doi.org/10.2166/nh.2019.134>
- Bilgin, T. (1967). *Samanlı Dağları Coğrafi Etüdü*, İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Enstitüsü Yayını, İstanbul.

- Bilgin, T. (1984). *Adapazarı Ovası ve Sapanca Oluğunun Alüvyal Morfolojisi ve Kuvaternerdeki Jeomorfolojik Tekamülü*, İstanbul Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Black, R. D. (1975). *Flood proofing rural residences, A project Agnes report*. Department of Agricultural Engineering, Cornell University
- Blais, N. C., Nguyen, Y. C., Tate, E., Dogan, F., Samant, L., Mifflin, E. & Jones, C. (2006). *Managing future development conditions in the National Flood Insurance Program*. ABSG Consulting Inc. and American Institutes for Research. https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_nfip_eval_managing_future_development.pdf
- BM (2014). *World Urbanizations Prospects: The 2014 revision*. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, New York.
- BM (2015). *The United Nations world water development report, Water for a sustainable World*. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France
- Bobée, B. (1975). The Log Pearson type 3 distribution and its application in hydrology. *Water Resources Research*, 11(5), 681-689. <https://doi.org/10.1029/WR011i005p00681>
- Bobée, B. & Rasmussen, P. F. (1995). Recent advances in flood frequency analysis. *Reviews of Geophysics*, 33(S2), 1111-1116. <https://doi.org/10.1029/95RG00287>
- Bousmar, D. & Zech, Y. (1999). Momentum transfer for practical flow computation in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(7), 696-706. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:7\(696\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:7(696))
- Brakenridge, G. R. (2012). *Global active archive of large flood events*. Dartmouth Flood Observatory, University of Colorado. Available: <http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html> (Accessed 17/10/2020)
- Breilh, J.-F., Bertin, X., Chaumillon, É., Giloy, N. & Sauzeau, T. (2014). How frequent is storm-induced flooding in the central part of the Bay of Biscay? *Global and Planetary Change*, 122, 161-175. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.08.013>
- Brouwer, R., Akter, S., Brander, L. & Haque, E. (2007). Socioeconomic vulnerability and adaptation to environmental risk: A case study of climate change and flooding in Bangladesh. *Risk Analysis*, 27(2), 313-326. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00884.x>
- Brunner, G. W. (2016). *HEC-RAS river analysis system, 2D modeling user's manual, version 5.0*. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%202D%20Modeling%20Users%20Manual.pdf>
- Bruwier, M., Erpicum, S., Piroton, M., Archambeau, P. & Dewals, B. J. (2015). Assessing the operation rules of a reservoir system based on a detailed modelling chain. *Natural Hazards and Earth System Science*, 15, 365-379. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-365-2015>

- Butler, I. R., Sommer, B., Zann, M., Zhao, J.-X. & Pandolfi, J. M. (2015). The cumulative impacts of repeated heavy rainfall, flooding and altered water quality on the high-latitude coral reefs of Hervey Bay, Queensland, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 96(1-2), 356-367. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.047>
- Büchle, B., Kreibich, H., Kron, A., Thielen, A., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B. & Nestmann, F. (2006). Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6(4), 485-503. <https://doi.org/10.5194/nhess-6-485-2006>
- Cammerer, H., Thielen, A. H. & Lammel, J. (2013). Adaptability and transferability of flood loss functions in residential areas. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(11), 3063-3081. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-3063-2013>
- Cançado, V., Brasil, L., Nascimento, N. & Guerra, A. (2008). Flood risk assessment in an urban area: Measuring hazard and vulnerability. *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK.
- Chen, Y., Xu, Y. & Yin, Y. (2009). Impacts of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoxi basin, China. *Quaternary International*, 208(1-2), 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.12.014>
- Chow, V. T., Maidment, D. R. & Mays L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Christensen, J. H. & Christensen, O. B. (2007). A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change*, 81, 7-30. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9210-7>
- Clausen, L. K. (1989). *Potential Dam Failure: Estimation of Consequences, and Implications for Planning* [Yüksek lisans tezi] School of Geography and Planning, Cardiff University
- Clausen, L. & Clark, P. B. (1990). The development of criteria for predicting dam break flood damages using modelling of historical dam failures. *Proceedings of the International Conference on River Flood Hydraulics*, pp. 369-380.
- Climate Data For Cities Worldwide (2021). Yağış ve sıcaklık verileri. <https://en.climate-data.org/> adresinden 6 Aralık 2021 tarihinde alınmıştır.
- CNA (Mexico water commission) (2011). Manual for flood control, conagua.gob.mx.
- CMMI Product Team (2002). *Capability Maturity Model Integration (CMMI) Version 1.1*. Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute, Pittsburgh, PA. <https://doi.org/10.1184/R1/6572408.v1>
- Coe, M. T., Costa, M. H. & Howard, E. A. (2008). Simulating the surface waters of the Amazon River basin: impacts of new river geomorphic and flow parameterizations. *Hydrological Processes*, 22(14), 2542-2553. <https://doi.org/10.1002/hyp.6850>
- CORINE Land Cover (2018). Arazi Haritaları. <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover> adresinden 5 Ekim 2020 tarihinde alınmıştır.
- Cortes, J. M. (2009). *Sistemática de auxílio à decisão para a seleção de alternativas de controle de inundações urbanas* [Doktora tezi]. Universidade de Brasília.

- Cunge, J. & Wegner, M. (1964). Intégration numérique des équations d'écoulement de Barré de Saint-Venant par un schéma implicite de différences finies. *La Houille Blanche*, 50(1), 33-39. <https://doi.org/10.1051/lhb/1964002>
- Cunge, J. A., Holly, F. M. & Verwey, A. (1980). *Practical aspects of computational river hydraulics*, Pitman Advanced Pub. Program, London.
- Dale, K. W., Edwards, M. R., Middelmann, M. H. & Zoppou, C. (2004). Structural flood vulnerability and the Australianisation of Black's curves. *Risk 2004 conference proceedings, Risk Engineering Society*, 8-10 November, Melbourne.
- De Bruijn, K. M. (2004). Resilience indicators for flood risk management systems of lowland rivers. *International Journal of River Basin Management*, 2(3), 199-210. <https://doi.org/10.1080/15715124.2004.9635232>
- De Moel, H. D., Van Alphen, J. & Aerts, J. C. (2009). Flood maps in Europe—methods, availability and use. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(2), 289-301. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-289-2009>
- De Moel, H. & Aerts, J. C. J. H. (2011). Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates. *Natural Hazards*. 58, 407-425. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9675-6>
- Demir, V. (2020). *Samsun Mert Havzasında bir ve iki boyutlu modeller ile taşkın alanlarının belirlenmesi* [Doktora Tezi]. Ondokuzmayıs Üniversitesi.
- Di Baldassarre, G., Schumann, G., Bates, P. D., Freer, J. E. & Beven, K. J. (2010). Flood-plain mapping: a critical discussion of deterministic and probabilistic approaches. *Hydrological Sciences Journal*, 55(3), 364-376. <https://doi.org/10.1080/02626661003683389>
- Di Baldassarre, G. (2012). *Floods in a changing climate: Inundation modelling*, Cambridge University Press, UK.
- Dinh, Q., Balica, S., Popescu, I. & Jonoski, A. (2012). Climate change impact on flood hazard, vulnerability and risk of The Long Xuyen Quadrangle in The Mekong Delta. *International Journal of River Basin Management*. 10(1), 103-120. <https://doi.org/10.1080/15715124.2012.663383>
- Domeneghetti, A., Castellarin, A. & Brath, A. (2012). Assessing rating-curve uncertainty and its effects on hydraulic model calibration. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(4), 1191-1202. <https://doi.org/10.5194/hess-16-1191-2012>
- Durack, P., Wijffels, S. & Matear, R. (2012). Ocean salinities reveal strong global water cycle intensification during 1950 to 2000. *Science*, 336(6080), 455-458. <https://doi.org/10.1126/science.1212222>
- Dursun, F. (2008). Murat Nehrinin Elaziğ ili Palu ilçesi civarındaki taşkın seviyesinin belirlenmesi, *Firat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 130-133.
- Dutta, D., Herath, S. & Musiaka, K. (2003). A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology*, 277(1-2), 24-49. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00084-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00084-2)
- Erol, O. (1993). Ayrıntılı jeomorfoloji haritaları çizim yöntemi. *İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni*, 10, 19-38.

- Erturaç, M. K. (2018). Sakarya'nın jeomorfolojik özellikleri. In C. İkiel (Ed.), *Sakarya'nın fiziki, beşeri ve iktisadi coğrafya özellikleri* (pp. 129-149). Sakarya Üniversitesi
- Euser, T., Winsemius, H. C., Hrachowitz, M., Fenicia, F., Uhlenbrook, S. & Savenije, H. H. G. (2013). A framework to assess the realism of model structures using hydrological signatures. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(5), 1893-1912. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1893-2013>
- Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z. & Değirmenci, E. (1991). *Türkiye büyük depremleri makro-sismik rehberi (1900-1988)*. İstanbul Üniversite Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Yayını, İstanbul.
- Felder, G., Zischg, A. & Weingartner, R. (2017). The effect of coupling hydrologic and hydrodynamic models on probable maximum flood estimation. *Journal of Hydrology*, 550, 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.04.052>
- FEMA (2009). *Hazus-MH MR4 flood model technical manual*. Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency Mitigation Division, Washington, D.C.
- FEMA (2013). *HAZUS-MH 2.1 User Manual*. Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency Mitigation Division, Washington, D.C.
- Foster, H. A. (1924). Theoretical frequency curves and their application to engineering problems. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 87(1), 142-173. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0003398>
- Förster, S., Chatterjee, C. & Bronstert, A. (2008). Hydrodynamic simulation of the operational management of a proposed flood emergency storage area at the Middle Elbe River. *River Research and Applications*, 24(7), 900-913. <https://doi.org/10.1002/rra.1090>
- Fu, G. & Butler, D. (2014). Copula-based frequency analysis of overflow and flooding in urban drainage systems. *Journal of Hydrology*, 510, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.006>
- Galeczka, I., Eiriksdottir, E. S., Hardardottir, J., Oelkers, E. H., Torssander, P. & Gislason, S. R. (2015). The effect of the 2002 glacial flood on dissolved and suspended chemical fluxes in the Skaftá River, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 301, 253-276. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.05.008>
- Gayathri, K. D., Ganasri, B. P. & Dwarakish, G. S. (2015). A review on hydrological models. *Aquatic Procedia*, 4, 1001-1007. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126>
- Gharari, S., Hrachowitz, M., Fenicia, F., Gao, H. & Savenije, H. H. G. (2014). Using expert knowledge to increase realism in environmental system models can dramatically reduce the need for calibration. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(12), 4839-4859. <https://doi.org/10.5194/hess-18-4839-2014>
- Girayhan, T. F. (2015). *Nicel taşkın risk değerlendirmesiyle hasar modellenmesi ve metodolojinin geliştirilmesi*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.

- Gissing, A. & Blong, R. (2004). Accounting for variability in commercial flood damage estimation. *Australian Geographer*, 35(2), 209-222. <https://doi.org/10.1080/0004918042000249511>
- Gumbel, E. J. (1958). Disarmament and clandestine rearmament under the Weimar Republic. In Seymour Melman (Ed.), *Inspection for disarmament* (pp. 203-219). Columbia University Press. <https://doi.org/10.7312/melm91590-017>
- Hall, A. C., Schumann, G. J.-P., Bamber, J. L. & Bates, P. D. (2011). Tracking water level changes of the Amazon Basin with space-borne remote sensing and integration with large scale hydrodynamic modelling: A review. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(7-8), 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.12.010>
- Halley, M. C., White, S. O. & Watkins, E. W. (2000). ArcView GIS extension for estimating curve numbers. *ESRI User Conference-2000*, San Diego, California.
- Hasanzadeh Nafari, R., Ballio, F. & Scira, M. (2013). *Flood damage assessment with the help of HEC-FIA model* [Yüksek lisans tezi]. Politecnico di Milano University
- Hasanzadeh Nafari, R., Ngo, T. & Lehman, W. (2016a). Calibration and validation of FLFArs – a new flood loss function for Australian residential structures. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 15-27, <https://doi.org/10.5194/nhess-16-15-2016>
- Hasanzadeh Nafari, R., Ngo, T. & Lehman, W. (2016b). Development and evaluation of FLFAcs – A new flood loss function for Australian commercial structures. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 17, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.03.007>
- Hasanzadeh Nafari, R., Ngo, T. & Mendis, P. (2016c). An assessment of the effectiveness of tree-based models for multi-variate flood damage assessment in Australia. *Water*, 8, 282-299. <https://doi.org/10.3390/w8070282>
- Hasanzadeh Nafari, R., Amadio, M., Ngo, T. & Mysiak, J. (2017). Flood loss modelling with FLF-IT: A new flood loss function for Italian residential structures. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(7), 1047-1059. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1047-2017>
- Hicks, F. E. & Peacock, T. (2005). Suitability of HEC-RAS for flood forecasting. *Canadian Water Resources Journal*, 30(2), 159-174. <https://doi.org/10.4296/cwrj3002159>
- Horritt, M. S. & Bates, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology*, 268(1-4), 87-99. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00121-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00121-X)
- Horton, R. E. (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 14(1), 446-460. <https://doi.org/10.1029/TR014i001p00446>
- Hossain, M. S. (2013). Flood damage and risk assessment model in the Haor Basin of Bangladesh [Yüksek lisans tezi]. Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET).
- Huizinga, H. J., De Moel, H., & Szewczyk, W. (2017). *Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines*. Technical Report, (No. JRC105688). European Commission Joint Research Centre. (Seville site).

- Huntington, T. G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319(1-4), 83-95. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.003>
- ICBR (2001). *Atlas van het overstromingsgevaar en mogelijke schade bij extreem hoogwater van de Rijn*. Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR), Koblenz.
- Isaacson, E., Stoker, J. J. & Troesch, A. (1958). Numerical solution of flow problems in rivers. *Journal of the Hydraulics Division*, 84(5), 1-18. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0000220>
- Islam, M. M. & Sado, K. (2000). Development of flood hazard maps of Bangladesh using NOAA-AVHRR images with GIS. *Hydrology Sciences Journal*, 45(3), 337-355. <https://doi.org/10.1080/02626660009492334>
- İkiel, C. (1998). Türkiye fiziki coğrafyasına genel bir bakış. *Yeni Türkiye Dergisi*, 23-24(1), 104-115.
- Jennings, M. E., Thomas, W.O. Jr. & Riggs, H.C. (1994). *Nationwide summary of US Geological Survey regional regression equations for estimating magnitude and frequency of floods for ungaged sites, 1993*. US Geological Survey, No. 94-4002, Washington
- Jongman, B., Kreibich, H., Apel, H., Barredo, J. I., Bates, P. D., Feyen, L., Gericke, A., Neal, J., Aerts, J. C. J. H. & Ward, P. J. (2012). Comparative flood damage model assessment: Towards a European approach. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(12), 3733-3752. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-3733-2012>
- Jonkman, S. N., Bočkarjova, M., Kok, M. & Bernardini, P. (2008). Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. *Ecological Economics*, 66(1), 77-90. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.022>
- Kang, J.-L., Su, M.-D. & Chang, L.-F. (2005). Loss functions and framework for regional flood damage estimation in residential area. *Journal of Marine Science and Technology*, 13(3), 193-199. <https://doi.org/10.51400/2709-6998.2126>
- Katopodes, N. D. & Strelkoff, T. (1978). Computing two-dimensional dam-break flood waves. *Journal of the Hydraulics Division*, 104(9), 1269-1288. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0005062>
- Kavetski, D., Kuczera, G. & Franks, S. W. (2006). Calibration of conceptual hydrological models revisited: 1. Overcoming numerical artefacts. *Journal of Hydrology*, 320(1-2), 173-186. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.012>
- Kelman, I. & Spence, R. (2004). An overview of flood actions on buildings. *Engineering Geology*, 73(3-4), 297-309. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.01.010>
- Kılınc, İ. & Şahin, V. (2005). İstanbul'daki Kurbağalı Dere'nin taşkın sahasını belirlemede HEC-RAS kullanılması. *I. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, Ankara, 317-325.
- Kjeldsen, T. R. (2007). Flood estimation handbook supplementary report no. 1, The revitalised FSR/FEH rainfall-runoff method. *Centre for Ecology and Hydrology*, Wallingford.

- Klein, R. J., Smit, M. J., Goosen, H. & Hulsbergen, C. H. (1998). Resilience and vulnerability: coastal dynamics or Dutch dikes? *Geographical Journal*, 164(3), 259-268. <https://doi.org/10.2307/3060615>
- Klijn, F., Baan, P., de Bruijn K. & Kwadijk, J. (2007). *Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat: Verwachtingen, schattingen en berekeningen voor het project Nederland Later*. Nederland: Delft hydraulics.
- Kreibich, H. & Thieken, A. H. (2008). Assessment of damage caused by high groundwater inundation. *Water Resources Research*, 44(9), W09409. <https://doi.org/10.1029/2007WR006621>
- Kreibich, H. & Dimitrova, B. (2010). Assessment of damages caused by different flood types. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 133, 3-11. <https://doi.org/10.2495/FRIAR100011>
- Kreibich, H., Seifert, I., Merz, B. & Thieken, A. H. (2010). Development of FLEMOcs – a new model for the estimation of flood losses in the commercial sector. *Hydrological Sciences Journal*, 55(8), 1302-1314. <https://doi.org/10.1080/02626667.2010.529815>
- Kroll, C. N. & Vogel, R. M. (2002). Probability distribution of low streamflow series in the United States. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(2), 137-146. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2002\)7:2\(137\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2002)7:2(137))
- Kuichling, E. (1889). The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. *Transaction of the American Society of Civil Engineers*, 20(1), 1-56. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0000694>
- Kundzewicz, Z. W., Szamalek, K. & Kowalczak, P. (1999). The Great flood of 1997 in Poland. *Hydrological Sciences Journal*, 44(6), 855-870. <https://doi.org/10.1080/02626669909492285>
- Kundzewicz, Z. W. (2008). Climate change impacts on the hydrological cycle. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 8(2-4), 195-203. <https://doi.org/10.2478/v10104-009-0015-y>
- Kundzewicz, Z. W., Pińskwar, I. & Brakenridge, G. R. (2013). Large floods in Europe, 1985-2009. *Hydrological Sciences Journal*, 58(1), 1-7. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.745082>
- Lekuthai, A. & Vongvisessomjai, S. (2001). Intangible flood damage quantification. *Water Resources Management*, 15, 343-362. <https://doi.org/10.1023/A:1014489329348>
- Lenderink, G. & Van Meijgaard, E. (2008). Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geoscience*, 1, 511-514. <https://doi.org/10.1038/ngeo262>
- Lin, B., Wicks, J. M., Falconer, R. A. & Adams, K. (2006). Integrating 1D and 2D hydrodynamic models for flood simulation. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 159(1), 19-25. <https://doi.org/10.1680/wama.2006.159.1.19>
- Machado, M. L. (2005). *Curvas de Danos de Inundação Versus Profundidade de Submersão: Desenvolvimento de Metodologia Estudo de Caso Bacia do Rio Sapucaí - Itajubá [Doktora Tezi]*. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidraulica e Recursos Hidricos.

- Mahmood, K., Yevjevich, V. M. & Miller, W. A. (1975). *Unsteady flow in open channels*, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.
- Maidment, D. R. (1992). *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Martin, C. S. & DeFazio, F. G. (1969). Open-channel surge simulation by digital computer. *Journal of the Hydraulics Division*, 95(6), 2049-2070. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0002204>
- Martin, C. S. & Zovne, J. J. (1971). Finite-difference simulation of bore propagation. *Journal of the Hydraulics Division*, 97(7), 993-1010. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0003043>
- Martins, E. S. & Stedinger, J. R. (2001). Historical information in a generalized Maximum Likelihood Framework with partial duration and annual maximum series. *Water Resources Research*, 37(10), 2559-2567. <https://doi.org/10.1029/2000WR000009>
- Masood, M. & Takeuchi, K. (2012). Assessment of flood hazard, vulnerability and risk of mid-eastern Dhaka using DEM and 1D hydrodynamic model. *Natural Hazards*, 61, 757-770. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-0060-x>
- Matalas, N. C. & Wallis, J. R. (1973). Eureka! It fits a Pearson type: 3 distribution. *Water Resources Research*, 9(2), 281-289. <https://doi.org/10.1029/WR009i002p00281>
- McBean, E. A., Gorrie, J., Fortin, M., Ding, J. & Moulton, R. (1988a). Flood depth-damage curves by interview survey. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114(6), 613-634. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1988\)114:6\(613\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1988)114:6(613))
- McBean, E. A., Gorrie, J., Fortin, M., Ding, J. & Moulton, R. (1988b). Adjustment factors for flood damage curves. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114(6), 635-646. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1988\)114:6\(635\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1988)114:6(635))
- McGrath, H., Stefanakis, E. & Nastev, M. (2015). Sensitivity analysis of flood damage estimates: A case study in Fredericton, New Brunswick. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14(4), 379-387. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.09.003>, 2015
- McKenzie, D. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 30(2), 109-185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x>
- Merz, B., Kreibich, H., Thielen, A. & Schmidtke, R. (2004). Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4(1), 153-163. <https://doi.org/10.5194/nhess-4-153-2004>
- Merz, R., Blöschl, G. & Humer, G. (2008). National flood discharge mapping in Austria. *Natural Hazards*, 46, 53-72. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9181-7>
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R. & Thielen, A. (2010). Review article "Assessment of economic flood damage". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(8), 1697-1724. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1697-2010>

- Merz, B., Kreibich, H. & Lall, U. (2013). Multi-variate flood damage assessment: a tree-based data-mining approach. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(1), 53-64. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-53-2013>
- Meyer, V., Becker, N., Markantonis, V., Schwarze, R., van den Bergh, J. C. J. M., Bouwer, L. M., Bubeck, P., Ciavola, P., Genovese, E., Green, C., Hallegatte, S., Kreibich, H., Lequeux, Q., Logar, I., Papyrakis, E., Pfuertscheller, C., Poussin, J., Przyluski, V., Thielen, A. H. & Viavattene, C. (2013). Review article: Assessing the costs of natural hazards – state of the art and knowledge gaps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(5), 1351-1373. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1351-2013>
- Min, S.-K., Zhang, X., Zwiers, F. W. & Hegerl, G. C. (2011). Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature*, 470, 378-381. <https://doi.org/10.1038/nature09763>
- Mogollón, B., Frimpong, E. A., Hoegh, A. B. & Angermeier, P. (2016). An empirical assessment of which inland floods can be managed. *Journal of Environmental Management*, 167, 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.10.044>
- Mohammadi, A., Ryu, D. & Costelloe, J. F. (2013). Mapping of flow paths in large, anastomosing arid zone rivers: Cooper Creek, Australia. *20th International Congress on Modelling & Simulation*, Australia, 2485-2491.
- Molinari, D. (2011). *Flood early warning systems performance: an approach at the warning chain perspective* [Doktora tezi]. Politecnico di Milano.
- Moussa, R. & Bocquillon, C. (2009). On the use of the diffusive wave for modelling extreme flood events with overbank flow in the floodplain. *Journal of Hydrology*, 374(1-2), 116-135. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.006>
- Muis, S., Güneralp, B., Jongman, B., Aerts, J. C. J. H. & Ward, P. J. (2015). Flood risk and adaptation strategies under climate change and urban expansion: A probabilistic analysis using global data. *Science of the Total Environment*, 538, 445-457. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.068>
- Nandalal, K. D. W. (2009). Use of a hydrodynamic model to forecast floods of Kalu River in Sri Lanka. *Journal of Flood Risk Management*, 2(3), 151-158. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2009.01032.x>
- Nascimento, N., Machado, M. L., Baptista, M. & Silva, A. De P. E. (2007). The assessment of damage caused by floods in the Brazilian context. *Urban Water Journal*, 4(3), 195-210. <https://doi.org/10.1080/15730620701466591>
- Nastev, M. & Todorov, N. (2013). HAZUS: A standardized methodology for flood risk assessment in Canada. *Canadian Water Resources Journal*, 38(3), 223-231. <https://doi.org/10.1080/07011784.2013.801599>
- Neelz, S. & Pender, G. (2013). *Benchmarking the latest generation of 2D hydraulic modelling packages*. Environment Agency, Bristol.
- Özdemir, H. (2007). *Havran Çayı havzasının (Balıkesir) CBS ve uzaktan algılama yöntemleriyle taşkın ve heyelan risk analizi* [Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Pall, P., Aina, T., Stone, D. A., Stott, P. A., Nozawa, T., Hilberts, A. G. J., Lohmann, D. & Allen, M. R. (2011). Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. *Nature*, 470, 382-385. <https://doi.org/10.1038/nature09762>

- Pamir, H., Baykal, F. & Ketin. İ. (1943). *Adapazarı-Hendek depremi (20.06.1943) hakkında jeolojik rapor*. Deprem Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- Park, D. & Markus, M. (2014). Analysis of a changing hydrologic flood regime using the Variable Infiltration Capacity model. *Journal of Hydrology*, 515, 267-280. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.004>
- Paşa, Y. & Hacı, A. (2023). *Su kaynakları Mühendisliğinde Bilgisayar Uygulamaları (HEC-RAS)* (1. Baskı). İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınları.
- Patel, D. P., Ramirez, J. A., Srivastava, P. K., Bray, M. & Han, D. (2017). Assessment of flood inundation mapping of Surat city by coupled 1D/2D hydrodynamic modeling: a case application of the new HEC-RAS 5. *Natural Hazards*, 89, 93-130. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2956-6>
- Pender, G. (2006). Briefing: Introducing the flood risk management research consortium. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 159(1), 3-8. <https://doi.org/10.1680/wama.2006.159.1.3>
- Pender, G. & Néelz, S. (2011). Flood inundation modelling to support flood risk management. In Pender, G. & Faulkner, H. (Ed.), *Flood risk science and management* (pp. 234-257). Wiley-Blackwell
- Penning-Rowsell, E. C. & Chatterton, J. B. (1977). *The benefits of flood alleviation: A manual of assessment techniques*. Gower Technical Press, Aldershot, UK
- Pistrika, A. K. & Jonkman, S. N. (2010). Damage to residential buildings due to flooding of New Orleans after hurricane Katrina. *Natural Hazards*, 54(2), 413-434. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9476-y>
- Pistrika, A., Tsakiris, G. & Nalbantis, I. (2014). Flood depth-damage functions for built environment. *Environmental Process*, 1, 553-572. <https://doi.org/10.1007/s40710-014-0038-2>
- Plate, E. J. (2002). Flood risk and flood management, *Journal of Hydrology*, 267(1-2), 2-11. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00135-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00135-X)
- Plazak, D. (1984). *A critical assessment of methodologies for estimating urban flood damages-prevented benefits*. (Information Series, no.52), Colorado Water Resources Research Institute, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- PMI (2002). *Risk Management Maturity Level Development*. Project Management Institute, London, UK.
- Prettenthaler, F., Amrusch, P. & Habsburg-Lothringen, C. (2010). Estimation of an absolute flood damage curve based on an Austrian case study under a dam breach scenario. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(4), 881-894. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-881-2010>
- Quiroga, V. M., Kure, S., Udo, K. & Mano, A. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. *RIBAGUA*, 3(1), 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.12.001>
- Rahman, M. M. & Ali, M. M. (2016). Modeling flood inundation in floodplain of the Jamuna River using HEC-RAS and HEC-GeoRAS. *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 44(1), 41-51.

- Resmi Gazete (2022). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığında: Mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak 2022 yılı yapı yaklaşık birim maliyetleri hakkında tebliğ. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/02/20220218-11.htm> adresinden 18 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Rezoug, M., El Meouche, R., Hamzaoui, R., Khreim, J., Feng, Z. & Bassir, D. (2010). Optimal modeling study of flooding phenomenon in urban area (Dam break case). *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, 4(3-4), 149-158. <https://doi.org/10.1051/ijsmdo/2010019>
- Rind, M. A., Ansari, K., Saher, R., Shakya S. & Ahmad, S. (2018). 2D hydrodynamic model for flood vulnerability assessment of lower Indus River Basin, Pakistan. *World Environmental and Water Resources Congress 2018*, pp. 468-482.
- Rojas, R., Feyen, L. & Watkiss, P. (2013). Climate change and river floods in the European Union: Socio-economic consequences and the costs and benefits of adaptation. *Global Environmental Change*, 23(6), 1737-1751. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.08.006>
- Roos, I.W. (2003). *Damage to Buildings*. Delft Cluster-publication, DC1-233-9.
- Roshun, H., Solaimani, K., Vahabzadeh, G. & Darvishan, A. K. (2012). Employing GIS to river hydraulic analysis using HEC-RAS model (Case study; Zaremrood River, Mazandaran Province). *3th Symposium on Climate Change & Dendrochronology*.
- Sajikumar, N. & Remya, R. S. (2015). Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *Journal of Environmental Management*, 161, 460-468. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.041>
- Sangal, B. P. & Biswas, A. K. (1970). The 3-parameter lognormal distribution and its applications in hydrology. *Water Resources Research*, 6(2), 505-515. <https://doi.org/10.1029/WR006i002p00505>
- Sanyal, J. & Lu, X. X. (2004). Application of remote sensing in flood management with special reference to monsoon Asia: A review. *Natural Hazards*, 33, 283-301. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000037035.65105.95>
- Sausser, B. J., Ramirez-Marquez, J. E., Henry, D. & DiMarzio, D. (2008). A system maturity index for the systems engineering life cycle. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 3(6), 673-691. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2008.02068>
- Sayers, P., Gouldby, B. P., Simm, J. D., Meadowcroft, I. & Hall, J. (2003). *Risk, performance and uncertainty in flood and coastal defence - A review*. Defra/Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme (PB No. 11836). https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6026918ee90e070552b334e3/Risk_performance_and_uncertainty_in_flood_and_coastal_defence_-_A_Review__Re-release__technical_report.pdf
- Scawthorn, C., Flores, P., Blais, N., Seligson, H., Tate, E., Chang, S., Mifflin, E., Thomas, W., Murphy, J., Jones, C. & Lawrence, M. (2006). HAZUS-MH flood loss estimation methodology. II. Damage and loss assessment. *Natural Hazards Review*, 7(2), 72-81. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2006\)7:2\(72\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:2(72))

- Scharffenberg, W. A. (2000). *Hydrologic modeling system HEC-HMS, User's Manual, Version 2.0*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- Scharffenberg, W. A. (2001). *Hydrologic modeling system HEC-HMS, User's Manual, Version 2.1*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- Scharffenberg, W. A. (2013). *Hydrologic modeling system HEC-HMS, User's Manual, Version 4.0*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- Schneider, P. J. & Schauer, B. A. (2006). HAZUS - Its development and its future. *Natural Hazards Review*, 7(2), 40-44. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2006\)7:2\(40\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:2(40))
- Schröter, K., Kreibich, H., Vogel, K., Riggelsen, C., Scherbaum, F. & Merz, B. (2014). How useful are complex flood damage models? *Water Resources Research*, 50(4), 3378-3395. <https://doi.org/10.1002/2013WR014396>
- Schwarz, J. & Maiwald, H. (2008). Damage and loss prediction model based on the vulnerability of building types. *4th International Symposium on Flood Defence: Managing Flood Risk, Reliability and Vulnerability*, Toronto, Ontario, Canada.
- Scorzini, A. R. & Frank, E. (2017). Flood damage curves: New insights from the 2010 flood in Veneto, Italy. *Journal of Flood Risk Management*, 10(3), 381-392. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12163>
- SCS (1956). *In hydrology, national engineering of handbook, soil conservation service*. Supplement A, Section 4, Chap. 10, USDA, Washington DC.
- Sendzimir, J., Magnuszewski, P., Flachner, Z., Balogh, P., Molnar, G., Sarvari, A. & Nagy, Z. (2007). Assessing the resilience of a river management regime: informal learning in a shadow network in the Tisza River Basin. *Ecology and Society*, 13(1), 11.
- Serencam, U. (2013). *Taşkın zararları ve zarar görebilirlik analizi: Trabzon Değirmendere Sanayi Mahallesi örneği* [Doktora Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi
- Smith, D. I. (1994). Flood damage estimation - A review of urban stage-damage curves and loss functions. *Water SA*, 20(3), 231-238.
- Smith, D. I. & Greenaway, M. A. (1994). *Tropical storm surge, damage assessment and emergency planning: a pilot study for Mackay, Queensland*. Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University.
- Sönmez, O. (2013). *Nehirlerde 2 boyutlu taşkın modellenmesi ve taşkın haritalarının oluşturulması* [Doktora Tezi]. Sakarya Üniversitesi
- Spada, E., Tucciarelli, T., Sinagra, M., Sammartano, V. & Corato, G. (2015). Computation of vertically averaged velocities in irregular sections of straight channels. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(9), 3857-3873. <https://doi.org/10.5194/hess-19-3857-2015>
- Stedinger, J. R. & Griffis, V. W. (2008). Flood frequency analysis in the United States: Time to update. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(4), 199-287. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:4\(199\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:4(199))

- Stelling, G. S. & Verwey, A. (2005). Numerical flood simulation. In Anderson, M. G. (Ed.), *Encyclopedia of Hydrological Sciences* (pp.257-270). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa025a>
- Sturm, T. W. (2009). *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Education, United States.
- Su, M.-D., Kang, J.-L. & Chang, L.-F. (2009). Industrial and commercial depth-damage curve assessment. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 5(2), 199-208.
- Şengör, A. M. C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4), 181-241. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4)
- Taş, E., İçağa, Y. & Zorluer, İ. (2016). Taşkın yayılım haritalarının oluşturulması ve taşkın zarar analizi: Akarçay Afyon Alt Havzası örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 711-721. <https://doi.org/10.5578/fmbd.27767>
- Tate, E., Munoz, C. & Suchan, J. (2014). Uncertainty and sensitivity analysis of the HAZUS-MH flood model. *Natural Hazards Review*, 16(3), 04014030. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000167](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000167)
- Tayefi, V., Lane, S. N., Hardy, R. J. & Yu, D. (2007). A comparison of one- and two-dimensional approaches to modelling flood inundation over complex upland floodplains. *Hydrological Processes*, 21(23), 3190-3202. <https://doi.org/10.1002/hyp.6523>
- Teng, J., Jakeman, A. J., Vaze, J., Croke, B. F. W., Dutta, D. & Kim, S. (2017). Flood inundation modeling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental Modelling & Software*, 90, 201-216. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.006>
- Terzioğlu, Z. (2018). *Taşkın zararlarının tahmini, zarar derecelendirmesi ve risk sınıflandırması: Doğu Karadeniz için bir uygulama* [Doktora Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi
- Thielen, A. H., Müller, M., Kreibich, H. & Merz, B. (2005). Flood damage and influencing factors: New insights from the August 2002 flood in Germany. *Water Resources Research*, 41(12), W12430. <https://doi.org/10.1029/2005WR004177>
- Thielen, A. H., Olschewski, A., Kreibich, H., Kobsch, S. & Merz, B. (2008). Development and evaluation of FLEMOps – a new Flood Loss Estimation Model for the private sector. In Proverbs, D., Brebbia, C. A., Penning-Rowsell, E. (Ed.), *Flood Recovery, Innovation and Response* (pp. 315-324). WIT Press
- Timbadiya, P. V., Patel, Prem P. L. & Porey, P. D. (2011a). Calibration of HEC-RAS model on prediction of flood for lower Tapi River, India. *Journal of Water Resource and Protection*, 3(11), 805-811. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2011.311090>
- Timbadiya, P. V., Patel, P. L. & Porey, P. D. (2011b). HEC-RAS based hydrodynamic model in prediction of stages of lower Tapi River. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 17(2), 110-117. <https://doi.org/10.1080/09715010.2011.10515050>

- Timbadiya, P. V., Patel, P. L. & Porey, P. D. (2014). One-dimensional hydrodynamic modelling of flooding and stage hydrographs in the lower Tapi River in India. *Current Science*, 106(5), 708-716.
- Udono, T. & Sah, A. K. (2002). Hazard mapping and vulnerability assessment. *Regional Workshop on Total Disaster Risk Management*, Kobe, Japan.
- UNISDR (2004). Terminology. Basic terms of disaster risk reduction. In United Nations Inter-Agency Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR) (Ed.), *Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives, Vol. II* (pp. 1-30). United Nations Publication, Geneva.
- UNISDR (2009). *Terminology on Disaster Risk Reduction*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland. <https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction>
- UNISDR (2017). *Terminology on Disaster Risk Reduction*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland. Available at: <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology#letterd>
- US Department of Defence (2011). *Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance*. Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering (ASD(R&E)), Washington, DC. <https://www.afacpo.com/AQDocs/TRA2011.pdf>
- USACE (2003). *Economic Guidance Memorandum (EGM) 04-01, Generic Depth-Damage Relationships for Residential Structures with Basements*. U.S. Army Corps of Engineers
- Van Alphen, J., Martini, F., Loat, R., Slomp, R. & Passchier, R. (2009). Flood risk mapping in Europe, experiences and best practices. *Journal of Flood Risk Management*, 2(4), 285-292. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2009.01045.x>
- Van Eck N. V. & Kok M. (2001). *Standaardmethode schade en slachtoffers als gevolg van overstromingen*. Dienst Wegen Waterbouwkunde, Ministerie van Rijkswaterstaat, Netherlands. <https://open.rijkswaterstaat.nl/publish/pages/76756/50377.pdf>
- Vanneuville, W., Maddens, R., Collard, C., Bogaert, P., De Maeyer, P. & Antrop, M. (2006). *Impact op mens en economie t.g.v. overstromingen bekeken in het licht van wijzigende hydraulische condities, omgevingsfactoren en klimatologische omstandigheden*. Vakgroep Geografie Universiteit Gent, Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA
- Vecere, A., Monteiro, R., Ammann, W. J., Giovinazzi, S. & Santos, R. H. M. (2017). Predictive models for post disaster shelter needs assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 21, 44-62. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.11.010>
- Vis, M., Klijn, F., De Bruijn, K. M. & Van Buuren, M. (2003). Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands. *International Journal of River Basin Management*, 1(1), 33-40. <https://doi.org/10.1080/15715124.2003.9635190>
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R. & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5.

- White, G. F. (1945). *Human adjustment to floods, A geographical approach to the flood problem in the United States* [Doktora tezi]. University of Chicago
- Wilson, M., Bates, P., Alsdorf, D., Forsberg, B., Horritt, M., Melack, J., Frappart, F. & Famiglietti, J. (2007). Modeling large-scale inundation of Amazonian seasonally flooded wetlands. *Geophysical Research Letters*, 34(15), L15404. <https://doi.org/10.1029/2007GL030156>
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). (2013). *Flood Mapping*. Integrated Flood Management Tools Series No. 20. https://www.floodmanagement.info/publications/tools/APFM_Tool_20.pdf
- Yarrakula, K., Deb, D. & Samanta, B. (2010) Hydrodynamic modeling of Subernarekha River and its floodplain using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 69, 529-536.
- Yazıcılar, F. & Önder, H. (1998). Taşkın yatakları planlamasında HEC-RAS bilgisayar programı ile su yüzü profili hesaplanması-Bartın Nehrinde bir uygulama. *Su Mühendisliği Problemleri Semineri*, Muğla, Türkiye
- Yılmaz Y, Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş. C. & Şengör, A. M. C. (1997). Geology and tectonic evolution of the Pontides. In A. G. Robinson (Ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region* (pp. 183-266). American Association of Petroleum Geologists, Oklahoma, USA <https://doi.org/10.1306/M68612C11>
- Zelege, E. (2015). Flood Mapping Case study: on Bantyeketu River in Addis Ababa [Yüksek Lisans Tezi]. Addis Ababa University
- Zhang, T., Feng, P., Maksimović, Č. & Bates, P. D. (2016). Application of a three-dimensional unstructured-mesh finite-element flooding model and comparison with two-dimensional approaches. *Water Resources Management*, 30, 823-841. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1193-6>
- Zin, W. W., Kawasaki, A., Takeuchi, W., San, Z. M. L. T., Htun, K. Z., Aye, T. H. & Win, S. (2018). Flood hazard assessment of Bago River Basin, Myanmar. *Journal of Disaster Research*, 13(1), 14-21. <https://doi.org/10.20965/jdr.2018.p0014>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Pınar SPOR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2015, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2014 yılından beri Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Spor, P. ve Dogan, E. 2023. Comparing Flood Damages to an Industrial Region in Turkey, Using Several Methods, *Water Economics and Policy*, doi: 10.1142/S2382624X2350011X