

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI OLASI SELLERİN BİNA STOKU
ÜZERİNDE YARATACAĞI HASAR VE ZARARIN KONUMSAL FİNANS
YAKLAŞIMI İLE ANALİZİ: ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ**

Gökben ADANA KARAAĞAÇ

Doktora Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Aralık 2024

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Gökben ADANA KARAAĞAÇ'ın İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI OLASI SELLERİN BİNA STOKU ÜZERİNDE YARATACAĞI HASAR VE ZARARIN KONUMSAL FİNANS YAKLAŞIMI İLE ANALİZİ: ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ başlıklı çalışması 05/12/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL
Üye	: Prof. Dr. Özlem ATALIK
Üye	: Prof. Dr. Serpil ALTINIRMAK
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Gülşah KULALI
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

05/12/2024

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Doktora ğrencisi Gökben ADANA KARAAğAÇ, İKLİM DEğİşİKLİğİNE BAğLI OLASI SELLERİN BİNA STOKU ÜZERİNDE YARATACAğI HASAR VE ZARARIN KONUMSAL FİNANS YAKLAşIMI İLE ANALİZİ: ESKİşEHİR RNEğİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun grlmştır.

Tez Danişmanı

Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇİL

ÖZET

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI OLASI SELLERİN BİNA STOKU ÜZERİNDE YARATACAĞI HASAR VE ZARARIN KONUMSAL FİNANS YAKLAŞIMI İLE ANALİZİ: ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ

Gökben ADANA KARAAĞAÇ

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Aralık 2024

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL

Bu tez, Eskişehir kent merkezinde iklim değişikliğine bağlı olası sel tehlikesinin bina stokunda yaratacağı zararları hesaplamayı ve bu zararları finansal risk ölçüm aracı olan Riske Maruz Değer (Value at Risk-VaR) ile değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, gelecekteki yağış verileri küresel iklim modellerinden elde edilerek, farklı emisyon senaryoları altında sel tehlikesi analiz edilmiştir. Sel tahminleri, yağış-akış parametresine dayalı pik debi hesaplamaları ile yapılmış; derinlik-hasar katsayıları kullanılarak bina stokunda oluşabilecek zararlar belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, konumsal finans yaklaşımıyla ele alınarak VaR yöntemi ile birleştirilmiştir. Q_{100} senaryosuna göre, 1611 binanın olası sel tehlikesine maruz kaldığı belirlenmiştir. Bu binaların 1486'sı konut, 116'sı ticari kullanım alanı ve 9'u sanayi yapısıdır. Olası selin yaratacağı toplam parasal zarar 3.629.522.320 TL olarak hesaplanmış; bu zararın 2.276.440.939 TL'si konut, 1.349.844.589 TL'si ticari yapılar, 3.236.792 TL'si ise sanayi yapılarından kaynaklanmaktadır. SSP1-2.6 ve SSP2-4.5 emisyon senaryolarında, sel olasılıkları üstel fonksiyon ile hesaplanmış; Porsuk Çayı ve Sarısu Deresi'nden uzaklaştıkça sel etkisinin eksponansiyel olarak azaldığı modellenmiştir. SSP1-2.6 senaryosunda VaR 509.053.340 TL, SSP2-4.5 senaryosunda ise 16.179.641 TL olarak belirlenmiştir. %95 güven seviyesiyle hesaplanan VaR sonuçları, selden kaynaklanacak zararların bu eşiklerin üzerinde gerçekleşme olasılığının yalnızca %5 olduğunu göstermektedir. Tez, konumsal finans yaklaşımının Türkiye'deki ilk uygulama örneklerinden biri olup, alana önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler: İklim değişikliği, Coğrafi bilgi teknolojileri, Sel hasar ve zararı, Konumsal finans, Riske maruz değer.

ABSTRACT

ANALYSIS OF DAMAGE AND LOSS CAUSED BY POTENTIAL FLOODS DUE TO CLIMATE CHANGE ON THE BUILDING STOCK USING A SPATIAL FINANCE APPROACH: THE CASE OF ESKİŞEHİR

Gökben ADANA KARAAĞAÇ

Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, December 2024

Supervisor: Asst. Prof. Hakan UYGUÇGİL

This dissertation aims to estimate the potential losses in the building stock caused by climate change-induced flood hazards in the city center of Eskişehir and to evaluate these losses using Value at Risk (VaR), a financial risk measurement tool. In the study, future precipitation data were derived from global climate models, and flood hazards were analyzed under different emission scenarios. Flood predictions were carried out through peak discharge calculations based on rainfall-runoff parameters, and potential losses in the building stock were determined using depth-damage coefficient. The results were integrated with the VaR method through a spatial finance approach. Under the Q_{100} scenario, it was determined that 1,611 buildings are exposed to potential flood hazards. Among these buildings, 1,486 are residential, 116 are commercial, and 9 are industrial structures. The total monetary loss caused by potential flooding was calculated as 3,629,522,320 TRY, of which 2,276,440,939 TRY is attributed to residential buildings, 1,349,844,589 TRY to commercial buildings, and 3,236,792 TRY to industrial structures. In the SSP1-2.6 and SSP2-4.5 emission scenarios, flood probabilities were calculated using exponential functions, modeling that flood impacts decrease exponentially with increasing distance from the Porsuk River and Sarisu Stream. Under the SSP1-2.6 scenario, the VaR was determined as 509,053,340 TRY, while it was 16,179,641 TRY under the SSP2-4.5 scenario. The VaR results, calculated with a 95% confidence level, indicate that the probability of flood-induced losses exceeding these thresholds is only 5%. This dissertation represents one of the first applications of the spatial finance approach in Turkey and is expected to make a significant contribution to the field.

Keywords: Climate change, Geographic information technologies, Flood damage and loss, Spatial finance, Value at Risk.

TEŞEKKÜR

Doktora süreci uzun ve zorlu bir yolculuktu. Bu süreci tamamlayabildiysem, bunu etrafımdaki çok değerli insanlara borçluyum.

Öncelikle danışman hocam Dr. Hakan Uyguçgil'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Hem akademik anlamda rehberliği hem de psikolojik desteği, bu zorlu süreci aşmamda önemli bir rol oynadı. Hocamın bilgisi, sabrı ve desteği olmasaydı, bu tezi bitirmem pek de mümkün değildi. Tez İzleme Komitesindeki hocalarım Prof. Dr. Serpil Altınırmak ve Prof. Dr. Özlem Atalık'a da teşvik edici yaklaşımları ve değerli önerileri için içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca, Dr. Serhan Tuncer hocama bu işi yapabileceğime dair beni cesaretlendirmesinden dolayı çok teşekkür ediyorum.

Gulnara Aghasiyeva çalışma ve oda arkadaşım olarak bu süreçte bana her zaman destek oldu. Varlığı bu yolculuğu daha katlanabilir hale getirdi. Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü'ne, sağladığı uygun çalışma ortamı için teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmamda YÖK 100/2000 ve TÜBİTAK 2211-A bursiyeri olarak beni destekleyen iki kuruma da teşekkür ederim.

Aileme olan minnettarlığımı nasıl ifade edeceğimi bilemiyorum. Annem Mualla Mukadder Adana ve babam Eyüp Adana bu süreçte kızımı büyütmemde en büyük destekçim oldular. Onlar olmasaydı, doktora yapmak benim için hayalden öteye geçemezdi. Ayrıca abim Gökhan Adana'ya da sağlamış olduğu lojistik ve teknik destekten dolayı çok teşekkür ediyorum.

Ayşe'm, doktoram boyunca senin zamanından çok çaldım bunu biliyorum. Bu nedenle, sabrın ve anlayışın için sana sonsuz teşekkür ediyorum güzel kızım. Ve eşim Ersan Karaağaç... Bana olan inancın, güvenin ve şikâyet etmeden gösterdiğin sabrın bu sürecin en büyük dayanaklarından biri oldu. Desteğin ve anlayışın olmadan bu başarıyı elde edemezdim.

Özetle bu tez sadece benim değil, hepimizin ortak emeği sonucu tamamlandı. Hepinize yürekten teşekkür ederim.

Gökben ADANA KARAAĞAÇ

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Gökben ADANA KARAAĞAÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIV
1.GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	4
1.2. Çalışmanın Kapsamı.....	5
1.3. Çalışmanın Sınırlılıkları/Varsayımları	6
1.4. Araştırma Soruları ve Hipotezleri.....	8
1.5. Literatür Özeti.....	9
1.5.1. İklim değişikliğinin ekonomik etkilerini konu alan (öncü) çalışmalar	9
1.5.2. İklim ile ilişkili sellerin ekonomik etkilerini/neden olduğu hasar ve zararı konu alan çalışmalar	13
2. KURAMSAL TEMELLER	16
2.1. Konumsal Finans.....	16
2.1.1. Konumsal finansın tanımı ve temel kavramlar	16
2.1.2. Konumsal finansın uygulama alanları	21
2.1.3. Konumsal finans ve ESG kriterleri ilişkisi.....	23
2.2. Finansal Risk Yönetimi	25

2.2.1. Finansal risk ölçüm yöntemleri.....	27
2.2.2. Riske maruz değer	28
2.2.2.1. Varyans-kovaryans yöntemi	29
2.2.2.2. Monte Carlo simülasyonu	29
2.2.2.3. Tarihsel simülasyon yöntemi.....	30
2.3. Küresel İklim Değişikliği	30
2.3.1. Küresel iklim modelleri.....	31
2.3.1.1. CMIP6 kapsamındaki küresel iklim modelleri.....	33
2.3.1.2. Küresel iklim modeli seçim kriterleri.....	34
2.3.2. Çoklu model topluluk yaklaşımları	37
2.3.3. Küresel iklim değişikliği çalışmalarında başlıca kuruluşlar ve projeler	38
2.3.3.1. Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP).....	38
2.3.3.2. Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP)	38
2.3.3.3. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC).....	39
2.3.4. Emisyon senaryoları.....	43
2.3.4.1. Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP)	44
2.3.4.2. Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar (SSP)	45
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	50
3.1. Çalışma Alanı	50
3.2. Materyal.....	52
3.2.1. Yağış-akış parametresine dayalı pik debi hesaplamasında kullanılan veriler	52
3.2.1.1. CORINE arazi örtüsü ve hidrolojik toprak grubu verisi.....	53
3.2.1.2. Küresel iklim modeli verileri	56
3.2.2. Zarar hesaplamada kullanılan veriler.....	59
3.2.2.1. Bina stoku	59
3.2.2.2. Sel yayılım ve derinlik verisi.....	59
3.3. Yöntem	60
3.3.1. Havza alanının oluşturulması.....	62
3.3.2. Yağış-akış parametresine dayalı pik debi tahmini.....	63
3.3.3. Derinlik-hasar katsayıları.....	66

3.3.4. Konumsal riske maruz değer hesaplama	73
3.3.4.1. Uzaklığa bağlı zarar belirleme	75
3.3.4.2. Olasılıksal sel riski.....	76
4. BULGULAR.....	82
4.1. Yağış-Akış Parametresine Dayalı Pik Debi Bulguları	82
4.1.1. Akış katsayısı (c) bulguları	82
4.1.2. Pik debi bulguları	84
4.2. Toplam Zarar ve Konumsal Riske Maruz Değer Bulguları	86
4.2.1. Toplam zarar bulguları.....	87
4.2.2. Konumsal riske maruz değer bulguları.....	92
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	104
KAYNAKÇA.....	107
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. İklimle ilgili fiziksel riskler ve finansal etkileri.....	21
Tablo 2.2. ESG kriterleri	24
Tablo 2.3. IPCC çalışmalarının tarihçesi	40
Tablo 2.4. 1986-2005 referans dönemine göre 21. yüzyılın ortası ve sonu için küresel ortalama yüzey hava sıcaklığı ve küresel ortalama deniz seviyesi artışında öngörülen değişiklikler.....	44
Tablo 2.5. SSP ve RCP senaryoları karşılaştırması.....	47
Tablo 4.1. Çalışma alanı 1 için pik debi değerleri	85
Tablo 4.2. Bina türüne göre toplam zarar	88
Tablo 4.3. Bina türlerine göre toplam zarar ve riske maruz değer sonuçları	102

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Konumsal finansın aşamaları.....	19
Şekil 2.2. Risk ölçüm yöntemleri	28
Şekil 2.3. Küresel iklim modelleri.....	32
Şekil 2.4. CMIP ve IPCC raporları.....	39
Şekil 2.5. IPCC'nin yapısı.....	39
Şekil 2.6. SSP senaryoları.....	46
Şekil 3.1. Çalışma alanı 1 (havza alanı)	51
Şekil 3.2. Çalışma alanı 2 (Eskişehir kent merkezi).....	52
Şekil 3.3. Havza alanı Corine arazi örtüsü haritası.....	54
Şekil 3.4. Hidrolojik toprak grubu haritası	56
Şekil 3.5. Küresel iklim modeli yağış verisi.....	58
Şekil 3.6. Eskişehir kent merkezi bina stoku.....	59
Şekil 3.7. Sel yayılım ve derinlik verisi.....	60
Şekil 3.8. Yöntem-akış şeması	62
Şekil 3.9. Havza alanı oluşturma aşamaları.....	63
Şekil 3.10. Toplam zarar hesaplama aşamaları	72
Şekil 3.11. Toplam zarar verilerinin dağılımı.....	74
Şekil 3.12. Logaritmik dönüşüm sonrası toplam zarar verilerinin dağılımı	74
Şekil 3.13. Porsuk Çayı çevresinde oluşturulan mesafe haritası	76
Şekil 4.1. Akış katsayısı haritası.....	83
Şekil 4.2. Çalışma alanı 1 için piksel bazlı pik debi değerleri.....	86
Şekil 4.3. Toplam zarar haritası.....	87
Şekil 4.4. Toplam zarar haritası (Bölge A).....	89
Şekil 4.5. Toplam zarar haritası (Bölge B).....	90
Şekil 4.6. Toplam zarar haritası (Bölge C).....	91
Şekil 4.7. Toplam zarar haritası (Bölge D).....	92
Şekil 4.8. SSP1-2.6 senaryosunda mesafeye bağlı sel olasılığı.....	93
Şekil 4.9. SSP2-4.5 senaryosunda mesafeye bağlı sel olasılığı.....	94
Şekil 4.10. SSP1-2.6 senaryosunda sel olasılığı yoğunluk haritası	95
Şekil 4.11. SSP2-4.5 senaryosunda sel olasılığı yoğunluk haritası	96
Şekil 4.12. SSP1-2.6 senaryosuna göre sel olasılığı (alan 1)	97

Şekil 4.13. SSP2-4.5 senaryosuna göre sel olasılığı (alan 1)	98
Şekil 4.14. SSP1-2.6 senaryosuna göre sel olasılığı (alan 2)	99
Şekil 4.15. SSP2-4.5 senaryosuna göre sel olasılığı (alan 2)	100
Şekil 4.16. SSP1-2.6 senaryosuna göre sel olasılığı (alan 3)	101
Şekil 4.17. SSP2-4.5 senaryosuna göre sel olasılığı (alan 3)	102



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CMIP	: Coupled Model Intercomparison Project (Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi)
CORINE	: Coordination of Information on the Environment (Çevresel Bilginin Koordinasyonu)
ECB	: European Central Bank (Avrupa Merkez Bankası)
ESG	: Environmental, Social, and Governance Criteria (Çevresel, Sosyal ve Yönetişim Kriterleri)
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü)
FAR	: First Assessment Report (Birinci Değerlendirme Raporu)
FEMA	: Federal Emergency Management Agency (Federal Acil Durum Yönetim Kurumu)
GCM	: Global Climate Model (Küresel İklim Modeli)
GRI	: Global Reporting Initiative (Küresel Raporlama Girişimi)
IMF	: International Monetary Fund (Uluslararası Para Fonu)
IPCC	: The Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
JRC	: Joint Research Centre (Ortak Araştırma Merkezi)
MENAP	: Middle East and North Africa and Afghanistan and Pakistan (Ortadoğu ve Kuzey Afrika ile Afganistan ve Pakistan)
MME	: Multi-Model Ensemble Approaches (Çoklu Model Topluluk Yaklaşımları)
RCP	: Representative Concentration Pathways (Temsili Konsantrasyon Yolları)
SFI	: Sustainable Finance Initiative (Sürdürülebilir Finans Girişimi)
SSP	: Shared Socioeconomic Pathways (Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar)
SRES	: The Special Report on Emission Scenarios (Emisyon Senaryoları Özel Raporu)

TCDF	: Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (İklimle İlgili Finansal Açıklamalar Görev Gücü)
UNEP	: United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi)
USACE	: U.S. Army Corps of Engineers (ABD Ordusu Mühendisler Birliği)
USGS	: United States Geological Survey (Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Kurumu)
VaR	: Value at Risk (Riske maruz değer)
WCRP	: World Climate Research Program (Dünya İklim Araştırma Programı)
WGCM	: Working Group on Coupled Modelling (Birleştirilmiş Modeller Üzerine Çalışma Grubu)
WMO	: World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)
WWF	: World Wide Fund for Nature (Doğal Hayatı Koruma Vakfı)

1.GİRİŞ

Küresel iklim değışikliği, tüm dünyadaki olumsuz çevresel ve ekonomik etkileriyle, günümüzün en önemli küresel sorunlarından biridir. Atmosferdeki sera gazı oranının artışı, sıcaklık ve yağış düzenlerinde değışikliklere neden olarak aşırı hava olaylarının sıklığında ve şiddetinde belirgin artışlara yol açmaktadır. Bu durum, iklim değışikliğine bağlı afet ve tehlikelerin hem meydana gelme olasılığını hem de ekonomik zararlarını arttırmaktadır. Sel, kuraklık, aşırı sıcaklar, sıcak hava dalgaları, yangınlar ve fırtınalar gibi olaylar, kamu ve özel sektör yatırımlarına zarar vermekte, ekonomik büyümeyi ve kalkınmayı yavaşlatmaktadır. Bu tür hasarlar yalnızca maddi zararlara değil aynı zamanda iş gücü ve üretim zararlarına yol açmaktadır.

Özellikle sıcaklık ve yağış düzenlerindeki değışiklikler, su varlığını önemli ölçüde etkileyerek hem selleri hem de kuraklıkları daha şiddetli hale getirme potansiyeline sahiptir (Majone vd., 2022). İklim değışikliğinin etkilerine uyum sağlamak ve bu etkileri azaltmak için, gelecekteki sel risklerini anlamaya yönelik bir yaklaşım benimsenmesi gereklidir. Bu yaklaşım, akarsu taşkınlarını dikkate alarak sel etkilerini tahmin edebilmeli ve gelecekteki iklim ile sosyoekonomik koşullardaki değışikliklerin yol açabileceği etkileri araştırabilmelidir (Mokrech vd., 2015). Sel olayları, özellikle kentsel alanlardaki altyapı, bina stokları ve ekonomik faaliyetler üzerinde yıkıcı etkilere neden olabilmektedir. Bu nedenle sellerin öngörülmesi ve bu felaketlerin ekonomik etkilerinin tahmin edilmesi, modern risk yönetimi açısından önemli bir konudur.

Küresel sıcaklıklar arttıkça yağış düzenleri daha değışken ve dengesiz hale gelmektedir. Bu durum debinin büyüklüğünü doğrudan etkileyerek bazı bölgelerde ani sel riskini arttırmakta, bazı bölgelerde ise kuraklık koşullarını yoğunlaştırmaktadır (Kassaye vd., 2024).

2007 yılında Avrupa Birliği tarafından sel risklerinin değerlendirilmesi ve yönetilmesi amacıyla hayata geçirilen Sel Direktifi (Floods Directive), Avrupa Parlamentosu ve Konseyi tarafından kabul edilen ve sel riski değerlendirmesi ve yönetimine ilişkin bir direktiftir. Bu direktif AB üye ülkelerinin sel riski altında bulunan bölgelerde önleyici ve hazırlık faaliyetlerini geliştirmelerini amaçlar. Direktif, sel olaylarının etkilerini en aza indirmek için risklerin değerlendirilmesi, haritalanması ve yönetilmesine yönelik yöntemlerin belirlenmesini öngörür. Avrupa Ekonomik Alanı (EEA) ile ilgili metin olarak kabul edilen bu direktif, çevresel ve insan sağlığına olan olası olumsuz etkilerle mücadele etmeyi hedefler. AB üye ülkelerinin sel risklerine karşı

daha etkili politikalar geliştirmeleri gerektiğini vurgular ve sel riski haritalarının oluşturulması ile bu haritaların halkla paylaşılmasını öngörür (European Environment Agency, 2007). Türkiye AB üyesi olmadığı için doğrudan bu direktife tabi değildir. Fakat bu direktif Avrupa Birliği'nin çevresel standartlarına uyum sağlamada ve sel yönetimi politikalarını geliştirmede rehber niteliğindedir. AB'ye aday Türkiye, su yönetimi ve sel risklerinin azaltılması uygulamalarını direktif çerçevesinde şekillendirerek sınır ötesi iş birliklerini güçlendirebilir ve ulusal su politikalarını daha etkin hale getirebilir.

Gelecekteki iklim değişikliğine verilecek hidrolojik tepkilerin değerlendirilmesi sel risklerinin azaltılması, su kaynaklarının yönetilmesi ve hidroklimatik değerşkenliklerin ele alınması açısından önemli bir konudur (Li vd., 2020).

Avrupa Komisyonu'nun (European Commission) bilim ve bilgi servisi olan Ortak Araştırma Merkezi (Joint Research Centre-JRC) tarafından yayınlanan raporda, son zamanlardaki sel olaylarından ve Sel Direktifi'nin uygulanmasından çıkarılan dersler doğrultusunda şu öneriler öne çıkmaktadır (JRC, 2024):

- Birçok havzada, orta olasılık senaryoları için 100 yıllık dönüş periyodu kullanılmaktadır. Bunun nedeni, düşük ve yüksek olasılıkların etkilerinin büyük ölçüde farklılık göstermesidir. Orta olasılık için 100 yıllık dönüş periyodunu henüz kullanmayanlar, bunu sonraki döngülerde uygulamalıdır. Ayrıca, düşük ve yüksek olasılıkların oluşturduğu riskler üzerinde ortak bir anlayışa ulaşmak amacıyla, bu olasılıklar mümkün olan her yerde uyumlu hale getirilmelidir.
- Havza düzeyinde, selin potansiyel olumsuz sonuçlarına ilişkin daha fazla bilgi sağlanmalıdır. Örneğin, etkilenebilecek hane halkı sayısı gibi detaylar sunularak, Sel Direktifinin sınır ötesi nehirler üzerindeki uygulanma etkisinin nicel olarak değerlendirilebilmesi mümkün hale getirilmelidir.
- İklim değerışikliği, hedeflerin belirlenmesi ve sınır ötesi sel riski yönetimi için alınacak önlemlerin önceliklendirilmesi süreçlerine entegre edilmelidir. Böylelikle iklim değerışikliğinin sel riskleri üzerindeki etkisi daha iyi anlaşılabilir ve bu doğrultuda uygun tedbirler alınabilir.
- Bir risk alanının etkisinin tam kapsamı dikkate alınmalıdır. Bu kapsam, sınır ötesi boyuta sahip risk alanlarını belirlemek ve bu tür alanlara yönelik uygulanacak önlemler üzerinde karar vermek açısından kritik öneme sahiptir.

Uluslararası sel çalışmalarına bakıldığında, bu tezle paralel bir yaklaşım benimsenmiştir. Sel Direktifi, sel risklerinin sadece fiziksel etkilerini değer, aynı zamanda

ekonomik boyutlarını değerlendirmenin önemini vurgular. Tezde, bina stokunun maruz kalacağı parasal zararların hesaplanması, bu değerlendirme sürecinin önemli bir parçası olarak ele alınabilir. Direktif, üye ülkelerin sel riski haritalarını oluşturmalarını ve halkla paylaşmasını zorunlu kılar. Bu haritalar selin fiziksel etkilerinin yanı sıra finansal sonuçları da yansıtmalıdır. Bina değerlerinin ve parasal zararların haritalanması risk haritalarının daha gerçekçi olmasını sağlar. Konumsal finans ve riske maruz değer yöntemleri bu haritaların oluşturulmasında önemli bir araçtır.

Bu tezde, konumsal finans (spatial finance) yaklaşımı benimsenerek coğrafi bilgi teknolojileri ile finansal risk yönetiminin entegrasyonu hedeflenmiştir. Gelecekte meydana gelebilecek olası sel tehlikeleri, küresel iklim modellerinden elde edilen yağış verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Yağış-akış parametreleri ile tahmin edilen pik debi (Q) değerlerinin belirli eşik seviyelerini aşması durumunda potansiyel sel tehlikeleri belirlenmiştir. Çalışmada, Eskişehir kent merkezindeki bina stokuna yönelik potansiyel parasal zararlar, derinlik-hasar katsayıları kullanılarak hesaplanmıştır. Selin yayılımı ve derinliği, bina stoku üzerindeki hasarın derecesini belirlemekte; bu yöntem, olası maddi zararların güvenilir bir şekilde tahmin edilmesine olanak tanımaktadır. Son olarak, elde edilen zarar tahminleri finansal risk ölçüm araçlarından olan Riske Maruz Değer (VaR - Value at Risk) modeliyle birleştirilmiştir. VaR modeli, olasılıksal bir yaklaşımla potansiyel zarar seviyelerini tahmin ederek, sel tehlikesinin ekonomik etkilerini öngörmeyi sağlamaktadır. Tezde, finansal modelleme ile coğrafi bilgi teknolojilerinin entegrasyonu, konumsal finans yaklaşımının yenilikçi ve kapsamlı bir uygulaması olarak sunulmuştur. Sonuç olarak, konumsal ve finansal analizlerin bir araya getirilmesiyle sel olaylarına ilişkin çok boyutlu bir risk analizi geliştirilmiştir.

Tez, toplam beş bölümden oluşmaktadır. Bölümler, çalışmada yararlanılan teorik bilgileri ve uygulama detaylarını içermektedir. Giriş bölümünde; çalışmanın amacı ve önemi, çalışmanın kapsamı, çalışmanın sınırlılıkları, araştırma soruları ve hipotezleri ve literatür özeti ortaya konmuştur. İkinci bölüm olan kuramsal temeller kısmında, konumsal finansın teorik temelleri, finansal risk yönetimi ve küresel iklim değişikliği konuları incelenmiştir. Üçüncü bölüm olan materyal ve yöntemde, çalışmada kullanılan veriler ve kaynakları, analiz yöntemleri ve uygulama süreçleri detaylandırılmıştır. Tezde kullanılan yöntemler ayrıntılı şekilde açıklanmıştır. Ayrıca kullanılan yöntemlerin gerekçeleri ve veri işleme süreçleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde çalışmanın bulgularına yer verilmiştir. Sonuç ve öneriler bölümünde, çalışmanın genel değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu bölümde, tezde ele alınan sorulara verilen yanıtlar ve ulaşılan sonuçlar özetlenmiştir. Araştırmanın bulgularına dayanarak gelecekteki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği tüm dünyada hava olaylarının sıklığını ve şiddetini arttırarak aşırı hava olaylarına neden olmaktadır. Artan yağış miktarları, değişen yağış rejimleri ve ani yağışların tetiklediği seller, özellikle kuraklık dönemlerini takip eden süreçlerde daha sık yaşanmaya başlamıştır. Bu olaylar çevre, insan yaşamı ve ekonomiler üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu nedenle sellerin tahmini ve yönetimi konuları giderek daha fazla önem kazanmakta ve bu alandaki araştırmaların sayısı artmaktadır.

Bu tez Eskişehir kent merkezinde meydana gelebilecek olası sel tehlikelerinin bina stokunda yaratacağı parasal zararları hesaplamayı ve bu zararları finansal risk yönetiminde kullanılan Riske Maruz Değer (Value at Risk, VaR) yöntemiyle entegre ederek değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, gelecekteki yağış verileri küresel iklim modellerinden alınmış, farklı emisyon senaryoları altında sel tehlikesi analiz edilmiştir. Yağış-akış parametresine dayalı pik debi hesaplamaları ile yapılan sel tahminleri, derinlik-hasar katsayıları kullanılarak bina stokunda meydana gelebilecek hasar ve zararları belirlemek için kullanılmıştır. Bu süreçte, sonuçlar konumsal finans yaklaşımıyla ele alınarak riske maruz değer yöntemi ile birleştirilmiştir.

Tezin önemi, gelecekteki sel tehlikesinin kent merkezi üzerindeki ekonomik etkilerini öngörmek ve bu zararları risk yönetiminde kullanılabilir hale getirmektir. Çalışma kapsamında, farklı iklim senaryolarına dayalı sel tehlikesi değerlendirilmiş ve kent merkezindeki bina stokunun uğrayabileceği potansiyel zararlar belirlenmiştir. Bu analizler, risk yönetimi, şehir planlama ve sigorta primleri açısından karar vericilere önleyici tedbirler ve yatırımlar konusunda daha bilinçli adımlar atma olanağı sunmaktadır.

Farklı emisyon senaryoları altında sel tehlikesi ile bina stokundaki zararların riske maruz değer yöntemiyle entegrasyonunun, literatüre özgün bir katkı sağladığı düşünülmektedir. Geleneksel olarak finansal varlıklarla sınırlı olan Riske Maruz Değer yaklaşımı bu çalışmada iklimle ilişkili sel tehlikesine uygulanabilir hale getirilmiştir. Jeo-uzamsal teknolojiler ile finans teorisinin bir arada kullanıldığı bu tezde, sel riskinin bina stoku üzerindeki parasal etkileri hem konumsal hem de finansal boyutlarda ele alınmıştır.

Çalışmanın özgün değeri, sel tehlikesinin bina stoku üzerindeki parasal etkilerini konumsal bir analizle ele alarak finansal risk yönetimi çerçevesine entegre etmesidir. İklim değişikliği projeksiyonları ile risk yönetimini bir araya getiren bu yaklaşım, yalnızca finans sektörü için değil, şehir planlama ve afet yönetimi alanlarında yenilikçi bir çözüm sunmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda çalışmanın gelecekteki olası sel olaylarının ekonomik etkilerinin daha doğru bir şekilde öngörülmesine katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Tez Eskişehir kent merkezi ve çevresindeki havza alanını kapsayacak şekilde olası sel senaryoları üzerine gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki sel tehlikesi, yağış-akış parametresine dayalı pik debi tahmini ile modellenmiştir. Bu yöntem kent merkezini içine alan havza alanında pik debi (Q) hesaplaması üzerine kurulu bir yöntemdir. Sel tehlikesini belirlemek amacıyla kullanılan akış katsayısı (c) hesaplamaları için CORINE arazi örtüsü verisi ve hidrolojik toprak grubu verileri kullanılmıştır. Yağış yoğunluğu (i) küresel iklim modellerinden elde edilen yağış verilerine dayanmaktadır.

Tezde iklim değişikliğinin gelecekteki etkilerini daha iyi anlamak ve sel tehlikesini değerlendirmek amacıyla üç farklı emisyon senaryosu (SSP1-2.6, SSP2-4.5 ve SSP5-8.5) kullanılmıştır. Her bir senaryo için dört farklı dönem (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100) boyunca aylık bazda yağış projeksiyonları dikkate alınmıştır. Bu projeksiyonlar, yağış-akış parametresine dayalı pik debi tahmininde yağış yoğunluğu değişkeni olarak kullanılmış, her dönemde ve senaryoda kent merkezi için sel tehlikesi değerlendirilmiştir. Belirli eşik değerlerini aşan pik debi değerlerine göre sel tehlikesi yaşanıp yaşanmayacağı belirlenmiştir. Belirlenen eşik değerler üzerinden analizler gerçekleştirilerek hem farklı dönemlerin hem de emisyon senaryolarının sel tehlikesine olan etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Olası selin bina stoku üzerinde yaratacağı ekonomik zararlar, Joint Research Centre'nın 2017 yılında yayımladığı derinlik-hasar eğrilerinden türetilen katsayılar kullanılarak hesaplanmıştır. Tez kapsamında, meydana gelen zararlar daha sonra finansal bir risk çerçevesine oturtulmak üzere Risk Maruz Değer (VaR) yöntemi ile entegre edilerek olasılığa dayalı risk tahminleri yapılmıştır. Böylece çalışmada iklim değişikliği, konumsal analizler ve finansal risk değerlendirme teknikleri birleştirilerek kapsamlı bir model sunulmuştur.

Bu çerçevede, çalışma yalnızca belirli iklim senaryoları ve belirli bir coğrafi alanla sınırlıdır. Bulgular Eskişehir kent merkezinde öngörülen sel tehlikesi ve bu tehlikenin neden olacağı zararlar hakkında bilgi sağlamayı amaçlamaktadır. Tezin yöntemi farklı bölgelerde yapılacak benzer analizler için bir temel oluşturmaktadır.

1.3. Çalışmanın Sınırlılıkları/Varsayımları

Tezde olası sel nedeniyle bina stoku üzerindeki potansiyel zararlar, geleceğe yönelik iklim projeksiyonlarına dayandırılarak analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan bina stoku ve yapı yaklaşık birim maliyetleri günümüze aittir. Olası selin belirlenmesinde girdi olarak kullanılan küresel iklim modellerinden elde edilen yağış verileri ise gelecekteki projeksiyonlara dayanmaktadır.

Veriler arasındaki bu zamansal uyumsuzluk, çalışma için bazı sınırlılıklar yaratmaktadır. Bu sınırlılıklar:

- Analizlerde kullanılan bina stoku günümüze aittir. Tez kapsamında kullanılan binaların konumsal dağılımı ve bina türü bilgileri mevcut durumu temsil etmektedir. Geleceğe yönelik analizlerde bahsi geçen verilerin projeksiyonlarının kullanılması daha sağlıklı olacaktır. Fakat bu tür değişimler pek çok dışsal faktöre bağlıdır ve tahmini oldukça zordur. Gelecekteki nüfus artışı, ekonomik gelişmeler ve göç gibi faktörler, yerleşim alanlarının konumsal dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir.

- Binalarda meydana gelebilecek olası zararların hesaplanmasında günümüz yapı yaklaşık birim maliyetleri kullanılmıştır. Yapı yaklaşık birim maliyetleri; inşaat malzemesi fiyatları, iş gücü ücretleri, enerji maliyetleri ve genel enflasyon oranları gibi ekonomik faktörlere oldukça duyarlıdır. Uzun dönemli tahminlerde, bu tür ekonomik belirsizliklerin tahmini zorlaşmaktadır. Maliyetleri tahmin etmeyi zorlaştıran diğer faktörler, ekonomideki küresel değişimler ve yerel piyasa koşulları olarak sıralanabilir. Bu nedenle, güncel yapı yaklaşık birim maliyetlerinin gelecekteki iklim projeksiyonları ile birleştirilmesi tezde bir sınırlılık oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, güncel bina stoku ve yapı yaklaşık birim maliyetlerinin gelecekte de geçerli olacağı varsayımı altında analizler gerçekleştirilmiştir.

Gelecekteki bina yapım maliyetleri, yerleşim desenleri ve demografik dağılımlar gibi sosyoekonomik faktörlerin tahmini, uzun dönemli projeksiyonlarda karşılaşılan önemli bir zorluk olarak öne çıkmaktadır. Bu tür tahminlerin karmaşıklığı, çok sayıda belirsiz değişkenin bir araya gelmesinden kaynaklanmaktadır ve özellikle inşaat maliyetlerini etkileyen unsurlar bağlamında belirginleşmektedir.

İnşaat sektörü hammadde fiyatlarındaki dalgalanmalar, iş gücü maliyetlerindeki değişiklikler ve enerji fiyatlarındaki oynaklık gibi ekonomik faktörlere yüksek oranda bağımlıdır. Bu ekonomik faktörlerin gelecekte nasıl şekilleneceğine dair öngörüler makroekonomik politikalar, küresel piyasalardaki gelişmeler ve yerel enflasyon oranlarındaki dalgalanmalar gibi dışsal unsurlardan etkilenmektedir. Bu unsurların dinamik yapısı ekonomik tahminlerin doğruluğunu sınırlayarak gelecekteki bina yapım maliyetlerini belirlemeyi güçleştirmektedir. Özellikle uzun vadeli projeksiyonlarda kısa vadeli ekonomik dalgalanmalar bile tahminleri belirsizleştiren etkenler arasında sayılabilir.

Buna ek olarak teknolojik yenilikler ve bunların inşaat sektörüne entegrasyonu gelecekteki maliyetlerin tahminini güçleştiren bir başka önemli değişkendir. İnşaat malzemelerindeki yenilikler, akıllı bina teknolojileri ve yeni inşaat yöntemlerinin geliştirilmesi, yapım maliyetlerini ve bina ömrünü doğrudan etkilemektedir. Bu teknolojik gelişmelerin hızı ve piyasaya yayılma oranı tahmin edilmesi zor bir değişkendir. Düşük maliyetli ve çevre dostu inşaat malzemeleri ya da daha az iş gücü gerektiren otomasyon teknolojilerinin yaygınlaşması, uzun vadede bina maliyetlerini düşürebilecek faktörlerdir. Ancak bu gelişmelerin ne ölçüde gerçekleşeceği ve hangi zaman aralıklarında etkili olacağı konusunda belirsizlikler bulunmaktadır.

Ayrıca politik ve yasal düzenlemeler tahminlerin doğruluğunu doğrudan etkileyen faktörler arasında yer alır. İklim değişikliği ile mücadele kapsamında benimsenen politikalar, binaların enerji verimliliği standartları, dayanıklılık gereksinimleri ve çevresel etkileri dikkate alınarak yeniden şekillendirilmektedir. Enerji tasarrufu sağlayan yeşil bina standartları ve dayanıklılık gereklilikleri inşaat maliyetlerini artırma potansiyeline sahip olup, bu tür politikaların ne derece katılaştırılacağı veya hangi ölçekte uygulanacağı öngörülerde belirsizlik yaratmaktadır.

Demografik değişimler ve göç eğilimleri yerleşim desenleri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Nüfus artış oranları, kentleşme hızı ve iç göç dinamikleri gibi faktörler gelecekte hangi bölgelerin daha fazla yapılaşacağına dair çıkarımlar yapılmasını mümkün kılmakla birlikte, bu tür dinamikler oldukça oynaktır. Özellikle iklim değişikliği nedeniyle bazı bölgelerde sel veya kuraklık riskinin artması gelecekteki yerleşim desenlerinde büyük değişikliklere yol açabilir. İklim riskleri göz önünde bulundurulduğunda mevcut yerleşim alanlarının bazıları nüfus kaybederken, düşük riskli alanların daha yoğun yapılaşmaya maruz kalabileceği öngörülebilir. Ancak bu tür

değişimlerin ölçeği ve zamanlaması çevresel, ekonomik ve sosyal etkenlerin bir arada değerlendirilmesi gereken çok boyutlu analizler gerektirir.

Son olarak bu belirsizlikler altında yapılan projeksiyonların sağlıklı sonuçlar üretebilmesi için sıklıkla senaryo analizleri yapılmakta ve birden fazla sosyoekonomik yol (IPCC'nin SSP senaryoları gibi) altında olası sonuçlar değerlendirilmektedir. Bu tür analizlerde, projeksiyonların belirsizlik aralığının geniş tutulması, farklı politika ve teknolojik gelişme senaryolarının dikkate alınması ve gelecekteki olası koşulları kapsayacak kapsamlı modellemelerin kullanılması önerilmektedir. Bu bakımdan gelecek öngörülerini her ne kadar yapılabilir olsa da içerdiği belirsizlikler, bu projeksiyonların belirli bir doğruluk payı ile sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır.

1.4. Araştırma Soruları ve Hipotezleri

Tezin araştırma soruları ve hipotezleri, coğrafi bilgi teknolojilerinin ve küresel iklim modellerinin birleşiminin gelecekteki sel riskleri üzerindeki etkilerini ve bu risklerin finansal yönetim süreçlerine entegrasyonunu incelemeye odaklanmaktadır. Ayrıca konumsal finans yaklaşımının bu tür risklerin değerlendirilmesinde geleneksel finansal yöntemlere kıyasla nasıl bir avantaj sunduğu araştırılmak istenmiştir.

Araştırma soruları, küresel iklim değişikliğine bağlı olarak farklı zaman dilimlerinde ve emisyon senaryolarında meydana gelebilecek sellerin etkilerini anlamaya yönelik oluşturulmuştur. Hipotezler bu sorulara cevap ararken kullanılan yöntemlerin etkinliğini test etmek için geliştirilmiştir. Özellikle, Risk Maruz Değer (VaR) modelinin konumsal verilerle entegrasyonu ve bu entegrasyonun parasal zarar tahminlerini nasıl daha hassas hale getirebileceği üzerine yoğunlaşmaktadır.

Araştırma Soruları:

Araştırma sorusu 1: Coğrafi bilgi teknolojileri ve küresel iklim modellerindeki yağış verileri kullanılarak gelecekteki olası sellerin neden olacağı zararlar belirlenebilir mi? Sonuçlar, konumsal finans yaklaşımıyla Risk Maruz Değer yöntemine entegre edilerek etkili bir risk yönetimi değerlendirmesi yapılabilir mi?

Araştırma sorusu 2: Farklı zaman dilimlerinde ve emisyon senaryolarında öngörülen yağış verileri, olası sel tehlikesini nasıl etkilemektedir?

Araştırma sorusu 3: Finansal risk ölçüm aracı olan Riske Maruz Değerin, coğrafi bilgi sistemleriyle entegrasyonu ve bina bazında yapılan olasılık temelli analizler, sel kaynaklı zararların daha doğru ve yerleştirilmiş bir şekilde tahmin edilmesini nasıl sağlar?

Araştırma sorusu 4: Konumsal finans yaklaşımı, sel riskinin tespiti ve finansal zararların yönetiminde geleneksel finansal risk yönetimi araçlarına kıyasla daha kapsamlı ve etkin sonuçlar sağlar mı?

Hipotezler:

Hipotez 1: Coğrafi bilgi teknolojileri ve küresel iklim modellerindeki yağış verileri kullanılarak gelecekteki olası sellerin neden olacağı zararlar belirlenebilir ve sonuçlar, konumsal finans yaklaşımıyla Risk Maruz Değer yöntemine entegre edilerek etkili bir risk yönetimi değerlendirmesi yapılabilir.

Hipotez 2: Farklı emisyon senaryolarına ve zaman dilimlerine dayalı yağış projeksiyonları sel tehlikesini farklı seviyelerde etkileyerek, gelecekte oluşabilecek sel olaylarının şiddetini ve sıklığını arttırmaktadır.

Hipotez 3: Finansal risk ölçüm aracı olarak Riske Maruz Değerin, coğrafi bilgi sistemleriyle entegrasyonu ve bina bazında yapılan olasılık temelli analizler, sel kaynaklı zararların tahmininde daha yüksek doğruluk ve yerleştirilmiş sonuçlar sağlamaktadır.

Hipotez 4: Konumsal finans yaklaşımı sel riskinin tespiti ve finansal zararların yönetiminde geleneksel finansal risk yönetimi araçlarına kıyasla daha kapsamlı ve etkin sonuçlar sağlar.

1.5. Literatür Özeti

Sel tehlikesi ve etkileri üzerine yapılan çalışmalar, genellikle hidrolik ve hidrolojik modelleme ile hasar analizi yöntemlerini içermektedir. Bu çalışmalar konumsal ya da ekonomik açıdan sınırlı kalmaktadır. Ancak, afetlerin etkilerinin hem konumsal hem de finansal boyutlarıyla birlikte ele alan çalışmalar literatürde oldukça sınırlıdır.

Çalışmanın literatür özeti bölümü iki başlık altında incelenmiştir. Öncelikle genel anlamda iklim değişikliğinin küresel ya da ulusal ölçekte neden olduğu ekonomik etkileri konu alan çalışmalara değinilmiştir. Sonrasında tezin konusu olan iklim değişikliği ile ilişkili sellerin neden olduğu hasar ve zararı değerlendiren çalışmalardan bahsedilmiştir.

1.5.1. İklim değişikliğinin ekonomik etkilerini konu alan (öncü) çalışmalar

Sera gazı emisyonlarının Dünya'nın sıcaklığını etkileyeceği uzun yıllar önce bilim insanları tarafından incelenmeye başlanmış bir konudur. 1897 yılında karbonik asit olarak adlandırılan karbondioksitin, küresel sıcaklık üzerindeki potansiyel etkisini tahmin etmek için hesaplamalar yapılmış ve fosil yakıt kullanımı gibi insan kaynaklı faaliyetlerin iklimi değiştirebileceği öne sürülmüştür. Karbonik asit miktarındaki geometrik artışın, sıcaklığın aritmetik olarak artmasına neden olacağı ortaya konmuştur (Arrhenius ve

Holden, 1897). O yıllardan günümüze kadar konu ile ilgili farklı çalışmalar yapılmakla birlikte, iklim değişikliğinin neden olduğu ya da olacağı ekonomik etkiler 1990'lı yıllarda gündeme gelmeye başlamıştır. Bu dönemde yapılan çalışmalar daha çok makroekonomik göstergeler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

İklim değişikliğinin ekonomik etkileri Dünya üzerindeki bölgeler arasındaki farklılıklara, ülkelerin sosyoekonomik yapısına, ülkelerin iklim değişikliğine uyum ve adaptasyon kapasitesine göre farklılık göstermektedir. Bu ekonomik etkiler iklim değişikliğine bağlı ya da iklimle ilişkili afetlerden kaynaklanan etkilerdir. Örneğin; sıcaklık artışı, düzensiz yağışlar ve aşırı hava olayları tarım üretimini olumsuz yönde etkileyerek, gıda fiyatlarının artmasına neden olarak ekonomik bir etki yaratır. Yine artan sıcaklıklar bulaşıcı hastalıkların yayılımını etkileyerek sağlık sorunlarına yol açabilir ve sağlık maliyetlerinde artışa neden olur. İklim değişikliğine bağlı küresel ısınmadan kaynaklı deniz seviyesinin yükselmesi olayı sonucu altyapının zarar görmesi mülkiyet zararlarına, insanların bulundukları yerlerden taşınmalarına neden olarak olumsuz bir ekonomik etki yaratır. Sigorta sektöründe iklim değişikliğine bağlı afetler ve aşırı hava olayları kaynaklı sigorta talebi ve sigorta maliyetlerini etkileyerek ekonomik etki yaratmaktadır.

1991 yılında Nordhaus'un yaptığı çalışmada, iklim değişikliğini kontrol altında tutmaya yönelik politikaları analiz etmek için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Sera gazlarından kaynaklı ısınmayı kontrol etmeye yönelik yaklaşımların ekonomik analizlerinde kullanılan unsurlar açıklanmıştır. Ekonomiyi, emisyonları ve iklim değişikliklerini birbirine bağlayan matematiksel bir ekonomik büyüme modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, gelecekteki zararları azaltmak için bugünden yatırım yapılması mantığına dayanmaktadır. Ekonomik büyüme ve iklim değişikliği arasındaki ilişkiyi ortaya koyan, iklim değişikliğinin dinamiklerini ve iklim değişikliğini yavaşlatmaya yönelik yatırımlar yapmayı içeren bir model önerilmiştir. Bu model, Dinamik Entegre İklim-Ekonomi (Dynamic Integrated Climate-Economy-DICE) modeli adı verilen ilk entegre değerlendirme modellerinden (Integrated Assessment Model-IAM) biridir. Bu modelde iklim değişikliğinin ekonomik etkilerini analiz etmek için ekonomik ve çevresel faktörleri entegre etmek amaçlanmış ve çok kez revize edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'ne ait veriler kullanılarak sera gazı emisyonlarını ve konsantrasyonlarını azaltmanın maliyetleri ile sera ısınmasından kaynaklanan zararlar hakkındaki ampirik kanıtlar özetlenmiştir (Nordhaus, 1991).

1992 yılında Cline tarafından gerçekleştirilen çalışmada, karbondioksit ve diğer sera gazı emisyonlarının azaltılmasının ekonomik maliyeti, küresel ısınmanın gelecekteki zararlarının ekonomik faydalarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmada, küresel ısınmanın ABD ekonomisi üzerindeki potansiyel etkileri tarım, orman kaybı, deniz seviyesi yükselmesi, iklimlendirme için elektrik tüketimi, su temini, kentsel kirlilik, biyolojik çeşitlilik kaybı ve insan zararları gibi pek çok alanda incelenmiştir. Ayrıca, çalışma 2300 yılına kadar, yani 300 yıl süresince tahminler yapmıştır. Bu tarih, klasik karbondioksit konsantrasyonu ölçütü olan iki katına çıkma noktasının, 2025 yılından çok daha uzun bir süreyi kapsayan ve daha yüksek ısınma seviyelerini öngördüğünü ortaya koymaktadır. Çalışma, iklim değişikliği etkilerini azaltma faaliyetlerinin maliyetini değerlendirirken, başta kömür olmak üzere fosil yakıtların alternatif enerji kaynaklarıyla değiştirilmesinin maliyetine dair önde gelen enerji-ekonomik modelleri kullanmıştır. Ayrıca, ormansızlaşmanın önlenmesi ve karbondioksit emen yeni orman alanları oluşturulması gibi daha düşük maliyetli önlemler de göz önünde bulundurulmuştur. Çalışma, iklim değişikliğinin uzun vadeli etkilerini incelediği için, bu tür bir analizde kullanılacak sosyal iskonto oranına özel bir önem verilmiştir. Yapılan risk değerlendirmesi sonucunda, ekonomik fayda-maliyet analizinin, 1990 seviyelerinden küresel emisyonların üçte bir oranında azaltılmasını ve 2100 yılına kadar, emisyonların aksi takdirde ulaşacağı seviyeden %80 oranında bir kesinti yapılmasını haklı çıkardığı sonucuna varılmıştır (Cline, 1992).

1992 yılında Titus, iklim değişikliğinin ABD ekonomisi üzerinde yaratacağı olası maliyetleri incelemiştir. Çalışma, konuyla ilgili o güne kadar yapılan çalışmalardan iki noktada farklılık göstermektedir. Birincisi; belirsizliğin asimetrik olduğu, hasar fonksiyonlarının doğrusal olmadığı ve insanların riskten kaçınma eğiliminde olduklarını belirtip belirsizlik aralığına odaklanmasıdır. İkincisi; iklim değişikliğinin maliyetini tahmin ederken çevresel ve diğer piyasa dışı etkilerin de maliyeti etkileyeceğini savunmasıdır. Çalışma, mevcut araştırmalardan iki önemli noktada farklılık gösterir ve böylece küresel ısınmanın maliyetine daha yüksek bir tahmin getirir. Düşük ve yüksek emisyon senaryoları için iklim değişikliği maliyetinin tahmin edildiği çalışmada, maliyeti tahmin edebilmek için denklemler geliştirilmiştir. Ayrıca dört alan için eyalet bazında denklemler geliştirilmiştir. Bu denklemler ile emisyonları azaltmanın ne gibi faydaları olacağı hesaplanmıştır. ABD ekonomisinin yılda %1,2 ile %2,1 oranları arasında büyüyeceği varsayımı altında hesaplamalar yapılmıştır. GISS ve GFDL modelleri ile yapılan hesaplamalar sonucunda, karbondioksitin iki katına çıkmasının ABD'ye yılda 37-

351 milyar dolar arasında bir maliyete yol açacağı, en olası maliyetin 92-130 milyar dolar arasında olacağı tahmin edilmiştir. Ayrıca, %3'lük bir iskonto oranıyla bir galon benzinin yanmasından kaynaklanan karbondioksit hasarının 16-36 sent arasında bir değer alacağı tahmin edilmiştir (Titus, 1992).

1996 yılında Smith, Nordhaus (1991), Cline (1992), Fankhauser (1992) ve Titus (1992) tarafından iklim değişikliği zararlarına ilişkin yapılan çalışmaları değerlendirmiştir. Smith, bu çalışmaların piyasa ve piyasa dışı etkileri dahil ettikleri için oldukça kapsamlı olduklarını belirtmiştir. Ayrıca, bu çalışmaların iklim değişikliği, deniz seviyesinin yükselme hızı, yatırım getirisi oranları, nüfus ve gelir değişiklikleri gibi çeşitli varsayımlara dayandığını vurgulamıştır. Smith, bu çalışmaların 2,5-3,0°C aralığında bir ısınmayla ilişkili zararları abartmış olabileceğini öne sürmüştür. Bu nedenle, çalışmasında önceki çalışmaların sonuçlarını 2,5°C ısınma, 50 cm deniz seviyesi yükselmesi, 1990 yılı gelir ve nüfusu ile %4 reel yatırım getirisi oranı gibi sabit varsayımlar altında standartlaştırmıştır. Standartlaştırma sonrasında, toplam zarar tahminlerinin 42,3 milyar dolardan 52,8 milyar dolara kadar değiştiğini ve bu rakamların 1990 yılı ABD GSYİH'sının %1'inin biraz altında olduğunu hesaplamıştır. Ayrıca, tarım ve elektrik gibi sektörlerde standartlaştırılmış zararların bir büyüklük sırasına göre farklılık gösterdiğini ve zarar tahminlerinin önemli spekülasyonlar içerdiğini ortaya koymuştur (Smith, 1996).

Bu öncü çalışmaların günümüz versiyonları araştırmacılar tarafından incelenmektedir. 2022 yılında Cleary ve Neal, William Nordhaus tarafından geliştirilen DICE modelini özelleştirerek, Kanada versiyonunu geliştirmişlerdir. Model ile iklim değişikliğine bağlı fiziksel riskler incelenmiştir. Modelde Kanada'ya özgü girdiler kullanılarak, GSYİH'yi ve 2100 yılına kadar iklim değişikliğinin bir sonucu olarak fiziksel hasarlar nedeniyle kaybedilen GSYİH oranı tahmin edilmiştir. Model, her bir ısınma senaryosuna karşılık gelen 2100 yılında ortaya çıkan küresel sıcaklığı üretecek şekilde kalibre edilmiştir. Çalışma sonucunda, daha yüksek 2100 sıcaklıkları altında iklim hasarı değerlerinde önemli artışlar olduğu ortaya konmuştur. İklim değişikliği zararlarının maliyetinin, tüm senaryolarda keskin bir artış gösterdiği, 2050 yılına kadar kademeli olarak arttığı ve 2070 yılına gelindiğinde zararlarda katlanarak bir artış yaşandığı tespit edilmiştir (Cleary ve Neal, 2022).

1.5.2. İklim ile ilişkili sellerin ekonomik etkilerini/neden olduğu hasar ve zararı konu alan çalışmalar

Hailemariam ve Alfredsen çalışmalarında, Norveç'in Drammen Nehri havzasındaki sel riskinin değerlendirilmesi için hidrolik model, CBS ve sel zararı tahmini modeli kullanarak sel hasar tahmini yöntemi önermişlerdir. Sel derinliği, sel yayılımı ve sel hızı gibi tehlike değişkenleri, sel hasar değerlendirmesi için hidrolik model kullanılarak mevcut ve gelecekteki iklim senaryoları için hesaplanmıştır. Sel yayılım haritaları şeklinde sunulan CBS'de üretilen sel baskını haritalarıyla sel yayılımı, hızı, derinliği ve etkileri görselleştirilmiştir. Sel hasar tahmini, sel tehlikesine maruz kalan alanlardaki binalar ve diğer altyapıları içermektedir. Sel hasar modeli, farklı sel derinlikleri ve arazi kullanımı kategorileri arasındaki ilişkilere dayalı olarak formüle edilmiştir. Model ile hidrolik modelden elde edilen simüle edilmiş sel parametrelerine dayanarak 100 ile 1000 yıl dönüş periyotları için farklı arazi kullanım özelliklerine bağlı ekonomik zararlar hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, her tekrar süresinde toplam hasarın en yüksek oranının (%90-92 arası) binalarda olacağı öngörülmüştür. Ayrıca, iklim değişikliği etkilerinin sel kaynaklı toplam hasarı %20,26 artıracığı sonucuna varılmıştır (Hailemariam ve Alfredsen, 2023).

Wen vd., 2020 yılında yaptıkları çalışmada sel kaynaklı ekonomik maliyetleri değerlendirmek için bir metodoloji geliştirmişlerdir. Metodolojide 105 adet sosyal, altyapısal, ekonomik ve acil durum müdahale göstergesi üzerinden doğrudan zararlar, dolaylı etkiler, zararlar ve ek maliyetler ele alınmıştır. Metodoloji, 2013 ve 2017 yılları arasında meydana gelen büyük sel olaylarının ekonomik maliyetlerini araştırmak ve Kanada, Meksika ve Amerika Birleşik Devletleri genelinde mevcut veri setlerindeki eksiklikleri değerlendirme üzerine yapılandırılmıştır. Her ülkeden birer vaka çalışması yapılarak metodolojinin uygulanabilirliği incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Meksika'nın üç ülke arasında en eksiksiz sel göstergesi veri varlığı ve erişilebilirliğine sahip olduğu görülmüştür. Kanada ve ABD'den gelen kayıtların çok azının zarar ve ek maliyetleri içerdiği belirlenmiştir. Meksika ve ABD'de belediye veya ilçe düzeyinde sel ile ilgili ekonomik maliyet verilerine kolayca erişilebildiği görülmüştür. Yapılan analiz ile ülkelerin mevcut veri göstergesi setini genişletmeleri ve veri kalitesini koruyarak konum ve zaman boyunca daha ayrıntılı hale getirmeleri gerektiği önerilmiştir. Çalışma, yerel selin ekonomik maliyetlerini konumsal, zamansal ve sonuçlara özgü boyutlarda

derlemeye yönelik yaklaşımlar ile üç ülkedeki temel veri eksiklerine dair önemli bilgiler sağlamıştır (Wen vd., 2022).

Yin vd. (2021) çalışmalarında, Brezilya, Çin, Hindistan, Mısır, Etiyopya ve Gana'da, <1,5 ile 4 °C arasındaki küresel ısınma seviyelerinde, sosyoekonomik gelişme olsun ya da olmasın, toplam doğrudan ve dolaylı ekonomik zararları hesaplamak için entegre bir sel risk analizi çerçevesi sunmuşlardır. Doğrudan hasarlar, Havza Tabanlı Makro Ölçekli Taşkın Ovası (CaMa-Taşkın) modelinden elde edilen konumsal olarak açık günlük sel tehlikesi verilerinin ülkeye ve sektöre özgü derinlik hasarı fonksiyonlarıyla ilişkilendirilmesiyle tahmin edilmiştir. Tahmin edilen doğrudan hasarlar, dolaylı zararların tahmini için ekonomik Girdi-Çıktı modeline girdi sağlamıştır. Çalışma sonuçları, toplam akarsu sel zararlarının Çin ve Hindistan'da en büyük olduğunu vurgulamaktadır. Zararlar ulusal GSYİH'nin payı olarak ifade edildiğinde ise Mısır hem iklim değişikliği hem de iklim değişikliği artı sosyoekonomik kalkınma deneyleri nedeniyle en büyük toplam zararlar karşı karşıya olan ülke olarak bulunmuştur. Sosyoekonomik kalkınma modellendiğinde, dolaylı zararların büyüklüğü önemli ölçüde artmıştır. Çalışma, doğrudan ve dolaylı sel zararlarını tahmin ederken sosyoekonomik kalkınmayı dahil etmenin önemini yanı sıra, karar vericiler için önemli olacak potansiyel zararların daha kapsamlı bir resmini sağlamak için gerekli olan iyileştirme dinamiklerinin rolünü vurgulamaktadır (Yin vd., 2021).

Ignjacevic vd., (2020) çalışmalarında, CLIMRISK-RIVER adı verilen ve nehir sel risklerini mekânsal olarak açıklayan bir model geliştirmişlerdir. Bu model, iklim değişikliğinin ekonomik etkilerine dair yerel tahminleri iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Geliştirilen model, daha geniş kapsamlı bir iklim-ekonomi Entegre Değerlendirme Modeli (IAM) olan CLIMRISK ile entegre edilmiştir. CLIMRISK'e entegrasyonun dört ana nedeni şu şekilde açıklanmıştır: 1) Diğer entegre değerlendirme modellerinin, sel zararlarını anlamak için önemli bir değişken olan yağış projeksiyonlarının kullanmaması, 2) CLIMRISK ile iklim değişikliği etkilerinin mekânsal heterojenliğini modelleyebilme imkânı, 3) CLIMRISK'in iklim projeksiyonlarını olasılıksal olarak modelleme kapasitesi ve 4) CLIMRISK sayesinde, sınırlı hesaplama süresi içinde farklı iklim değişikliği senaryolarının etkilerini keşfetme esnekliği. CLIMRISK-RIVER modeli, GLOFRIS ve FLOPROS modellerinden alınan mekânsal hasar tahminleri ve taşkın koruma standartları kullanılarak geliştirilmiştir. Modelde çeşitli spesifikasyonlar test edilmiş ve en iyi performans gösteren model olarak Model 6, yani CLIMRISK-RIVER seçilmiştir.

Modelin doğruluğu, GLOFRIS model verileriyle yapılan istatistiksel uyum ölçümlerine dayanarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, önerilen modelin sezgisel olmasına ve kullanım kolaylığı sağlamasına özen gösterilmiştir. Bu durum aşırı uyum ve basit öykünme riskini ortadan kaldırmaktadır. Yeni model, doğrulama için farklı yöntemlere tabi tutulmuş ve dünya genelinde oldukça iyi bir performans sergilemiştir. Modelin düzeltilmiş ortalama R^2 değerleri BaseHeightStd ve OptimalStd varsayımları için sırasıyla 0,69 ve 0,66'dır. Modelin tahmin performansı, örnek içi ve örnek dışı NRMSE (Normalized Root Mean Square Error) aracılığıyla ölçülmüş ve bu doğrulama, modelin daha önce görülmemiş veriler üzerinde de iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir (Ignjacevic vd., 2020).

Armal vd. (2020) çalışmalarında, mevcut ve gelecekteki mülk düzeyindeki ekonomik etkileri ölçmek amacıyla Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP'ler) ve NASA'nın CMIP5 iklim modellerini kullanarak, First Street Foundation'ın (2020a, 2020b) geliştirdiği parsel düzeyindeki sel riski değerlendirme modeline dayanan ekonomik odaklı bir Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) yaklaşımını sunmuşlardır. Bu yaklaşım, açık veri kaynakları ve açık yöntemler kullanılarak geliştirilmiş ve mülk düzeyinde, kamuya açık ve yüksek hassasiyetli bir sel riski değerlendirme aracı olarak tasarlanmıştır. Çalışmanın bir kısmı, New Jersey'deki konut tipi binalar üzerinde test edilerek gerçekleştirilmiştir. Kullanılan çevresel değerlendirme aracı, 3 metre çözünürlükte, ulusal ölçekli ve mülk düzeyinde bir sel riski modelidir. Modelin güvenilirliği, 2020 yılı tahmini ekonomik etkisi ile (yıllık olarak 5481 USD) selden kaynaklanan ortalama yıllık NFIP ödeme talepleri karşılaştırılarak test edilmiştir. Araç, çevresel değişikliklerin modele dahil edilmesi durumunda, 2050 yılına kadar ortalama ekonomik sel zararlarında %41,4'lük bir artış öngörmektedir (Armal vd., 2020).

2. KURAMSAL TEMELLER

Kuramsal temeller bölümünde, konumsal finans yaklaşımı, finansal risk yönetimi ve küresel iklim değişikliği konularında teorik bilgiler anlatılmıştır.

2.1. Konumsal Finans

Gün geçtikçe artan sayıda yatırımcı, finansal hizmet sağlayıcısı ve kâr amacı gütmeyen kuruluş; sel, kasırga ve orman yangınları gibi yerel düzeydeki fiziksel iklim riskleri hakkındaki bilgilere göre karar almaktadır. Bu risk tahminlerinin sonuçları, yatırım sermayesinin tahsisi, konut fiyatlarının değişmesi ve iklim değişikliğine uyum projelerine öncelik verilmesi dahil olmak üzere ekonomide önemli sonuçlar doğurmaktadır (Condon, 2023). Bu noktada risk değerlendirme, varlık yönetimi, sigortacılık sektöründe risk primlerinin belirlenmesi gibi finansal kararların alınmasına coğrafi bilgi teknolojilerini entegre eden konumsal finans kavramı önemli bir rol oynamaktadır. Geleneksel finansal analizler genellikle şirketlerin finansal verilerine ve piyasa dinamiklerine dayanırken Konumsal Finans (Spatial Finance), bu analizlere konumsal bir boyut ekleyerek yatırım riskleri, fırsatlar ve karar alma süreçlerini geliştirmeye yönelik bir yaklaşım sunar.

2.1.1. Konumsal finansın tanımı ve temel kavramlar

Konumsal finans belirli bir ticari varlık, bir şirket, ana şirket, bir portföy veya ulusal düzeyde çevresel, sosyal ve yönetim alanındaki puanlamalara (environmental, social, and governance-ESG) bilgi sağlamak için tasarlanmış jeo-uzamsal (geospatial) bir yaklaşımdır. En temel anlamda konumsal finans fabrika, maden, tarla, gemi ya da perakende satış yeri gibi ticari bir varlığın doğru konumunu ve mülkiyetini belirlemekle başlar. Bu aşama “varlık verisi (asset data)” olarak adlandırılır. Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama gibi yaklaşımları bir arada kullanarak çevresel, iklim, yönetim ve sosyal değişkenler gibi “gözlemlenebilir veriler” açısından varlığın değerlendirilmesini mümkün kılar (World Bank and WWF, 2020).

Konumsal finansın en önemli noktası finansal verileri coğrafi veri ve bilgilerle bir araya getirerek gayrimenkul, sigorta, tarım, enerji ve altyapı gibi sektörlerde yapılacak risk değerlendirmesine jeo-uzamsal teknolojilerin dahil edilmesine olanak sağlamasıdır. Bu sayede daha iyi bir risk değerlendirmesi yolu ile daha sağlıklı yatırım kararlarının alınmasına katkı sağlamaktadır. Konumsal finans yaklaşımı ile konum ile ilişkili riskler tespit edilip, bu risk faktörleri azaltılabilir.

Konumsal finans yaklaşımlarında kullanılan coğrafi veri ve konumsal analizler ile geleneksel finansal veri ve analizler daha iyi hale getirilir. Aşağıda sıralan ve coğrafi veri ve konumsal analizlerin beş özelliği, finans teorisine farklı bir açıdan bakılmasına katkı sağlamaktadır (Caldecott vd., 2022):

- Karşılaştırılabilirlik (comparability): Uzaktan algılama görüntüleri Dünya yüzeyinin görüntülerini sağlamaktadır. Bu görüntülerdeki zamana bağlı değişiklikler nispeten kolay bir şekilde karşılaştırılabilir niteliktedir. Uzaktan algılama verileri yanında yine coğrafi veriler ayrıntılı karşılaştırmalar ve çıkarımlar yapmayı sağlayan standartlaştırılmış analizler gerçekleştirme fırsatı verir.
- Güvenilebilirlik (assurability): Tüm coğrafi veriler izlenebilir ve doğrulanabilir niteliktedir. Verilerde standartlaştırılmış coğrafi referans teknikleri kullanılır ve hangi zamana ait oldukları bellidir. Coğrafi veriler belirli bir zaman noktasında dünyaya ilişkin bir görünüm sağlar ve bu da finansal analizlerde kullanımında kalite güvencesi sağlar.
- Zamanlılık (timeliness): Özellikle uzaktan algılama verileri yüksek zamansal çözünürlüğe sahiptir. Bu verilerin sıklığı, neredeyse gerçek zamanlı analizlerin yapılmasına olanak tanır. Bu özellik zamanında ve doğru finansal kararlar alma yeteneğini önemli ölçüde artırır.
- Ölçeklenebilirlik (scalability): Teknolojik ilerlemeler, örneğin görüntü işleme ve sınıflandırma modellerindeki gelişmeler ve Amazon Web Services (AWS) gibi modern bulut tabanlı işlemenin erişilebilirliği, küresel ölçekte analizlerin daha yüksek bir doğrulukla gerçekleştirilmesine olanak tanır. En güncel olanlar dahil olmak üzere tüm küresel görüntü kümesindeki ve zamanda geriye giden görüntülerin bir geçmiş kataloğundaki değişiklikleri tespit edecek bir algoritma ile eğitmek mümkündür. Örneğin, geçen hafta dünya çapında kaç adet güneş panelinin kurulduğunu takip etmek mümkündür (Kruitwagen ve Story 2020).
- Sürekli geliştirilebilirlik (constant improvability): Konumsal veriler ve analizler verimli bir döngüden yararlanır. Son on yılda fırlatılan uyduların sayısında önemli bir artış olmuştur. Fırlatma maliyetleri düştükçe ve teknolojiler geliştikçe bu sayının daha da artacağı öngörülmektedir. Bu uyduların tümü, kullanılan farklı sensörlere dayalı olarak artan miktarda

coğrafi veri sağlamaktadır. Sürekli gelişen bu veri kaynağının bir sonucu olarak, bu görüntüleri işlemek için yeni konumsal analitik yöntemler ve daha iyi algoritmalar geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Bu iyileştirmeler, yeni bilgiler edinilmesine ve görüntülerin daha hızlı ve daha büyük ölçeklerde analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Bu faktörler analizlerin kalitesini ve ölçeğini artırırken, maliyetlerini düşürmektedir.

Konumsal finans ile ilgili kaynaklar incelendiğinde, veri kaynağı olarak genellikle uydu görüntülerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Uydu görüntüleri yanında, konumsal veriler de bu yaklaşımda oldukça önemlidir. Konumsal veriler, yerel ölçekli analizlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Örneğin, tez kapsamında uygulandığı gibi yerel yönetimlerden elde edilen bina verileri ya da altyapı verisi, uydu görüntülerinden tam olarak elde edilemeyen detaylar sağlar. Bu tür detaylar, finansal risk analizlerinde bina türü ya da kat sayısı gibi bilgilerin elde edilmesini sağlar. Yine eğim ya da yükseklik gibi topografik veriler, olası sellerin risk analizlerinde, riskin boyutunu belirlemede önemli veri kaynaklarıdır.

Konumsal veriler ile birden çok katman bir araya getirilerek risk yönetimi daha etkin şekilde uygulanır. Örneğin, sel riski analizlerinde yalnızca uydu görüntüsü kullanmak, topografik özellikleri ya da binaların ekonomik değerini gözden kaçırmaya neden olur. Ancak coğrafi bilgi teknolojileri, tüm verilerin bir araya getirilmesini sağlayarak daha sağlıklı kararlar verilmesine olanak tanır. Ayrıca farklı emisyon senaryoları altında sel riskinin ne şekilde gerçekleşeceği coğrafi bilgi teknolojileri ile daha detaylı şekilde analiz edilebilir.

Sonuç olarak, uydu görüntüleri konumsal finasta önemli bir veri kaynağı olsa da konumsal veriler daha detaylı ve yerel ölçekli analizler sağlar. Bina stokları, altyapı verileri, topografya, demografi ve arazi kullanımı gibi veriler, finansal risk analizlerinde daha güvenilir sonuçlar verme potansiyeline sahiptir.

Konumsal finans yaklaşımı, belirli bir yöntemi zorunlu tutmamaktadır. Yani uygulamada belirli kuralları yoktur. Bu yaklaşım, esnek bir yapıya sahip olup farklı durumlarda ya da disiplinlerde uygulanabilir bir yapıdadır. Konumsal finans geleneksel finansal analizlerle konumsal verilerin entegre edildiği bir bakış açısı sunar. Fakat, genel kabul gören belirli aşamaları vardır. Bu aşamalar Şekil 2.1’de özetlenmiştir. Bu aşamalar, genel bir yaklaşım sunar.



Şekil 2.1. Konumsal finansın aşamaları (World Bank and WWF, 2020)

İklim değişikliği risklerinin çoğu doğası gereği konumsaldır. Bu risklerin coğrafi bir boyutu vardır ve şirketlerin varlıkları üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. İklimle ilişkili riskler; bir şirketin bina, altyapı, fabrika gibi varlıklarının çevresel risklere ne kadar maruz kaldığı ya da kalacağı açısından önemlidir. Şirketler, varlıklarının nerede olduğunu ve hangi çevresel risklerle karşı karşıya kalabileceğini belirlemek için coğrafi veri kullanabilirler. Bu veriler, mevcut ve gelecekteki iklim değişikliği senaryolarını değerlendirmek için kullanılabilir. Varlık düzeyinde analiz edilen riskler, daha sonra şirketin geneline yayılır ve bu sayede şirketin genel güvenlik açığı (yani maruziyeti) ortaya konabilir. Konumsal finans, bu tür çevresel riskleri ölçmeye ve yönetmeye yardımcı olan bir yaklaşımdır. Aynı zamanda, şirketlerin finansal unsurlarının çevresel etkilerle uyumlu hale getirilmesine de katkı sağlar. Konumsal finans sadece risk yönetimi için değil, sürdürülebilirlik ile ilgili diğer fırsat ve etkilerin değerlendirilmesi için de kullanılabilir. Sonuç olarak konumsal finans, şirketlerin varlıklarının bulunduğu yerlerin iklim risklerine ne kadar maruz kaldığını analiz ederek, bu riskleri yönetmeye ve çevresel etkilerle daha uyumlu stratejiler geliştirmeye nasıl yardımcı olabileceğini savunan bir yaklaşımdır (Caldecott, 2022).

Konumsal veri ve analizlerin entegre edilebildiği finans uygulamaları kapsamlıdır. Ancak bu tür yaklaşımlar özellikle iklim değişikliği ve çevre ile ilgili risklerin ve etkilerin analiz edilmesinde faydalıdır. Bu nedenle konumsal analizin, finansal analiz için temel bir yetkinlik haline geleceği ve bu yetkinliğin bilgi piyasaları, finansal ürünler ve risk yönetimi üzerinde önemli etkileri olacağı düşünülmektedir. Finansal piyasaların iklimle ilgili risklerin yanı sıra farklı varlık sınıflarında risk ve

getiriyi etkileyen çok çeşitli diğer faktörleri ölçmesine ve yönetmesine yardımcı olacağı da bir diğer düşüncedir (http-1).

Konumsal finans yaklaşımı açısından iklim senaryosu analizi, eleştirel düşüncüyü geliştirmek için kullanılan bir araçtır ve iklimle ilgili sorunların gelecekteki farklı durumlar altındaki potansiyel finansal etkisinin ölçülmesini içerir. Finans teorisi açısından iklim değişikliği ile ilgili riskler; geçiş riskleri ve fiziksel riskler olmak üzere iki grup altında incelenir. Geçiş riskleri, daha düşük karbonlu bir ekonomiye geçişle ilgilidir ve politika, teknoloji, pazar ve itibar risklerini içerir. Çalışmanın da odak noktası olan iklim değişikliği ile ilgili fiziksel riskler ise fırtınalar, seller, kuraklık, deniz seviyesinin yükselmesi ve çölleşme gibi iklim değişikliğinden kaynaklanan fiziksel hasarlarla ilgilidir (BNP Paribas, 2019).

İklimle İlgili Finansal Açıklamalar Görev Gücü (Task Force on Climate-Related Financial Disclosures-TCDF)'ne göre iklimle ilgili riskler iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar; geçiş riskleri (daha düşük karbon ekonomisine geçişle ilgili riskler) ve fiziksel riskler (iklim değişikliğinin fiziksel etkileriyle ilgili riskler) (TCDF, 2017):

1. Geçiş riskleri: İklim değişikliğiyle ilgili azaltım ve uyum gerekliliklerini ele almak için kapsamlı politika, yasal, teknoloji ve pazar değişiklikleri ile ilgili risklerdir. Bunlar; politika ve yasal riskler, teknoloji riski, piyasa riski ve itibar riskidir.

2. Fiziksel riskler: İklim değişikliğinden kaynaklanan fiziksel riskler, iklim modellerinde olaya dayalı (akut) veya uzun vadeli değişikliklerden (kronik) kaynaklanabilir. Fiziksel risklerin kuruluşlar/işletmeler için, varlıkların doğrudan zarar görmesi ve tedarik zincirinin bozulmasından kaynaklanan dolaylı etkiler gibi finansal sonuçları olabilir.

Akut risk: Akut fiziksel riskler, kasırgalar, siklonlar ya da seller gibi aşırı hava olaylarının şiddetinin artması da dahil olmak üzere olaya dayalı risklerdir.

Kronik risk: Kronik fiziksel riskler, deniz seviyesinin yükselmesine ya da sıcak hava dalgalarına neden olabilecek, sürekli görülen yüksek sıcaklıklar gibi iklim sistemindeki uzun vadeli değişiklikleri ifade eder.

Fiziksel iklim risklerinin değerlendirilmesi, piyasalarda yarattığı sonuçların izlenmesi ya da iklimle ilişkili risklerin ve etkilerin anlaşılmasına yönelik çözümler, konumsal finansın en hızlı gelişen uygulama alanlarıdır (SFI, 2023). Ayrıca, konumsal

finans uygulamalarına yönelik talebin en önemli nedeni “yeşil finans” alanındaki gelişmeler ve iklim ve çevresel riskleri, etkileri ve fırsatları finansal karar alma sürecine dahil etme gereksiniminin artmasıdır. Pek çok çevresel sorun doğası gereği konuma özgü olduğundan, bunları anlamak ve uygun şekilde entegre etmek için konumsal analiz ve içgörülere gereksinim vardır (SFI, 2023).

Aşırı sıcaklıklar, kuraklıklar, sel felaketleri, orman yangınları ve diğer iklimle ilgili felaketler hem gelişmiş hem de gelişmekte olan piyasalar üzerinde önemli finansal ve ekonomik zararlara yol açmaktadır. Bu olayların gelecekte daha da artması beklenmektedir. Bu yüzden iklim değişikliği ile ilgili tehlikelerin yatırım ve finansman kararlarına dahil edilmesi gerekmektedir. Fiziksel iklim risklerini analiz etmek için konumsal finans yaklaşımı, finansal kurumlar tarafından giderek daha fazla benimsenmeye başlamıştır. Hem şirketler hem de finansal kurumlar için tüm olası fiziksel iklim risklerini ve tehlikelerini belirlemek, değerlendirmek ve yönetmek amacıyla araçlar geliştirilmektedir. Bu riskler ve tehlikeler farklı coğrafyalarda farklı şekillerde ortaya çıktığı için çözümlerin çoğu doğası gereği coğrafi temellidir ve varlık konumu bilgilerine dayanır (SFI, 2023).

Tablo 2.1’de iklimle ilgili fiziksel riskler ve bu risklerin finansal etkilerine örnekler verilmiştir:

Tablo 2.1. İklimle ilgili fiziksel riskler ve finansal etkileri (TCDF,2017)

İklimle ilgili fiziksel riskler	Potansiyel finansal etkileri
Akut riskler	
Kasırğa ve sel gibi aşırı hava olaylarının şiddetinin artması	- Azalan üretim kapasitesinden kaynaklanan gelirin azalması - İşgücü üzerindeki olumsuz etkiler (örneğin sağlık, güvenlik, devamsızlık) nedeniyle gelirlerde azalma ve daha yüksek maliyetler
Kronik riskler	
Yağış düzenlerindeki değişiklikler ve hava düzenlerindeki aşırı değişkenlik	- Artan işletme maliyetleri - Artan sermaye maliyetleri (tesislere verilen hasar) - Düşük satış/üretim nedeniyle gelirin azalması - Artan sigorta primleri ve "yüksek riskli" konumlardaki varlıklara ilişkin sigorta bulunabilirliğinin azalma potansiyeli
Artan ortalama sıcaklıklar	
Yükselen deniz seviyeleri	

2.1.2. Konumsal finansın uygulama alanları

Konumsal finans, literatürde son yıllarda ortaya çıkan ve giderek daha fazla ilgi gören bir kavramdır. Ancak, bu alanda yapılan çalışmalar henüz sınırlıdır. Yine de

konumsal verilerin finansal karar alma süreçlerine entegre edilmesiyle birlikte, bu kavramın geniş bir kullanım alanı bulacağı öngörülmektedir.

Konumsal finans, işletmelerin temel faaliyet risklerinin analiz edilmesinden, değerlendirme modellerinin oluşturulmasına ve yatırım fırsatlarının belirlenmesine kadar pek çok alanda kullanılabilir (Caldecott vd., 2022). Örneğin, tedarik zincirlerinin etkin yönetimi, rekabet riski ve karşı taraf risklerine karşı alınacak önlemler, konumsal finans sayesinde daha iyi anlaşılabilir ve yönetilebilir. Tedarikçilerin konumlarının doğru bir şekilde analiz edilmesiyle, potansiyel ulaşım rotaları üzerine yapılan konumsal analizler, bu rotaların üst üste bindirilmesini sağlar. Ayrıca, iklim değişikliği gibi küresel tehditlerin etkileri de konumsal verilerle değerlendirilerek, güvenlik açıkları tespit edilebilir ve tedarik zincirleri optimize edilebilir.

Konumsal veriler, aynı zamanda işletmelerin karşılaştığı veya gelecekte karşılaştacağı rekabet risklerini anlamada da faydalıdır. Bu veriler, rakiplerin konumlarını ve tesislerinin büyüklüğünü izlemeyi sağlar. Böylece işletmeler için rekabet riskinin daha iyi yönetilmesi mümkün olur. Ayrıca, varlık düzeyinde kullanılan veri kümeleri, değerlendirme modellerinin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Örneğin, Fama ve French'in (2015) beş faktörlü modelinin geliştirilmesi, konumsal yakınlık gibi yeni bir faktörün eklenmesiyle varlık fiyatlandırma modellerinde önemli iyileştirmeler yapılabilir. Yatırım fırsatları, özellikle arazi kullanımı değişikliklerine dayalı olarak yerel gelişmelerin izlenmesiyle belirlenebilir.

Konumsal finans yaklaşımı arazi kullanımı sınıflandırıcıları tarafından kentsel ve kırsal alanları birbirinden ayırmak için kullanılabilir (Burchfield vd., 2006). Bu sınıflandırmalar, özellikle demografik verilerle birleştirildiğinde, gelecekteki talep değişikliklerini tahmin etmek için yararlı olabilir. Bu tür bilgiler, yeni yatırım fırsatlarının belirlenmesinin yanı sıra değerlendirme modellerinin iyileştirilmesine de katkı sağlar.

Konumsal veriler aynı zamanda tarımsal arazilerin kullanımını izlemek ve gelecekteki mahsul rekoltelerinin tahmin edilmesine yardımcı olmak için kullanılabilir. Uzaktan algılama teknolojileri sayesinde, tarım üretimini ve kârlılığını arttırmaya yönelik bilgiler edinilebilir. Böylece doğru mahsul seçimleri yapılabilir. Benzer şekilde bu teknoloji, yeni maden yataklarının yerini belirlemek ve bu alandaki yatırım kararlarını yönlendirmek için de kullanılabilir (Van der Meer vd., 2012).

Ayrıca, ticaret yolları ve kilit sektörlerdeki üretim izlenerek, çeşitli mallara yönelik arz ve talep düzeyleri hakkında daha kapsamlı bilgiler edinilebilir. Bu tür

konumsal analizler, ekonomik verilerin daha doğru bir şekilde anlaşılmasına ve yönetilmesine olanak sağlar.

2.1.3. Konumsal finans ve ESG kriterleri ilişkisi

En genel tanımıyla ESG (Çevresel, Sosyal ve Yönetişim - Environmental, Social and Governance), bir şirketin çeşitli sosyal sorumluluk alanlarındaki performansını ölçmek için kullanılan bir gösterge yöntemidir (Zhou vd., 2022). Bir şirketin sadece finansal başarılarını değil, aynı zamanda topluma ve çevreye karşı duyarlılığını da dikkate alan bir değerlendirme yaklaşımıdır.

Bu çerçevede ESG kriterleri, yalnızca şirketlerin iç değerlendirme süreçlerinde değil, aynı zamanda küresel finansal sistemin yönlendirilmesinde etkili bir araçtır. Şirketlerin topluma ve çevreye karşı sorumluluklarını değerlendirme yaklaşımı zamanla finansal kurumlar tarafından benimsenmiş ve geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

1992 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı Finansal İnisiyatifi (United Nations Environmental Programme Financial Initiative-UNEP FI) kurulmasından bu yana finansal kuruluşlar arasında önemli dönüşümler yaşanmıştır. Bu değişim, ESG unsurlarının karar verme süreçlerine giderek daha fazla dahil edilmesi yönünde olmuştur (Xia, 2022).

Özellikle sürdürülebilirlik ve ilgili konulara artan ilgi şirketleri ESG konularıyla ilgili açıklamalar yapmaya yönlendirmiştir (Cai vd., 2024). ESG açıklamaları hem yatırımcıların hem diğer paydaşların bir şirketin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma kapasitesini değerlendirmesine olanak tanıyan önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Şirketler ekonomik kalkınmadaki hızlı değişimlerin sonucu olarak yatırım stratejilerinin ve karar alma süreçlerinin geliştirilmesiyle birlikte ESG uygulamalarını faaliyetlerine entegre etmişlerdir. Bu entegrasyon ESG açıklamalarının uygulanmasında bir artışa yol açmıştır. Şirketlerin ESG uygulamalarını açıklama konusundaki artan ilgisinin arkasında Birleşmiş Milletler'in 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, Paris Anlaşması gibi uluslararası sözleşmeler, toplumsal ve medya baskısı ile kurumsal sosyal sorumluluk faaliyetleri gibi çeşitli faktörler bulunmaktadır (Cai vd., 2024; Bagh vd., 2024).

Bu noktada ESG kriterleri ile konumsal finans arasındaki ilişki, özellikle konumsal verilerin sürdürülebilirlik çabalarına entegre edilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Konumsal finans, coğrafi bilgi sistemlerini, uydu verilerini ve konumsal analizleri kullanarak finansal karar alma süreçlerine yerel ve konumsal bir perspektif kazandırır. Bu

bakış açısı ESG kriterlerinin değerlendirilmesi, izlenmesi ve raporlanmasında kritik bir araçtır.

Konumsal finansın ESG kriterlerine katkı sağlayan çeşitli uygulama örnekleri mevcuttur. Örneğin, Net-Zero Tracker platformu, uydu verilerinden faydalanarak şirketlerin karbon nötrlük hedeflerine ne ölçüde ulaştığını izleyebilmekte ve bu süreçte elde edilen veriler ESG uyumlu stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (http-2). Benzer şekilde, Forest Watch uygulaması, ormansızlaşma ile ilgili verileri toplamakta ve bu veriler üzerinden şirketlerin ormansızlaşmaya etkisi analiz edilerek ESG kriterleri doğrultusunda gerekli iyileştirmeler önerilmektedir (http-3). Bir diğer örnek ise TCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures) İklim Risk Haritaları'dır. Bu araç, şirketlerin iklim risklerine karşı ESG uyumluluğunu, konumsal analizlerle daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirir ve raporlar. Bu tür uygulamalar, finansal risklerin daha doğru bir şekilde belirlenmesi ve ESG kriterlerinin etkin bir biçimde uygulanabilmesi adına büyük bir önem taşımaktadır (http-4).

ESG açıklamalarının önemi küresel iklim değişikliği, ekolojik zorluklar ve bunlara bağlı olarak ekosistemi koruma gereksinimi nedeniyle tüm ekonomiler için günden güne artmaktadır. Bu nedenle birçok firma daha sorumlu ve çevre dostu olmaya çalışmaktadır. Dünyanın dört bir yanındaki işletmeler ve hükümetler, bunların ESG endişeleri üzerindeki etkilerini net bir şekilde anlamak ve paylaşmak için Küresel Raporlama Girişimi (Global Reporting Initiative-GRI) gibi gruplardan rehberlik istemektedir. Firmalar küresel pazarda rekabet edebilmek için ESG raporlamalarını geliştirmeye yönelik stratejiler geliştirse bile paydaşlar işletmelere daha fazla ESG bilgisi açıklamaları konusunda baskı uygulayabilmektedir (Alessa, 2024).

Tablo 2.2'de ESG kriterlerinin genel bir sınıflandırılması verilmiştir.

Tablo 2.2. ESG kriterleri

Çevresel	Sosyal	Yönetişim
•İklim değişikliği ve karbon emisyonları	•Müşteri memnuniyeti	• Yönetim kurulu yapısı
•Hava ve su kirliliği	•Veri koruma ve gizlilik	• Denetim komitesi yapısı
•Biyçeşitlilik	•Cinsiyet ve çeşitlilik	• Rüşvet ve yolsuzluk
•Ormansızlaşma	•Çalışan katılımı	• Yönetici tazminatı
•Enerji verimliliği	•Toplum ilişkileri	• Lobicilik
•Atık yönetimi	•İnsan hakları	• Siyasi katkılar
•Su kıtlığı	•Çalışma standartları	• Muhaliflerin planları

2.2. Finansal Risk Yönetimi

Finansal risk yönetimi işletmelerin ya da yatırımcıların finansal istikrarını koruması, beklenmeyen zararları en aza indirmesi ve uzun vadeli hedeflerine ulaşabilmesi için önemlidir. Bu risklerin etkili bir şekilde yönetilmesi kurumların ve bireylerin finansal başarısını doğrudan etkiler.

İşletmeler açısından düşünüldüğünde risk yönetimi faaliyetleri genellikle üç temel adımı içermektedir (Bansal vd., 1993):

1. İşletme faaliyetlerinin sonuçlarını etkileyebilecek risklerin kapsamlı bir şekilde tanımlanması ve sınıflandırılması,
2. İşletmelerin değerini etkileyen olaylarla ilgili riskin gerçekleşme olasılıkları ve beklenen zararların büyüklüğü açısından ölçülmesi,
3. İşletme risklerini kabul edilebilir sınırlar içinde tutmak için gerekli eylemlerin zamanında formüle edilmesi.

Riski yönetebilmek için öncelikle riskin tanımlanması ardından ölçülmesi gerekir. Riskin ölçülmesi ile yatırımın belirli bir zaman diliminde ne kadar zarar yaşayabileceği yüzde olarak hesaplanabilir. Böylelikle yatırımcılar ya da kurumlar karşılaşılabilecekleri olumsuz senaryolara karşı hazırlıklı olurlar.

Klasik finansal risk yönetimi yaklaşımlarında genellikle konuma dayalı veri ve bilgiden yeterince yararlanılmamaktadır. Konuma dayalı verilerin kullanımı günümüz koşullarında büyük bir gerekliliktir. Özellikle iklim değişikliğinin etkisiyle artan afetler ve gelecekte karşılaşılabilecek olası riskler büyük ölçüde konuma bağlıdır. Bu nedenle bu tehlikelere yönelik risk yönetiminde konumsal veriye dayalı yaklaşımlar büyük önem taşımaktadır.

Bu durum yerel ölçekte yapılan çalışmalarda daha kritik hale gelmektedir. Yerel ölçekli afet risklerinin ya da tehlikelerinin analizinde, potansiyel etkileri doğru bir şekilde değerlendirebilmek ve uygun önlemler geliştirebilmek için konuma dayalı analizler gereklidir. Konumsal analiz araçları afet risklerinin yönetiminde ve olası zararların öngörülmesinde etkili çözümler sunmaktadır. Sonuç olarak finansal risk yönetimine konumsal verilerin entegrasyonu, mevcut ve gelecekteki afet risklerine daha kapsamlı ve stratejik bir bakış açısı geliştirilmesini sağlayacaktır.

Risk yönetimi, yalnızca işletmeler için değil, aynı zamanda iklim değişikliği gibi küresel ve çevresel konular için de hayati öneme sahiptir. İşletmeler açısından risk yönetimi süreci iklim değişikliği açısından değerlendirildiğinde; çevresel, ekonomik ve

toplumsal etkiler yaratabilecek risklerin kapsamlı bir şekilde tanımlanması ve sınıflandırılması gerekecektir. Böylece iklim değişikliği kaynaklı risklerin gerçekleşme olasılıkları ve beklenen etkilerinin büyüklüğü (örneğin, doğal afetlerin sıklığı veya şiddeti) açısından ölçülmesi mümkün olacaktır. Dolayısıyla iklim değişikliğiyle ilişkili riskleri kabul edilebilir seviyelere indirmek için gerekli eylemlerin zamanında planlanması ve uygulanması gerekliliği net bir şekilde ortaya konacaktır.

İşletmeler için risk türlerinden biri finansal risktir. Risk tanımında olduğu gibi finansal risk bir işletmenin, bireyin veya yatırımcının finansal zarar yaşama olasılığıdır. Finansal risk faaliyet gösterilen alana göre çeşitlilik göstermektedir. Ayrıca sistematik ve sistematik olmayan riskler olarak ikiye ayrılır. Sistematik riskler genel ekonomi ve piyasa koşullarından kaynaklanır. Bu riskler piyasa riski, faiz oranı riski, döviz kuru riski, kredi riski gibi risklerdir. Sistematik olmayan riskler ise işletme ya da sektöre özgü risklerdir. Kontrol edilebilir ve çeşitlendirme yoluyla azaltılabilir risklerdir.

Günümüzde iklim değişikliği, finansal piyasalar için sistematik bir risk olarak ele alınmaya başlamıştır. İklimle ilgili riskler, geçiş ve fiziksel riskler olarak iki ana kategoriye ayrılmakta ve finansal sistemin tümünü etkileyebilecek potansiyel sistematik riskler olarak görülmektedir. Örneğin, Uluslararası Para Fonu (International Monetary Fund-IMF) iklim risklerinin, finansal piyasalarda varlık fiyatlarının her zaman bu risklerin büyüklüğünü tam olarak yansıtmadığını ve bu nedenle ani fiyat değişimleri yaşanabileceğini belirtmektedir (Grippa vd., 2020). Ayrıca, Avrupa Merkez Bankası (European Central Bank-ECB) da iklimle ilgili risklerin finansal istikrar üzerindeki etkilerini incelemiş ve iklim değişikliğinin fiziksel ve geçiş risklerinin, finansal kurumları farklı coğrafi bölgelerde ve sektörlerde eşit olmayan bir şekilde etkileyebileceğini vurgulamıştır (ECB, 2021).

Ülke ekonomilerini ve finansal piyasaları olumsuz yönde etkilemesi ve müdahale edilememesi, iklim değişikliğinin sistematik risk olarak kabul edilmesinin temel nedenlerindendir. İklimle ilişkili finansal risklerin merkez bankaları ve denetleyici kuruluşlar açısından yeni bir zorluk olduğu (Chenet vd., 2021) güçlü bir şekilde kabul edilmeye başlanmıştır. Günümüzde iklim değişikliği ve bu değişikliğe bağlı riskler giderek daha önemli bir finansal risk unsuru haline gelmeye başlamıştır. Bu risklerin etkin bir şekilde yönetilmesi finansal zararların en aza indirilmesi ve ekonomide büyük zararların önüne geçilmesi açısından önemlidir.

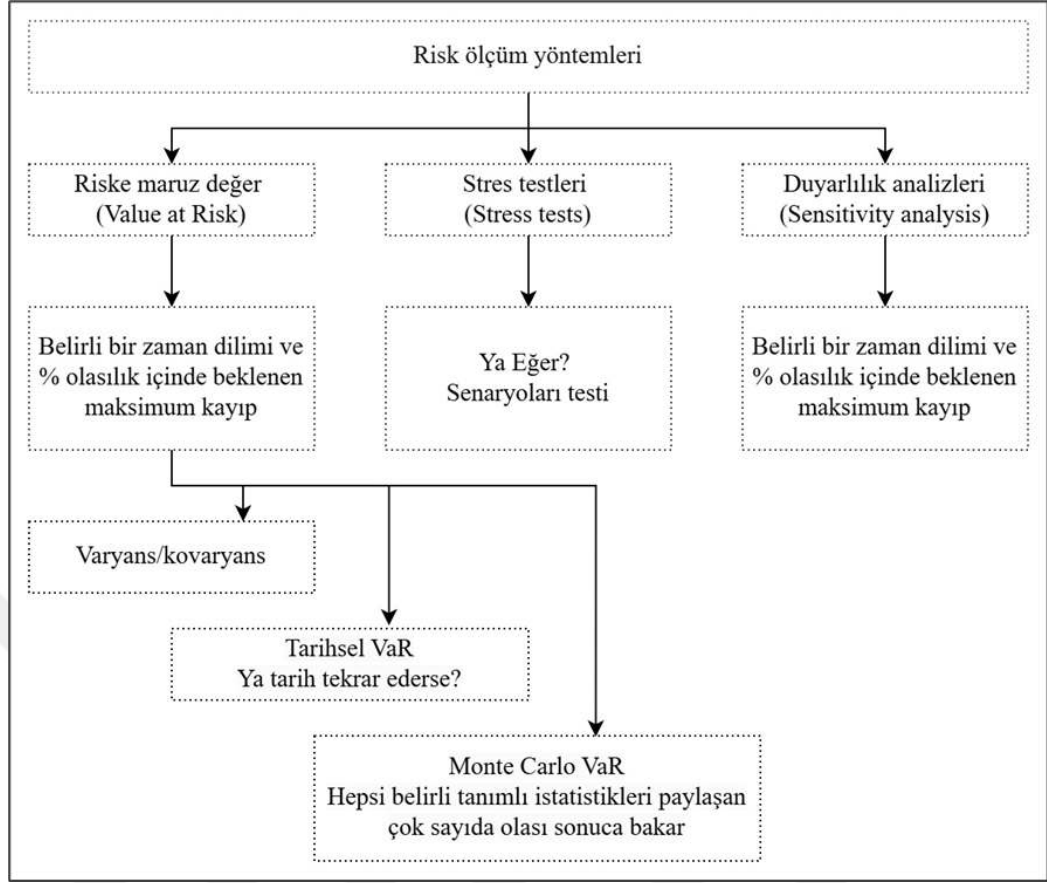
İklim değişikliğinin finansal bir risk olarak kabul edildiği durumlarda bu riskleri değerlendirebilmek ve yönetebilmek için konumsal verilerin kullanılması kaçınılmazdır. Bunun temel nedeni iklim değişikliğine bağlı risklerin ve tehlikelerin büyük ölçüde konumla ilgili olmasıdır. Kuraklık, seller, sıcak hava dalgaları, aşırı sıcaklar, orman yangınları, deniz seviyesinin yükselmesi gibi iklim değişikliği kaynaklı olaylar belirli coğrafi alanlarda meydana gelir. Bu nedenle konum verileri bu risklerin doğru bir şekilde analiz edilmesinde kilit bir rol oynar.

Bu bağlamda, finansal analizlerde ve risk yönetiminde coğrafi verilerin ve konuma dayalı analizlerin önemi giderek artmaktadır. Konumun bu kritik rolü, “konumsal finans” kavramını finansal risk yönetimi ve analiz süreçlerinde önemli bir araç haline getirmiştir. Konumsal finans iklim değişikliği gibi coğrafi boyutu olan risklerin finansal risk modellerine entegrasyonunu sağlayarak hem daha doğru tahminler yapılmasına hem de risklerin daha etkin yönetilmesine olanak tanıyacak bir yaklaşımdır.

2.2.1. Finansal risk ölçüm yöntemleri

Finansal risk yönetimi farklı bileşenlerden oluşmaktadır. Bunların en önemlilerinden biri risk ölçümüdür. Risk  l  m , yalnızca bir portföy düzeyinde model gerektirir (Andersen vd., 2012). Yani risk ölçümü, bir portföyün genel riskini değerlendirmeye odaklanır ve genellikle portföy düzeyindeki verilerin toplu olarak analiz edilmesini gerektirir. Bu, varlıklar arasındaki risk maruziyetinin toplu bir şekilde değerlendirilmesine yardımcı olur.

Risk  l  m yöntemlerinin sınıflandırılması şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Risk ölçüm yöntemleri (James, 2003)

2.2.2. Riske maruz değer

Finansal risk tahmini için en popüler ölçümlerden biri olan Riske Maruz Değer (Value at Risk-VaR), istatistiksel bir ölçümdür ve piyasa koşullarının belirli bir zaman dilimi boyunca normal olduğu varsayımına dayanır. Buna göre, bir portföyün (veya bir finansal enstrümanın) maksimum zararının, VaR tahmininin üzerinde olmayacağı ve bunun belirli bir güven düzeyinde (genellikle %95 veya %99) istatistiksel olarak güvenilir olduğu kabul edilir (Vasileiou, 2017). Finansal risk değerlendirmesi için temel araçlardan biridir ve bir varlık portföyünde beklenen maksimum zarar olarak tanımlanır (Bali, 2007). Riske maruz değer belirli bir zaman diliminde, geçmiş getirilerin belirli bir dağılımına dayanarak bir portföydeki potansiyel değer kaybını ölçme yöntemi (Goel ve Oswal, 2019) olarak da tanımlanabilir. Finansal kuruluşlar tarafından risk raporlaması için standart bir araç olarak tasarlanmış ve benimsenmiştir (Astuti ve Gunarsih, 2021).

VaR'ın temel unsurları bir güven aralığı, belirli bir değer kaybı seviyesi ve riskin değerlendirildiği sabit bir zaman dilimidir. VaR bir firmanın tamamı, bir varlık portföyü veya tek bir varlık için tahmin edilebilir (Zargar ve Kumar, 2018).

VaR ölçümüne yönelik birçok yaklaşım bulunmaktadır. VaR hesaplamak için kullanılan herhangi bir değerlendirme modeli, yalnızca belirli olasılık ve güven yüzdesi parametrelerine dayalı olarak, olası bir gerçeği veya olası bir sonucu temsil eder. VaR belirli bir güven düzeyi – ya da olasılık seviyesi – ile belirli bir zaman dilimindeki beklenen en kötü kaybı ölçer (Bohdalová, 2007). VaR yöntemleri için farklı araştırmacılar tarafından farklı sınıflandırmalar yapılmıştır (James, 2003; Cheung ve Powell, 2012; Zargar ve Kumar, 2018).

VaR yöntemleri varyans-kovaryans (parametrik), Monte Carlo Simülasyonu (yarı-parametrik) ve tarihsel simülasyon (parametrik olmayan) başlıkları altında incelenmiştir.

2.2.2.1. Varyans-kovaryans yöntemi

VaR hesaplama yöntemlerinden biri olan varyans-kovaryans yönteminde verilerin normal dağılıma sahip olduğu varsayılır (Ghazali vd., 2020). Varyans-kovaryans yöntemi delta normal yöntemi olarak da bilinir ve parametrik bir yöntemdir. Riskli varlık portföyünün varyansını ve standart sapmasını tahmin etmek için korelasyon ve kovaryans matrislerine dayanır. Yöntemin kullanılabilmesi için portföy getirilerin normal dağılım özelliklerine sahip olması gereklidir (Kulali, 2016).

2.2.2.2. Monte Carlo simülasyonu

Monte Carlo simülasyonu problemi bir olasılık modeli ile ilişkilendirir ve modeldeki istatistiksel özelliklere sahip rastgele sayılar üreterek hesaplama problemini çözer. Simülasyon sayısı arttıkça, her bir istatistik veya parametrenin tahmin edilen değerlerinin ortalamasını alarak istikrarlı bir sonuca ulaşılabilir. Monte Carlo simülasyon yöntemindeki en önemli adım, çözülen problemi buna denk bir olasılık ve istatistiksel probleme dönüştürmektir (Li vd., 2018).

Tarihsel simülasyon ile çeşitli benzerlikleri vardır. Fakat Monte Carlo simülasyon yönteminde piyasa faktörlerindeki olası değişiklikleri yeterince yakaladığına ya da yaklaşık olarak temsil ettiğine inanılan bir istatistiksel dağılım seçilir. Daha sonra piyasa faktörlerinde varsayımsal değişiklikler oluşturulur. Bu değişiklikler mevcut portföydeki varsayımsal hisse kâr ve zararlarını ve olası hisse kârı ya da zararının dağılımını oluşturmak için kullanılır. Sonuç olarak VaR ölçümü simüle edilen getirilerin dağılımı ile belirlenir (Vaniya vd., 2022).

2.2.2.3. Tarihsel simülasyon yöntemi

Tarihsel simülasyon yönteminin bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Avantajlı yanı VaR modellemesi için dağılımsal varsayımlar kullanmaması nedeniyle özellikle normal dağılım varsayımını kullanan yöntemlere kıyasla daha iyi performans göstermesidir. Ayrıca hesaplaması görece daha kolaydır ve varlıklar arasındaki korelasyonları ampirik olarak dahil edebilir. Dezavantajlı yanı ise aşırı getirilerin ayrık yapısı ve kuyruklardaki az sayıda gözlem nedeniyle VaR ölçümlerinin oldukça değişken ve düzensiz olmasıdır (Sharma, 2012).

2.3. Küresel İklim Değişikliği

Günümüzün en önemli sorunlarından biri küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğidir. Pek çok bilim insanı özellikle iklim bilimciler, artan sera gazı emisyonları ve buna bağlı ısınmanın iklim değişikliğinin en büyük nedeni olduğunu savunmaktadır. Sera gazı emisyonlarının artmasının temel nedeni başta insan faaliyetleri olmak üzere Sanayi Devrimi'nden sonra fosil yakıtların kullanımının artmasıdır.

Sera gazı emisyonunun başlıca nedeni fosil yakıtların enerji ve enerji üretimi için yakılmasıdır. Başta karbondioksit ve metan olmak üzere sera gazlarının küresel ölçekteki aşırı emisyonu hava kirliliğinin ve sera etkisinin ana nedenidir (Jeffry vd., 2021).

Küresel ısınmanın etkisiyle giderek daha belirgin hale gelen iklim değişikliği dünya genelinde iklimle ilişkili afetlerin sıklığını ve şiddetini önemli ölçüde arttırmaktadır. Günümüzde aşırı sıcaklıklar, sıcak hava dalgaları, ani ve yoğun yağışlar sonucu oluşan seller, uzun süreli kuraklıklar, güçlü fırtınalar ve orman yangınları gibi iklimle ilişkili afetler, daha sık ve yoğun yaşanarak toplumlar üzerinde ciddi olumsuz etkiler bırakmaktadır. Bu afetlerle başa çıkmak ve toplumsal direnci arttırmak için azaltım ve uyum stratejilerinin geliştirilmesi giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Böylece can zararlarının yanı sıra oluşabilecek maddi zararlar da indirgenebilir.

İklimle ilişkili afetlere yönelik azaltım ve uyum stratejilerinin geliştirilmesinde, bu olayları önceden öngörmek kilit bir role sahiptir. İklimle ilişkili afetlerin sosyoekonomik maliyetleri oldukça yüksektir. Can kaybı, altyapı hasarı ve ekonomik zararın yanı sıra toplumsal yaşam üzerinde kalıcı etkiler bırakabilir. Bu nedenle afetlerin doğru bir şekilde tahmin edilmesi, yalnızca insan yaşamını korumakla kalmaz aynı zamanda ekonomiler üzerinde olumlu etkiler sağlar. Afet riskini önceden öngörerek alınacak önlemler sayesinde maddi zararlar azalır ve toplumların afetlere karşı dayanıklılığı artar.

Gelecekteki olası afetlerin tahmin edilmesinde kullanılan en kritik araçlardan biri küresel iklim modelleridir. Bu modeller iklim değişikliğinin uzun vadeli etkilerini değerlendirerek belirli bölgelerde yaşanması muhtemel aşırı hava olaylarının türünü, sıklığını ve şiddetini tahmin etmeye olanak tanır. Model verileri sayesinde, belirli bir bölgede ilerleyen yıllarda gerçekleşmesi beklenen afetlere karşı önceden hazırlık yapılarak, afetin şiddeti ve etkileri önemli ölçüde azaltılabilir. Bu bağlamda iklim modellerine dayalı tahminler risk yönetimi, kaynak planlaması ve afet müdahale stratejilerinin geliştirilmesi için vazgeçilmez araçlardır.

2.3.1. Küresel iklim modelleri

İklim modelleri, genel anlamda, iklim sisteminin farklı zorlamalara (forcing) verdiği tepkileri incelemek, mevsimsel ve on yıllık zaman ölçeklerinde iklim tahminleri yapmak, ayrıca gelecek yüzyıl ve sonrası için iklim tahminlerini oluşturmak için kullanılan temel araçlardır (Flato vd., 2014).

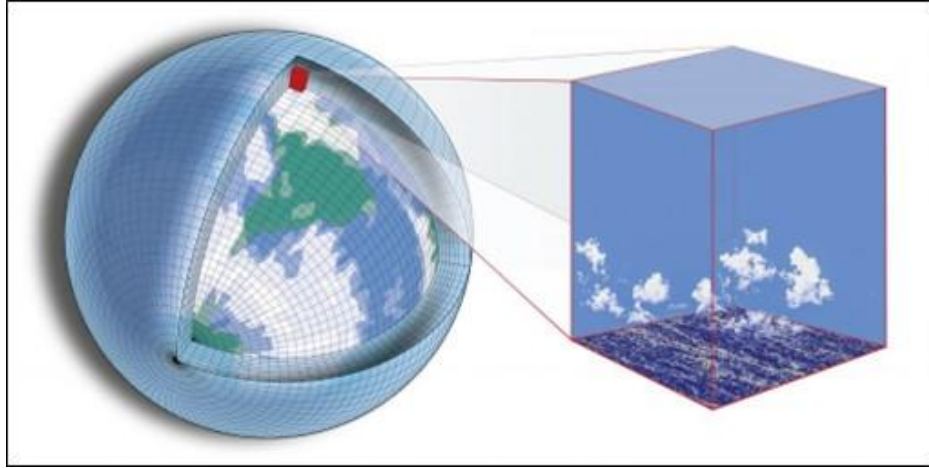
Kavramsal modellerle başlayan iklim modelleme süreci, 19. yüzyılda enerji dengesi (energy balance) ve ışımsal transferin (radiative transfer) matematiksel modelleri ve sonrasında basit analog modellerle devam etmiştir. 1950'li yıllardan itibaren iklim biliminin temel araçları bilgisayar simülasyon modelleri olmaya başlamıştır. 1990'lı yıllarda başlayıp günümüze kadar devam eden yaklaşım ise tüm iklim sisteminin kapsamlı birleştirilmiş modellerinin (comprehensive coupled models) kullanımınıdır (Edwards, 2011).

19. yüzyılda başlayan ve günümüze kadar gelen iklim modelleri dört ana gruba ayrılarak incelenebilir. Bunlar (McGuffie ve Henderson-Sellers, 2005);

- *Enerji denge modelleri (Energy balance models-EBM)*, Dünya'nın enerji dengesinin bir fonksiyonu olarak yüzey (kesin olarak deniz seviyesi) sıcaklığını tahmin eden sıfır veya bir boyutlu modellerdir.
- *Tek boyutlu modeller (One-dimensional models)*, dikey süreçlere odaklanan, radyatif-konvektif (radiative-convective-RC) modeller ve tek sütunlu modellerdir (single column models-SCMs). Radyatif-konvektif modeller, küresel ortalama radyatif süreçleri modelleyerek sıcaklık profili hesaplar ve önceden belirlenmiş bir sıcaklık azalma oranını yeniden sağlayan bir konvektif ayarlama içerir. Tek sütunlu modeller, üç boyutlu bir modelden çıkarılan tek sütunlardır ve yatay enerji transferleri olmadan modellenecek olan tüm süreçleri içerir.

- *Boyutsal olarak kısıtlanmış modeller (Dimensionally constrained models)*, geniş çeşitlilikte olabilirler. En eski olanı yüzey süreçleri ve dinamikleri bölgesel olarak ortalama bir çerçevede ele alan ve dikey olarak çözümlenmiş bir atmosfere sahip istatistiksel dinamik (statistical dynamical-SD) modellerdir. Bu modeller, küresel modellere reaksiyon kimyasını dahil etmek için başlangıç noktası olmuştur ve hala bazı Orta Karmaşıklıkta Dünya Modellerinde (Earth Models of Intermediate Complexity-EMIC) kullanılmaktadır.
- *Küresel dolaşım modelleri (Global circulation models-GCM)*, atmosfer ve okyanusun üç boyutlu doğası bu modellere dahil edilir. Bu modeller mümkün olan en fazla süreci simüle etmeye çalışır ve okyanus ve atmosferin durumunun zaman içindeki evriminin üç boyutlu bir temsilini üretir. Dikey çözünürlük genellikle yatay çözünürlükten çok daha iyidir, ancak katman sayısı genellikle sütun sayısından çok daha azdır. Küresel iklim modelleri tüm iklim sistemini bütüncül bir yaklaşımla ele alır. Yüzey, bitki örtüsü, buzullar, kar örtüsü gibi diğer iklim bileşenlerinin de hesaba katıldığı modellerdir (Henderson-Sellers ve McGuffie, 2012).

Şekil 2.3'te Küresel İklim Modellerinin iklim sistemini nasıl simüle ettiğini gösteren görsel verilmiştir.



Şekil 2.3. Küresel iklim modelleri (<http-6>)

Küresel iklim modelleri, dünyayı üç boyutlu gridlere böler ve her bir grid belirli bir bölgeyi ve yüksekliği temsil eder. Her bir hücre içindeki denklemler, hava kütlelerinin hareketi, ısı ve nem alışverişi, bulutların oluşumu ve dağılması ve radyasyonun soğurulması ve yayılması gibi fiziksel süreçleri tanımlar.

2.3.1.1. CMIP6 kapsamındaki küresel iklim modelleri

Dünya genelinde birçok kurum, araştırma merkezi ve uluslararası kuruluş, iklim değişikliği üzerine kapsamlı araştırmalar yürütmekte ve farklı iklim modelleri geliştirmektedir. Bu çalışmalar, küresel ve bölgesel ölçekte iklim değişikliğinin etkilerini anlamayı, analiz etmeyi ve geleceğe yönelik senaryolar oluşturarak karar alıcılara bilgi sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu modellerin geliştirilmesi amacıyla oluşturulan projelerden biri de ilerleyen bölümlerde açıklanacak olan Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi'nin (Coupled Model Intercomparison Project-CMIP) altıncı fazıdır (CMIP6). CMIP6 kapsamında iklim modelleri, çeşitli senaryolar altında çalıştırılmakta ve farklı emisyon, sosyoekonomik gelişim ve iklim politikası varsayımları üzerinden geleceğe dair öngörüler sunmaktadır. Bu projeye dünyanın farklı bölgelerinden çok sayıda bilim insanı, kurum ve kuruluş katkı sağlamış ve farklı modeller geliştirmiştir. Proje, dünya çapında yaklaşık 120 küresel iklim modeli ve 45'e yakın kurum ve kuruluştan alınan simülasyonları içermektedir ([http-7](http://7)).

HadGEM3-GC31-LL

HadGEM3-GC31-LL küresel iklim modeli, Birleşik Krallık Met Ofisi tarafından geliştirilen HadGEM3 serisinin bir üyesidir. CMIP6 küresel iklim modelleme projelerinde yer almaktadır. Bu model, düşük çözünürlüklü versiyonu olan GC31-LL, küresel iklim sisteminin fiziksel süreçlerini temsil eden bir atmosfer ve okyanus modelinin kombinasyonunu içerir. HadGEM3-GC31-LL, iklim değişikliği senaryolarını simüle etmek ve gelecekteki iklim koşullarını tahmin etmek amacıyla kullanılmaktadır. Model, atmosferik ve okyanus girdilerini, enerji ve su döngülerini, bulut oluşumunu ve diğer önemli iklim değişkenlerini dikkate alarak iklim projeksiyonları sağlar.

Model, geniş alanlarda iklim değişikliklerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi için uygundur. Ancak çözünürlük seviyesi nedeniyle daha ayrıntılı yerel analizler için ek veri ve modelleme gerektirebilir. HadGEM3-GC31-LL'nin uygulama alanları, iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi, sel tahminleri, kuraklık analizi ve genel iklim projeksiyonları gibi geniş bir yelpazeyi kapsar (Andrews vd., 2020).

MPI-ESM1-2-HR

MPI-ESM1-2-HR küresel iklim modeli, Almanya'nın Max Planck Enstitüsü tarafından geliştirilen ve CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) kapsamında yer alan bir küresel iklim modelidir. Modelin adı, "High Resolution (yüksek

çözünürlük)” anlamına gelen "HR" eki ile tanımlanır. Bu da modelin iklim simülasyonlarında daha ayrıntılı bir çözünürlük sunduğunu gösterir.

MPI-ESM1-2-HR, atmosfer, okyanus, deniz buzu ve kara yüzeyi süreçlerini kapsayan entegre bir modeldir. Model, atmosferik ve okyanus dinamiklerini yüksek çözünürlükte temsil ederek, iklim değişikliğinin etkilerini daha detaylı bir şekilde incelemeyi mümkün kılar. Bu yüksek çözünürlük, modelin daha doğru yerel ve bölgesel iklim projeksiyonları sağlamasına yardımcı olur.

MPI-ESM1-2-HR, iklim değişikliğinin etkilerini değerlendirmek, aşırı hava olaylarını simüle etmek ve iklim senaryolarını analiz etmek için kullanılır. Model, geniş veri setleri sağlayarak iklim biliminin çeşitli alanlarında derinlemesine analizler yapmayı mümkün kılar (Giorgetta vd., 2018).

MRI-ESM2-0

MRI-ESM2-0 küresel iklim modeli, Japonya'nın Meteorolojik Araştırmalar Enstitüsü (MRI) tarafından geliştirilmiş bir küresel iklim modelidir ve CMIP6 kapsamında yer alır. Bu model, "Earth System Model" (ESM) olarak sınıflandırılır ve atmosfer, okyanus, kara yüzeyi ve deniz buzu süreçlerini entegre bir şekilde simüle eder.

MRI-ESM2-0, geniş ölçekli iklim değişikliklerini ve bölgesel iklim varyasyonlarını daha iyi anlamak için tasarlanmıştır. Model, yüksek çözünürlüklü atmosferik ve okyanus verileri kullanarak, iklim değişikliğinin etkilerini, aşırı hava olaylarını ve diğer iklim parametrelerini detaylı bir şekilde incelemeyi amaçlar. Ayrıca, modelin karasal süreçleri ve biyosfer üzerindeki etkileri de değerlendirilir.

MRI-ESM2-0, iklim projeksiyonları yapmak, küresel ve bölgesel iklim değişikliklerini tahmin etmek ve iklim değişikliğinin çeşitli senaryolarını değerlendirmek için kullanılır. Modelin sağladığı veri setleri, iklim bilimi ve uygulamalı iklim araştırmaları için önemli bilgiler sunar (Hajima vd., 2020).

2.3.1.2. Küresel iklim modeli seçim kriterleri

Küresel iklim modellerinin performansı, kullanılan veri seti ya da modelin çözünürlüğü gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Özellikle iklim değişikliğinin yerel etkilerini belirlemede kullanılacak modelin ya da modellerin seçimi çeşitli analiz ve değerlendirme süreci gerektirir. Model seçilirken, geçmişte gözlemlenen iklim verilerini ne kadar iyi temsil ettiği, modelin çözünürlüğü, sıcaklık ya da yağış gibi iklim parametrelerini ne derece iyi simüle ettiği gibi özellikler dikkate alınır. Ayrıca modelin ya da modellerin farklı iklim senaryoları altındaki performansı da göz önünde

bulundurulması gereken özelliklerdendir. Bu nedenlerle küresel iklim modeli seçimi ayrı bir çalışma alanı olarak kabul edilir.

Küresel iklim modeli seçiminde zarf yaklaşımı (envelope approach) ve geçmiş performans yaklaşımının (the past-performance approach) birleştirilerek uygulanması (Lutz vd., 2016); konumsal verimlilik, kesirler beceri puanı, Goodman–Kruskal lambda, Cramer's V, Mapcurves ve Kling–Gupta verimliliği (SPAtial EFficiency, fractions skill score, Goodman–Kruskal's lambda, Cramer's V, Mapcurves, and Kling–Gupta efficiency) metriklerinin kullanımı (Ahmed vd., 2019); niceliksel regresyona dayalı doğrulama yöntemi geliştirilmesi (Breach vd., 2016) gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Küresel iklim modellerinin performansını değerlendiren çalışmalarda, sel olaylarının öngörülmesi ve yönetilmesi açısından büyük önem taşıyan aşırı yağış endeksleri veya yağış miktarını en iyi simüle eden modellerin seçimi kritik bir konudur. Bu modellerin doğru seçimi, sel risklerinin daha iyi tahmin edilmesine ve etkin yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlar. Tez kapsamında kullanılacak küresel iklim modellerinin seçim sürecinde doğrudan bir analiz yapılmamış, modeller literatür taramasına dayanarak belirlenmiştir.

CMIP5 ve CMIP6 modelleri aşırı yağış endeksleri açısından karşılaştırıldığında, CMIP6 modellerinin, tropik ve subtropikal yağmurlara göre daha düşük kuru önyargılarla (dry biases) aşırı yağışları daha güçlü bir şekilde simüle ettiği görülmüştür. Genel olarak, modeller arası büyük farklar mevcuttur (Kim, 2020). Yağış olayı, atmosferdeki nem miktarı, rüzgâr desenleri, bulut oluşumu, topografya ve diğer birçok faktörün karmaşık bir etkileşimine bağlıdır. Bu nedenle yağışı simüle etmek, sıcaklığa göre çok daha zor ve karmaşıktır. Sonuç olarak küresel iklim modellerinde yağış simülasyonları genellikle sıcaklık simülasyonlarından daha büyük hata payına sahiptir ve daha karmaşık modellemeler gerektirir. Sıcaklık ile karşılaştırıldığında, küresel iklim modellerinin yağış simülasyonunda daha az doğru olduğu, bunun da yağış sürecinin karmaşıklığından ve iklim modellerinin yapısından kaynaklandığı belirtilmektedir (Majdi vd., 2022).

Küresel iklim modellerinin performansı ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, modellerin farklı coğrafi bölgeler veya ülkeler için farklılık gösterdiği açıkça görülmektedir. Bu çalışmalar, modellerin belirli bölgelerde iklim değişikliği etkilerini ne kadar doğru tahmin edebildiğini değerlendirmeyi amaçlar. Küresel iklim modellerinin bölgesel performansı, belirli iklim değişkenlerinin doğru bir şekilde simüle edilip edilemediği üzerinden değerlendirilir.

Orta Asya'daki aşırı yağışlar için CMIP6 modellerinin Multi-Model Ensemble yaklaşımı ile değerlendirildiği çalışmada, 33 Küresel Dolaşım Modeli (Global Circulation Models - GCM) ve 8 aşırı yağış endeksi kullanılmıştır. Modellerden hiçbirisi tek başına sekiz aşırı yağış endeksinin tüm konumsal özelliklerini doğru bir şekilde simüle edememiştir (Lei vd., 2023).

Başka bir çalışmada, Türkiye'nin de çalışma kapsamına alındığı, Ortadoğu ve Kuzey Afrika ile Afganistan ve Pakistan (ODKA) (Middle East and North Africa and Afghanistan and Pakistan-MENAP) bölgesi için 11 küresel iklim modelinin performansı incelenmiştir. Bu inceleme, 2021–2050 yılları arasındaki gelecekteki yağış simülasyonları ve projeksiyonları için SSP1-2.6, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5 senaryoları altında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, ilgili bölge için en iyi performansı sergileyen modelin MPI-ESM1-2-HR olduğu belirlenmiştir (Mesgari vd., 2022).

2015 yılında Türkiye Cumhuriyeti Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü tarafından yayınlanan “Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği” adlı raporda, Türkiye için iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği analizleri için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M küresel iklim modelleri kullanılmıştır. Bu modeller, İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği öğretim üyeleri ile yapılan mülakatlar sonucunda seçilmiş olup, CMIP5 kapsamında üretilen ve Türkiye için uygun görülen model veri setlerinden temin edilmiştir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015). Bu çalışma dışında Türkiye için hangi küresel iklim modelinin daha iyi performans gösterdiği konusunda bir kaynak bulunmamaktadır. İlgili rapor, çalışma kapsamında kullanılan model seçiminde etkili olmuştur.

Yukarıda yapılan açıklamalar doğrultusunda, tez kapsamında kullanılan küresel iklim modelleri daha genel ve objektif seçim kriterlerine dayandırılarak seçilmiştir. Bu kriterler (Mahony vd., 2022):

- *Kriter 1:* Ortalama günlük minimum sıcaklık (Tmin) ve ortalama günlük maksimum sıcaklık (Tmax) değişkenlerinin mevcut olması. Bu değişkenler, uzun vadeli sıcaklık kaydının doğrudan ölçülen unsurlarıdır ve birçok iklim değişikliği etki analizinde temel sıcaklık unsurlarıdır.

- *Kriter 2:* Modelin en az üç kez çalıştırılmış olması. Bu kriter, doğal değişkenlikteki yanlılık düzeltme etkisini azaltarak sağlam bir ölçek indirgeme sağlar.
- *Kriter 3:* Senaryoların tam olması. Bu kriter, 4 ana SSP senaryosundan (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5) 3'ü için en az 1 simülasyona sahip olması anlamına gelir.
- *Kriter 4:* Kurum başına bir model olması. Bu kriter, ensemble (topluluk) seçiminde bağımsızlığı arttırmak için kullanılır (Leduc vd., 2016). Bu kriter kapsamında aynı modelin farklı fizik veya zorlama düzenlemeleri, farklı modeller olarak kabul edilir.
- *Kriter 5:* Yakından ilişkili olmayan modellerin seçilmesi. Bileşen paylaşılan modeller takip edilerek hariç tutulur (Brunner vd., 2019).
- *Kriter 6:* Büyük yanlılıkların olmaması. Yanlılık, bir model simülasyonunun gözlemlenen iklimden ne kadar farklı olduğu üzerinden ölçülmektedir. Diğer ensemble üyelerine göre bir veya daha fazla değişken için büyük yanlılığı olan modeller hariç tutulur.

2.3.2. Çoklu model topluluk yaklaşımları

İklim değişikliği çalışmalarında kullanılan çoklu model topluluk yaklaşımları (multi-model ensemble approaches), tek bir küresel iklim modeli kullanımından kaynaklanan belirsizlikleri azaltmak ve sonuçların daha güvenilir olmasını sağlamak için kullanılır.

Aritmetik ortalama çoklu-model topluluğu (arithmetic average multi-model ensemble-AMME), medyan çoklu-model topluluğu (median multi-model ensemble-MME), desen performansına dayalı çoklu-model topluluğu (pattern performance-based multi-model ensemble-MM-PERF) ve bağımsızlık ağırlıklı ortalama (independence weighted mean-IWM) gibi yöntemler çoklu-model topluluk yaklaşımlarındandır (Lei vd., 2023).

Çalışma kapsamında kullanılan yağış verisinin analizinde medyan çoklu-model topluluğu yaklaşımı uygulanmıştır. Bunun temel nedeni, farklı küresel iklim modellerindeki belirsizlikleri ve hataları azaltmaktır. Özellikle yağış verisinde medyan yönteminin kullanımı, model sonuçlarının uç değerlerden etkilenmesini en aza indirir ve aşırı değerlerin model sonuçlarını bozmasını önler.

2.3.3. Küresel iklim değişikliği çalışmalarında başlıca kuruluşlar ve projeler

Küresel iklim değişikliğinin etkilerini anlamak ve emisyon senaryoları geliştirmek için Dünya İklim Araştırma Programı (World Climate Research Program-WCRP), Birleştirilmiş Modeller Üzerine Çalışma Grubu (Working Group on Coupled Modelling-WGCM), Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (Coupled Model Intercomparison Project-CMIP) ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (The Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) gibi uluslararası organizasyon ve projeler, bilimsel araştırmaların koordine edilmesi ve iklim politikalarının şekillendirilmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır.

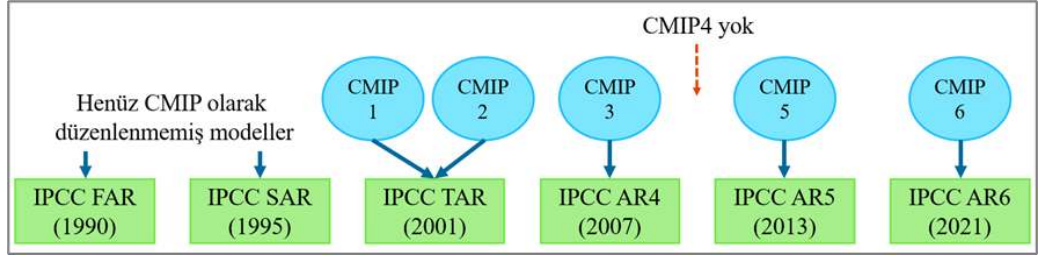
2.3.3.1. Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP)

Dünya İklim Araştırma Programı'nın (WCRP) esas görevi, iklim bilgisini geliştirmek, paylaşmak ve uygulamak için uluslararası iklim araştırmalarını koordine etmek ve kolaylaştırmaktır. WCRP, uluslararası bilim koordinasyonu ve ortaklıkları aracılığıyla, iklimi etkileyen doğal ve sosyal sistemler arasındaki çok ölçekli dinamik etkileşimlere ilişkin anlayışın geliştirilmesine katkıda bulunur. En önemli noktalardan biri, WCRP tarafından desteklenen araştırmaların, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ni, 2015 Paris Anlaşması kapsamındaki ulusal taahhütleri temellendirme ve 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Ajandası ile Sendai Afet Risk Azaltma Çerçevesi'ni destekleyen bilimi oluşturması ve çok taraflı çevre sözleşmelerine katkıda bulunmasıdır ([http-8](http://8)).

2.3.3.2. Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP)

Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (Coupled Model Intercomparison Project-CMIP) doğal ya da doğal olmayan nedenlerle geçmiş, mevcut ve gelecekteki iklim değişikliklerini çoklu model bağlamında ele alarak daha iyi anlaşılmasını amaçlar. Bu bakış açısı geçmiş dönemlerdeki model performanslarının değerlendirilmesini ve geleceğe yönelik projeksiyonlarda tarihî dönemde model performansının değerlendirilmesini ve geleceğe yönelik projeksiyonlarda artışın nedenlerinin sayısallaştırılmasını sağlar. 1995 yılında WGCM altında başlatılan CMIP'in önemli bir hedefi, çoklu model çıktılarını standart bir formatta kamuya açık hale getirmektir. Başlatıldığı yıldan bu yana birçok CMIP deneyi geliştirilmiştir. WGCM'nin rehberliğinde ve yönlendirmesiyle, tüm CMIP faaliyetleri, birleşik bir çift alt komite tarafından denetlenir: Bu komiteler; CMIP Paneli (CMIP Panel) ve WGCM Altyapı Paneli (WGCM

Infrastructure Panel)’dir (<http-10>). Şekil 2.4’te Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projeleri ve IPCC raporlarında yer almalarına ilişkin görsel verilmiştir.



Şekil 2.4. CMIP ve IPCC raporları (<http-10>)

2.3.3.3. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) dünya çapında iklim değişikliği ile ilgili bilimsel araştırmaları değerlendiren Birleşmiş Milletler organıdır. IPCC düzenli olarak ve belirli aralıklarla, iklim değişikliği konusunda yapılan bilimsel çalışmalar hakkında kapsamlı raporlar üretir. IPCC’nin yapısı Şekil 2.5’te özetlenmiştir.



Şekil 2.5. IPCC’nin yapısı (<http-11>)

IPCC 1988 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından kurulan bir Birleşmiş Milletler organıdır. Organın kuruluş amacı, iklim değişikliği ile ilgili bilimsel bilgileri değerlendirmek, etkilerini analiz etmek ve bu değişikliğe karşı alınabilecek önlemleri belirlemektir.

IPCC ilk büyük değerlendirme raporunu 1990 yılında yayınlamış ve bu rapor Birleşmiş Milletler Genel Kurulu tarafından iklim değişikliği ile ilgili bir çerçeve sözleşmesi müzakerelerinin başlatılması kararına temel oluşturmuştur. 1992 yılında

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) Rio de Janeiro'da imzaya açılmıştır.

IPCC 1990, 1995, 2001, 2007, 2014 ve 2021 yıllarında sırasıyla Birinci, İkinci, Üçüncü, Dördüncü, Beşinci ve Altıncı Değerlendirme Raporlarını yayınlamıştır. Bu raporlarda iklim değişikliğinin bilimsel temelleri, etkileri, uyum ve kırılmalık ile azaltma stratejileri gibi konular yer almaktadır.

1997 yılında Kyoto Protokolü kabul edilmiş ve IPCC bu süreçte önemli katkılar sağlamıştır. 2007 yılında IPCC, insan kaynaklı iklim değişikliği konusundaki çalışmaları nedeniyle Nobel Barış Ödülü'nü almıştır.

IPCC ayrıca, ulusal sera gazı envanterleri ve arazi kullanımı gibi konularda iyi uygulama rehberleri ve yöntemler geliştirmiştir. 2018 yılında küresel ısınmanın 1.5°C ile sınırlandırılması üzerine özel bir rapor yayınlamış ve 2019 yılında arazi ve okyanuslar üzerindeki iklim değişikliği etkilerini inceleyen özel raporlar sunmuştur.

Son olarak, 2023 yılında Altıncı Değerlendirme Raporu'nun Sentez Raporu onaylanmış ve yedinci değerlendirme döngüsü başlamıştır.

IPCC ile ilgili yukarıda yapılan açıklamaların özeti ve kuruluş tarihi olan 1988'den bu yana yaptığı çalışmalar Tablo 2.3'te özetlenmiştir (IPCC Fact Sheet-Timeline):

Tablo 2.3. IPCC çalışmalarının tarihçesi

1988	Birleşmiş Milletler Çevre Programı (The United Nations Environment Programme-UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (World Meteorological Organization-WMO), Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ni (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) kurması.
1990	IPCC'nin Birinci Değerlendirme Raporu'nu (First Assessment Report-FAR) yayınlaması (Çalışma Grubu I – İklim Değişikliği: IPCC Bilimsel Değerlendirmesi; Çalışma Grubu II – İklim Değişikliği: IPCC Etki Değerlendirmesi; Çalışma Grubu III – İklim Değişikliği: IPCC Yanıt Stratejileri). BM Genel Kurulu'nun rapor bulgularını not alması ve iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi müzakerelerini başlatmaya karar vermesi.
1992	IPCC'nin Ek Raporlar (Supplementary Reports) yayınlaması (Çalışma Grubu I – İklim Değişikliği 1992: IPCC Bilimsel Değerlendirmesi Ek Raporu; Çalışma Grubu II – İklim Değişikliği 1992: IPCC Etki Değerlendirmesi Ek Raporu; İklim Değişikliği: IPCC 1990 ve 1992 Değerlendirmeleri). Birleşmiş Milletler İklim

Tablo 2.3. (Devam) IPCC çalışmalarının tarihçesi

	Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (The United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC), Rio de Janeiro'da düzenlenen BM Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda imzaya açılması.
1995	IPCC'nin İkinci Değerlendirme Raporu'nu (Second Assessment Report-SAR) yayınlaması (Çalışma Grubu I – İklim Değişikliği 1995: İklim Değişikliği Bilimi; Çalışma Grubu II – İklim Değişikliği 1995: İklim Değişikliğinin Etkileri, Uyum ve Azaltma: Bilimsel-Teknik Analizler; Çalışma Grubu III – İklim Değişikliği 1995: İklim Değişikliğinin Ekonomik ve Sosyal Boyutları; IPCC İkinci Değerlendirme: İklim Değişikliği 1995 (Sentez Raporunu içerir)).
1996	IPCC'nin, 1996 Gözden Geçirilmiş IPCC Ulusal Sera Gazı Envanterleri Rehberlerini (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) yayınlaması.
1997	UNFCCC'nin Kyoto Protokolü'nün kabul edilmesi. Protokolün 2005 yılında yürürlüğe girmesi.
1998	IPCC'nin, Ulusal Sera Gazı Envanterleri Programını denetlemek için Ulusal Sera Gazı Envanterleri Görev Gücü'nü (Task Force on National Greenhouse Gas Inventories-TFI) kurması. 1999 yılından beri Görev Gücü, Japonya Hükümeti tarafından desteklenmektedir.
2000	IPCC'nin Ulusal Sera Gazı Envanterlerinde İyi Uygulama Rehberi ve Belirsizlik Yönetimi'ni (Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories) yayınlaması.
2001	IPCC'nin Üçüncü Değerlendirme Raporu'nu (Third Assessment Report-TAR) yayınlaması (Çalışma Grubu I – İklim Değişikliği 2001: Bilimsel Temel; Çalışma Grubu II – İklim Değişikliği 2001: Etkiler, Uyum ve Kırılabilirlik; Çalışma Grubu III – İklim Değişikliği 2001: Azaltma; İklim Değişikliği 2001: Sentez Raporu).
2003	IPCC'nin, Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık için İyi Uygulama Rehberi'ni (Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry) yayınlaması.
2006	IPCC'nin 2006 Ulusal Sera Gazı Envanterleri Rehberleri'ni (2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) yayınlaması.
2007	IPCC'nin, Dördüncü Değerlendirme Raporu'nu (Fourth Assessment Report-AR4) yayınlaması (Çalışma Grubu I – İklim Değişikliği 2007: Fiziksel Bilim Temeli; Çalışma Grubu II – İklim Değişikliği 2007: Etkiler, Uyum ve Kırılabilirlik; Çalışma Grubu III – İklim Değişikliği 2007: İklim Değişikliğinin Azaltılması; İklim Değişikliği 2007: Sentez Raporu). IPCC'nin, “insan kaynaklı iklim değişikliği konusunda daha fazla bilgi oluşturma ve yayma çabaları ve bu değişikliğe karşı gerekli önlemlerin temellerini atma” nedeniyle Nobel Barış

Tablo 2.3. (Devam) IPCC çalışmalarının tarihçesi

	Ödülü'nü ödülüne ortak olması.
2010	IPCC'nin, InterAcademy Council'in önerileri doğrultusunda 2012 yılında tamamlanmak üzere süreçlerini ve prosedürlerini gözden geçirmeye başlaması.
2013	IPCC'nin, Beşinci Değerlendirme Raporu'na (Fifth Assessment Report-AR5) katkı olarak İklim Değişikliği 2013: Fiziksel Bilim Temeli'ni onaylaması. IPCC'nin 2013 IPCC Ulusal Sera Gazı Envanterleri Rehberleri Ekleri: Sulak Alanlar (Sulak Alanlar Ek Rehberi) ve 2013 Gözden Geçirilmiş Ek Yöntemler ve Kyoto Protokolü'nden Kaynaklanan İyi Uygulama Rehberi'ni (KP Ek Rehberi) onaylaması.
2014	IPCC'nin, İklim Değişikliği 2014: Etkiler, Uyum ve Kırılganlık ve İklim Değişikliği 2014: İklim Değişikliğinin Azaltılması raporlarını, Beşinci Değerlendirme Raporu'na katkı olarak onaylaması. Beşinci Değerlendirme Raporu'nun, 2014 yılında Sentez Raporu ile tamamlanması.
2018	IPCC'nin, 1.5°C Küresel Isınma Özel Raporu'nu onaylaması; bu rapor, sanayi öncesi seviyelerin 1.5 derece üzerinde küresel ısınmanın etkilerini ve iklim değişikliği tehdidine karşı küresel yanıtı güçlendirme, sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğun ortadan kaldırılması bağlamında ilgili küresel sera gazı emisyon yollarını inceler.
2019	IPCC'nin, 2006 IPCC Ulusal Sera Gazı Envanterleri Rehberlerinin 2019 Gözden Geçirmesi'ni onaylaması. IPCC'nin İklim Değişikliği ve Arazi üzerine Özel Raporu onaylaması; bu rapor, iklim değişikliği, çölleşme, arazi bozunumu, sürdürülebilir arazi yönetimi, gıda güvenliği ve karasal ekosistemlerdeki sera gazı akışlarını ele alır. IPCC'nin, Değişen İklimde Okyanus ve Kriyosfer üzerine Özel Raporu (Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate) onaylaması.
2021	IPCC'nin, Altıncı Değerlendirme Raporu'na (Sixth Assessment Report-AR6) katkı olarak İklim Değişikliği 2021: Fiziksel Bilim Temeli'ni onaylaması.
2022	IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporu'na katkı olarak İklim Değişikliği 2022: Etkiler, Uyum ve Kırılganlık ve İklim Değişikliği 2022: İklim Değişikliğinin Azaltılması raporlarını onaylaması.
2023	IPCC'nin İklim Değişikliği 2023: Sentez Raporu'nu (Climate Change 2023: Synthesis Report) onaylaması. Yeni IPCC ve Görev Gücü Bürolarının seçimiyle, yedinci değerlendirme döngüsüne başlanması.

Kurulduğu günden bu yana IPCC altı adet değerlendirme raporu yayınlamıştır. Bunlar, doğrudan uluslararası iklim politikalarının oluşturulmasına katkı sağlamayı amaçlayan raporlardır.

- 1990 yılında yayınlanan Birinci Değerlendirme Raporunda (First Assessment Report-FAR) iklim değişikliğinin önemi ön plana çıkarılarak, uluslararası iş birliği gerektiren küresel bir sorun olduğu vurgulanmıştır. Bu rapor, küresel ısınmayı azaltmak ve iklim değişikliğinin sonuçlarıyla başa çıkmak için kilit uluslararası anlaşmalardan biri olan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (The United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC)'nin oluşturulmasında belirleyici bir rol oynamıştır.
- 1995 yılında yayınlanan İkinci Değerlendirme Raporu (Second Assessment Report SAR), devletlerin 1997'deki Kyoto Protokolü'nü kabul etme sürecinde yararlanabilecekleri önemli materyaller sağlayan bir rapor olmuştur.
- 2001 yılındaki Üçüncü Değerlendirme Raporunda (Third Assessment Report-TAR) odak noktası biraz değişerek iklim değişikliğinin etkilerine ve buna uyum gereksinimi ortaya atılmıştır.
- Dördüncü Değerlendirme Raporu (Assessment Report 4-AR4) 2007 yılında yayınlanmış ve küresel ısınmayı 2°C ile sınırlandırmaya odaklanarak, Kyoto sonrası yapılacak yeni bir anlaşmanın temelleri atılmıştır.
- 2013-2014 yılları arasında tamamlanan Beşinci Değerlendirme Raporunda ise (AR5-Assessment Report 5) Paris anlaşmasında kullanılacak bilimsel girdiler sağlanmıştır.
- Son olarak Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6), Mart 2023'te tamamlanmıştır ([http-9](http://www.ipcc.ch/report/ar6/)).

2.3.4. Emisyon senaryoları

Emisyon senaryoları, gelecekteki sera gazı emisyonlarını ve bunların atmosferdeki yoğunluklarını temsil eden varsayımlardır. İklim modelleme ve iklim çalışmalarında, farklı emisyon seviyelerinin iklim sistemi üzerindeki potansiyel etkilerini anlamak için sıklıkla kullanılır.

Emisyon senaryoları IPCC'nin Birinci Değerlendirme Raporunda (FAR-First Assessment Report) ele alınmaya başlamış bir konudur. Emisyon senaryoları bir tahmin değildir; bunun yerine çeşitli gelişmelerin ve faaliyetlerin sonuçlarını araştıran bir "eğer

olursa” incelemesi sağlarlar. IPCC, iklim değişikliği araştırmalarını değerlendirme çalışmalarında emisyonları ve iklim senaryolarını merkezi bir bileşen olarak kullanmıştır. Emisyon senaryolarının oluşturulmasında IPCC süreci dört nesil emisyon senaryosuyla sonuçlanmıştır (Moss vd., 2010). Bunlardan üçü IPCC'nin yetkisi altında geliştirilen; Bilimsel Değerlendirme 1990 (SA90) (IPCC, 1990), 1992 IPCC Senaryoları (IS92) (Leggett vd., 1992) ve Emisyon senaryolarına ilişkin Özel Rapor (SRES) (Nakicenovic ve Swart, 2000)’dur. Dördüncüsü, İklim Modeli Karşılaştırma Projesi'nin (Climate Model Intercomparison Project-CMIP5/CMIP6) 5. ve 6. aşamalarına bilgi veren Temsili Konsantrasyon Yolları (Representative Concentration Pathways-RCP) (van Vuuren vd., 2011) ve Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar'dan (Shared Socioeconomic Pathways-SSP) (Riahi vd., 2017) oluşmaktadır.

2.3.4.1. Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP)

Gelecekteki emisyonları ve iklimi etkileyen diğer faktörleri kesin olarak tahmin etmek çok zor hatta imkansızdır. Bu nedenle gelecekteki ekonomik, sosyal, teknolojik ve çevresel koşullar hakkında çeşitli varsayımlar altında senaryolar geliştirilmiştir. Bu yaklaşım ve geliştirilen senaryolar, küresel ve bölgesel ölçekteki iklim ile ilişkili durumların daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlar (Nazarenko vd., 2015).

Birinci değerlendirme raporunda yer alan senaryolar, IS92 ve SRES senaryolarından sonra geliştirilen emisyon senaryoları Temsili Konsantrasyon Yolları (Representative Concentration Pathways – RCP) senaryoları olarak adlandırılır. Tablo 2.4’te RCP senaryolarına göre 2046-2065 ve 2081-2100 yılları arasında, küresel ortalama yüzey sıcaklığındaki değişim ve küresel ortalama deniz seviyesi yükselmesi, ortalama ve muhtemel aralık olarak verilmiştir.

Tablo 2.4. 1986-2005 referans dönemine göre 21. yüzyılın ortası ve sonu için küresel ortalama yüzey hava sıcaklığı ve küresel ortalama deniz seviyesi artışında öngörülen değişiklikler (IPCCb,2013)

		2046-2065		2081-2100	
	Senaryo	Ortalama	Muhtemel aralık	Ortalama	Muhtemel aralık
Küresel ortalama yüzey sıcaklığındaki değişim (°C)	RCP2.6	1.0	0.4 - 1.6	1.0	0.3 - 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 - 2.0	1.8	1.1 - 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 - 1.8	2.2	1.4 - 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 - 2.6	3.7	2.6 - 4.8

Tablo 2.4. (Devam) 1986-2005 referans dönemine göre 21. yüzyılın ortası ve sonu için küresel ortalama yüzey hava sıcaklığı ve küresel ortalama deniz seviyesi artışında öngörülen değişiklikler (IPCCb,2013)					
	Senaryo	Ortalama	Muhtemel aralık	Ortalama	Muhtemel aralık
Küresel ortalama deniz seviyesi yükselmesi (m)	RCP2.6	0.24	0.17 - 0.32	0.40	0.26 - 0.55
	RCP4.5	0.26	0.19 - 0.33	0.47	0.32 - 0.63
	RCP6.0	0.25	0.18 - 0.32	0.48	0.33 - 0.63
	RCP8.5	0.30	0.22 - 0.38	0.63	0.45 - 0.82

RCP2.6 hariç tüm RCP senaryolarında 21. yüzyılın sonu için küresel yüzey sıcaklığı değişiminin 1850 ile 1900'e göre 1,5°C'yi aşması olasıdır. RCP6.0 ve RCP8.5 için 2°C'yi ve RCP4.5 için 2°C'yi aşmaması daha da olasıdır. Isınmanın, RCP2.6 dışındaki tüm RCP senaryolarında 2100 sonrasında devam etmesi öngörülmektedir. Isınmanın, yıldan yıla değişkenlik göstermeye devam edeceği ve bölgesel olarak tek tip olmayacağı yine tahminler arasındadır (IPCCb, 2013).

2.3.4.2. Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar (SSP)

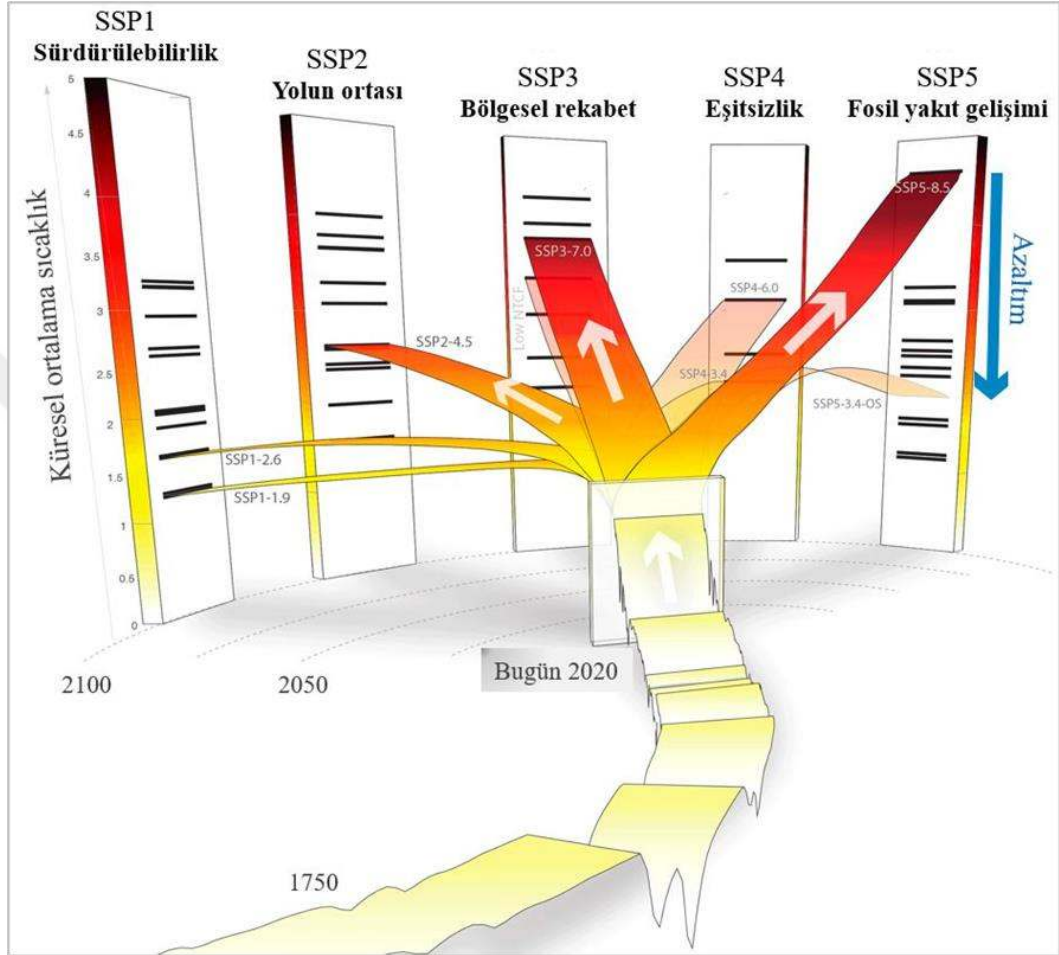
Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar (Shared Socioeconomic Pathways - SSP) en genel haliyle iklim değişikliği ile sosyoekonomik gelişmişlik arasındaki potansiyel etkileşimi inceleyen araçlar olarak tanımlanabilir. SSP'ler geleceğin bir tahmini olmayıp; daha çok gelecekteki farklı sosyoekonomik koşulların sera gazı emisyonlarını, iklim değişikliği etkilerini ve uyum ve azaltma stratejilerini nasıl etkileyeceğini incelemek için kullanılan araçlardır.

Uzun vadeli senaryolar, küresel çevresel değişim araştırmalarında önemli bir rol oynamaktadır. İklim değişikliği araştırma topluluğu, iklim ve toplumda gelecekteki değişiklikleri entegre eden yeni senaryolar geliştirerek iklim etkilerini, azaltım ve uyum seçeneklerini araştırmaktadır. Bu senaryoların en son bileşeni, SSP'ler olarak bilinen alternatif geleceklerin bir dizi setidir (O'Neill vd., 2017).

Senaryo analizi iklim değişikliğinin fiziksel ve sosyoekonomik etkilerini değerlendirirken belirsizlikleri gidermek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu bağlamda küresel senaryolar yaygın olarak kullanılmaktadır (Vafeidis vd., 2024).

Senaryo yöntemi, doğal sistemler ve insan faaliyetlerinin karmaşık etkileşimlerinin anlaşılmasını iyileştirmeye yönelik geliştirilen yaygın bir araştırma

aracıdır. Özellikle Entegre Değerlendirme Modelleri (Integrated Assessment Models-IAMs) gibi iklim değişikliğini değerlendiren modellerde, uzun vadeli dinamiklerin ana sosyoekonomik etkenleri senaryo varsayımlarıyla ele alınır (Leimbach vd., 2023). Şekil 2.6’da ana SSP senaryolarının görseli verilmiştir.



Şekil 2.6. SSP senaryoları (Meinshausen vd., 2020, Chen vd., 2021)

Şekil 2.6’da sanayi öncesi sıcaklık seviyeleri ile SSP senaryolarına göre 21. yüzyılda tahmin edilen küresel ortalama sıcaklık seviyeleri gösterilmiştir. Ön bantta tarihsel sıcaklıklar, ortadaki küçük blokta mevcut (2020) sıcaklıklar ile sanayi öncesi seviyelere göre açıklayıcı sıcaklık seviyeleri yer almaktadır. 21. yüzyıl boyunca ilgili senaryoların beş farklı sosyoekonomik aileye göre kollara ayrılması gösterilmektedir. Her SSP için 2100 sütunundaki küçük siyah yatay çubuklar, sera gazı konsantrasyonlarını üretmek için kullanılan sıcaklık seviyelerini göstermektedir. 21. yüzyıldaki daha opak bantlar, IPCC’de öncelikli senaryolar olarak kullanılan beş SSP senaryosunu (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5), daha şeffaf bantlar ise kalan "Kademe 2" SSP senaryolarını, yani SSP3-7.0-LowNTCF, SSP4-3.4, SSP4-6.0 ve SSP5-3.4-OS’yi

temsil etmektedir. Şeklin sağ tarafında yer alan mavi gösterge çubuğu, ilgili referans senaryosuna ve azaltım düzeyine bağlı olarak 2100 ve 21. yüzyıl boyunca sıcaklık seviyelerini azaltan, azaltım faaliyetinin etkisini göstermektedir (Meinshausen vd., 2020).

Tablo 2.5'te SSP ve RCP senaryolarının açıklamaları ve SSP senaryolarına en yakın RCP senaryolarının açıklamaları verilmiştir.

Tablo 2.5. SSP ve RCP senaryoları karşılaştırması (Chen vd., 2021)

SSP Senaryosu	Emisyonlar/Konsantrasyonlar ve Sıcaklık Açısından Açıklama	En Yakın RCP Senaryosu
SSP1-1.9	Yüzyılın ortasında net sıfır karbon emisyonunun ardından; küresel ısınmanın 2100 yılında, 1850-1900 yıllarındaki gibi yaklaşık 1,5°C'de olacağı senaryodur.	Eşdeğer bir RCP senaryosu yoktur.
SSP1-2.6	Yüzyılın ikinci yarısında net sıfır karbon emisyonu ile birlikte 1850-1900 yıllarındaki gibi (medyan) küresel ısınma seviyesinin 2°C'nin altında olacağı senaryodur.	En yakın RCP2.6 senaryosudur. Aynı modeller ile RCP2.6 daha soğuk olabilir.
SSP4-3.4	Yüzyıl sonunda ışımsal zorlama (radiative forcing) açısından SSP1-2.6 ve SSP2-4.5 arasında bir senaryodur. 1850–1900 dönemine göre çoğu CMIP6 çalışmasında küresel ısınmanın 2,0°C'nin altında kalmayacağı öngörülmektedir.	RCP senaryolarında 3.4'lük yüzyıl sonu ışımsal zorlama mevcut değildir. SSP4-3.4, RCP4.5'e daha çok benzese de RCP 2.6 ile RCP 4.5 arasında yer alan bir senaryodur. Ayrıca, 21. yüzyılın ilk on yılları için SSP4-3.4, RCP4.5'ten daha düşük ışımsal zorlama içeren RCP6.0'a daha yakındır.
SSP2-4.5	Yaklaşık 2030 yılına kadar toplam NDC (Nationally determined contribution) emisyon seviyelerinin üst sınırı ile uyumlu bir senaryodur. Bu senaryoya göre yüzyılın ortalarına kadar karbon emisyonları mevcut seviyelerde kalacaktır. Senaryoya göre 2100'e kadar sıcaklık projeksiyonları 2,7°C ile 3,4°C arasındadır. Daha fazla ülke SSP1-1.9 veya SSP1-2.6 ile uyumlu 2050 net sıfır hedeflerini onaylamasına rağmen, 2020'nin sonuna	RCP4.5 ve 2050'ye kadar RCP6.0 senaryosuna eşdeğerdir. Bu senaryoda, 21. yüzyılın ilk on yıllarında zorlama RCP4.5'ten bile daha düşüktür.

Tablo 2.5. (Devam) SSP ve RCP senaryoları karşılaştırması (Chen vd., 2021)

	kadar yeni veya güncellenmiş NDC'ler, 2030'daki emisyon projeksiyonlarını önemli ölçüde değiştirmemiştir. SSP2-4.5 senaryosu, "ilave olmayan bir iklim politikası" referans senaryosundan biraz farklıdır. 21. yüzyılın sonunda 1850-1900'e göre en iyi tahmini ısınmanın 2,7°C civarında olmasıyla sonuçlanmaktadır.	
SSP4-6.0	SSP1 ve SSP4 sosyo-ekonomik kalkınma açıklamaları altında, yüzyıl sonunda 6.0 W m⁻²'lik nominal ışınsal zorlama seviyesi ile "ilave olmayan iklim politikası" referans senaryosudur.	RCP6.0, nominal olarak yüzyılın ikinci yarısında en yakın senaryodur. Ancak küresel ortalama sıcaklıklar RCP'lerde genel olarak SSP'lere göre daha düşüktür. RCP6.0, SSP4-6.0'dan daha düşük ısınma seviyesini temsil eder.
SSP3-7.0	SSP3 sosyoekonomik gelişim anlatısı altında ek bir iklim politikası uygulanmaması durumunda ortaya çıkan orta-yüksek referans senaryosu. CO2 emisyonları 2100 yılına kadar mevcut seviyelerin yaklaşık iki katına çıkmaktadır. SSP3-7.0, yüksek aerosol emisyonları da dahil olmak üzere, özellikle yüksek CO2 dışı emisyonlara sahiptir.	RCP6.0 ile RCP8.5 arasında bir senaryodur. Ancak SSP3-7.0'ın CO2 olmayan emisyonları ve aerosolleri RCP'lerin herhangi birindekinden daha yüksektir.
SSP3-7.0-lowNTCF	Orta ila yüksek referans senaryosu SSP3-7.0'ın bir varyasyonudur. CH4 ve/veya siyah karbon (black carbon) ve diğer kısa ömürlü iklim zorlayıcıları (short-lived climate forcers-SLCF) gibi kısa ömürlü türlerin (short-lived species) azaltılması varsayımına dayanır. SSP3-7.0-lowNTCF varyantları, CH4 emisyonlarının azaltılıp azaltılmadığına göre farklılık gösterir.	RCP6.0 ve RCP8.5 arasındadır. Çünkü RCP senaryoları genellikle RCP'ler aralığında dar ve nispeten düşük seviyede SLCF emisyonları içerir.

Tablo 2.5. (Devam) SSP ve RCP senaryoları karşılaştırması (Chen vd., 2021)

SSP5-3.4-OS (Overshoot)	SSP5-8.5'in bir varyantıdır. 2040 yılına kadar fosil yakıtlar yoğun olarak kullanılacak, ardından bu kullanım azalacak. 22. yüzyılda SSP1-2.6 ışımsal zorlama seviyelerine ulaşmak için 21. yüzyılın ikinci yarısında tüm SSP senaryolarının en büyük net negatif CO ₂ emisyonlarının uygulanacağını varsayan senaryo.	Eşdeğer bir RCP senaryosu yoktur. Yalnızca 2040'a kadar, RCP8.5'e benzer.
SSP5-8.5	Ek bir iklim politikası içermeyen yüksek referanslı bir senaryodur. CO ₂ emisyonlarının, 2050 yılına kadar mevcut seviyelerin kabaca iki katına çıkacağını varsayar. SSP5-8.5 kadar yüksek emisyon seviyeleri, fosil yakıtlı SSP5 sosyoekonomik kalkınma yolu dışındaki SSP'lerin hiçbirisi altında entegre değerlendirme modelleri (IAM'ler) tarafından elde edilmemiştir.	RCP8.5 senaryosuna benzer. Fakat SSP5-8.5 kapsamındaki CO ₂ emisyonları yüzyılın sonlarına doğru daha yüksektir. SSP5-8.5 kapsamındaki CH ₄ (metan) emisyonları, RCP 8.5'e göre daha düşüktür. Aynı modeller kullanıldığında, SSP5-8.5, RCP8.5'ten biraz daha yüksek sıcaklıklara neden olabilir.

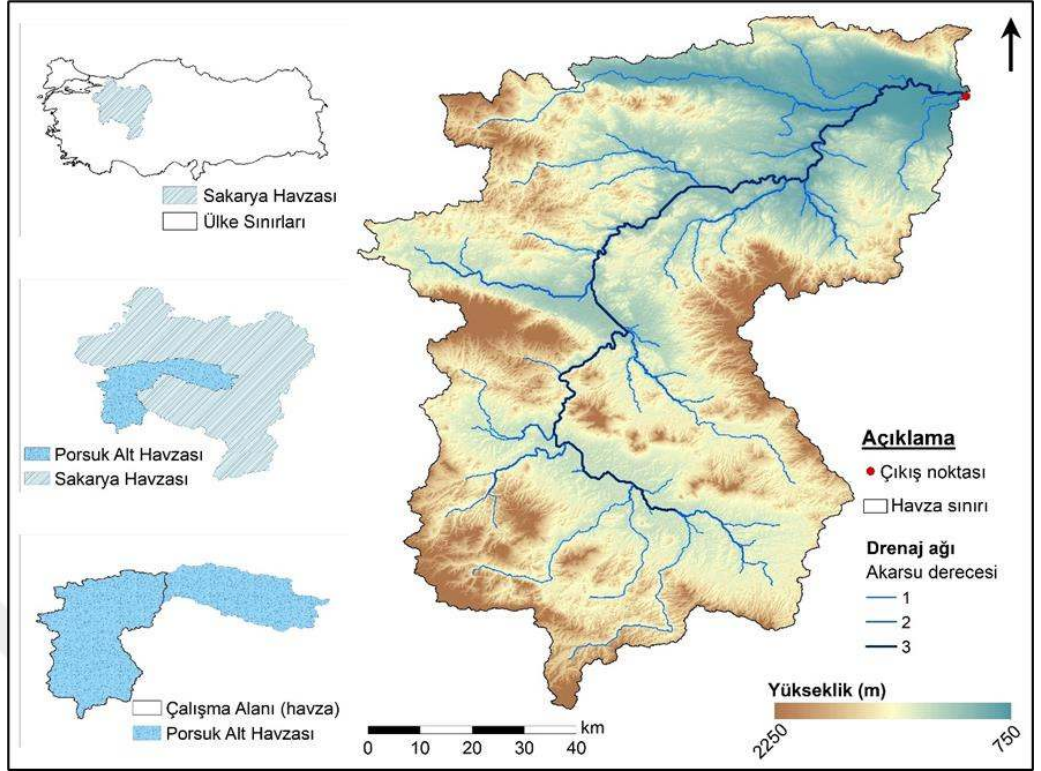
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tezin materyal ve yöntem bölümünde çalışma alanı, analizlerde kullanılan veriler ve kaynakları ile metodolojik yaklaşımlar detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Çalışma alanı bölümünde sel olma olasılığının hesaplandığı havza alanı ve olası zararların hesaplandığı Eskişehir kent merkezi anlatılmıştır. Materyal bölümünde kullanılan verilerin kaynakları, verilerin elde edilmesi ve veri işleme süreçlerinden bahsedilmiştir. Yöntem bölümünde elde edilen verilerin analizinde kullanılan analiz yöntemleri açıklanmıştır.

3.1. Çalışma Alanı

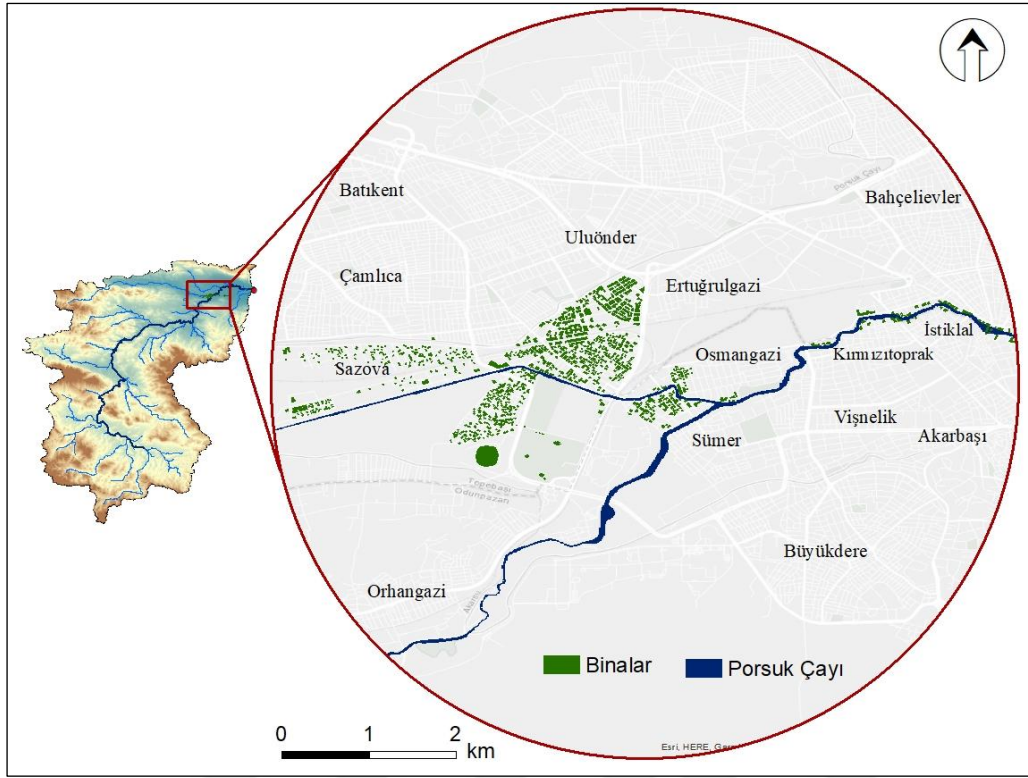
Tezde iki farklı çalışma alanı kullanılmıştır. Birincisi, sel tehlikesinin hesaplandığı havza alanı (Şekil 3.1), ikincisi olası sel kaynaklı olası zararların incelendiği Eskişehir kent merkezidir (Şekil 3.2).

Şekil 3.1’de verilen harita, Porsuk Alt Havzası’nın Sakarya Havzası içerisindeki konumunu göstermektedir. Haritadaki çıkış noktası esas alınarak, Porsuk Alt Havzası içinde kalan ve pik debi hesaplamalarının yapıldığı alt havza sınırları belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı 1 (havza alanı)

Şekil 3.2’de gösterilen çalışma alanı, belirlenen havza içinde yer alan ve Eskişehir kent merkezini kapsayan, Porsuk Çayı boyunca uzanan bölgedir. Bu alan, olası sel olaylarının yol açabileceği zararların hesaplanması amacıyla çıkış noktası baz alınarak belirlenmiştir. Çalışma alanının odak noktası Porsuk Çayı çevresi olup, olası sel tehlikesinin analiz edilmesi ve sel kaynaklı zararların tahmin edilmesi için kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Çalışma alanı 2 (Eskişehir kent merkezi)

3.2. Materyal

Tez kapsamında yağış-akış parametresine dayalı pik debi hesaplamalarında küresel iklim modellerinden elde edilen yağış verisi, CORINE arazi örtüsü verisi, hidrolojik toprak grubu verisi, bina stoku ve sel derinlik verisi kullanılmıştır. Kullanılan veri setleri, kaynakları ve özellikleri aşağıda ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

3.2.1. Yağış-akış parametresine dayalı pik debi hesaplamasında kullanılan veriler

Yağış-akış parametresine dayalı pik debi hesaplanırken; akış katsayısı ve yağış yoğunluğu değişkenlerine gereksinim vardır. Tez kapsamında akış katsayıları hesaplanırken CORINE arazi örtüsü verisi ile hidrolojik toprak grubu verisi kullanılmıştır. Yöntemdeki yağış yoğunluğu değişkeni ise küresel iklim modellerinden elde edilen yağış verisi kullanılarak belirlenmiştir.

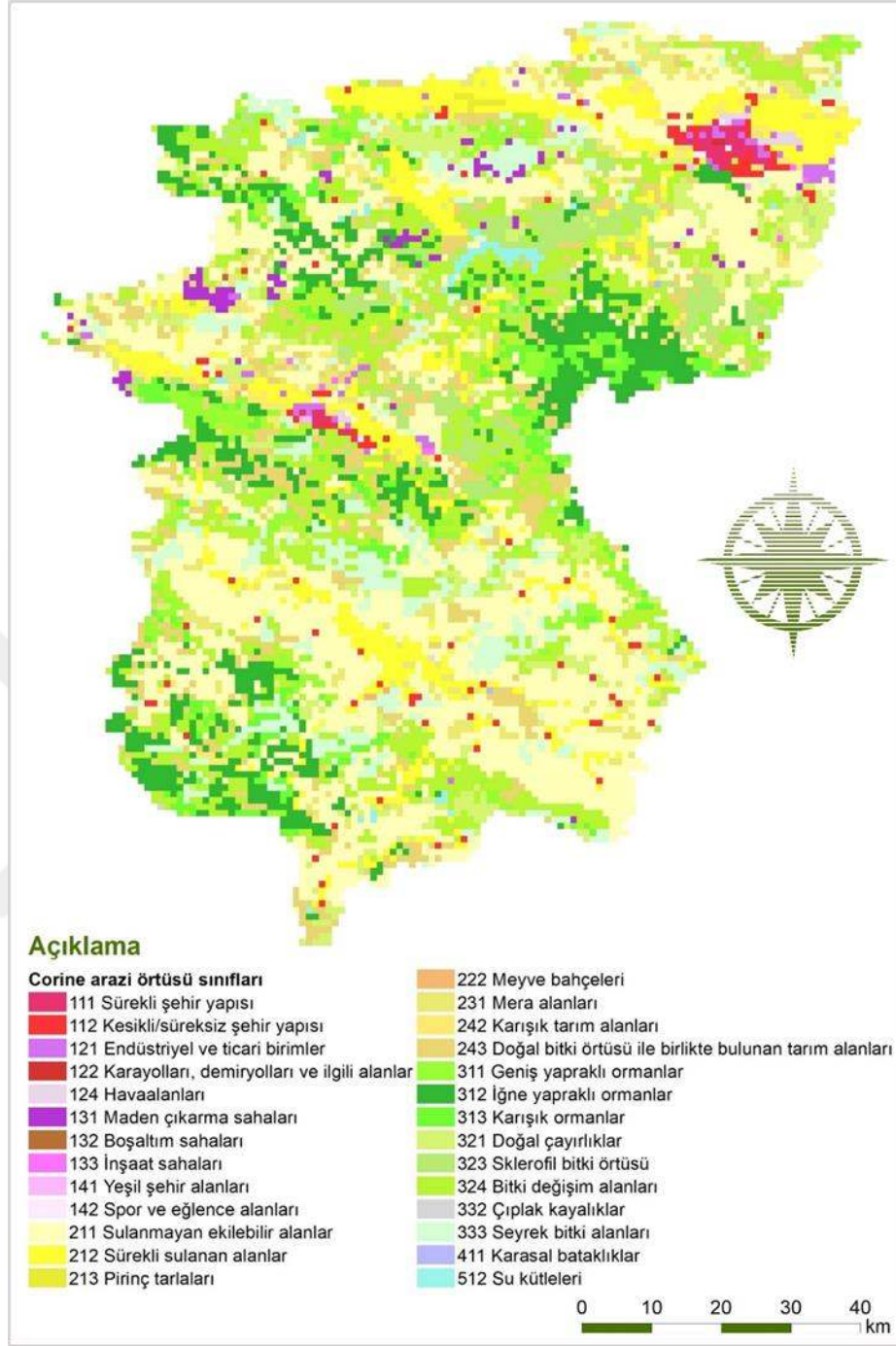
Akış katsayısı hesaplanırken farklı değişkenler kullanılmaktadır. Bu değişkenlerden biri ve en önemlilerinden biri CORINE arazi örtüsü verisidir. Şehir alanları, ormanlar, tarım arazileri gibi farklı arazi örtüsü tipleri, yüzey akışını doğrudan etkiler. Şehir alanları genellikle geçirimsiz yüzeylere sahiptir ve suyun zemine sızmasını

sınırlar. Bu da daha yüksek bir yüzey akışı anlamına gelir. Ormanlar veya tarım arazileri, suyun zemine sızmasına daha fazla olanak tanır ve yüzey akışını azaltır. Arazi örtüsü yanında hidrolojik toprak grupları da akış katsayılarının hesaplanmasında dikkate alınmıştır. Hidrolojik toprak grupları, toprağın su tutma kapasitesine, geçirgenliğine ve suyun yüzeyde ne kadar hızlı hareket edeceğine dair bilgi sağladığı için önemli bir girdidir.

3.2.1.1. CORINE arazi örtüsü ve hidrolojik toprak grubu verisi

Havza alanına ait arazi örtüsü verisi, Avrupa'nın arazi örtüsünü temsil eden CORINE (Coordination of Information on the Environment) projesinden elde edilmiştir. 100 metre konumsal çözünürlüğe sahip raster veri, 1 kilometre çözünürlüğe dönüştürülerek analizlerde kullanılmıştır.

CORINE verisi, yağış-akış parametresine dayalı pik debi hesaplamalarında kritik bir değişken olan akış katsayısının hesaplamasında kullanılmıştır. Akış katsayısı, bir bölgedeki yüzey akışının belirlenmesinde önemli bir parametre olup, arazi kullanım türlerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu nedenle, doğru ve güncel arazi örtüsü verileri, akış katsayısının hesaplanmasında önem taşımaktadır. Şekil 3.3'te çalışma alanına ait arazi örtüsü verisi gösterilmiştir.

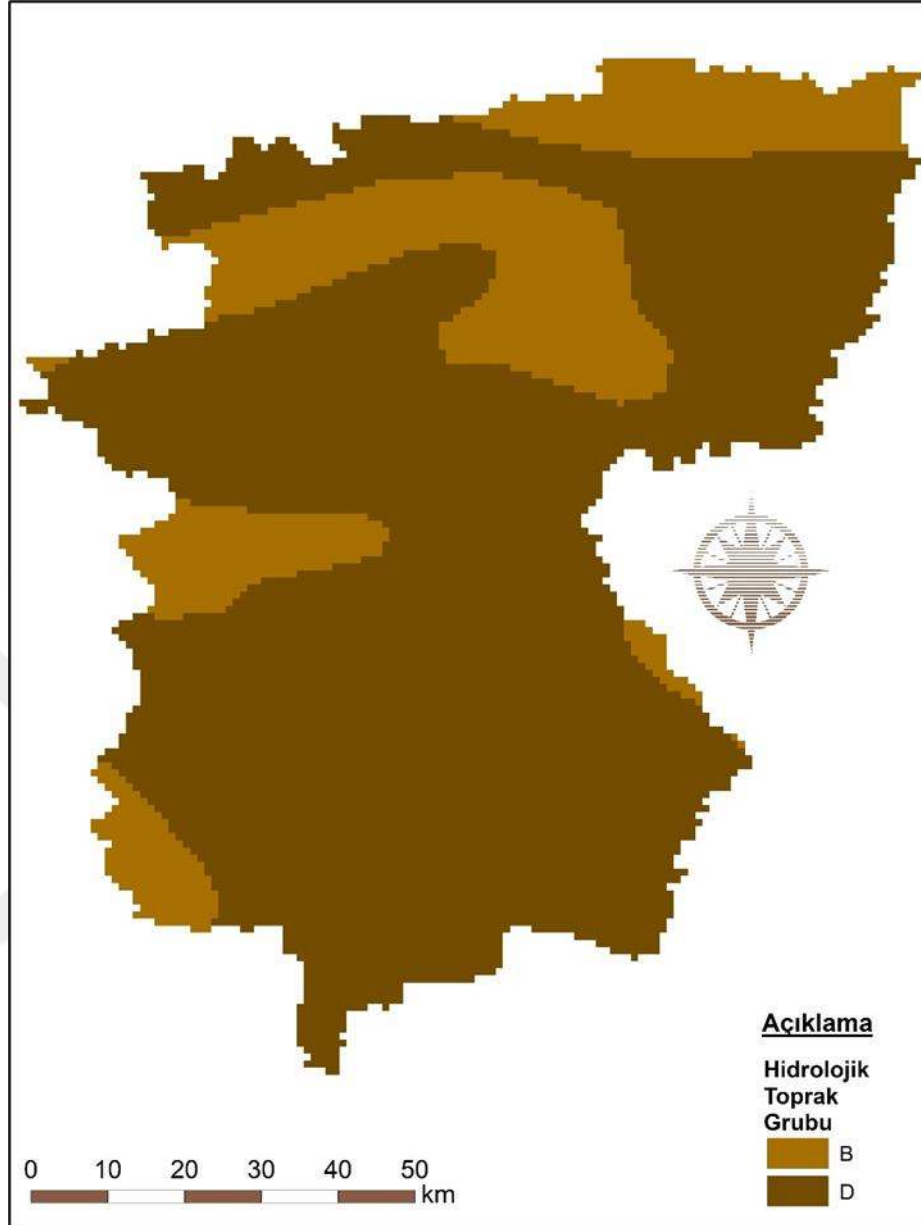


Şekil 3.3. Havza alanı Corine arazi örtüsü haritası

CORINE arazi örtüsü sınıflandırmasına göre çalışma alanının; 1630 km²'si bitki değişim alanlarından, 3 km²'si boşaltım sahalarından, 789 km²'si doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanlarından, 483 km²'si doğal çayırliklardan, 65 km²'si endüstriyel ve ticari birimlerden, 323 km²'si geniş yapraklı ormanlardan, 20 km²'si havaalanlarından, 2 km²'si karasal bataklıklardan, 2 km²'si karayollarından, demiryolları ve ilgili alanlardan, 306 km²'si karışık ormanlardan, 126 km²'si karışık tarım

alanlarından, 127 km²'si kesikli/sürekli şehir yapısından, 90 km²'si maden çıkarma sahalarından, 334 km²'si mera alanlarından, 6 km²'si meyve bahçelerinden, 10 km²'si pirinç tarlalarından, 658 km²'si seyrek bitki alanlarından, 397 km²'si sklerofil bitki örtüsünden, 7 km²'si spor ve eğlence alanlarından, 56 km²'si su kütlelerinden, 3024 km²'si sulanmayan ekilebilir alanlardan, 937 km²'si sürekli sulanan alanlardan, 51 km²'si sürekli şehir yapısından, 4 km²'si yeşil şehir alanlarından, 1 km²'si çıplak kayalıklardan, 8 km²'si inşaat sahalarından ve 932 km²'si iğne yapraklı ormanlardan oluşmaktadır.

Akış katsayısı hesaplamada kullanılan hidrolojik toprak grubu verisi Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, Uyumlulaştırılmış Dünya Toprak Veritabanı v2.0 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Harmonized World Soil Database v2.0)'ndan ([http-13](http://13)) elde edilmiştir. Shapefile (.shp) formatında elde edilen veri, 1 kilometre konumsal çözünürlüğe sahip raster veriye dönüştürülerek analizlere dahil edilmiştir. Şekil 3.4'te havza alanına ait hidrolojik toprak grubu verisi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Hidrolojik toprak grubu haritası

3.2.1.2. Küresel iklim modeli verileri

Yağış-akış parametresine dayalı pik debi tahminindeki yağış yoğunluğu (i) değişkeni, belirli bir alan için gözlemlenen yağış verisidir. Tez kapsamında, yağış-akış parametresine dayalı pik debi tahminindeki yağış yoğunluğu değişkeni olarak küresel iklim modellerinden elde edilen yağış verisi kullanılmıştır. Küresel iklim modellerinden elde edilen yağış verileri ile yağış yoğunluğu değişkeninin hesaplanması, olası iklim değişikliklerinin akış miktarı üzerindeki etkisinin tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır. 1981-2010 dönemine ait aylık yağış normallerini gösteren haritalar ile üç

farklı senaryo ve dört farklı zaman dilimi için aylık bazda hesaplanan yağış verilerinin normalden sapmalarını gösteren haritalar EK1-13'te verilmiştir.

Tezde kullanılan küresel iklim modelleri WorldClim platformundan elde edilmiştir. Bu platform, CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) kapsamındaki küresel iklim modellerine ölçek indirgeme (downscaling) uygulanmış gelecekteki iklim projeksiyonlarını sunmaktadır. Ölçek indirgeme ve kalibrasyon (bias correction) işlemleri, WorldClim versiyon 2.1'in referans dönem (baseline climate) verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (http-14).

Tezde, iklim değişikliğinin gelecekteki etkilerini daha iyi anlayabilmek amacıyla, farklı emisyon senaryolarına dayalı veriler kullanılmıştır. Kullanılan emisyon senaryoları; düşük emisyon senaryosu olan SSP1-2.6 (iyi), orta düzeyde emisyon senaryosu olan SSP2-4.5 (orta) ve yüksek emisyon senaryosu olan SSP5-8.5 (kötü) şeklindedir. Her bir senaryo, gelecekteki olası iklim koşullarını temsil eden 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 ve 2081-2100 olmak üzere dört farklı zaman diliminde incelenmiştir. Tüm hesaplamalar aylık veriler üzerinden gerçekleştirilmiş ve böylece her bir dönemde iklim değişkenlerinin aylık değişimleri detaylı olarak analiz edilmiştir.

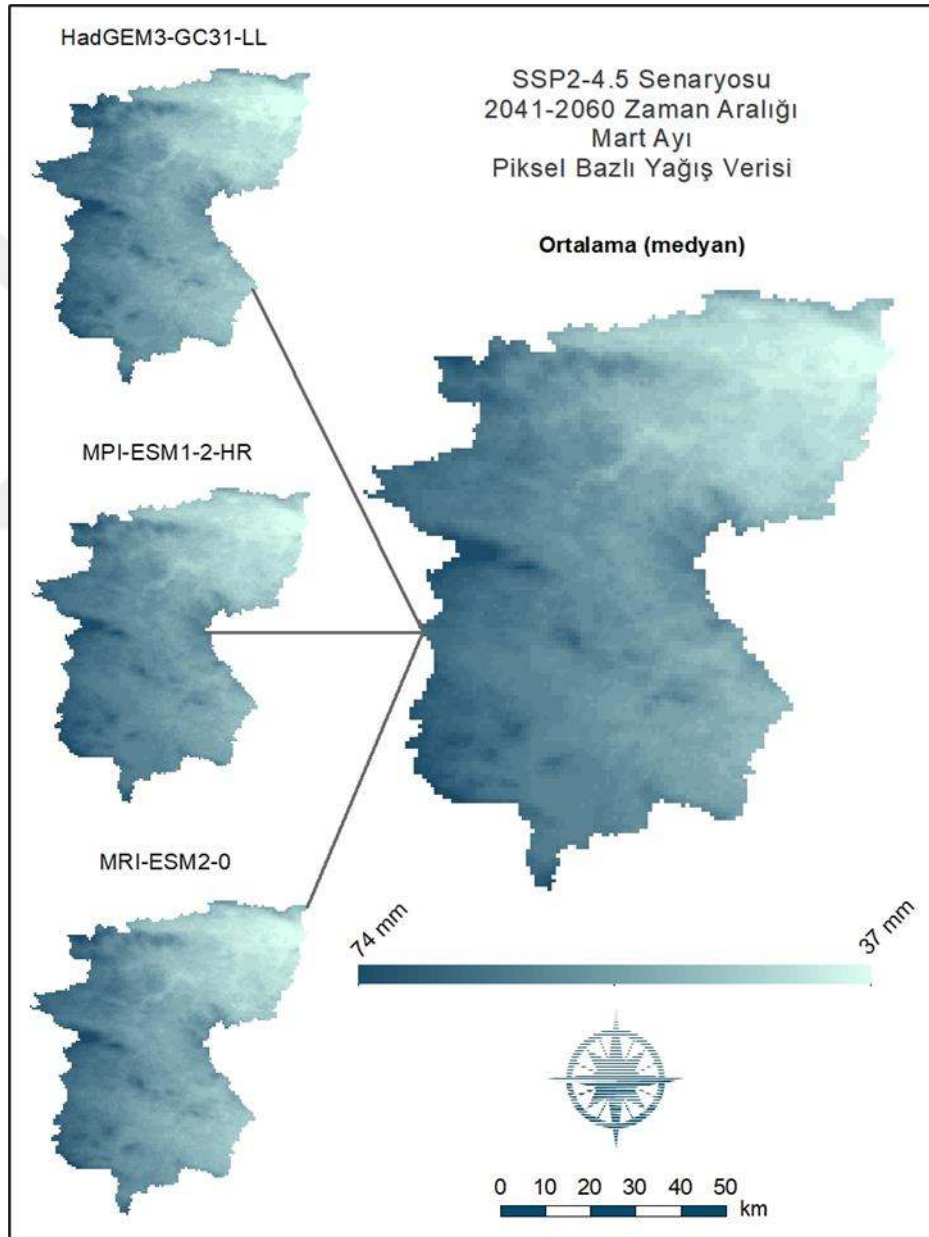
Tez kapsamında, Met Office Hadley Merkezi'nin HadGEM3-GC31-LL modeli, Max Planck Meteoroloji Enstitüsü'nün MPI-ESM1-2-HR modeli ve Meteoroloji Araştırma Enstitüsü'nün MRI-ESM2-0 modeli olmak üzere üç farklı küresel iklim modelinden elde edilen yağış verileri kullanılmıştır. Kullanılan küresel iklim modellerinin adı, hangi kurum tarafından ve hangi ülkede üretildiği Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan küresel iklim modelleri

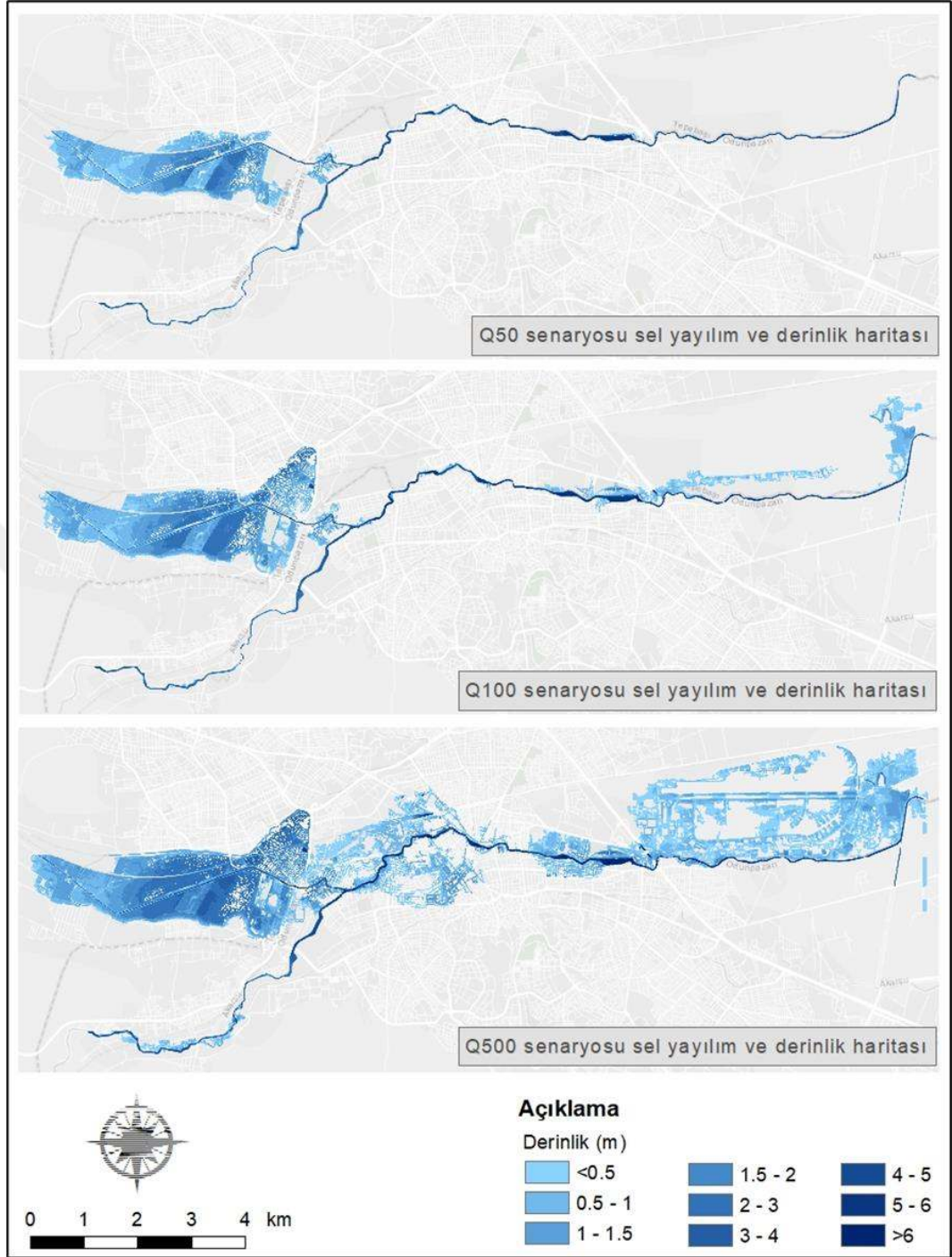
Küresel İklim Modeli	Modeli Üreten Kurum	Ülke
HadGEM3-GC31-LL	Met Office Hadley Merkezi (Met Office Hadley Centre-MOHC)	Birleşik Krallık
MPI-ESM1-2-HR	Max Planck Meteoroloji Enstitüsü (Max Planck Institute for Meteorology-MPI-M)	Almanya
MRI-ESM2-0	Meteoroloji Araştırma Enstitüsü (Meteorological Research Institute)	Japonya

Modellerden elde edilen yağış verilerine, çoklu model topluluk yaklaşımlarından, medyan çoklu-model topluluğu yöntemi uygulanmıştır. Medyan çoklu-model topluluğu yönteminin tercih edilme nedeni, özellikle yağış verilerindeki aşırı uç değerlerin sonuçlar üzerindeki etkisini azaltmaktır. Tezde kullanılan verilerin konumsal çözünürlüğü 30 saniye yani ortalama 1 kilometredir.

Şekil 3.5'te havza alanındaki pik debi değerlerini hesaplamada kullanılan ve küresel iklim modelinden elde edilen yağış verilerine ait örnek bir harita verilmiştir.



Şekil 3.5. Küresel iklim modeli yağış verisi



Şekil 3.7. Sel yayılım ve derinlik verisi

3.3. Yöntem

Tezin yöntem bölümü, çalışma alanındaki sel tehlikesini değerlendirmek için yağış-akış parametresine dayalı pik debi hesaplama ve finansal risk ölçüm araçlarından biri olan Riske Maruz Değer (Value at Risk-VaR) yönteminin entegrasyonunu kapsamaktadır. Yöntem bölümünde ilk olarak pik debi değerlerinin hesaplanacağı havza alanı belirlenmiştir. Sonrasında yağış-akış parametresine dayalı pik debi hesaplamasının

girdilerinden biri olan akış katsayısı hesaplanmıştır. Ardından havza alanı için piksel bazlı yağış-akış parametresine dayalı pik debi değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerin toplamı, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından 2018 yılında yayınlanan “Sakarya Havzası Taşkın Yönetim Planı” adlı raporda, Eskişehir kent merkezi için yapılan analiz sonucu elde edilen pik debi değerlerine (Q_{50} , Q_{100} ve Q_{500}) dayalı sel senaryoları ile karşılaştırılarak gelecekte olası bir selin meydana gelip gelmeyeceği belirlenmiştir.

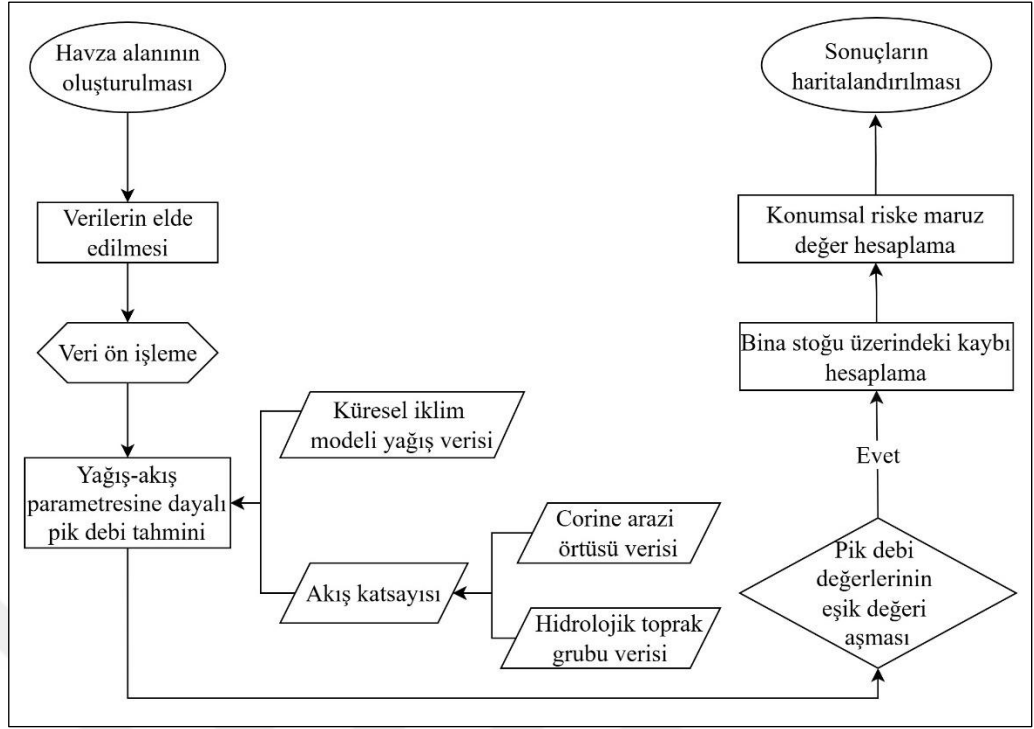
Sel olaylarının bina stoku üzerinde neden olacağı olası zararları hesaplamak için Joint Research Centre’ın (JRC) derinlik-hasar katsayıları kullanılmıştır. Bu katsayılar, sel suyu derinliğine bağlı olarak binalarda meydana gelebilecek zararları tahmin etmeye olanak sağlamaktadır. JRC yöntemi ile derinlik-hasar katsayılarına bağlı olarak binalardaki yapısal hasar ve içerik hasarı hesaplanarak, toplam zarar belirlenmiştir. Hesaplanan pik debi değerlerine göre öngörülen sel derinlikleri, bina türlerine göre değişen derinlik-hasar katsayılarıyla birleştirilerek potansiyel zararlar belirlenmiştir.

Son olarak, bu zararların Riske Maruz Değer yöntemi ile entegrasyonu sağlanmıştır. Riske Maruz Değer yöntemi ile belirli bir güven aralığında, sel senaryolarına bağlı olarak ortaya çıkabilecek maksimum olası zararlar hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, finansal risk yönetimini coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve konumsal analizler ile birleştirerek, konumsal finans (spatial finance) perspektifinden bir değerlendirme sunmaktadır.

Bu yöntemler, sel riskinin konumsal ve finansal boyutlarını entegre ederek, sel kaynaklı parasal zararların daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Yöntem bölümü altında sırasıyla; havza alanının oluşturulması, akış katsayısının belirlenmesi, yağış-akış parametresine dayalı pik debi değerlerinin hesaplanması, derinlik-hasar katsayıları ile parasal zarar analizi ve Riske Maruz Değer konularına değinilecektir.

Tezin yöntem bölümüne ait akış şeması Şekil 3.8’de verilmiştir:



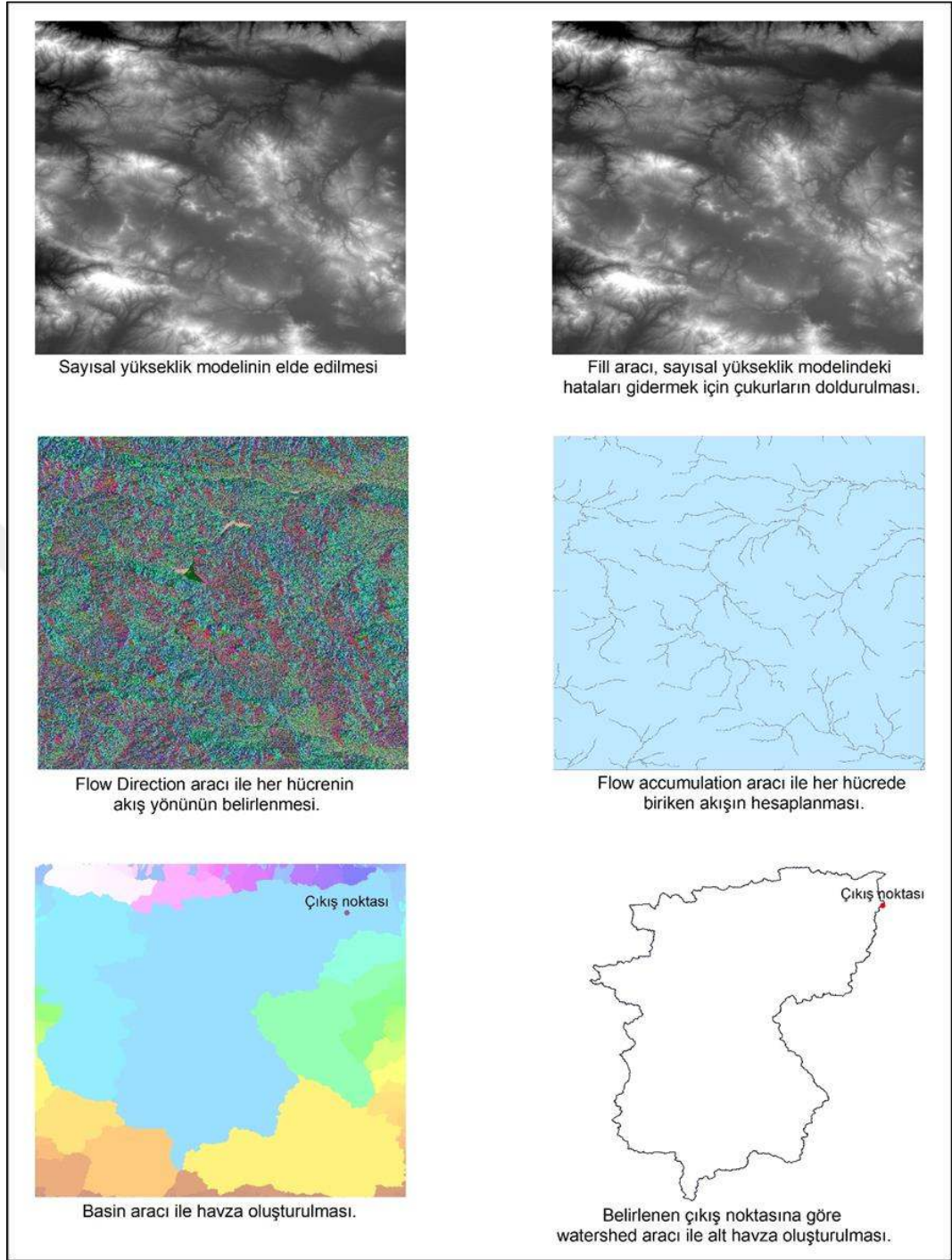
Şekil 3.8. Yöntem-akış şeması

3.3.1. Havza alanının oluşturulması

Tezde pik debi hesaplamalarında kullanılan havza oluşturulurken, suyun belirli bir noktaya (çıkış noktası-pour point) kadar toplandığı alan belirlenmiştir. Çıkış noktası ise Sakarya Havzası Taşkın Yönetim Planındaki R139 no'lu gözlem noktası olarak alınmıştır. Havza alanı oluşturulurken aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

- I. Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Kurumu (United States Geological Survey-USGS)'ndan 30 metre konumsal çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli temin edilmiştir.
- II. CBS yazılımının Hidroloji aracından sırasıyla fill, flow direction, flow accumulation işlemleri gerçekleştirilmiştir.
- III. Sonrasında havzalar (basins) oluşturulmuştur.
- IV. Son olarak belirlenen çıkış noktasına (pour point) alt havzalar (watershed) oluşturulmuştur.

Şekil 3.9'da pik debi hesaplamasında kullanılan havzanın oluşturulma süreci verilmiştir.



Şekil 3.9. Havza alanı oluşturma aşamaları

3.3.2. Yağış-akış parametresine dayalı pik debi tahmini

Yağışın ne kadarının akışa geçtiğini hesaplamak için rasyonel yöntem, eğri numarası (curve number-CN), hidrograf yöntemi ve istatistiksel akış modelleri gibi yüzey akışı tahmin modelleri kullanılmaktadır. Yüzey akışı tahmin modellerinden biri olan rasyonel yöntem, görece küçük su toplama alanlarının yüzey akışını tahmin etmek için dünya çapında en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntem yerel uygulamalarda uzun

yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır (Fugro Scott Wilson Joint Venture, 2013). Rasyonel yöntem, yağış verisi ile drenaj havzalarından gelen en yüksek debiyi (maksimum akış hızı) tahmin etmek için kullanılan ve belirli bir süre boyunca pik debiyi yağış yoğunluğu ve havza drenaj alanıyla ilişkilendiren basit bir yöntemdir (Jain vd., 2019). Hidroloji uygulamalarında sıklıkla kullanılan bu yöntem, havzanın toplam akışını hesaplamak için temel bir referans oluşturmaktadır.

Rasyonel yöntemin orijinal halinde, zaman ve konuma göre sabit yağış yoğunluğu (I = intensity) dikkate alınır. Pik debi (Q), Eşitlik 3.1 ile hesaplanır:

$$Q = c \cdot I \cdot A \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

Q : Maksimum akış hızı (su hacmi/birim zaman),

I : Yağış yoğunluğunu (yağış derinliği/birim zaman),

A : Havza alanını (m^2),

c : Akış katsayısını,

ifade eder.

Rasyonel yöntemdeki akış katsayısı, arazi kullanımının bir fonksiyonudur. Pik debisi hesaplanacak havza alanı içerisindeki arazi kullanımı aynı (düzenli/sürekli) değilse, ağırlıklı ortalama ile hesaplanan bir akış katsayısının kullanımı yaygın bir uygulamadır (Fugro Scott Wilson Joint Venture, 2013).

Rasyonel yöntemin arkasındaki düşünce belirli bir şiddetteki bir yağışın ani olarak başlayıp süresiz olarak devam etmesi durumunda, taşkın akışının zamanla artacağı ve bu artışın, tüm havzanın çıkış noktasında akışa katkıda bulunduğu konsantrasyon zamanı t_c 'ye kadar devam edeceğidir. Akış hızının zirve debisi Q 'ya (bu zirve debisinin t_c zamanında gerçekleştiği) oranı, akış katsayısı c olarak adlandırılır ($0 \leq c \leq 1$) (Chow vd., 1988).

Tez kapsamında kullanılan yağış-akış modelinde, rasyonel yöntemin temel prensipleri pikseller bazında detaylandırılmıştır. Böylece mekansal heterojenlik kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Modelde, rasyonel yöntemde kullanılan alan (A) değişkeni doğrudan ele alınmamıştır. Bunun yerine, havza alanı içerisinde kalan her pikselin yağış yoğunluğu (I) ve akış katsayısı (c) hesaplanmıştır. Piksel bazında hesaplanan tüm $c \cdot I$

değerlerinin toplamı alındıktan sonra pik debi, havzanın toplam alanı ile çarpılarak elde edilmiştir. Modelin denklemi Eşitlik 3.2'deki gibidir:

$$Q = \sum (c_{piksel} * I_{piksel}) \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

Q: Pik debiyi (m³/s),

c_{piksel} : Her pikselin akış katsayısını,

I_{piksel} : Her pikselde hesaplanan yağış yoğunluğunu (mm/saat),

ifade eder.

Modelde, küresel iklim modellerinden elde edilen yağış verisi yağış yoğunluğu (I) değişkeni olarak ele alınmıştır. Hesaplamalar, “her pikseldeki yağışın (I), akış katsayısı dikkate alınarak doğrudan akışa (Q) dönüştüğü” varsayımı altında yapılmıştır. Bu yaklaşım ile rasyonel yöntemdeki ortalama değerler yerine, piksellerin bireysel katkıları birleştirilerek pik debi hesaplanmıştır. Rasyonel yöntemin drenaj havzasındaki yağış yoğunluğu ve akış katsayısı parametrelerini kullanma yaklaşımı, bu modelde her pikselin bireysel özellikleriyle zenginleştirilmiştir. Böylece yüzey geçirimsizliği, akış katsayısı ve yağış yoğunluğu pikseller bazında değerlendirilmiştir.

Yağış-akış parametresine dayalı pik debi tahmininde kullanılan akış katsayısı belirlenirken, havza alanının yüzey özelliklerini ve hidrolojik yapısını ayrıntılı analiz edebilmek için CORINE arazi örtüsü ve hidrolojik toprak grubu verileri kullanılmıştır. CORINE arazi örtüsü verisi, bitki örtüsü, yerleşim alanları ve tarım alanları gibi farklı arazi kullanımlarını tanımlayarak, yüzeyin suya tepkisini değerlendirmeye olanak tanır. Hidrolojik toprak grubu verisi, toprağın su geçirgenlik ve tutma kapasitesini belirlemektedir. Bu iki veri, Cecchi vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada akış katsayısı hesaplamasında dikkate alınmış ve bölgeye özgü yüzey suyu akışının daha doğru bir şekilde modellenmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda, havzanın farklı yüzey özelliklerini dikkate almak amacıyla her piksele uygun bir akış katsayısı (c) atanmıştır.

Havza genelindeki tüm piksellerde hesaplanan akış değerlerinin toplamı, toplam taşkın debisini belirlemek için kullanılmıştır. Bu toplam debi, Sakarya Havzası Taşkın Yönetim Planı raporunda Q₁₀₀ senaryosu kapsamında RSA 139 hesaplama noktasında verilen 259,6 m³/s değerini aştığında, Q₁₀₀ senaryosunun gerçekleştiği kabul edilmiştir.

Tez kapsamında kullanılan ve Cecchi vd.'nin çalışmasında yer alan akış katsayıları Tablo 3.2'de özetlenmiştir. Bu katsayıların kullanımı ile arazinin su akış karakteristiklerini etkileyen faktörler dikkate alınarak akış katsayısının hassas bir biçimde belirlenmesi hedeflenmiştir. Oluşturulan havza alanı içerisinde CORINE arazi örtüsü sınıflarından 27 tanesi bulunmaktadır. B ve D grupları ise havza alanındaki hakim olan hidrolojik toprak gruplarıdır. Havza alanı içerisinde kalan arazi örtüsü ve hidrolojik toprak gruplarına göre belirlenen akış katsayıları Tablo 3.2'deki gibidir.

Tablo 3.2. CORINE arazi örtüsü sınıfları ve hidrolojik toprak gruplarına göre akış katsayıları (Cecchi vd.,2007)

CORINE Arazi Örtüsü Sınıfı*	Hidrolojik Toprak Grubu	
	B	D
1.1.1 Sürekli şehir yapısı	0.85	0.92
1.1.2 Kesikli/süreksiz şehir yapısı	0.72	0.86
1.2.1 Endüstriyel ve ticari birimler	0.90	0.94
1.2.2 Karayolları, demiryolları ve ilgili alanlar	0.98	0.98
1.2.4 Havaalanları	0.88	0.93
1.3.1 Maden çıkarım sahaları	0.69	0.84
1.3.2 Boşaltım sahaları	0.69	0.84
1.3.3 İnşaat sahaları	0.69	0.84
1.4.1 Yeşil şehir alanları	0.61	0.80
1.4.2 Spor ve eğlence alanları	0.61	0.80
2.1.1 Sulanmayan ekilebilir alanlar	0.80	0.90
2.1.2 Sürekli sulanan alanlar	0.80	0.90
2.1.3 Pirinç tarlaları	0.90	0.90
2.2.2 Meyve bahçeleri	0.66	0.83
2.3.1 Mera alanları	0.58	0.79
2.4.2 Karışık tarım alanları	0.73	0.87
2.4.3 Doğal bitki örtüsüyle birlikte bulunan tarım alanları	0.70	0.85
3.1.1 Geniş yapraklı ormanlar	0.60	0.79
3.1.2 İğne yapraklı ormanlar	0.60	0.79
3.1.3 Karışık ormanlar	0.60	0.79
3.2.1 Doğal çayırliklar	0.69	0.84
3.2.3 Sklerofil bitki örtüsü	0.69	0.84
3.2.4 Bitki değişim alanları	0.60	0.79
3.3.2 Çıplak kayalıklar	0.86	0.94
3.3.3 Seyrek bitki alanları	0.69	0.84
4.1.1 Karasal bataklıklar	1.00	1.00
5.1.2 Su kütleleri	1.00	1.00

* CORINE arazi örtüsü sınıflarının Türkçe çevirisi, Tarım ve Orman Bakanlığı'nın sitesinden alınmıştır.

3.3.3. Derinlik-hasar katsayıları

Seller, geçmişten günümüze en sık görülen afetler arasında yer almaktadır. Aşırı yağış, kar ya da buz erimesi, nehir taşkınları gibi nedenlerle meydana gelen seller maddi ve manevi pek çok zarara neden olmaktadır. Can ve mal kaybı, altyapının zarar görmesi, tarımsal zarar, çevresel etkilerinin yanı sıra insanlar üzerinde olumsuz psikolojik etkileri de olmaktadır.

İklim değışikliğinin ve dolayısıyla iklim değışikliğine bağlı afetlerin ekonomik etkileri ile ilgili yapılan bir çalışma, gelecekteki emisyonlar, ısınmanın boyutu ve şekli, deniz seviyesinin yükselmesi, yağış ve fırtınalardaki değışiklikler gibi iklim değışikliğinin farklı yönleri hakkında bazı varsayımlarla başlar. Sonrasında iklim değışikliğinden kaynaklanan bu etkiler yanında, ekonomik sonuçlara geçilmesi gerektiği savunulmaktadır (Tol, 2009).

Sellerin neden olduğu hasar genel olarak maddi ve manevi hasar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma ayrıca doğrudan ve dolaylı hasar olarak da adlandırılır. Sel etkileri ile ilgili çalışmalar daha çok selin neden olduğu ekonomik hasar yani doğrudan hasar üzerine odaklanmıştır. Özellikle kentsel alanlar için yapılan bu çalışmalarda, su basan mülklere verilen zararlar üzerinde durulmaktadır (Martínez-Gomariz vd., 2020).

Selden kaynaklanan hasarların tahmini normalde taşkın derinliğine odaklanır. Bu nedenle derinlik hasarı veya kademeli hasar eğrileri, dünyanın birçok yerinde sel etkilerini değlendirmek için en yaygın kullanılan teknik olarak benimsenmiştir (Velasco vd., 2016). Derinlik-hasar eğrileri, 50 yıla yakın süredir üzerinde çalışılan bir konudur. Konu ile ilgili yapılan öncü çalışmalar 1970’li yıllara dayanmaktadır.

Sel hasarı araştırmaları ve değlendirme tekniklerinin ilk örnekleri ABD’de görölmektedir (Parker ve Penning-Rowsell, 1972). ABD’de başlayan bu çalışmalar; farklı sel derinlikleri, süreleri ve sel uyarısı için verilen zaman aralığı gibi parametrelerle yaygın İngiliz mülk türleri için standart sel hasarı verilerine yönelik araştırmaları tetiklemiştir (Penning-Rowsell ve Chatterton, 1977; 1980). ABD Ordusu Mühendisler Birliği (U.S. Army Corps of Engineers-USACE), sellerin neden olduğu hasarı tahmin etmede kullanılan derinlik-hasar eğrilerinin geliştirilmesine katkı sağlayan önemli kuruluşlardandır. Kurum, uzmanlarla yapılan görüşmeler, sel sonrası yapılan röportajlar, suni hasar tahminleri ile derinlik-hasar fonksiyonlarının geliştirilmesinde öncü olmuştur. Ayrıca, sel hasarlarının tahmin edilmesi ve azaltılması konularında standart yöntemler geliştirmiştir (USACE 1992; USACE 1997).

Derinlik-hasar eğrileri ile yapılan öncü çalışmaların dışında, günümüzde farklı ülkeler ya da şehirler için derinlik-hasar eğrilerinin üretildiği çalışmalar bulunmaktadır.

Bölgeye özgü derinlik-hasar eğrilerinin geliştirilmesinde, yerel özellikler dikkate alındığından sel hasarı değerlendirmeleri daha doğru sonuçlar vermektedir.

Malezya'nın Kuantan Nehir Havzası'nda 2013 yılında meydana gelen selden toplanan ampirik verilerle sel hasarlarının seviyesini etkileyen etki ve direnç değişkenleri Random Forest yöntemi ile incelenmiştir. Veri kıtlığı nedeniyle, çalışmada çok değişkenli sel hasar modeli kullanılarak bölgedeki sel hasar eğrileri oluşturulmuştur. Sel derinliğine ek olarak sel hasarının; sel süresi, mülklerin değeri, mülk türleri ve işletme/hane gelirinden de etkilendiği ortaya konmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen sel derinlik-hasar eğrilerinin konut ve ticari kategoriler için R^2 değerinin 0.80'in üzerinde olduğu ortaya konmuştur (Sulong ve Romali, 2022).

2006 yılında G.E.C., Inc. (Gulf Engineers & Consultants, Inc.) tarafından, ABD Ordusu Mühendisler Birliği'nin (U.S. Army Corps of Engineers-USACE) New Orleans Bölgesi'ndeki Ascension, Assumption, Jefferson, Lafourche, Plaquemines, St. Charles, St. James ve St. John the Baptist olmak üzere sekiz bölgesindeki konut ve ticari yapılara yönelik derinlik-hasar ilişkileri ile içerik-yapı değeri oranlarını inceleyen bir rapor yayınlanmıştır. Bu çalışmada, sel hasarlarını tahmin etmede; yapı için derinlik-hasar ilişkisi, içerik için derinlik-hasar ilişkisi, araçlar için derinlik-hasar ilişkisi ve içerik-yapı değeri oranı kullanılmıştır. Derinlik-zarar ilişkileri eğriler şeklinde formüle edilip matematiksel olarak tanımlanmıştır. Bu ilişkiler, sel derinliği ile yapı ve içerikte meydana gelen zarar oranını tanımlamada kullanılmaktadır. Derinlik-hasar eğrilerinin türetilmesinde, sel derinliği belirli bir miktar olup -1.0 ile +2.0 fit (yaklaşık -0.305 m ile yaklaşık +0.610 m aralığı) yarım fit artışlarla; 2.0 ile 15.0 fit aralığında (yaklaşık 0.610 m ile yaklaşık 4.572 m aralığı) bir fit artışlarla ifade edilmektedir (U.S. Army Corps of Engineers New Orleans District, 2006). Bu çalışma, bölgesel düzeyde hazırlanmış derinlik-zarar eğrilerinin en kapsamlı ve detaylı çalışmalarından biridir.

Derinlik-hasar eğrilerinin üretildiği bir başka bölge Birleşik Krallık'tır. Birleşik Krallık Çevre Ajansı (Environment Agency) tarafından İngiltere'nin çeşitli bölgeleri için derinlik-hasar eğrileri geliştirilmiştir. Özellikle kırsal ve kentsel alanlar için farklı eğriler bulunmaktadır (UK, Environment Agency, 2021).

Bunların dışında su derinliğine bağlı olarak geliştirilen zarar modelleri Avustralya için RAM ve Anuflood modelleri; Birleşik Krallık için Multicoloured Manual; Almanya

için MURL, ICPR, Hydrotec ve LfUG modelleri sıralanabilir (Kreibich vd, 2010). Adı geçen ve ülkelere özgü hasar tahmin modelleri bölgelere özgü parametreler içerdiğinden Türkiye’de kullanımının uygun olmadığı düşünülmüştür. Bu nedenle çalışmada, JRC’nin geliştirdiğİ derinlik-hasar katsayıları tercih edilmiştir.

Türkiye için derinlik-hasar eğrileri herhangi bir kuruluş tarafından hesaplanmamış ya da bu konu akademik bir çalışmada ele alınmamıştır. Bu eğriler genellikle Avrupa ve ABD gibi bölgelerde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, Türkiye’de taşkın yönetimi ve risk değİrlendirmesi alanındaki alışmalar, JRC gibi uluslararası kuruluşların geliştirdiğİ derinlik-hasar eğrilerinden türetilen katsayıları kullanmaktadır. Bu nedenle tez kapsamında JRC’nin ürettiğİ derinlik-hasar katsayıları kullanılmıştır.

Sel olaylarına bağlı zararın hesaplanması, selin neden olduğu hasarın tespiti ya da tahmini ile başlar. Sel hasar tahminin merkezinde, hasar fonksiyonları kavramı vardır. Bu fonksiyonlar, risk altındaki ögenin hasarını selin yayılım ve derinlik gibi özellikleriyle ilişkilendirir (Merz vd., 2010).

2017 yılında Joint Research Centre (JRC)’ın yayınladığı rapora göre 6 hasar sınıfı ve bu sınıfların tanımları şu şekildedir (Huizinga vd., 2017):

1. **Konut:** Evler ve apartman daireleri gibi konut binalarını ve bunların içeriklerini ifade eder.
2. **Ticari binalar:** Ofisler, okullar, hastaneler, oteller, mağazalar vb. gibi ticari binaları ve içeriklerini kapsayan sınıftır.
3. **Endüstriyel binalar:** Depolar, dağıtım merkezleri, fabrikalar, laboratuvarlar gibi endüstriyel binaları ve bunların içeriklerini ifade eden sınıftır.
4. **Ulaşım:** Ulaşım ile ilgili tesisleri, binaları kapsayan sınıftır. Bu sınıfın maksimum hasar değerleri ile ilgili veri oldukça sınırlıdır.
5. **Altyapı-yollar:** Yollar ve demiryollarını ifade eden sınıftır.
6. **Tarım:** Yalnızca su altında kalan tarım arazilerinden kaynaklanan hasarı baz alan sınıftır. Bu sınıfa çiftlikler, barakalar, ambarlar, tarım malzemeleri vb. dahil değildir.

Tüm kıtalar için hesaplanan JRC'nin derinlik-hasar eğrilerinden türetilen katsayılar, taşkınlardan kaynaklanan hasarların tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılır. Her bir derinlik-hasar katsayısı, su derinliğine bağlı olarak bir yapının maruz

kalacağı hasarın yüzdesel tahminini verir. Bu katsayılar genellikle binaların konut, ticari, sanayi gibi sınıflandırılmasına dayalıdır. Katsayılar özellikle hasar tahminlerini konumsal analizlerle birleştirmek amacıyla kullanılır. Derinlik-hasar katsayıları, suyun derinliği arttıkça oluşacak hasarın artacağını varsayar, farklı su derinlikleri için yüzde olarak hasar oranı verir. Avrupa kıtası için su derinliğine göre hasar fonksiyonları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Avrupa Kıtası için hasar katsayıları (JRC, 2017)

AVRUPA						
Derinlik	Konutlar	Ticari Binalar	Endüstriyel Binalar	Ulaşım	Altyapı-Yollar	Tarım
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.25	0.15	0.15	0.32	0.25	0.30
1	0.40	0.30	0.27	0.54	0.42	0.55
1.5	0.50	0.45	0.40	0.70	0.55	0.65
2	0.60	0.55	0.52	0.83	0.65	0.75
3	0.75	0.75	0.70	1.00	0.80	0.85
4	0.85	0.90	0.85	1.00	0.90	0.95
5	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Örneğin, bina yapım maliyeti 1,000,000 lira olan ticari bir binanın, sel nedeniyle 2 metre su derinliğine maruz kaldığını varsayalım. Tablo 3.3'te ticari binanın 2 metrelik su derinliğine karşılık gelen değeri 0.55'tir. Bu durumda hasarın maddi değeri:

$$1,000,000 \text{ lira} \times 0.55 = 550,000 \text{ lira}$$

Binanın taşkından dolayı göreceği yapısal hasar 550,000 lira olarak tahmin edilir. Yani, binanın %55'ine denk gelen bir maddi zarar yaşanacak olarak yorumlanır.

Tablo 3.4'te Avrupa kıtasında farklı hasar sınıfları için maksimum hasar değerleri özetlenmiştir. Maksimum hasar değerleri kıta ve ülkeler bazında farklılık göstermektedir. Bunun temel nedeni, bildirilen sel olaylarındaki farklı varsayımlar ve tanımlar ile ilgilidir. Söz konusu değerler Avrupa kıtası için 2007 fiyat seviyesine göre hesaplanmıştır (JRC, 2017).

Tablo 3.4. Avrupa kıtası için ortalama maksimum hasar değeri (euro/m² – 2010) (JRC, 2017)

Kıta	Konutlar	Ticari Binalar	Endüstriyel Binalar	Ulaşım	Altyapı-Yollar	Tarım
Avrupa	750	621	534	751	24	0.77

Kıta bazında maksimum hasar değerlerini, sel hasarını tahmin etmede kullanmanın bazı sakıncaları vardır. Bunlar;

- Maksimum hasar değerlerinin her ülke için mevcut olmaması,
 - Maksimum hasar değerlerinin kıtalar arasında önemli değişkenlik göstermesi,
- şeklindedir.

Bu nedenle JRC'nin raporunda yukarıda sıralanan olumsuzlukları gidermek ve binalar için tutarlı bir küresel maksimum hasar değerleri seti oluşturmak adına, inşaat maliyetlerinin regresyon analizi üzerine dayalı bir yaklaşım kullanılmıştır. Maksimum hasar tahminlerini elde etmek için, aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

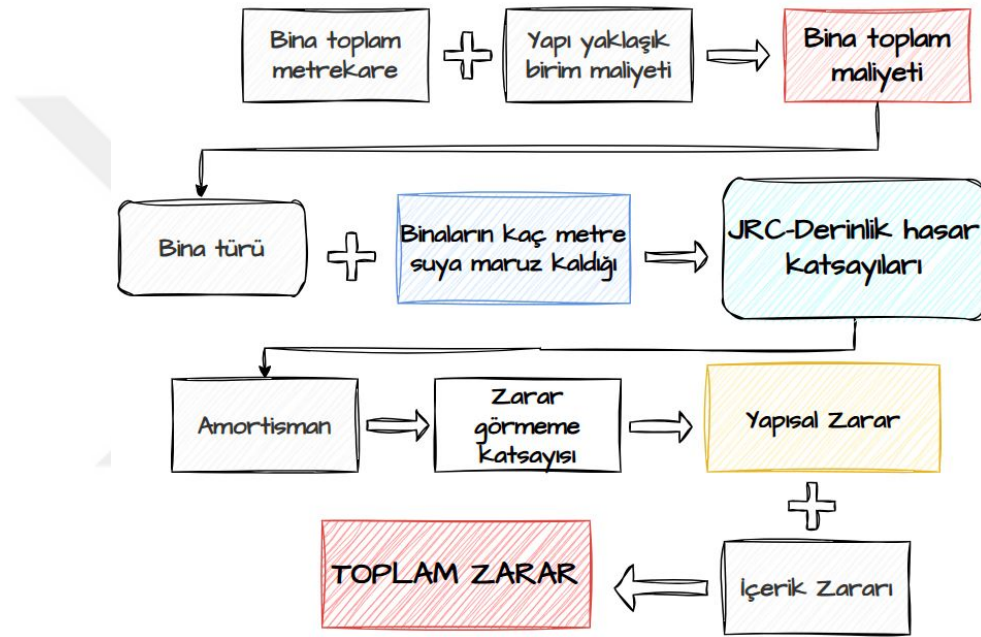
1. Mümkün olduğu kadar çok ülke için farklı tipteki binaların inşaat maliyetlerinin belirlenmesi,
2. Ortalama bina stokunu bina türleri arasında ağırlıklandırarak tipik konut, ticari ve endüstriyel binaların inşaat maliyetlerinin hesaplanması,
3. Dünya Kalkınma Göstergeleri'nden (World Development Indicators-WDI) sosyoekonomik parametrelere dayalı olarak tüm ülkelere inşaat maliyetlerini ekstrapole etmek için regresyon analizlerinin yapılması.

Tez kapsamında hasar değerleri hesaplanırken, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın "Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2024 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliği" kullanılmıştır. Bu tebliğde yapının sınıfına göre birim maliyetler belirlenmektedir.

Sel olaylarında binadaki yapısal hasar yanında, içindeki eşyalar ve bina içi ekipman da zarar görür. Bina içi zararın hesaplanması, binanın kullanım amacına ve sınıfına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bina içindeki zararı tahmin ederken; bina türü ve kullanım amacı özellikle dikkat edilmesi gereken faktörlerdir. Örneğin, ticari binalarda, ekipman ve stokların değeri yüksekken, konut tipi binalarda mobilya, elektronik eşyalar gibi faktörler dikkate alınır. İçerik hasarı hesaplanırken dikkat edilmesi

gereken bir diğer nokta su derinliğidir. Zemin kat veya bodrum katta meydana gelen bir sel olayı, tüm iç eşyaların büyük ölçüde hasar görmesine neden olabilir. Tez kapsamında içerik hasarı hesaplanırken ABD Federal Acil Durum Yönetim Kurumu'nun (Federal Emergency Management Agency-FEMA) katsayıları kullanılmıştır. Bu katsayılar; konutlar için yapısal hasarın 0.5'i, ticari binalar için yapısal hasarın 1 ve sanayi yapıları için yapısal hasarın 1.5 katıdır (FEMA, 2004).

Bina stoku üzerindeki zararı hesaplamada yapılan işlemler Şekil 3.10'da özetlenmiştir.



Şekil 3.10. Toplam zarar hesaplama aşamaları

Şekil 3.10'da binaların olası bir sele maruz kaldığında, sel kaynaklı hasar ve zararların hesaplanmasında kullanılan işlem adımları ayrıntılı şekilde verilmiştir. İlk olarak binaların taban alanlarından toplam metrekare büyüklüğü hesaplanmış ve bu değer yapı yaklaşık birim maliyeti ile çarpılarak, binaların yeniden yapım maliyeti hesaplanmıştır. Bu hesaplama, binaların yeniden inşa edilmesi durumunda gerekli olacak temel maliyetleri ifade etmektedir.

İkinci olarak, sele maruz kalan binalarda meydana gelebilecek fiziksel hasarların değerlendirilmesi amacıyla JRC'nin derinlik-hasar katsayıları kullanılmıştır. Kullanılacak katsayıların belirlenmesinde, binaların türü ve kaç metre suya maruz kaldığı gibi bilgiler önemli rol oynamaktadır.

Bir sonraki adımda, binaların amortisman değeri ve zarar görmeme katsayısı dikkate alınarak yapısal hasar miktarı hesaplanmıştır. Amortisman, binanın ekonomik ömrüne bağlı olarak değer kaybını ifade ederken, zarar görmeme katsayısı binanın fiziksel dayanıklılığıyla ilişkili bir parametredir. Yapısal hasarın yanı sıra, binaların içinde bulunan eşya, mobilya ya da makine-teçhizatın uğradığı zarar da analiz edilmiştir. Bu zarar, içerik hasarı olarak adlandırılmış ve toplam zararların bir parçası olarak değerlendirilmiştir.

Son aşamada, yapısal hasar ve içerik hasarı birlikte ele alınarak toplam zarar değeri hesaplanmıştır. Bu hesaplama, yalnızca binaların fiziksel özelliklerini değil, aynı zamanda maruz kaldıkları su seviyesine bağlı olarak oluşabilecek doğrudan ve dolaylı zararları kapsamaktadır.

3.3.4. Konumsal riske maruz değer hesaplama

Geleneksel anlamda riske maruz değer, belirli bir sürede bir varlığın ya da yatırımın karşılaşılabileceği en yüksek potansiyel kaybı belirlemek için kullanılan risk ölçüm yöntemidir. Tez kapsamında Riske Maruz Değer yöntemi, olası sel tehlikesiyle birleştirilerek bina bazlı ve konumsal bir çerçevede zararların olasılıksal olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bu sayede selin meydana gelme olasılığı, selin neden olacağı potansiyel zararların bina bazlı gösterimini sağlamıştır.

Nehre olan uzaklık, sel nedeniyle binalarda oluşabilecek hasar ve zararı doğrudan etkileyen bir faktördür. Bu nedenle analizlerde binaların Porsuk Çayına uzaklığı dikkate alınmıştır. Uzaklığın yanında, hesaplamalarda mesafe etkisini kontrol eden sabit bir katsayı kullanılmıştır.

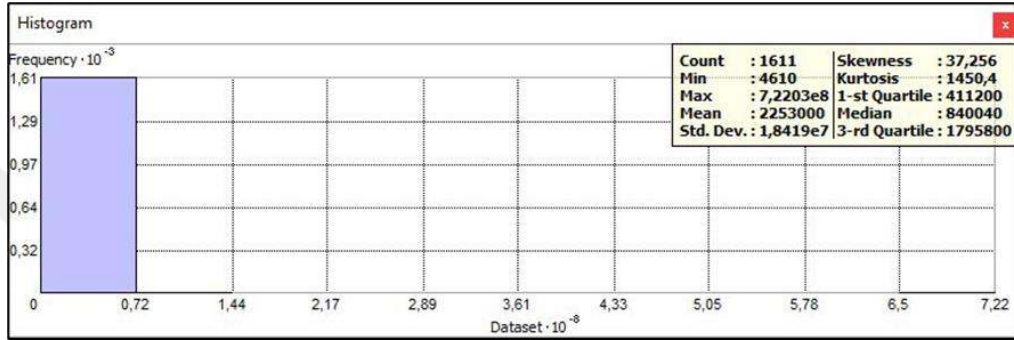
Farklı emisyon senaryoları altında küresel iklim modellerinden elde edilen yağış verisi, gelecekteki sel tehlikesini modellemeye yardımcı olan bir değişkendir. Tez kapsamında pik debi değerleri hesaplamalarında bu verilerden yararlanılmıştır. Bu nedenle, emisyon senaryolarının etkisi, konumsal riske maruz değer hesaplamalarına bir çarpan olarak entegre edilmiştir. Konumsal riske maruz değer formülü Eşitlik 3.3'teki gibidir:

$$\text{Konumsal riske maruz değer} = \text{Zarar} \times \text{Olasılık} \times Z \quad (3.3)$$

Formüldeki “zarar”, bir sel olayında meydana gelebilecek toplam zararı ifade etmektedir. Tez kapsamında bu zarar, derinlik-hasar katsayıları yardımı ile tespit

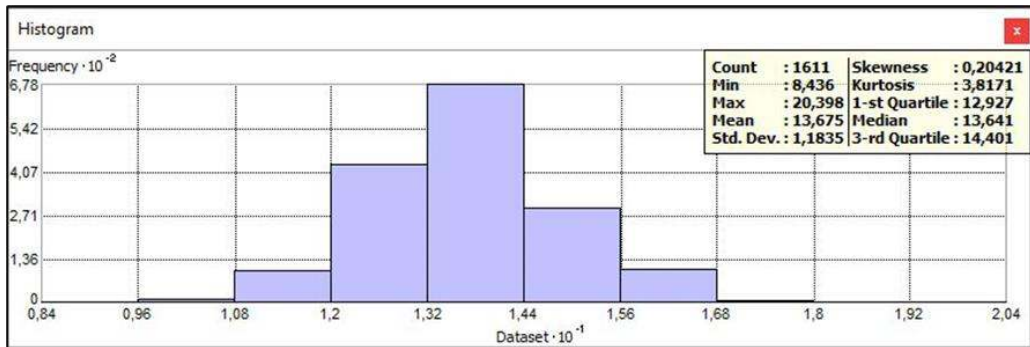
edilmiştir. Formüldeki olasılık, üstel fonksiyonla hesaplanan olasılıktır. Olasılık, nehirden uzaklık ve emisyon senaryoları etkileriyle ilişkilendirilerek hesaplanmıştır. Z skoru 1.96 olup, %95 güven seviyesindeki standart normal dağılımın z-skorudur (EK-15).

Riske maruz değer formülündeki "zarar" değişkeni, belirtildiği üzere “toplam zarar” değerini ifade etmektedir. Tez kapsamında, olası bir sele maruz kalabilecek 1611 bina için toplam zarar verilerin histogramı incelenmiştir. Bu verilerin normal dağılıma sahip olmadığı, dağılımın sola doğru çarpık bir yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Toplam zarar verilerinin dağılımı

Ancak riske maruz değer hesaplamalarında, verilerin normal dağılım gösterdiği varsayılmaktadır. Söz konusu çarpıklığı gidermek ve dağılımı normalleştirmek amacıyla, toplam zarar verilerine doğal logaritma (ln) tabanında logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Logaritmik dönüşüm, veri setindeki çarpıklığı azaltarak, dağılımın normal bir yapıya daha yakın hale gelmesini sağlamıştır. Bu yöntemle, riske maruz değer hesaplamalarında kullanılacak veriler, istatistiksel varsayımlara uygun bir hale getirilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Logaritmik dönüşüm sonrası toplam zarar verilerinin dağılımı

Bu yaklaşım ile toplam zarar verilerinin istatistiksel analizlerdeki varsayımları karşılanmış ve riske maruz değer hesaplamalarının güvenilirliği artırılmıştır. Logaritmik dönüşüm sonrası elde edilen dağılımın çarpıklık (skewness) katsayısı 0,20421 olarak

hesaplanmıştır. Bu değer, dağılımın simetriye yakın olduğunu, ancak hafif bir sağa çarpıklık gösterdiğini ortaya koymaktadır. 0,20421 düşük bir çarpıklık değeridir ve logaritmik dönüşümün veriyi normal dağılıma oldukça yaklaştırdığını göstermektedir. Basıklık (kurtosis) katsayısı ise 3,8171 olarak bulunmuştur. Normal dağılımda basıklık genellikle 3'e yakın olarak kabul edilir ve bu değer dağılımın sivriligi ya da düzlüğü hakkında bilgi verir. 3,8171 değerinin normal değerden hafifçe yüksek olması, dağılımın biraz daha sivri bir tepeye sahip olduğunu göstermektedir. Çarpıklık ve basıklık katsayıları, logaritmik dönüşümün veriyi normalleştirdiğini ve dağılımın normal dağılıma oldukça yakın bir yapı kazandığını göstermektedir.

Riske maruz değer hesaplamaları yapıldıktan sonra doğal logaritma (ln) tabanında yapılan logaritmik dönüşümün tersini almak için, veriye üstel dönüşüm uygulanarak veriler orijinal haline getirilmiştir.

Tez kapsamında riske maruz değer hesaplamaları yapılırken, coğrafi bilgi teknolojileri ile Monte Carlo simülasyonu entegre edilmiştir. Uygulanan yöntem ile Monte Carlo simülasyonu arasındaki benzerlikler şu şekildedir:

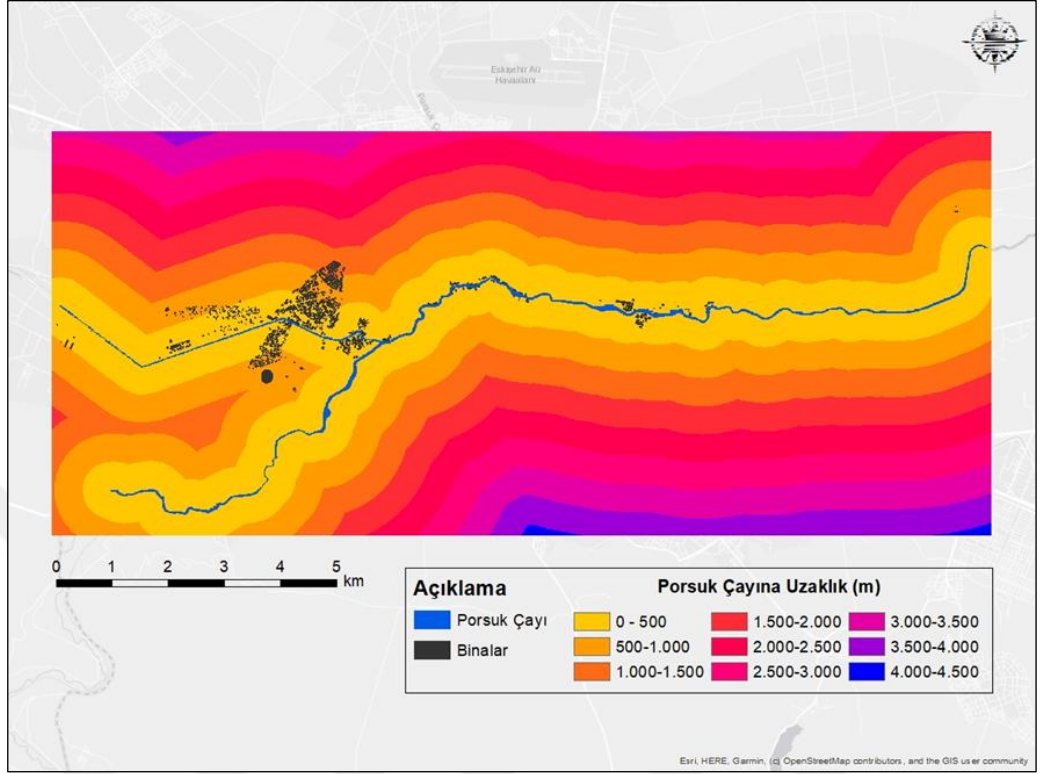
- Sel tehlikesi, üstel dağılımlı bir fonksiyon kullanılarak ve çaydan uzaklıkla bağlantılı olarak modellenmiştir. Bu, Monte Carlo simülasyon yönteminin rastgele ve senaryo bazlı simülasyon yapısına uygundur. Emisyon senaryolarına göre zararların hesaplanması ve dağılımlarının incelenmesi bu yöntemin temel özelliklerindendir.
- Farklı emisyon senaryoları altında yapılan sel tehlikesi tahminleri, Monte Carlo Simülasyonu yöntemindeki "çoklu senaryo analizi" ile benzerlik göstermektedir.

Konumsal riske maruz değer hesaplanırken öncelikle Porsuk Çayından uzaklık belirlenmiş, sonrasında olasılığa dayalı olarak zararlar hesaplanmıştır. Hesaplamaların ayrıntıları aşağıda verilmiştir.

3.3.4.1. Uzaklığa bağlı zarar belirleme

Sel tehlikesinin neden olacağı zararlar, binaların Porsuk Çayı'na olan uzaklıklarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çaya daha yakın konumdaki binalar, sel riski açısından daha yüksek bir maruziyete sahipken, daha uzak mesafede bulunan binalar bu riske daha az maruz kalmaktadır. Tez kapsamında mesafeye dayalı riske maruz değer hesaplamak amacıyla, Porsuk Çayı çevresinde 10 metrelik konumsal çözünürlüğe sahip pikseller oluşturulmuştur. Uzaklık hesaplamaları, Öklit Mesafe yöntemi

kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.13'te Porsuk Çayı'nın çevresinde oluşturulan bu mesafelerin dağılımı ve mesafeye bağlı bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Porsuk Çayı çevresinde oluşturulan mesafe haritası

Öklit mesafesi ile her bir piksele Porsuk Çayına olan mesafe değeri atanarak yeni bir raster katmanı oluşturulmuştur. Böylece, Porsuk Çayı'ndan uzaklık arttıkça sel olasılığının azaldığı varsayımıyla uzaklık değişkeni belirlenmiştir. Uzaklık değişkeni bir sonraki aşamada konumsal riske maruz değer hesaplama işlemlerinde girdi olarak kullanılmıştır. Bu yaklaşımla, sel tehlikesi ve binaların konumları arasındaki ilişkinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi sağlanmıştır.

3.3.4.2. Olasılıksal sel riski

Üstel dağılım belirli bir olayın olasılığının zamana, mesafeye ya da başka bir sürekli değişkene bağlı olarak azaldığı durumları modellemek için kullanılır (Davison ve Huser, 2015). Üstel dağılımlar sadece bir parametreye sahip oldukları için tanımlanmaları oldukça basittir ve istatistiksel analizler için oldukça elverişlidir (Marshall ve Olkin, 2007).

Üstel dağılım fonksiyonu şu şekildedir (Ross, 2010):

$$F(x; \lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

x: Sürekli bir rastgele değişken (genellikle zaman veya mesafeyi temsil eder).

λ : Pozitif bir oran parametresi, olayın birim zamandaki gerçekleşme sıklığını ifade eder.

e: Doğal logaritmanın tabanı (yaklaşık 2.718).

Tez kapsamında binaların Porsuk Çayı'ndan olan mesafesine bağlı olarak sel tehlikesinin üstel olarak azalacağı varsayılarak, olasılık hesaplamasında üstel fonksiyon kullanılmıştır. Sel olasılığı (P), olası sel nedeniyle yaşanacak zararların, konumsal riske maruz değer hesaplamasında kullanılmaktadır.

Binalar bazında sel riskini hesaplamak için hem emisyon senaryoları olasılıklarını hem de Porsuk Çayı'na olan mesafeyi dikkate alan bir model oluşturulmuştur. Bu modelde sel olasılığını hesaplamak için çok değişkenli bir dağılım kullanılmıştır. Mesafeye ve emisyon senaryolarına bağlı sel olasılığını temsil eden ve konumsal riske maruz değer hesaplamalarında kullanılan olasılık fonksiyonu Eşitlik 3.4'teki gibidir:

$$P = 1 - e^{-(\alpha d + \beta)} \quad (3.4)$$

P = olasılık

α = mesafeye bağlı sel olasılığı katsayısı

d=uzaklık

β =senaryo çarpanı

Burada:

- P, selin belirli bir mesafede (d) meydana gelme olasılığını ifade etmektedir.
- α , mesafeye bağlı sel olasılığı katsayısıdır. Bu katsayı, nehirden uzaklaştıkça sel olasılığının nasıl değiştiğini matematiksel olarak tanımlar. Daha büyük bir α değeri, mesafenin sel olasılığı üzerindeki etkisinin daha hızlı bir azalmayı ifade ettiği anlamına gelir.
- d, nehirden olan uzaklıktır.
- β , farklı emisyon senaryolarının sel olasılığı üzerindeki etkisini modelleyen bir çarpanıdır. Bu çarpan, küresel iklim değişikliği senaryolarının, özellikle kuraklık

dönemlerinden sonra gelen yağışların ya da artan yağış yoğunluğunun sel riski üzerindeki etkisini dikkate alır.

Bu yaklaşım ile olası sel nedeniyle meydana gelebilecek zararların yalnızca büyüklükleri değil, aynı zamanda gerçekleşme olasılıkları da dikkate alınarak daha gerçekçi bir risk değerlendirmesi yapılmıştır.

Sel olasılığı hesaplanırken dikkate alınması gereken iki önemli değişken vardır. Bunlar, mesafeye bağlı sel olasılığı katsayısı (α) ve farklı emisyon senaryolarının sel olasılığı üzerindeki etkisini modelleyen çarpandır (β).

Porsuk Çayı için katsayı (α) (mesafeye göre sel olasılığının azalmasını kontrol eden katsayı)

α katsayısı, sel olasılığının mesafeye göre ne kadar hızlı azaldığını gösterir. Büyük bir α değeri, sel olasılığının mesafeye bağlı olarak çok hızlı düştüğünü ifade ederken, küçük bir α değeri, uzaklaştıkça sel olasılığının daha yavaş azaldığını gösterir. α değeri, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Bu faktörler;

- *Arazinin topografyası:* Dik eğimli arazilerde su hızla akarak sel olasılığı mesafeye göre hızlı azalır (büyük α değeri). Düz arazilerde su daha yavaş yayılır ve sel etkisi daha uzak mesafelere ulaşabilir (küçük α değeri).
- *Toprak ve zemin özellikleri:* Geçirgen topraklar suyu emerek sel riskini hızla azaltır (büyük α değeri). Geçirimsiz veya suya doymuş zeminlerde su kolay akar, sel etkisi daha uzağa yayılır (küçük α değeri).
- *Altyapı ve insan etkileri:* Su yönetimi altyapıları, suyun yayılmasını sınırlandırabilir veya yönlendirebilir. Barajlar ve bentler sel riskini azaltırken, bu yapılar olmayan yerlerde risk daha geniş alana yayılabilir. Sulama kanalları ve setler, sel olasılığını bölgesel olarak farklı şekilde etkileyebilir, bu da α 'nın değişmesine neden olur.
- *Nehir akışı ve debisi:* Büyük nehirler veya fazla yağış alan bölgelerde suyun yayılma kapasitesi artar, bu da sel olasılığının nehirден uzaklaştıkça daha yavaş azalmasına ve α değerinin küçük olmasına neden olur. Küçük nehirlerde ise su yayılma alanı sınırlıdır. Bu da sel riskinin daha hızlı azalmasına ve α değerinin büyük olmasına yol açar.

- *Bitki örtüsü:* Yoğun bitki örtüsü suyun emilmesini artırarak yayılmasını sınırlar. Bu durum, α değerini yükseltir. Az bitki örtüsü olan yerlerde suyun akışı daha serbest olup, sel etkisi geniş bir alana yayılır ve α değeri küçük olur.

Eğer sel olasılığı homojen bir bölge için hesaplanıyorsa (örneğin, düz ve aynı topografyaya sahip bir arazi), α sabit kabul edilebilir. Ancak eğer bölgesel farklılıklar (arazi eğimi, zemin geçirgenliği, altyapı, bitki örtüsü) söz konusuysa, α değişken olabilir. Bu durumda, farklı bölgelerde farklı α değerleri kullanmak daha doğru sonuçlar verebilir.

Porsuk Çayı'nın Özellikleri

Porsuk Çayı, Sakarya Nehri'nin kollarından biridir. Eskişehir'de düzenli akışıyla kentin biçimlenmesinde önemli bir rol oynayan Porsuk Çayı, şehir merkezinden geçerek kenti ikiye böler ve akışını sürdürür (Sarıçam ve Coşkun Hepcan, 2015). Çayın taşkın riskine etki eden faktörleri şunlardır:

- *Şehir merkezi altyapısı:* Eskişehir şehir merkezi, Porsuk Çayı'ndan geçen suyun yönetimi için çeşitli kanallar ve bentler ile donatılmıştır. Bu durum suyun yayılma hızını etkileyebilir.
- *Arazi eğimi:* Şehir merkezinin nispeten düz bir araziye sahip olması, suyun geniş bir alana yayılmasına neden olabilir.
- *Baraj ve göletler:* Porsuk Barajı gibi yapıların varlığı suyun akışını kontrol eder ve taşkın riskini azaltır.
- *İklim ve yağış:* Eskişehir'in yıllık yağış miktarı, taşkın olasılığını etkileyen önemli bir faktördür. Ancak Porsuk Çayı genellikle yüksek debili bir nehir olmadığı için taşkın riski daha düşüktür.

Benzer nehir havzalarındaki çalışmalardan hareketle, α değeri genellikle şu aralıklarda olabilir:

- Büyük nehirler ve yüksek debili akarsular için α genellikle 0.001 ila 0.01 arasında olabilir (Chow, 1959). Bu tür nehirlerde suyun uzak mesafelere kadar yayılma potansiyeli vardır.
- Küçük nehirler veya kontrollü akarsular (barajlar, kanallar gibi altyapılarla yönetilen) için α genellikle 0.02 ila 0.05 arasında olabilir (Henderson, 1966). Bu durumda sel riski mesafeye bağlı olarak daha hızlı azalır.

Porsuk Çayı, şehir içinden geçtiği ve barajlar ile kontrol edildiği için α değeri daha yüksek olabilir. Su yayılımı sınırlı olduğundan, sel olasılığı mesafeye bağlı olarak daha

hızlı düşer. Porsuk Çayı'nın çevresinde gelişen Eskişehir, genel olarak düz ve az eğimli bir topografyaya sahiptir. Şehir, geniş ve düz ovalarla çevrilidir. Ancak bu düz topografya, yoğun yağışlar sırasında suyun akış hızını düşürerek sel riskini arttırıcı bir faktördür.

Tez kapsamında Porsuk Çayı'nın α değeri 0.05 olarak alınmıştır. Kullanılan $\alpha=0.05$ değeri, Porsuk Çayı'nın düzenli akışı, barajlarla kontrol edilen yapısı ve şehir içi kontrollü su yönetim sistemi göz önüne alınarak seçilmiştir. Bu değer, Chow (1959) ve Henderson (1966) gibi hidrolik literatüründeki genel prensiplere ve benzer kontrollü akarsu sistemlerinde yapılan çalışmalara dayandırılmıştır. Ayrıca, Porsuk Çayı'nın geçtiği Eskişehir'in düz ve az eğimli topografyası, sel yayılımının sınırlı olmasına ve bu nedenle α katsayısının görece yüksek bir değerle ifade edilmesine zemin hazırlamaktadır. Bu bağlamda, $\alpha=0.05$ değeri, yerel coğrafi ve hidrolojik koşulları yansıtmak üzere uygun bir tahmin olarak kullanılmıştır.

Senaryo çarpanı (β)

β değerleri, her SSP senaryosuna göre iklim değişikliğinin sel riski üzerindeki etkisini yansıtan katsayılar. Bu katsayılar, iklim değişikliğine bağlı olarak her SSP senaryosu için ayrı bir risk faktörü olarak ele alınır.

IPCC'nin SSP senaryoları için iklim değişikliğinin hızını, sera gazı yoğunluğunu, sıcaklık artışını ve bunun etkilerini içeren projeksiyonlar sağlar. Bu raporlarda, senaryolar kötüleştikçe, yağış beklentisi de azalmaktadır. Örneğin, SSP1-2.6 senaryosundaki yağış miktarı daha yüksekken, SSP5-8.5 senaryosunda yağış miktarı daha düşüktür. Bu nedenle kuraklık beklentisi altında sel tehlikesini değerlendirmek daha faydalı olacaktır.

Yağışın azalmasıyla birlikte sel riski düşeceğinden, kötüleşen SSP senaryoları için çarpanlar daha büyük değerler almalıdır (Arnell ve Gosling, 2016).

Kundzewicz vd.'nin (2013) çalışmasında, iklim değişikliğine bağlı olarak kötüleşen senaryolarda yağış miktarının azalmasıyla sel riskinin de düşeceği belirtilmiştir. Sel riski ve iklim değişikliği arasındaki ilişkiyi inceleyen bu çalışmada vurgulanan noktalara göre tez kapsamında kullanılan senaryo çarpanları;

- SSP1-2.6 için 0.5,
- SSP2-4.5 için 0.7,

olarak alınmıştır.

Bu arpanlar, düşük yağış ve kuraklık koşulları altında sel riskinin görece azalmasını ve bunun iklim projeksiyonlarıyla uyumlu bir şekilde modellenmesini sağlayan değerlerdir. Bu değerler, kuraklık nedeniyle oluşan düşük sel riskini temsil etmektedir. Yani, β daha büyük değerler aldığında denklemdeki toplam sel riski azalır. Bu durum kuraklık olan bir bölgede iklim değişikliğinin sel olasılığı üzerindeki etkisini düşürmüş olur.



4. BULGULAR

Bulgular bölümünde, tez kapsamında yapılan hesaplamalar ve analizlere ait bilgiler sunulmaktadır. İlk olarak CORINE arazi örtüsü ve hidrolojik toprak grubu verileri kullanılarak akış katsayısı hesaplanmıştır. Elde edilen akış katsayısı değerleri, yağış—akış parametresine dayalı pik debi hesaplamalarında girdi olarak kullanılmıştır. Belirli bir eşğin üzerinde gerçekleşen pik debi değerlerinin, Q_{100} senaryosuna denk geldiği varsayılmıştır. Q_{100} senaryosuna göre bina stokunda oluşabilecek toplam zarar miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Riske Maruz Değer yöntemiyle entegre edilmiştir.

Q_{100} eşğini aşan pik debi değerlerinin; SSP1-2.6 senaryosu için 2061-2080 yılları arasında Aralık ayında; SSP2-4.5 senaryosu için ise 2081-2100 yılları arasında yine Aralık ayında görülebileceği tespit edilmiştir. Bulgular bölümünde sırasıyla; akış katsayısı, pik debi değerleri, Q_{100} senaryosundaki toplam zarar ve yine Q_{100} senaryosundaki riske maruz değer bulgularına yer verilmiştir.

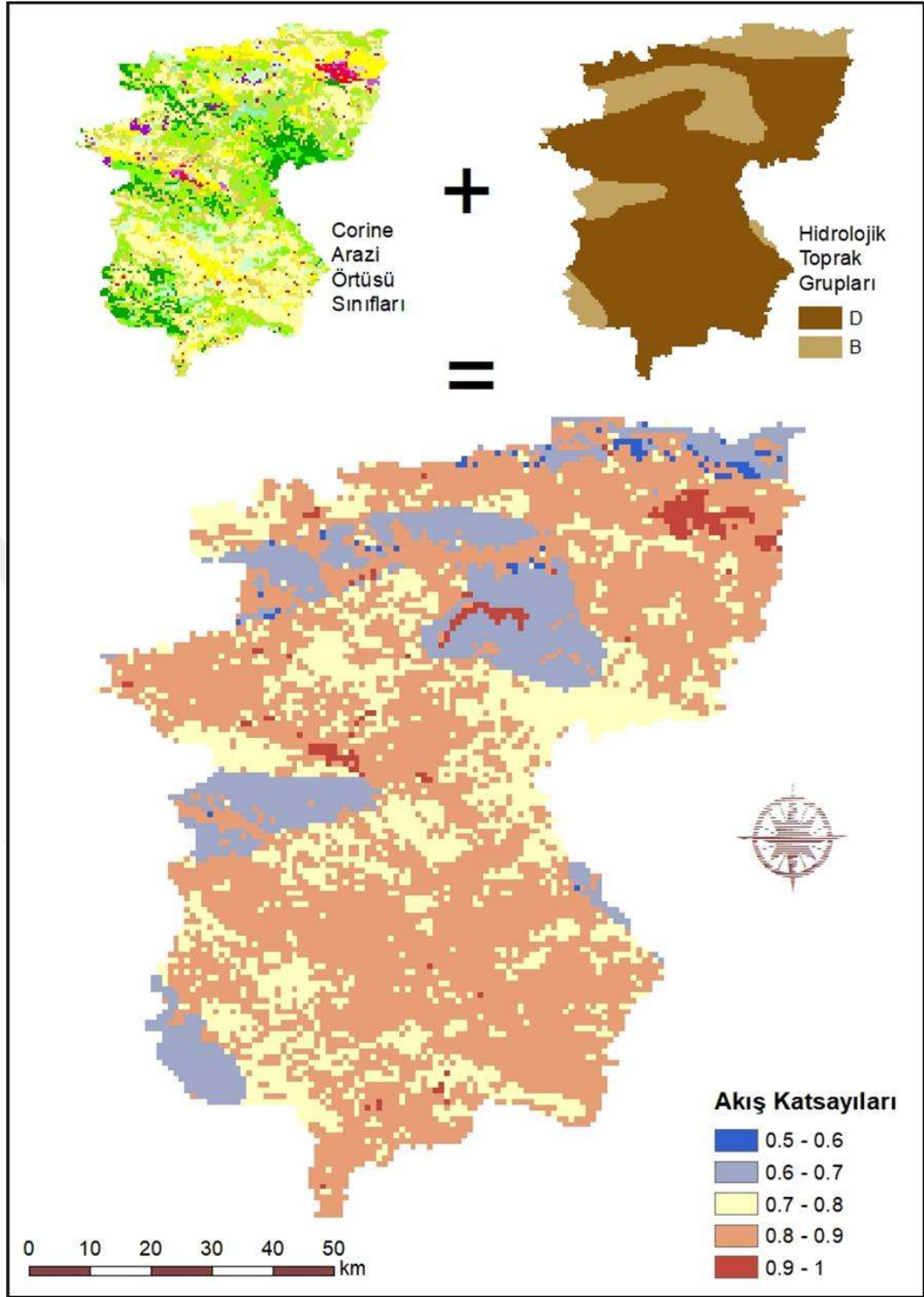
4.1. Yağış-Akış Parametresine Dayalı Pik Debi Bulguları

Bu bölümde tezde kullanılan akış katsayısı, yağış yoğunluğu ve havza alanı gibi hidrolojik parametrelerin bir araya getirilmesiyle hesaplanan pik debi değerlerine ilişkin ayrıntılı sonuçlar sunulmaktadır. Farklı senaryolar ve arazinin çeşitli özellikleri göz önüne alınarak yapılan analizlerle, belirli bir süre içerisinde havza alanında meydana gelebilecek pik debi değerleri tahmin edilmiştir.

4.1.1. Akış katsayısı (c) bulguları

Yağış-akış parametresine dayalı pik debi hesaplanmasında akış katsayısı, yağışın ne derece akışa geçeceğini gösteren önemli ve temel bir değişkendir. Akış katsayısı, yüzeyin geçirgenliğine ve arazi örtüsüne göre değişiklik gösterir.

Tez kapsamında akış katsayısı hesaplanırken CORINE arazi örtüsü ve hidrolojik toprak grubu verileri kullanılmıştır. CORINE arazi örtüsü, yüzeyin örtü tipini ayrıntılı bir şekilde tanımlayarak, suyun yüzeyden akışını veya emilimini etkileyen faktörlerin belirlenmesine olanak tanır. Hidrolojik toprak grubu ise toprak yapısının suyu emme kapasitesi hakkında bilgi verir. Bu iki veri bir arada kullanılarak akış katsayısını daha doğru bir şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 4.1’de arazi örtüsü ve hidrolojik toprak grubuna göre belirlenen akış katsayıları haritası verilmiştir.



Şekil 4.1. Akış katsayısı haritası

Pik debi değerlerinin hesaplandığı alan içerisinde kalan bölgenin akış katsayısı 0.5-1.00 arasında değerler almaktadır. Yüzeydeki suyun ne kadarının yüzeysel akışa geçtiğini belirten akış katsayısı 1'e yaklaştıkça, yağışın neredeyse tamamının yüzeysel akışa geçtiği anlamına gelir. Katsayının 1'e yakın olduğu alanlar, yoğun şehir alanları, kaya ya da beton yüzeyler, sıkı ve doymuş topraklardır.

4.1.2. Pik debi bulguları

Yağış-akış parametresine dayalı pik debi hesaplamalarında, “günlük yağışın %25’inin 6 saatte düştüğü” varsayılmıştır. Yağış yoğunluğu değişkeni belirlenirken küresel iklim modellerinden elde edilen yağış verisi kullanılmıştır. Bu veri mm cinsinden aylık ortalama toplam yağış verisidir. Aylık ortalama yağış verisini, yağış yoğunluğu verisine dönüştürürken aşağıda sıralanan işlemler gerçekleştirilmiştir.

1. Küresel iklim modellerinden elde edilen aylık ortalama toplam yağış verisi, günlük yağış değerlerine dönüştürülmüştür (Eşitlik-4.1).

$$Yağış_{günlük,piksel} = \frac{Yağış_{aylık,piksel}}{Aydaki\ gün\ sayısı} \quad (4.1)$$

2. Yağış yoğunluğu hesaplanırken günlük yağışın %25’inin 6 saat içerisinde düştüğü varsayımı ile piksel bazlı hesaplamalar yapılmıştır. İlk olarak piksellere düşen yağışın %25’i alınmış (Eşitlik-4.2), sonrasında 6 saatlik süre için yağış yoğunluğu hesaplanmıştır (Eşitlik-4.3).

$$Yağış_{\%25,piksel} = \%25 \times Yağış_{günlük,piksel} \quad (4.2)$$

$$i_{piksel} = \frac{Yağış_{\%25,piksel}}{6\ saat} \quad (4.3)$$

3. Bulunan değer, metre/saniye birimine dönüştürülmüştür.
4. Son olarak piksel bazlı hesaplanan yağış-akış parametresine dayalı pik debi değerleri, toplam alan ile çarpılarak havzanın pik debi değerleri bulunmuştur.

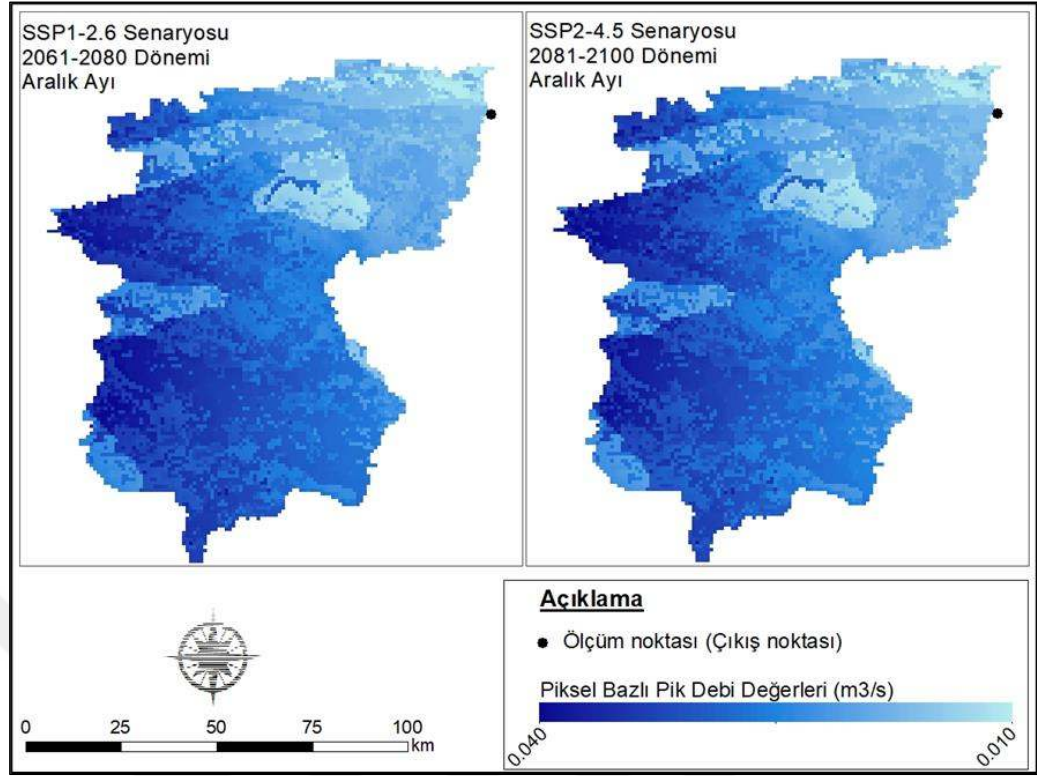
Tablo 4.1’de çalışma alanında; 3 farklı senaryo ve 4 farklı zaman dilimi için hesaplanan aylık pik debi değerleri verilmiştir. Sonuçlara göre; SSP1-2.6 senaryosu, 2061-2080 zaman aralığının Aralık ayında ve SSP2-4.5 senaryosu, 2061-2080 zaman aralığının yine Aralık ayında Q_{100} eşik değerinin aşıldığı tespit edilmiştir. Söz konusu eşik değeri $269.6\ m^3/s$ olup, Sakarya Havzası Taşkın Yönetim Planı raporunda Q_{100} senaryosu için RSA 139 hesaplama noktasındaki değerdir. Bu hesaplama noktası aynı zamanda, tezde pik debi hesaplamalarının yapıldığı havzanın çıkış noktasıdır.

Tablo 4.1. Çalışma alanı 1 için pik debi değerleri

Senaryo	Zaman aralığı	Aylara Göre Pik Debi Değerleri (m ³ /s)											
		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
SSP126	2021-2040	216	186	181	177	167	150	55	38	57	125	153	250
	2041-2060	228	185	193	176	167	148	58	38	54	126	160	248
	2061-2080	219	185	188	163	176	133	54	37	57	133	153	260
	2081-2100	221	181	184	173	183	129	54	40	56	125	159	256
SSP245	2021-2040	219	177	183	174	177	112	57	39	57	125	149	251
	2041-2060	219	180	175	178	165	131	55	39	57	126	154	250
	2061-2080	214	179	189	169	166	127	56	37	57	127	150	238
	2081-2100	216	182	177	183	174	139	53	37	53	123	163	264
SSP585	2021-2040	208	179	174	173	179	143	56	39	60	124	158	250
	2041-2060	216	184	181	177	165	133	54	38	56	121	150	245
	2061-2080	198	173	186	165	161	120	52	37	53	118	144	241
	2081-2100	188	172	169	164	155	120	51	37	50	107	143	227

*Mavi renkli yerler Q_{100} görülebilecek senaryolar

Şekil 4.2’de SSP1-2.6 senaryosu, 2061-2080 zaman aralığının Aralık ayı ve SSP2-4.5 senaryosu, 2061-2080 Aralık ayı için hesaplanan pik debi değerlerinin haritası verilmiştir. Pik debi hesaplamaları piksel bazlı yapılmış olup, havzanın pik debi değerinin hesaplanmasında bu piksel değerlerinin toplamı alınmıştır.



Şekil 4.2. Çalışma alanı 1 için piksel bazlı pik debi değerleri

4.2. Toplam Zarar ve Konumsal Riske Maruz Değer Bulguları

Bu bölümde, çalışmada elde edilen toplam zarar ve konumsal riske maruz değer hesaplamalarına ilişkin bulgular sunulmaktadır. Toplam zarar, rasyonel yöntem kullanılarak havza alanında hesaplanan pik debi değerleri temel alınarak belirlenmiştir. Pik debi hesaplamalarında, küresel iklim modellerinden elde edilen yağış verisi rasyonel yöntemde yağış yoğunluğu verisine dönüştürülerek kullanılmıştır.

Konumsal riske maruz değer analizleri, binaların Porsuk Çayına olan uzaklığı ve sel tehlikesinin gerçekleşme olasılığına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Binaların konumlarına göre sele maruz kalma olasılıkları değerlendirilmiş ve olasılıksal yöntemler kullanılarak riske maruz değer hesaplanmıştır. Bu yöntem ile sel tehlikesinin nasıl dağıldığı ve tehlike düzeyinin konum bazında nasıl farklılık gösterdiği ortaya konmuştur.

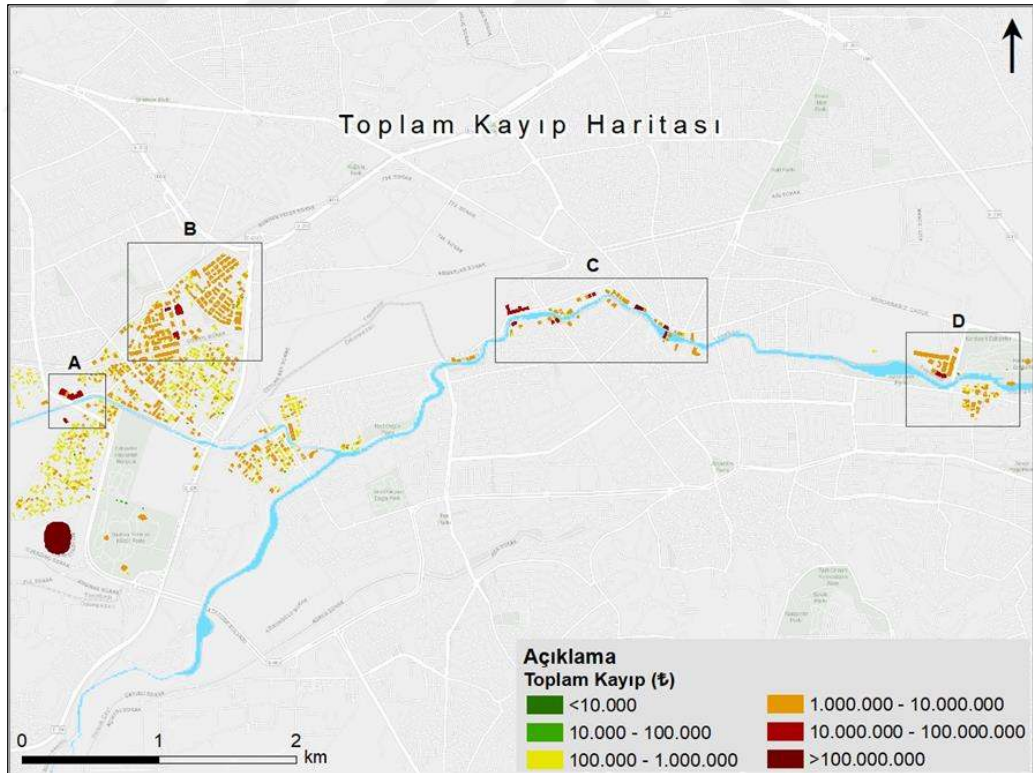
Elde edilen bulgular, toplam zarar büyüklüğünün pik debi ile doğrudan ilişkili olduğunu, konumsal riskin ise sel olasılığı ve binaların Porsuk Çayına olan mesafesiyle şekillendiğini göstermektedir. Bulguların, sel risk yönetimi ve yerel düzeyde alınacak önlemlerin planlanması için önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Öncelikle, elde edilen bulguların genel bir görünümü haritalandırılmıştır. Ardından, zararların yoğunlaştığı bazı bölgeler ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Bu

bölgeler, kent merkezinde yer alan dört alanı kapsamaktadır. Bölgeler, A, B, C ve D olarak adlandırılmıştır. A Bölgesindeki binalar Ertuğrulgazi ve Sazova Mahalleleri arasında kalan ve ortasından Sarısu Deresi geçen bölgede kalmaktadır. B Bölgesindeki sel tehlikesi altında olan binalar tamamen Ertuğrulgazi mahallesi sınırları içerisinde. C Bölgesi, Porsuk Çayı kenarında sıralanan ve Hoşnudiye, Cumhuriye, Mustafakemalpaşa, İstiklal ve Kırmızıtoprak Mahalleleri kesişiminde kalan binalardan oluşmaktadır. D Bölgesi, Gökmeydan ve Şeker Mahallerinin Porsuk Çayı sınırında kesiştikleri alanda kalan binalardan oluşmaktadır.

4.2.1. Toplam zarar bulguları

Toplam zarar bulguları, olası bir Q_{100} senaryosunda Porsuk Çayının taşması nedeniyle kent merkezindeki bina stokunda oluşacak parasal zararı vermektedir. Sel tehlikesinin yol açabileceği zararlar bina bazlı hesaplanmış ve haritalandırılmıştır. Haritalar, binalarda oluşacak yapısal hasar ve içerik hasarından kaynaklı toplam zararı göstermektedir. Şekil 4.3'te olası bir Q_{100} sel senaryosundaki, derinlik-hasar eğrileri ve yapı yaklaşık birim maliyetlerine göre hesaplanan toplam zarar haritası verilmiştir.



Şekil 4.3. Toplam zarar haritası

Q_{100} senaryosuna göre yapılan değerlendirmelere göre, toplamda 1611 bina olası sel tehlikesine maruz kalmaktadır. Bu binaların büyük bir kısmı, kentteki yaşam

alanlarının temelini oluşturan konut yapılarıdır. Bu konutlar, toplamda 1486 adet ile büyük bir paya sahiptir. Geriye kalan 116 bina ticari kullanım alanlarına ait olup, 9 bina ise sanayi yapıları olarak belirlenmiştir. Sel tehlikesinin söz konusu binalarda yaratacağı toplam zarar ise 3.629.522.320 TL olarak hesaplanmıştır.

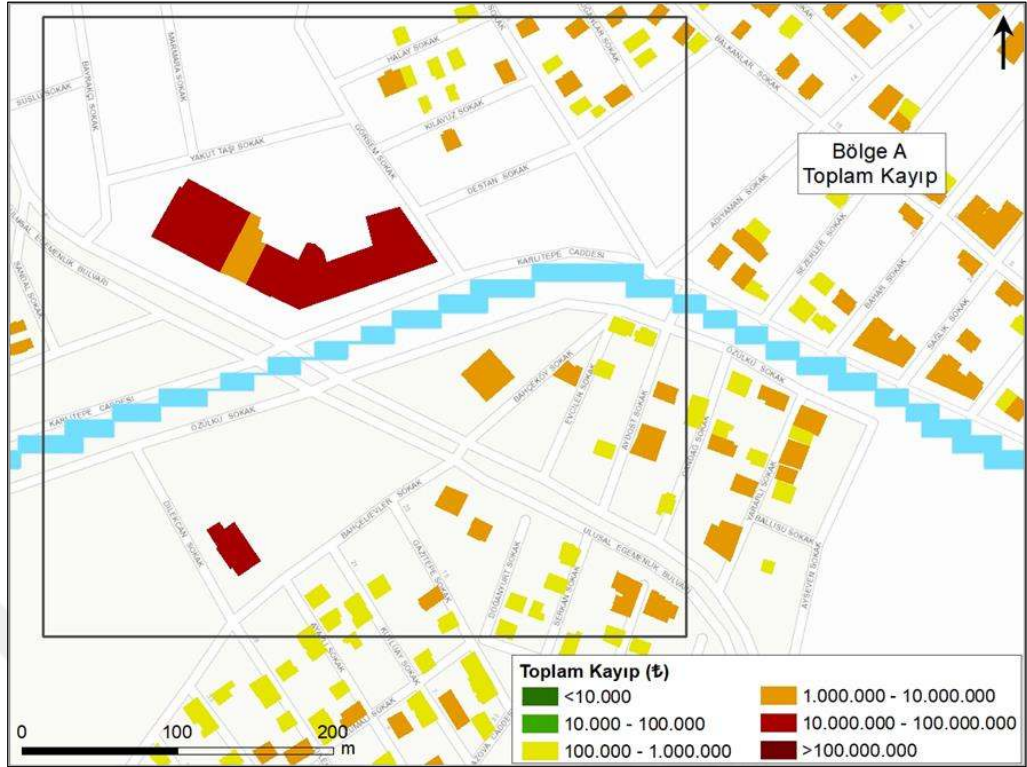
Toplam zararın dağılımı bina türlerine göre farklılık göstermektedir. Konut yapılarından kaynaklanan zarar, toplam zararın büyük bir kısmını oluşturarak 2.276.440.939 TL olarak hesaplanmıştır. Ticari yapılar ise 1.349.844.589 TL ile ikinci sırada yer almakta olup, sanayi yapılarından kaynaklanan zarar 3.236.792 TL ile en düşük seviyededir.

Bulgular, sel tehlikesinin farklı bina türleri üzerinde farklı derecelerde zararlara neden olacağını ve konutların, ticari alanların ve sanayi yapılarının ekonomik zararlarının birbirinden farklı olacağını açıkça ortaya koymuştur. Tablo 4.2’de, her bir bina türü için hesaplanan toplam zarar miktarları özetlenmiştir.

Tablo 4.2. *Bina türüne göre toplam zarar*

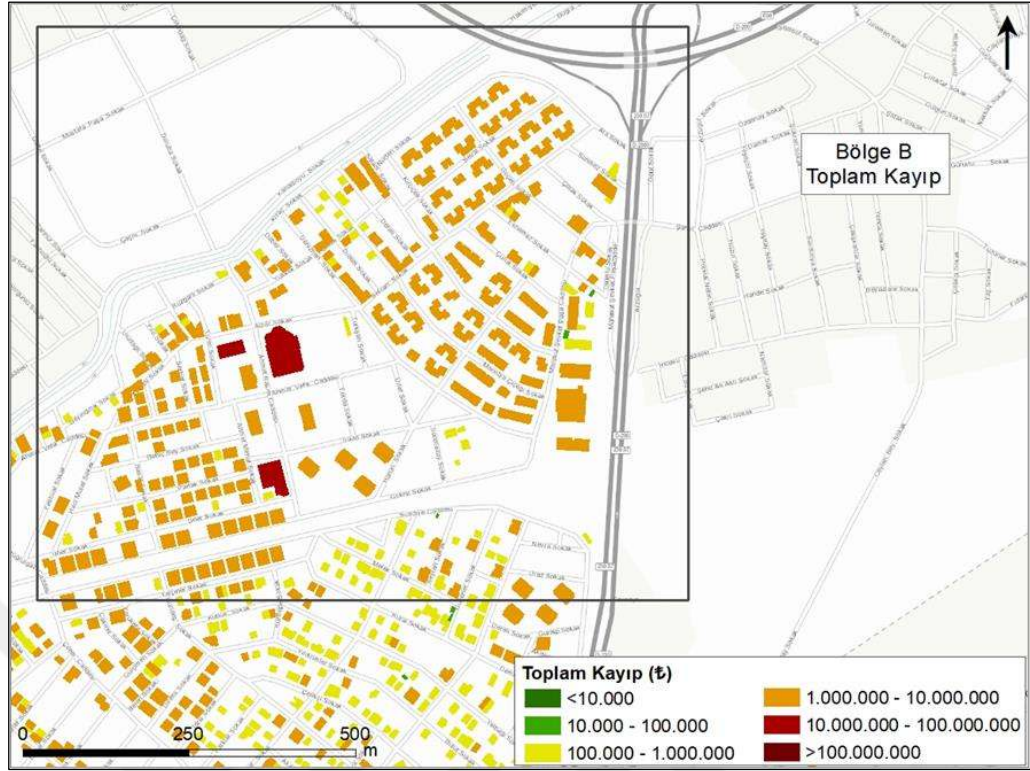
Bina türü	Bina adedi	Toplam zarar
Konut	1486	2.276.440.939 TL
Ticari	116	1.349.844.589 TL
Sanayi	9	3.236.792 TL
Toplam	1611	3.629.522.320 TL

Şekil 4.4’te gösterilen Sarısu Deresi kenarında kalan A Bölgesi hem konut hem de ticari binaların yer aldığı bir alandır. Bölgede yer alan yapıların sel tehlikesine maruz kalması durumunda bina bazlı zararların daha çok 100.000 TL-1.000.000 TL aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca bölgede toplam zararı 10.000.000 TL’yi aşan binaların da bulunduğu tespit edilmiştir. Bu yüksek zararlar, bölgedeki bazı binaların hem ticari kullanım özelliklerinden hem de fiziksel büyüklüğünden kaynaklanmaktadır. Özellikle ticari binalarda, yapı değerinin yanı sıra içinde bulunan mal ve ekipmanların ekonomik değeri (yani içerik hasarı), zarar miktarını önemli ölçüde artırmaktadır.



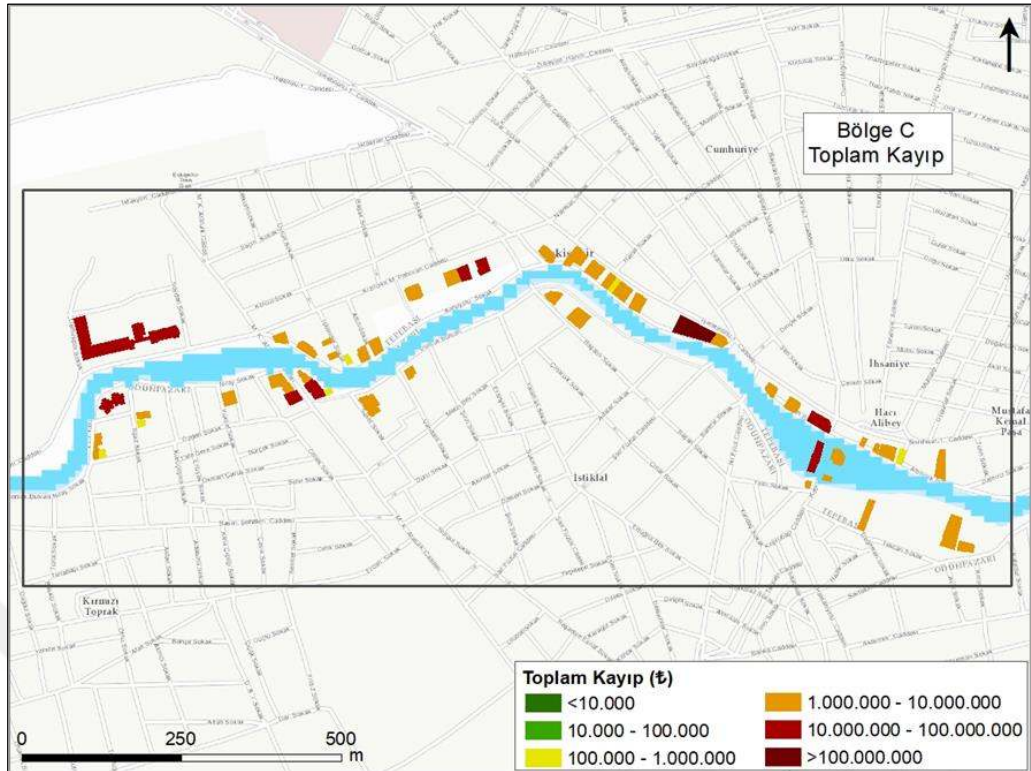
Şekil 4.4. Toplam zarar haritası (Bölge A)

Şekil 4.5'te gösterilen B Bölgesi, yapı stoku açısından ağırlıklı olarak konutlardan oluşmaktadır. Bölge genelinde konut yapıları belirgin bir yoğunluğa sahipken, bunların arasında az sayıda da olsa ticari binalar bulunmaktadır. Sel tehlikesine bağlı olarak bu bölgedeki binalarda oluşacak toplam zararın büyük bir kısmı, 1.000.000 TL ile 10.000.000 TL arasında değişmektedir. Bununla birlikte, 10.000.000 TL'yi aşan toplam zararların da görüldüğü tespit edilmiştir. Bu yüksek zararlar, genellikle ticari binaların bulunduğu alanlarda ortaya çıkmaktadır.



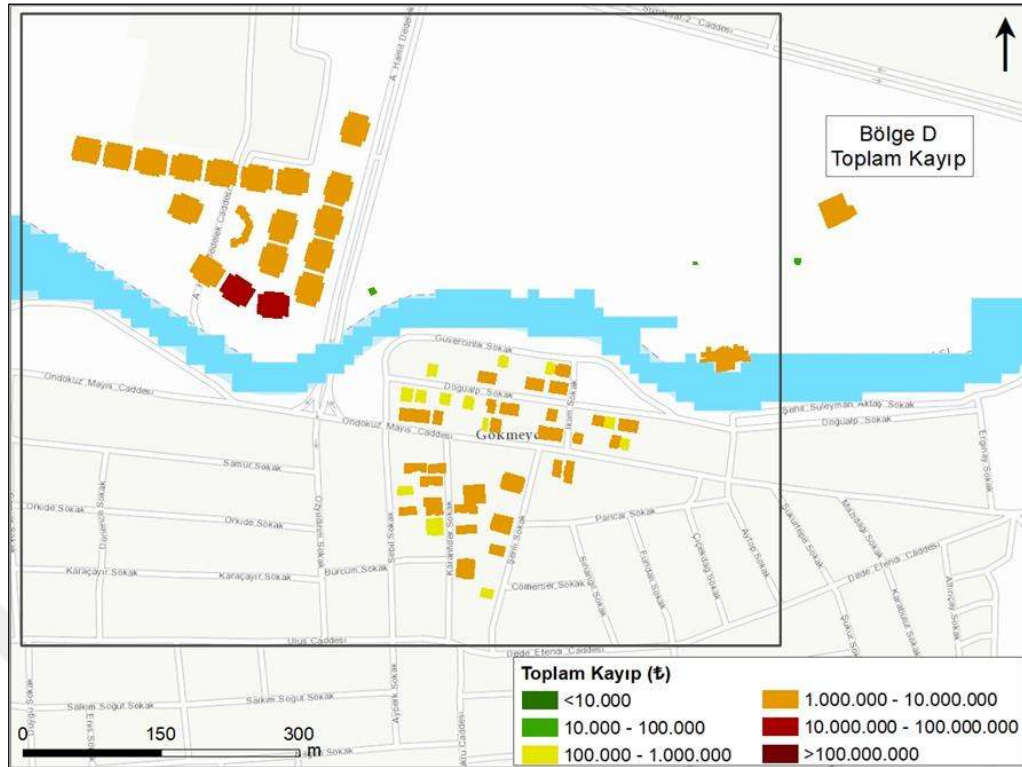
Şekil 4.5. Toplam zarar haritası (Bölge B)

Şekil 4.6’da C Bölgesine ait detaylar sunulmuştur. Bu bölge, Porsuk Çayı boyunca sıralanmış binalardan oluşmakta olup, konut ve ticari yapıların bir arada bulunduğu karma bir alan niteliğindedir. Bölgedeki yapı stokunun bu çeşitliliği, C Bölgesi’nin hem yerleşim hem de ticaret açısından aktif bir bölge olduğunu göstermektedir. Sel tehlikesine bağlı olarak, bu bölgedeki bina bazlı zararlar genellikle 1.000.000 TL ile 10.000.000 TL arasında değişen bir aralıktadır. Bölgedeki ticari yapıların bir kısmında 10.000.000 TL’yi aşan zararlar olduğu da tespit edilmiştir. Bu yüksek zarar değerleri, ticari yapıların genellikle daha büyük ölçekli olması, daha yüksek yapı değerine sahip olması ve içerisinde bulunan ekipman, malzeme ve ticari stokların ekonomik değerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. C Bölgesi’nin Porsuk Çayı boyunca yer alması, sel tehlikesinin bu alanda daha belirgin hale gelmesine neden olmaktadır. Bölgenin coğrafi konumu ve yapı stokunun çeşitliliği, selin etkilerinin bina türlerine göre farklılık göstermesine yol açmaktadır. Konutlarda görece daha düşük zararlar görülürken, ticari yapılarda daha yüksek zararlar görülmektedir.

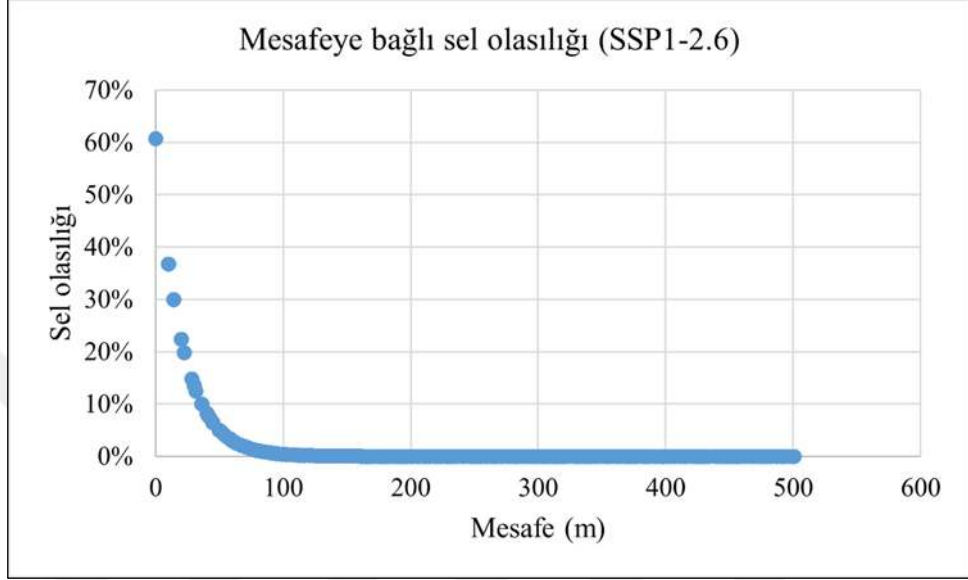


Şekil 4.6. *Toplam zarar haritası (Bölge C)*

Şekil 4.7’de gösterilen bölge, Gökmeysan ve Şeker Mahallelerinin Porsuk Çayı kıyısında kesiştiği alanda yer alan binaları kapsamaktadır. Bölgenin yapı stoku büyük oranda konutlardan oluşmakta olup, ticari yapıların varlığı sınırlıdır. Bu durum, bölgenin ağırlıklı olarak yerleşim amaçlı bir alan olduğunu göstermektedir. Sel tehlikesi altında, bölgedeki bina bazlı zararların yoğunlaştığı aralık 1.000.000 TL ile 10.000.000 TL arasında değişmektedir. Ayrıca, bazı binalarda 10.000.000 TL’yi aşan zararlar da tespit edilmiştir. Bu yüksek zararlar, bölgedeki az sayıdaki büyük yapının selden etkilenmesi durumunda ortaya çıkabilecek zararı göstermektedir. D Bölgesinin, Porsuk Çayının yakınında konumlanması, sel tehlikesinin binalar üzerinde daha belirgin etkiler yaratmasına neden olmaktadır. Bu durum, özellikle çayın kıyısına yakın yapıların daha yüksek risk altında olduğunu ortaya koymaktadır. Bölgedeki bu zarar dağılımı, sel kaynaklı zararların yapı değerleri ve fiziksel konum ile doğrudan ilişkili olduğunu vurgulamaktadır.

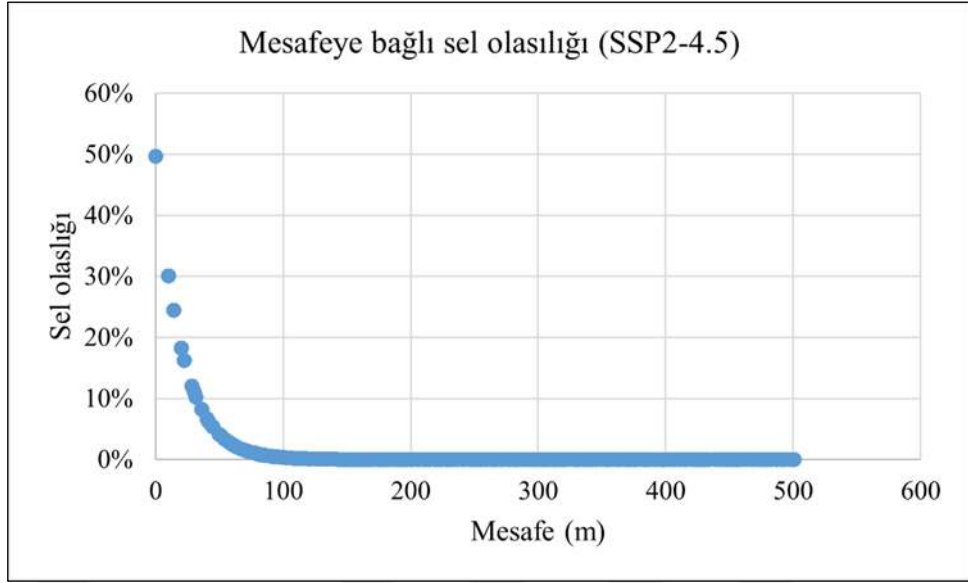


azaldığı görülmektedir. Çaya yakın mesafelerde sel olasılığı oldukça yüksekken (yaklaşık %60 kadar), mesafe arttıkça bu olasılık eksponansiyel olarak düşmekte ve 200 metre mesafeden sonra neredeyse sıfıra yaklaşmaktadır. Bu eğilim, üstel fonksiyonların temel bir özelliği olan hızlı azalmayı yansıtmaktadır. Porsuk Çayı çevresinde yer alan binalar sel tehlikesi açısından yüksek tehdit altındadır.



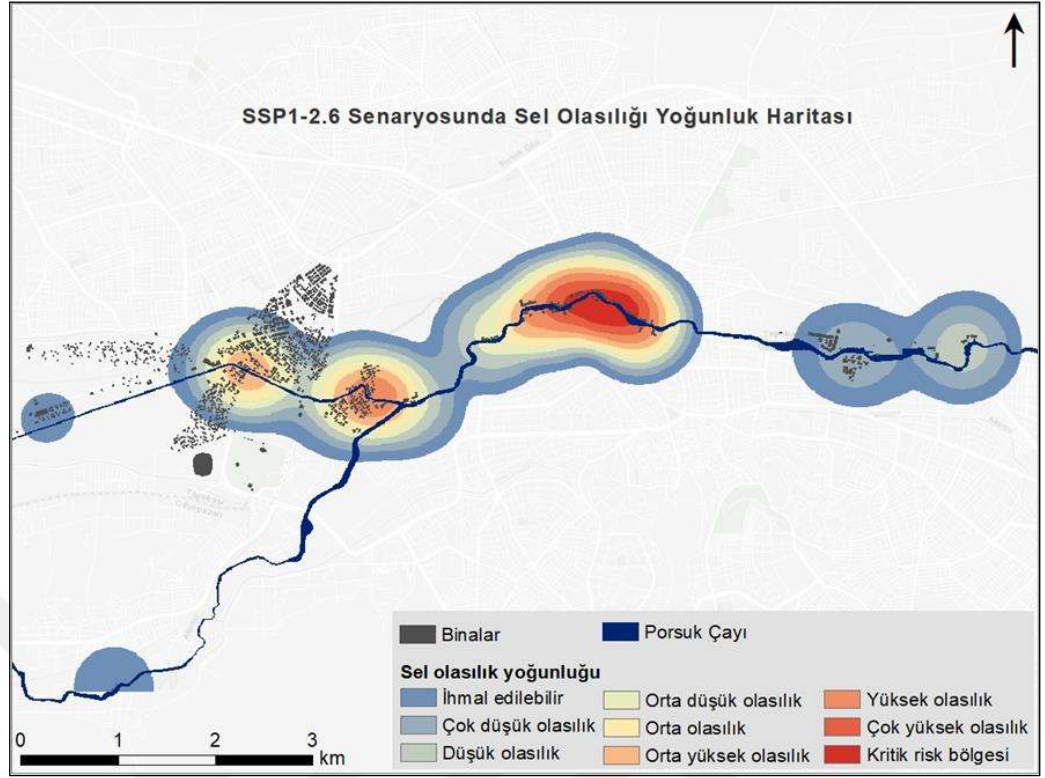
Şekil 4.8. SSP1-2.6 senaryosunda mesafeye bağlı sel olasılığı

Şekil 4.9'da SSP2-4.5 senaryosunda, mesafeye bağlı sel olasılığının üstel dağılımı verilmiştir. Grafikte, binaların Porsuk Çayı'na olan mesafesine göre sel maruziyeti olasılığındaki değişim görülmektedir. Porsuk Çayı'na olan uzaklık ne kadar az ise sel olasılığı belirgin bir şekilde çoktur. Özellikle 50 metre ve daha yakın mesafelerde sel olasılığı %50'ye yaklaşmaktadır. Mesafe arttıkça olasılık hızlı bir şekilde azalarak 100 metre civarında %10'un altına inmektedir. 200 metreyi aşan mesafelerde ise olasılık ihmal edilebilir seviyelere gerilemektedir. Porsuk Çayı'nın çevresindeki alanlarda riskin çaydan uzaklaştıkça azaldığı açıkça görülmektedir.



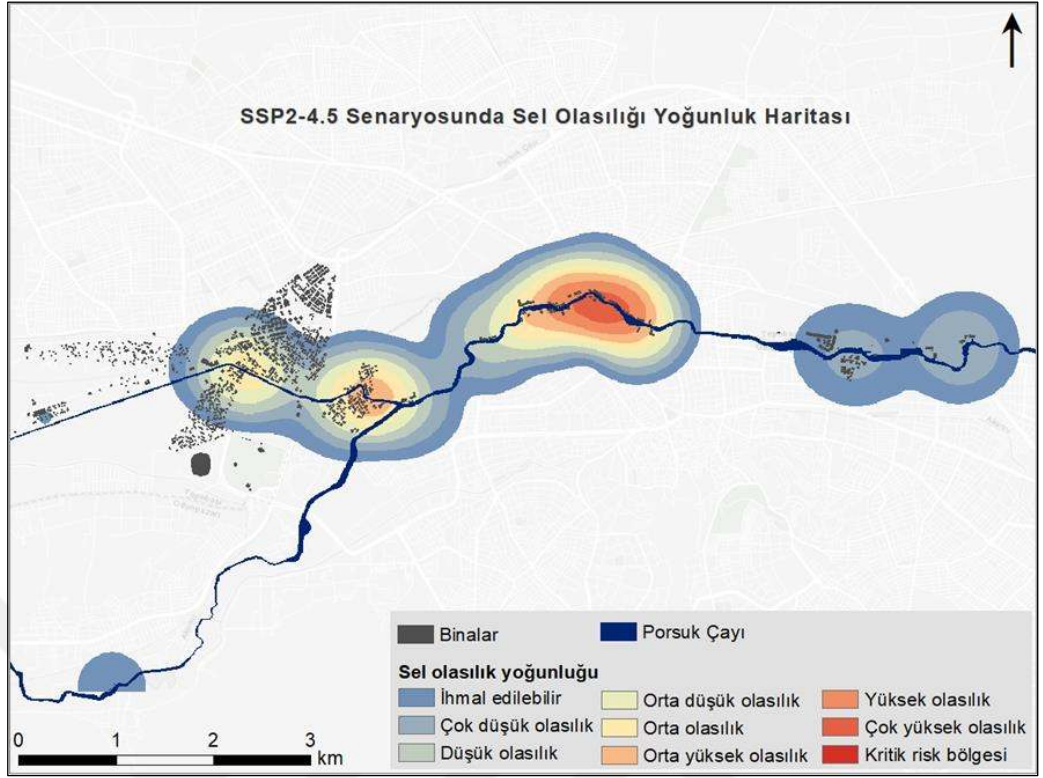
Şekil 4.9. SSP2-4.5 senaryosunda mesafeye bağı sel olasılığı

Şekil 4.10’da SSP1-2.6 senaryosuna göre olasılık yoğunluk haritası verilmiştir. Kernel Density analizi ile oluşturulan harita, Porsuk Çayı boyunca binaların sele maruz kalma olasılıklarının mekânsal yoğunluk dağılımını göstermektedir. Harita, binaların sel olasılığı yoğunluklarını yansıtarak Porsuk Çayı’nın taşma riski yüksek olan bölgelerinde sel olasılıklarının arttığını ortaya koymaktadır. Sel olasılığı, ihmal edilebilir den kritik risk seviyesine kadar dokuz sınıfa ayrılmıştır. Kırmızı ve turuncu tonlarla gösterilen alanlar, binaların yüksek ve çok yüksek sel olasılığına maruz kaldığını ifade etmektedir. Bu bölgeler, sel olasılığının yüksek seviyelerde olduğu alanlardır. Porsuk Çayı’nın taşması durumunda sel etkilerinin en çok hissedileceği bölgeleri işaret etmektedir. Sarı ve yeşil tonlarla gösterilen orta riskli alanlar, sel olasılığının sınırlı olduğu bölgelerdir. Mavi tonlu alanlar ise ihmal edilebilir düzeyde sel olasılığına sahip bölgelerdir. Çayın batı ve doğu uçlarında olasılık yoğunluğu nispeten düşükken (mavi ve yeşil tonlar), merkezi kesimlerde kritik risk bölgeleri (kırmızı tonlar) belirginleşmiştir.



Şekil 4.10. SSP1-2.6 senaryosunda sel olasılığı yoğunluk haritası

Şekil 4.11’de SSP2-4.5 senaryosuna göre olasılık yoğunluk haritası verilmiştir. SSP2-4.5 senaryosu temel alınarak oluşturulan bu harita, Porsuk Çayı çevresindeki binaların sel olasılıklarının mekânsal yoğunluk dağılımını göstermektedir. Kernel Density yöntemiyle yapılan analiz, sel olasılığının belirli bölgelerde yoğunlaşarak daha belirgin risk alanları oluşturduğunu göstermektedir. Haritada en yüksek yoğunluk seviyeleri (turuncu ve kırmızı alanlar), çayın orta kesimlerinde görülmektedir. Bu bölgelerde, bina yoğunluğunun fazla olduğu ve sel olasılığının kritik düzeye ulaştığı gözlenmiştir. Sarı ve açık yeşil renklerle temsil edilen orta seviyeli alanlarda, binaların sele maruz kalma olasılığı daha sınırlıdır. Çayın doğu ve batı uçlarında olasılık yoğunluğunun oldukça düşük olduğu (mavi bölgeler) görülmektedir. Dağılım, sel olasılığının özellikle çayın yakın çevresinde yoğunlaştığını ve bu alanlarda müdahale gereksiniminin daha fazla olduğunu işaret etmektedir.



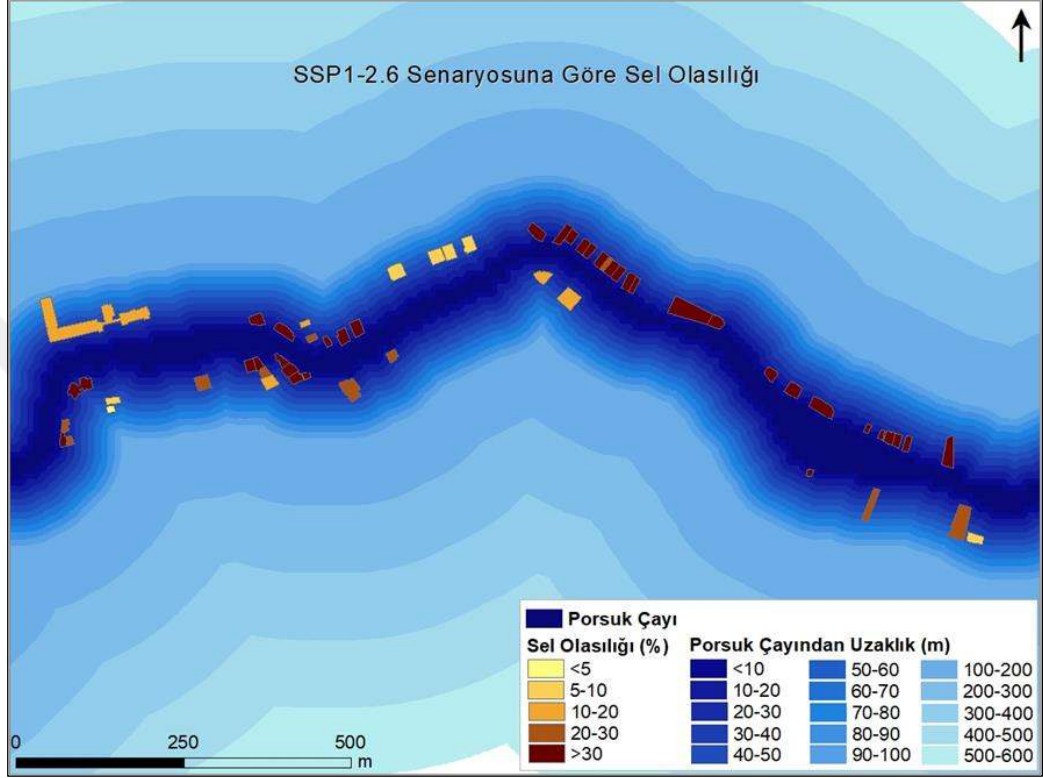
Şekil 4.11. SSP2-4.5 senaryosunda sel olasılığı yoğunluk haritası

SSP1-2.6 ve SSP2-4.5 senaryoları arasında, sel olasılıklarının mekânsal dağılımında farklılıklar görülmektedir. SSP1-2.6 senaryosu, daha yüksek yağış öngörülleri nedeniyle binaların sele maruz kalma olasılığının belirgin şekilde arttığı bir durumu temsil etmektedir. Özellikle çayın orta kesimlerinde ve çevresindeki binalarda sel olasılığı kritik düzeye ulaşmaktadır. Ayrıca, düşük ve orta risk seviyeleri (yeşil ve sarı tonlar) SSP1-2.6 senaryosunda daha geniş bir alana yayılmıştır. Buna karşılık, SSP2-4.5 senaryosu altında daha düşük yağış beklentisi nedeniyle binaların sele maruz kalma olasılıkları belirgin şekilde azalmış, yüksek risk bölgeleri sınırlı kalmıştır. Bu senaryoda, çayın çevresinde yalnızca dar bir alanda orta ve yüksek risk bölgeleri (turuncu ve sarı tonlar) gözlemlenmiştir. Çoğu alan mavi ve yeşil tonlarla temsil edilmekte ve bu durum sel olasılığının ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, SSP1-2.6 senaryosunda binaların sele maruz kalma olasılığı daha yüksek bir yayılım ve yoğunluk sergilerken, SSP2-4.5 senaryosu altında daha düşük olasılıklar görülmektedir. Bu farklılık, emisyon senaryoları altında beklenen yağışın binaların sele maruz kalma olasılıkları üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır.

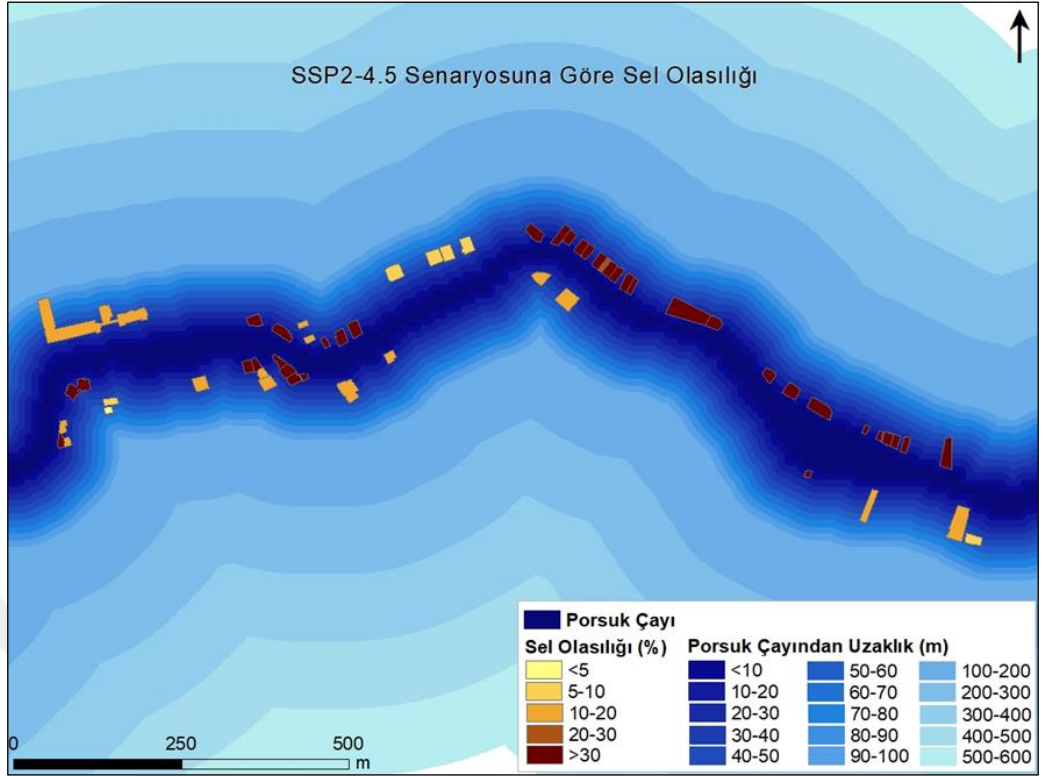
Şekil 4.12’de Porsuk Çayı kıyısında yer alan Hoşnudiye, Cumhuriye, Mustafakemalpaşa, İstiklal ve Kırmızıtoprak mahallelerindeki binaların SSP1-2.6

senaryosuna göre sel olasılıkları gösterilmiştir. Binaların sel riski, Porsuk Çayı'na olan mesafelerine göre belirgin bir şekilde değişiklik göstermektedir. Çaya en yakın olan binalar, %30'un üzerinde sel olasılığı ile en yüksek riske sahiptir. Bu binalar genellikle çayın 10 metre yakınına konumlanmıştır ve sel olasılığı açısından en kritik bölgeler arasında yer almaktadır.



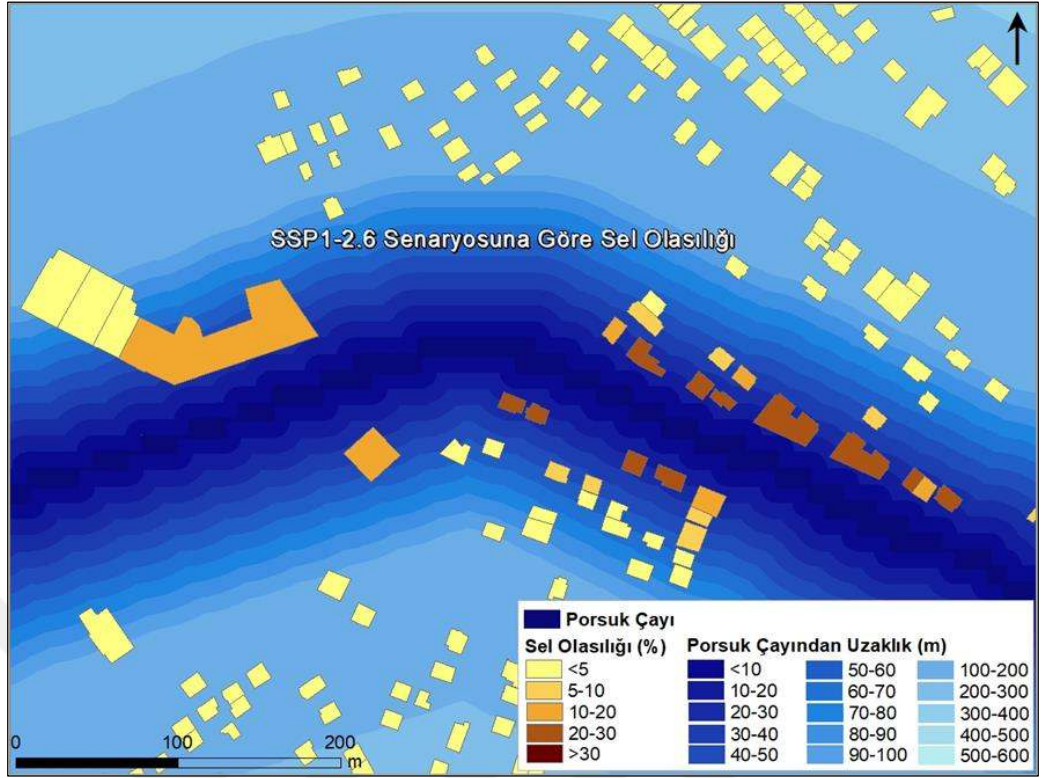
Şekil 4.12. SSP1-2.6 senaryosuna göre sel olasılığı (alan 1)

Şekil 4.13'te, Hoşnudiye, Cumhuriye, Mustafakemalpaşa, İstiklal ve Kırmızıtoprak mahallelerinde, Porsuk Çayı'nın kenarında sıralanmış binaların SSP2-4.5 senaryosuna göre sel olasılıkları verilmiştir. SSP2-4.5 senaryosu, SSP1-2.6 senaryosuna göre daha düşük sel olasılığına sahiptir. Bu nedenle binaların sele maruz kalma olasılıkları da görece daha düşüktür. Bu senaryoda, binaların sel olasılığı %50'nin altında kalırken, SSP1-2.6 senaryosunda bazı bölgelerde bu oran %60'a kadar yükselmektedir.



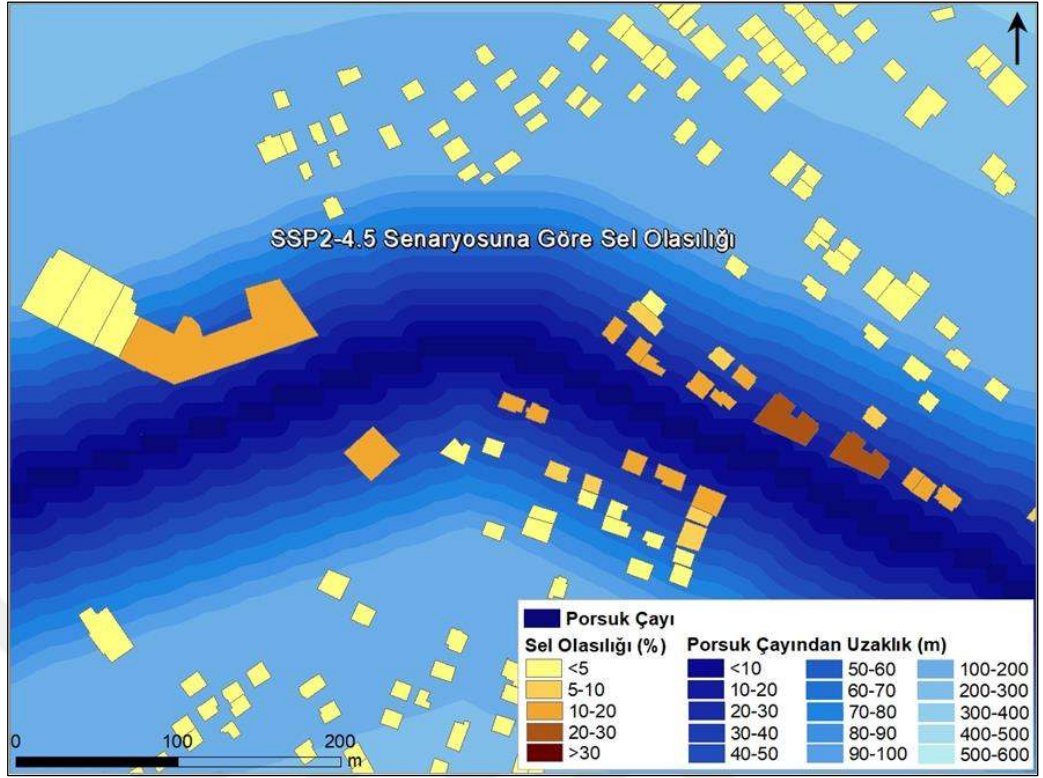
Şekil 4.13. SSP2-4.5 senaryosuna göre sel olasılığı (alan 1)

Şekil 4.14'te, SSP1-2.6 senaryosuna göre Ertuğrulgazi ve Sazova Mahallelerindeki binaların sel maruziyetinin farklı olasılık seviyeleri gösterilmiştir. Haritada görüldüğü üzere, Porsuk Çayı'na 10 metre mesafede bulunan binalar yüksek sel tehlikesi (%20-%30 ve üzeri) ile karşı karşıyadır. Çaya en yakın mesafede bulunan yapılar, sel tehlikesine daha fazla maruz kalmaktadır. Porsuk Çayı'na olan mesafe arttıkça sel olasılığında belirgin bir düşüş gözlenmektedir. 20 ile 50 metre arasındaki binalarda sel olasılığı %10-%20 arasında değişirken, 50 metrenin ötesinde yer alan binalar için bu değer genellikle %5'in altına düşmektedir.



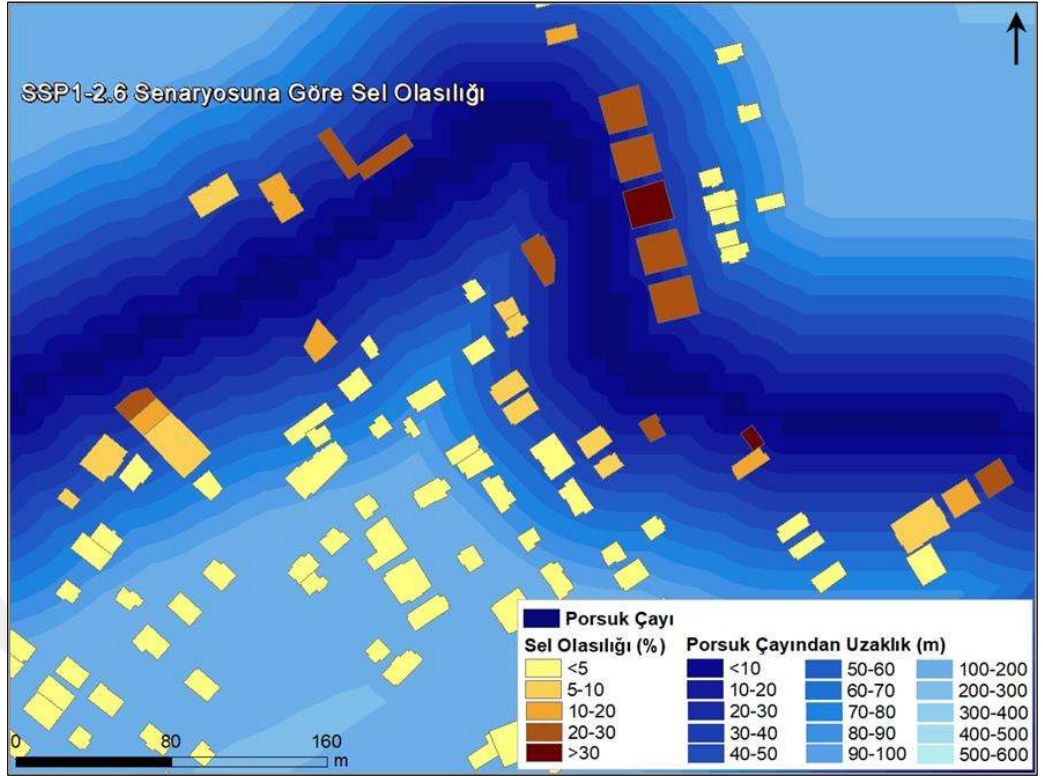
Şekil 4.14. SSP1-2.6 senaryosuna göre sel olasılığı (alan 2)

Şekil 4.15'te SSP2-4.5 senaryosunda Ertuğrulgaz ve Sazova Mahallelerinde bulunan ve Porsuk Çayı çevresindeki binaların sel tehlikesi, mesafeye ve çayın taşkın potansiyeline bağlı olarak farklılık göstermektedir. Özellikle çaya 10 metreye kadar olan bölgelerde yer alan yapılar, %30'un üzerinde bir sel olasılığıyla en yüksek risk grubunda yer almaktadır. Porsuk Çayı'ndan uzaklaştıkça risk seviyelerinde belirgin bir azalma görülmektedir. Çaydan 20 ile 50 metre arasında yer alan binalar için sel olasılığı %10 ile %20 arasında değişirken, 50 metreden daha uzak bölgelerde sel olasılığı %5 ve altına düşmektedir.



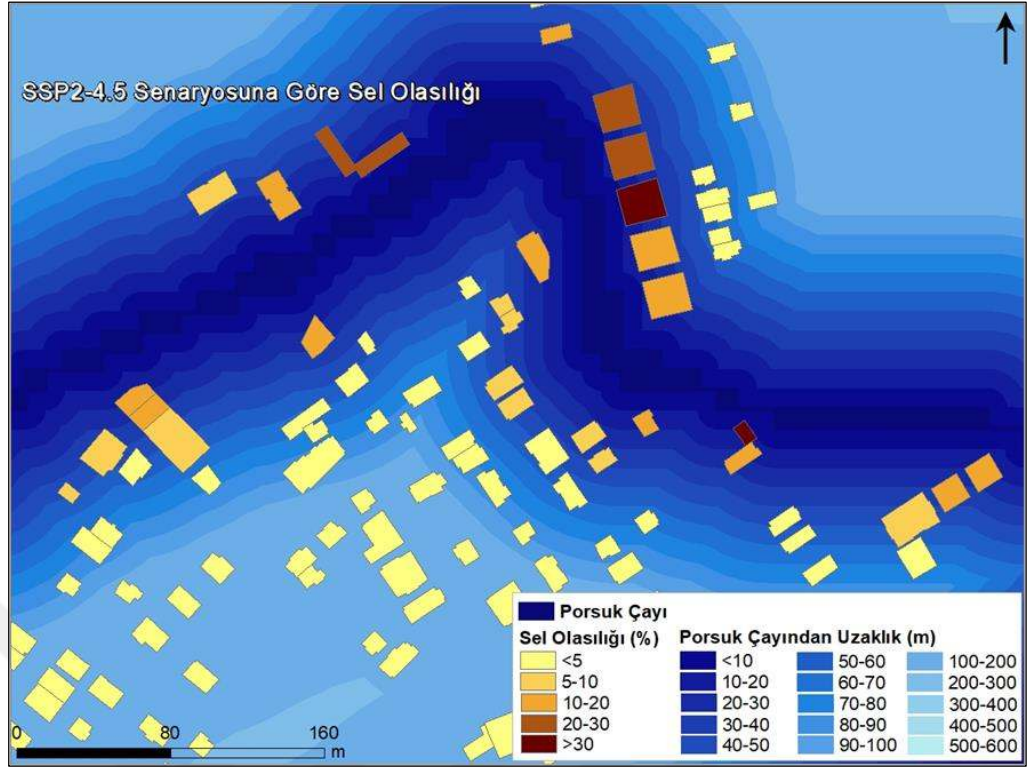
Şekil 4.15. SSP2-4.5 senaryosuna göre sel olasılığı (alan 2)

Şekil 4.16’da SSP1-2.6 iklim senaryosu kapsamında, Sümer ve Osmangazi Mahallelerindeki binaların Porsuk Çayı kaynaklı sel olasılığı verilmiştir. Özellikle Porsuk Çayı’na 10 metreye kadar olan mesafede yer alan yapıların, %30’un üzerinde bir sel olasılığı ile kritik risk altında olduğu belirlenmiştir. Çaya olan mesafe arttıkça, sel olasılıklarında kademeli bir azalma tespit edilmiştir. Çaydan 10-30 metre uzaklıkta bulunan binaların sele maruz kalma olasılığı %10 ile %20 arasında değişirken, 50 metreden daha uzak alanlarda sel olasılığı %5’in altına inmektedir. Bu durum, Porsuk Çayı’nın sel olasılığının sınırlı bir mesafede yoğunlaştığını ve mesafe arttıkça sel tehlikesinin önemli ölçüde azaldığını göstermektedir.



Şekil 4.16. SSP1-2.6 senaryosuna göre sel olasılığı (alan 3)

Şekil 4.17’de SSP2-4.5 senaryosu çerçevesinde Sümer ve Osmangazi Mahallelerinde Porsuk Çayı’na yakın binaların sele maruz kalma olasılığı görülmektedir. Özellikle çaya 10 metreye kadar olan mesafede bulunan binalar, %30’un üzerinde sel olasılığı taşıyarak sel tehlikesine karşı en hassas bölgeleri oluşturmaktadır. Porsuk Çayı’ndan uzaklaştıkça sel olasılık seviyesinde azalma görülmektedir. Çaydan 10-30 metre mesafedeki yapıların sel olasılığı %10 ile %20 arasında değişmektedir. 50 metre ve üzerindeki alanlarda ise sel olasılığı daha da azalarak genellikle %5’in altına inmektedir. SSP2-4.5 senaryosu, daha ılımlı bir iklim değişikliği varsayımına dayanmasına rağmen, Porsuk Çayı’na yakın binaların sel tehdidinden ciddi şekilde etkileneceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.17. SSP2-4.5 senaryosuna göre sel olasılığı (alan 3)

Sel olasılığı haritaları, sel risk yönetimi açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Özellikle Porsuk Çayı'na çok yakın konumda bulunan binalar, sel tehlikesini azaltmaya yönelik öncelikli müdahale alanları olarak ele alınmalıdır. Yüksek riskli bölgelerde yapı güçlendirme, sel önleme yapıları ve tahliye planları geliştirilebilir. Daha düşük riskli bölgelerde ise mevcut durumun korunması ve uzun vadeli kentsel dönüşüm stratejilerinin planlanması faydalı olacaktır.

Tablo 4.3'te toplam zarar ile SSP1-2.6 ve SSP2-4.5 senaryolarındaki riske maruz değerlerin bina türüne göre toplam değerleri verilmiştir.

Tablo 4.3. Bina türlerine göre toplam zarar ve riske maruz değer sonuçları

Bina türü	Bina adedi	Toplam zarar	SSP1-2.6 senaryosuna göre riske maruz değer	SSP2-4.5 senaryosuna göre riske maruz değer
Konut	1486	2.276.440.939 TL	1.946.031 TL	260.851 TL
Ticari	116	1.349.844.589 TL	507.103.230 TL	15.917.880 TL
Sanayi	9	3.236.792 TL	4.079 TL	910 TL
Toplam	1611	3.629.522.320 TL	509.053.340 TL	16.179.641 TL

Konutlar, toplamda 1486 adetle en geniş yapı stokunu oluşturmaktadır. Bu binalardan kaynaklanan toplam zarar 2.276.440.939 TL olarak hesaplanmıştır. Konutlar için riske maruz değer, SSP1-2.6 senaryosuna göre 1.946.031 TL olarak öngörülmüşken, SSP2-4.5 senaryosunda bu değer 260.851 TL olarak belirlenmiştir. Konutlar toplam zarar açısından en yüksek değere sahip bina türüyken, riske maruz değer açısından daha düşük değerlere sahiptir.

Ticari binalar 116 adetle yapı stokunun daha küçük bir kısmını oluşturmakla birlikte, toplam zarar açısından önemli bir paya sahiptir. Bu binalardan kaynaklanan toplam zarar 1.349.844.589 TL'dir. Riske maruz değer açısından SSP1-2.6 senaryosunda bu zarar 507.103.230 TL olarak hesaplanırken, SSP2-4.5 senaryosunda bu değer 15.917.880 TL olarak öngörülmüştür. Ticari bina zararlarının, konut binalarına kıyasla daha düşük olmasına rağmen, yapı başına ekonomik etkisinin yüksek olduğu görülmektedir.

Sanayi binaları, yalnızca 9 adetle en küçük yapı grubunu oluşturmaktadır. Toplam zarar miktarı 3.236.792 TL olarak hesaplanmıştır. Riske maruz değer açısından SSP1-2.6 senaryosunda bu zarar 4.079 TL, SSP2-4.5 senaryosunda ise 910 TL olarak tahmin edilmiştir. Sanayi yapılarının düşük sayıda olması, toplam zararlar üzerindeki etkisini sınırlı tutmaktadır.

SSP1-2.6 senaryosunda, sel olasılığı daha yüksek tahmin edilmiş ve riske maruz değer açısından daha yüksek sonuçlar tespit edilmiştir. Bu senaryo altında, tüm bina türleri için belirlenen riske maruz değer 509.053.340 TL olarak hesaplanmıştır. Bu durum, olası bir sel olayında belirtilen zararın aşılma olasılığının %5 ile sınırlı olduğu anlamına gelmektedir. Benzer şekilde, SSP2-4.5 senaryosunda riske maruz değer 16.179.641 TL olarak belirlenmiştir. Bu durumda sel kaynaklı zararın bu değeri aşma olasılığı maksimum %5 olacaktır. Bu veriler, farklı iklim değişikliği senaryolarına göre sel tehlikesi ve potansiyel zararların nasıl değiştiğini ortaya koymaktadır. SSP1-2.6 senaryosu, SSP2-4.5 senaryosuna göre daha yüksek bir riske maruz değer sunmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez finans teorisi ve coğrafi bilgi teknolojilerinin entegrasyonu ile konumsal finans yaklaşımını benimseyerek risk analizlerine yenilikçi bir bakış açısı sunmaktadır. Küresel iklim modellerinden elde edilen yağış verileri, yağış-akış parametresine dayalı pik debi tahmininde yağış yoğunluğu değişkeni olarak kullanılmıştır. Yağış-akış parametresine dayalı pik debi hesaplamalarındaki akış katsayısı CORINE arazi örtüsü ve hidrolojik toprak grubu verileri ile hesaplanmış ve kent merkezini kapsayan havza alanı için pik debi değerleri belirlenmiştir.

Pik debi değerleri Sakarya Havzası Taşkın Yönetim Planındaki eşik değerler ile karşılaştırılmış ve bu eşiklerin aşılması durumunda Q_{100} sel senaryosunun gerçekleşeceği varsayılmıştır. Bu senaryodaki sel yayılım ve derinlik bilgileri ile derinlik-hasar katsayıları yardımıyla kent merkezindeki bina stokunun olası bir sele maruz kalması durumunda ortaya çıkacak toplam zarar hesaplanmıştır. Ardından, selin gerçekleşme olasılığı ve binaların Porsuk Çayı'na olan uzaklığı dikkate alınarak riske maruz değerler tespit edilmiştir.

Konut türündeki binalarda toplam zarar 2.276.440.939 TL olarak hesaplanmış; SSP1-2.6 iklim senaryosunda bu yapıların riske maruz değeri 1.946.031 TL, SSP2-4.5 senaryosunda ise 260.851 TL olarak bulunmuştur. Ticari yapılar için toplam zarar 1.349.844.589 TL iken, bu yapıların riske maruz değerleri SSP1-2.6 senaryosunda 507.103.230 TL, SSP2-4.5 senaryosunda ise 15.917.880 TL olarak hesaplanmıştır. Sanayi binalarında ise toplam zarar 3.236.792 TL ile sınırlı kalmış, SSP1-2.6 senaryosunda riske maruz değer 4.079 TL, SSP2-4.5 senaryosunda ise 910 TL olarak tespit edilmiştir.

Toplamda 1611 binanın sele maruz kalması durumunda 3.629.522.320 TL'lik bir zarar meydana geleceği hesaplanmıştır. İklim senaryolarına göre riske maruz değer ise SSP1-2.6 senaryosunda 509.053.340 TL, SSP2-4.5 senaryosunda 16.179.641 TL olarak bulunmuştur.

Kent merkezindeki yapı stokunun büyük bir kısmını oluşturan konut binaları toplam zararın %62'sini temsil etmektedir. Ticari yapılar toplam zararın yaklaşık %37'sini oluştururken, sanayi binalarında zarar daha sınırlı kalmıştır. Bununla birlikte, ticari binaların daha yüksek riske maruz değerler taşıması, ekonomik açıdan kritik alanların sel risk yönetiminde dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Mevcut bilimsel veriler ve çalışmalar gelecekte iklim değişikliğine bağlı tehlike ve afetlerin daha sık ve yoğun olacağını göstermektedir. Özellikle sel, kuraklık, aşırı sıcaklık ve orman yangını gibi iklimle ilişkili olayların hem doğal ekosistemler hem de insan yerleşimleri üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratması beklenmektedir. Küresel iklim değişikliğiyle mücadele için uluslararası düzeyde gösterilen çabalar çoğu zaman yetersiz kalmakta ve yerel düzeyde pek fazla uygulamaya geçmemektedir.

İklim değişikliğine bağlı afetler çevresel etkiler yanında çok ciddi ekonomik sonuçlar yaratmaktadır. Bu nedenle afet sonrası ortaya çıkan zararların finansmanı önemli bir konu haline gelmektedir. Afetler nedeniyle ortaya çıkan zararın bireysel olarak ya da tek bir kurum tarafından karşılanması mümkün değildir. Bu afetlerin yol açtığı zararların finansmanı bireylerin, yerel yönetimlerin, sigorta şirketlerinin ve uluslararası kuruluşların iş birliği ile sağlanmalıdır. Sel nedeniyle meydana gelebilecek olası zararların finansmanı bireyler (bina sahipleri), yerel yönetimler, bankalar ve finansal kuruluşlar, hükümetler ya da uluslararası kuruluşlar tarafından sağlanabilir. Doğal Afet Sigortaları Kurumu (DASK), Zorunlu Deprem Sigortası ile depremin ve deprem sonucu meydana gelen yangın, infilak, tsunami ve yer kaymasının doğrudan neden olacağı maddi zararları, poliçede belirtilen limitler dahilinde nakit olarak karşılayan bir sigortadır ([http-15](http://15)). Zorunlu Deprem Sigortası gibi sel olayları için de bir sigorta türü Türkiye’de uygulanabilir. Sigorta uygulamasının olmaması durumunda ise bireyler zararları kişisel birikimleri ya da kredi ile karşılayabilirler. Sel nedeniyle oluşacak zararların bir diğer finansman kaynağı yerel yönetimlerdir. Bu durumda kent merkezinde meydana gelen bir selin finansman kaynağı belediyeler olacaktır. Belediyeler acil durum fonları ya da afet sonrası iyileştirme çalışmaları için ayrılan bütçeleri ile zararları finanse edebilirler. Ayrıca belediyeler sel sonrası binaların onarımları sürecinde vergi indirimleri ya da teşvikleri uygulayabilirler. Bankalar, sel sonrası düşük faizli krediler ile bina sahiplerinin hasarları onarmasına yardımcı olabilir. Mevcut ev kredisi sahiplerine borçlarını yeniden yapılandırma ya da ödemesiz dönemler tanıyarak, sel sonrası onarım sürecine katkı sağlayabilirler. Hükümetler selden etkilenen vatandaşlara tazminat, hibe veya kredi desteği sağlayabilirler. Türkiye’de afet yönetimi kapsamında AFAD gibi kuruluşlar bu tür destekler sunmaktadır. Dünya Bankası, Birleşmiş Milletler, Avrupa Birliği ya da diğer uluslararası kuruluşlar, sel sonrası yeniden yapılanma için finansman kaynağı olabilirler.

Dünya çapında en gelişmiş ve iyi işleyen mekanizmalardan biri 2007 yılında kurulan Karayip Afet Risk Sigorta Tesis, Ayrılmış Portföy Şirketi (Caribbean

Catastrophe Risk Insurance Facility Segregated Portfolio Company-CCRIF-SPC)'dir. Karayip ve Orta Amerika ülkeleri için afet sigortası sağlayan bir yapıdır. Bu yapı, doğal afetler nedeniyle oluşabilecek finansal zararları hızlı bir şekilde karşılamak için parametrik sigorta ürünleri sunar. Dünyanın ilk çok ülkeli risk havuzu olarak kurulmuştur. Sigorta, afetin yoğunluğu ve önceden belirlenen modelle hesaplanan zararlara dayalı olarak ödeme yapmaktadır. Deprem, kasırga, aşırı yağış, kıyı balıkçılığı, elektrik ve su hizmetleri alanlarında hizmet veren kurumun sigorta ürünleri parametriktr. Yani bir olayın yoğunluğu ve bu olaylar sonucu önceden anlaşılmış bir afet modeline göre hesaplanan zarar miktarına dayalı olarak ödeme yapılmaktadır ([http-16](http://16)).

Sel tehlikesine yönelik finansman stratejisi ve buna bağlı olarak geliştirilecek finansman modelinin hayata geçmesinde dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Öncelikle olası sel tehlikesinin meydana geleceği yerler belirlenmeli ve haritalanmalıdır. Tez kapsamında Q₁₀₀ senaryosunda Eskişehir kent merkezindeki binalarda meydana gelebilecek olası toplam hasar hesaplanmıştır. Ardından emisyon senaryoları ve Porsuk Çayı'ndan olan uzaklığa göre riske maruz ortaya konmuştur.

Bu aşamadan sonra yapılması gereken adım finansman dağılımıdır. Yani, finansman kaynaklarının nereye harcanacağını önceliklendirilmesidir. Sel yaşandıktan sonra bireylere mi, yapılara mı yoksa altyapıya mı harcama yapılacağı belirlenmelidir. Kaynakların etkin ve verimli bir şekilde tahsis edilip edilmediği kontrol edilmelidir. Bu kontrol bağımsız ve tarafsız denetleyiciler tarafından gerçekleştirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Ahmed, K., Sachindra, D. A., Shahid, S., Demirel, M. C., & Chung, E. S. (2019). Selection of multi-model ensemble of general circulation models for the simulation of precipitation and maximum and minimum temperature based on spatial assessment metrics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23 (11), 4803–4824. <https://doi.org/10.5194/hess-23-4803-2019>.
- Alessa, N., Akparep, J. Y., Sulemana, I., Osei, A., & Agyemang, A. O. (2024) Does stakeholder pressure influence firms environmental, social and governance (ESG) disclosure? Evidence from Ghana. *Cogent Business & Management*, 11 (1), 2303790, DOI: 10.1080/23311975.2024.2303790.
- Andersen, T. G., Bollerslev, T., Christoffersen, P. F., & Diebold, F. X. (2012). Financial risk measurement for financial risk management (NBER Working Paper No. 18084). National Bureau of Economic Research.
- Andrews, M. B., Ridley, J. K., Wood, R. A., Andrews, T., Blockley, E. W., Booth, B., Burke, E., Wood, R. A., Gray, L. J., Haddad, S., Hardiman, S. C., Hogan, E., Jones, G. S., Andrews, T., Dittus, A. J., Florek, P., Hermanson, L., Hodson, D., Knight, J. R., Kuhlbrodt, T., Mizielski, M. S., Ringer, M. A., Robson, J., Misios, S., & Sutton, R. T. (2020). Historical simulations with HadGEM3-GC3.1 for CMIP6. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12, e2019MS001995. <https://doi.org/10.1029/2019MS001995>.
- Arnell, N. W., & Gosling, S. N., (2016). The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change*, 134, 387-401.
- Arrhenius, S. & Holden, E. S. (1897). On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Earth. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 9 (54), 14-24.
- Armal, S., Porter, J. R., Lingle, B., Chu, Z., Marston, M. L., and Wing, O. E. J. (2020). Assessing Property Level Economic Impacts of Climate in the US, New Insights and Evidence from a Comprehensive Flood Risk Assessment Tool. *Climate*, 8 (116). doi:10.3390/cli8100116.
- Astuti, Putri & Gunarsih, Tri. (2021). Value-at-Risk Analysis in Risk Measurement and Formation of Optimal Portfolio in Banking Share. *JBTI: Jurnal Bisnis: Teori dan Implementasi*, 12. 10.18196/jbti.v12i2.12263.
- Bagh, T., Fuwei, J., & Khan, M.A. (2024). Corporate ESG investments and firm's value under the real-option framework: Evidence from two world-leading economies. *Borsa Istanbul Review*, 24 (2), 324–340.
- Bali, T. G. (2007). A Generalized extreme value approach to financial risk measurement. *Journal of Money, Credit and Banking*, 39 (7), 1613-1649.

- Bansal, A., Kauffman, R., Mark, R. M., & Peters, E. (1993). Financial risk and financial risk management technology (RMT): Issues and advantages. *Information & Management*, 24 (5), 267-281.
- BNP Paribas, Fintechs and the ESG Data Challenge (report). (<https://securities.cib.bnpparibas/app/uploads/sites/3/2019/11/art-fintechs-esg-2019-09-09.pdf>).
- Bohdalová, M. (2007). A comparison of Value-at-Risk methods for measurement of the financial risk.
- Breach, P.A., Simonovic, S.P., & Yang, Z.Y. (2016) Global Climate Model selection for analysis of uncertainty in climate change impact assessments of hydro-climatic extremes. *American Journal of Climate Change*, 5, 502-525. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2016.54036>.
- Brunner, L., Lorenz, R., Zumwald, M., & Knutti, R. (2019). Quantifying uncertainty in European climate projections using combined performance-independence weighting. *Environmental Research Letters*, 14, 124010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab492f>.
- Cai, C., Hazaea, S.A., Hael, M., Al-Matari, E.M., Alhebri, A., & Alfadhli, A.M.H. (2024). Mapping the landscape of the literature on environmental, social, governance disclosure and firm value: A bibliometric analysis and systematic review. *Sustainability*, 16, 4239. <https://doi.org/10.3390/su16104239>.
- Caldecott, B., McCarten, M., Christiaen, C. & Hickey, C. (2022). Spatial finance: practical and theoretical contributions to financial analysis. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 1-17. DOI: 10.1080/20430795.2022.2153007.
- Chen, D., M. Rojas, B.H. Samset, K. Cobb, A. Diongue Niang, P. Edwards, S. Emori, S.H. Faria, E. Hawkins, P. Hope, P. Huybrechts, M. Meinshausen, S.K. Mustafa, G.-K. Plattner, and A.-M. Tréguier, 2021: Framing, Context, and Methods. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 147–286, doi:10.1017/9781009157896.003.
- Cheung, Y. H., & Powell, R. J. (2012). Anybody can do Value at Risk: A Teaching Study using Parametric Computation and Monte Carlo Simulation. *Australian Accounting Business and Finance Journal (AAB&FJ)*, 6 (5), 101-118.
- Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill
- Chow, V., T., Maidment, D. R., and Mays, L. D. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill International Editions.

- Cleary, S., & Willcott, N. (2022). The cost of delaying to invest: A Canadian perspective. *Finance Research Letters*, 50, 103242. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103242>.
- Cline, W. R. (1992). *The Economics of Climate Change*.
- Condon, M. (2023). Climate Services: The Business of Physical Risk. *Arizona State Law Journal*, 55, 147.
- Davison, A. C., & Huser, R. (2015). Statistics of extremes. *Annual Review of Statistics and Its Application*, 2, 203–235.
- Edwards, P. N. (2011). History of Climate Modeling. *WIREs Climate Change*, 2, 128–139. DOI: 10.1002/wcc.95.
- European Central Bank. (2021). Climate-related risk and financial stability. (<https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/ecb.climateriskfinancialstability202107~87822fae81.en.pdf>. Erişim tarihi: 22.12.2023).
- European Commission, Joint Research Centre (2024). Cross-border and emerging risks in Europe. Corbane, C., Eklund, G., Gyenes, Z., Lentini, A., San-Miguel, J., Durrant, T., Boca, R., Maianti, P., Liberta`, G., Oom, D., Branco, A., De Rigo, D., Suarez Moreno, M., Ferrari, D., Roglia, E., Scionti, N., Broglia, M., Hrast Essenfelder, A., Toreti, A., Salamon, P., D`angelo, C., Dworak, T., Berglund, M., Santini, M., Proietti, C., Tsionis, G., Wood, M., Guagnini, E., Pla Freixa, P., Magrotti, G., De La Rosa Blul, J.C., Guglielmelli, A., Krausmann, E., Menoni, S., Faiella, A., Gazzola, V., Boni, M.P., Ruiz Moreno, A., Colpo, P., Spagnolo, L., Rembold, F., Baruth, B., Van Wijk, L., Koutelos, K., Valsamos, G., Jungwirth, R., Robuchon, M., Dubois, G., Di Girolamo, F., Schvitz, G., Galariotis, I., Linge, J., Kotseva, B., Krzysztofowicz, M., Jensen, K., Muench, S., Roeslin, S., Bountzouklis, C., Sibilia, A., Rodomonti, D. and Salari, S., Cross-border and emerging risks in Europe, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2024, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/184302>, JRC137818.
- European Environment Agency. (2007). Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0060>.
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37 (2). DOI: 10.1002/joc.5086.
- Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S., Collins, W., et al. (2014). Evaluation of climate models. In T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung, et al. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 741-866). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107415324.020.

- Fugro Scott Wilson Joint Venture. (2013). Review of methods in estimating surface runoff from natural terrain (GEO Report No. 292). Geotechnical Engineering Office, Hong Kong: Civil Engineering and Development Department.
- Ghazali, P. L., Riaman, & Ulfatmi, R. (2020). Calculation of Value -at-Risk Variance-Covariance with the Approach of Simple Cash Portfolio, Factor Models and Cash Flow. *Operations Research: International Conference Series*, 1(1), 19-24.
- Goel, K., & Oswal, S. (2019). Value at risk models in Indian markets: A predictive ability evaluation study. *Theoretical Economics Letters*, 9, 2824-2838. doi: 10.4236/tel.2019.98177.
- Grippa, P., Schmittmann, J., & Suntheim, F. (2020). Central banks and financial regulators are starting to factor in climate change. International Monetary Fund.
- Hailemariam, S.F. and Alfredsen, K. (2023). Quantitative Flood Risk Assessment in Drammenselva River, Norway. *Water*, 15, 920. <https://doi.org/10.3390/w15050920>.
- Henderson, F. M. (1966). *Open channel flow*. Macmillan.
- Henderson-Sellers, A., & McGuffie, K. (2012). *A Climate Modelling Primer* (4th Edition). Cambridge University Press.
- Huizinga, J., Moel, H. de, Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines. EUR 28552 EN. doi: 10.2760/16510.
- Ignjacevic, P., Botzen, W. J. W., Estrada, F., Kuik, O., Ward, P., & Tiggeloven, T. (2020). CLIMRISK-RIVER: Accounting for local river flood risk in estimating the economic cost of climate change. *Environmental Modelling and Software*, 132, 104784. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104784>.
- IPCC (1990). *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney.
- IPCC (2000). *Summary for Policymakers, Emissions Scenarios*.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC, 2013a: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge

University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

- IPCC, 2013b: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2021: Annex II: Models [Gutiérrez, J. M., A.-M. Tréguier (eds.)]. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 2087–2138, doi:10.1017/9781009157896.016.
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. 233. doi:10.1017/9781009157896.
- IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.
- Jain, V., Beyene, M., Varay, S., Wasson, R. J., and Jain, S. (2019). Riverine Flood Hazard: Part A. Types, Processes and Causative Factors. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 85 (1), 43-64. DOI: 10.16943/ptinsa/2018/49471.
- James, T.: Energy Price Risk: Trading and Price Risk Management. Gordonsville, VA, USA: Palgrave Macmillan, 2003, p.133.
- Jeffry, L., Ong, M. Y., Nomanbhay, S., Mofijur, M., Mubashir, M., and Show, P. L. (2021). Greenhouse gases utilization: A review. *Fuel*, 301, 121017, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121017>.

- Kassaye, S. M., Tadesse, T., Tegegne, G., & Hordofa, A. T. (2024). Quantifying the climate change impacts on the magnitude and timing of hydrological extremes in the Baro River Basin, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 13 (2). <https://doi.org/10.1186/s40068-023-00328-1>.
- Kim, Y. H., Min, S. K., Zhang, X., Sillmann, J., & Sandstad, M. (2020). Evaluation of the CMIP6 multi-model ensemble for climate extreme indices. *Weather and Climate Extremes*, 29, 2020, 100269.
- Kreibich, H., Seifert, I., Merz, B. & Thielen, A. H. (2010) Development of FLEMOcs – a new model for the estimation of flood losses in the commercial sector. *Hydrol. Sci. J.*, 55 (8).
- Kulali, İ. (2016). Variance–Covariance (Delta Normal) Approach of VaR Models: An Example From Istanbul Stock Exchange. *Research Journal of Finance and Accounting*, 7 (3), 65-69.
- Kundzewicz, Z.W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., Bouwer, L. M., Arnell, N., Mach, K., Muir-Wood, R., Brakenridge, G. R., Kron, W., Benito, G., Honda, Y., Takahashi, K., & Sherstyukov, B. (2013). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59 (1), 1–28.
- Leduc, M., R. Laprise, R. de Elia, & L. Separovic. (2016). Is Institutional Democracy a Good Proxy for Model Independence? *Journal of Climate*, 29, 8301–8316. DOI: 10.1175/JCLI-D-15-0761.1.
- Lee, J.-Y., J. Marotzke, G. Bala, L. Cao, S. Corti, J.P. Dunne, F. Engelbrecht, E. Fischer, J.C. Fyfe, C. Jones, A. Maycock, J. Mutemi, O. Ndiaye, S. Panickal, and T. Zhou, 2021: Future Global Climate: Scenario-Based Projections and NearTerm Information. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 553–672, doi:10.1017/9781009157896.006.
- Leggett, J., Pepper, W. J., & Swart, R. J. (1992). Emissions scenarios for the IPCC: an update. Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, 69–95.
- Lei, X., Xu, C., Liu, F., Song, L., Cao, L., & Suo, N. (2023). Evaluation of CMIP6 Models and Multi-Model Ensemble for Extreme Precipitation over Arid Central Asia. *Remote Sensing*, 15, 2376. <https://doi.org/10.3390/rs15092376>.
- Leimbach, M., Marcolino, M., & Koch, J. (2023). Structural change scenarios within the SSP framework. *Futures*, 150, 103156.

- Li, Y., Li, A., & Liu, Z. (2018). Two Ways of Calculating VaR in Risk Management-An Empirical Study Based on CSI 300 Index. *Procedia Computer Science*, 139, 432-439.
- Li, Z., Li, Q., Wang, J., Feng, Y., & Shao, Q. (2020). Impacts of projected climate change on runoff in upper reach of Heihe River basin using climate elasticity method and GCMs. *Science of The Total Environment*, 716, 137072.
- Lutz, A. F., ter Maat, H. W., Biemans, H., Shrestha, A. B., Wester, P., & Immerzeel, W. W. (2016). Selecting representative climate models for climate change impact studies: an advanced envelope-based selection approach. *International Journal of Climatology*, 36, 3988–4005. DOI: 10.1002/joc.4608.
- Mahony, C. R., Wang, T., Hamann, A. & Cannon, A. J. (2022). A global climate model ensemble for downscaled monthly climate normals over North America. *International Journal of Climatology*, 42 (11), 5871-5891.
- Majdi, F., Hosseini, S. A., Karbalaee, A., Kaseri, M., & Marjanian, S. (2022). Future projection of precipitation and temperature changes in the Middle East and North Africa (MENA) region based on CMIP6. *Theoretical and Applied Climatology*, 147, 1249–1262. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03916-2>.
- Majone, B., Avesani, D., Zulian, P., Fiori, A., and Bellin, A. (2022). Analysis of high streamflow extremes in climate change studies: how do we calibrate hydrological models? *Hydrology and Earth System Sciences*, 26, 3863–3883, <https://doi.org/10.5194/hess-26-3863-2022>.
- Marshall, A.W., Olkin, I. (2007). The Exponential Distribution. In: Life Distributions. Springer Series in Statistics. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-0-387-68477-2_8.
- Martínez-Gomariz, E., Forero-Ortiz, E., Guerrero-Hidalga, M., Castán, S., Gómez, M. (2020). Flood Depth-Damage Curves for Spanish Urban Areas. *Sustainability*, 12, 2666. doi:10.3390/su12072666.
- McGuffie, K. and Henderson-Sellers, A. (2005). John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.
- Meinshausen, M., Nicholls, Z. R. J., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M., Beyerle, U., Gessner, C., Nauels, A., Bauer, N., Canadell, J. G., Daniel, J. S., John, A., Krummel, P. B., Luderer, G., Meinshausen, N., Montzka, S. A., Rayner, P. J., Reimann, S., Smith, S. J., van den Berg, M., Velders, G. J. M., Vollmer, M. K., and Wang, R. H. J. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13, 3571–3605, <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thieken, A. (2010). Review article: Assessment of economic flood damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 1697–1724. doi:10.5194/nhess-10-1697-2010.

- Mesgari, E., Hosseini, S. A., Hemmesy, M. S., Houshyar, M., & Leila Golzari Partoo, L. G. (2022). Assessment of CMIP6 models' performances and projection of precipitation based on SSP scenarios over the MENAP region. *Journal of Water and Climate Change*, 13 (10), 3607. doi: 10.2166/wcc.2022.195.
- Mokrech, M., Kebede, A. S., Nicholls, R. J., Wimmer, F., Feyen, L. (2015). An integrated approach for assessing flood impacts due to future climate and socio-economic conditions and the scope of adaptation in Europe. *Climatic Change*, 128, 245–260.
- Moss, R.H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S.K., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747. doi:10.1038/nature08823.
- Nakicenovic, N. & Swart, R. Special Report on Emissions Scenarios (Cambridge University Press, 2000).
- Nazarenko, L., Schmidt, G. A., Miller, R. L., Tausnev, N., Kelley, M., Ruedy, R., Russell, G. L., Aleinov, I., Bauer, M., Bauer, S., Bleck, R., Canuto, V., Cheng, Y., Clune, T. L., Del Genio, A. D., Faluvegi, G., Hansen, J. E., Healy, R. J., Kiang, N. Y., Koch, D., Lacis, A. A., LeGrande, A. N., Lerner, J., Lo, K. K., Menon, S., Oinas, V., Perlwitz, J., Puma, M. J., Rind, D., Romanou, A., Sato, M., Shindell, D. T., Sun, S., Tsigaridis, K., Unger, N., Voulgarakis, A., Yao, M. S., & Zhang, J. (2015). Future climate change under RCP emission scenarios with GISS ModelE2, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 7, 244–267. doi:10.1002/2014MS000403.
- Nordhaus, W. D. (1991). To Slow or Not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect. *The Economic Journal*, 101 (407), 920-937.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>.
- Park, D. G., Sandoval, N., Lin, W., Kim, H., & Cho, Y. H. (2014). A case study: Evaluation of water storage capacity in permeable block pavement. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18 (2), 514-520. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0036-y>.
- Parker, D.J. and Penning-Rowsell, E.C. (1972). Problems and methods of flood damage assessment. London: Middlesex Polytechnic Flood Hazard Research Project Progress Report 3.

- Penning-Rowsell, E.C. and Chatterton, J.B. (1977). The benefits of flood alleviation: a manual of assessment techniques. Farnborough: Saxon House.
- Penning-Rowsell, E.C. and Chatterton, J.B. (1980). Assessing the benefits of flood alleviation and land drainage schemes. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, part 2, 69, 295-315,1051-54.
- Philips, R., Jeswani, H. K., Azapagic, A., & Apul, D. (2018). Are stormwater pollution impacts significant in life cycle assessment? A new methodology for quantifying embedded urban stormwater impacts. *Science of the Total Environment*, 636, 115-123.
- Pitman, A. J., Arneth, A., and Ganzeveld, L. (2012). Review: Regionalizing global climate models. *International Journal of Climatology*, 32, 321-337.
- Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., Samir K. C., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., & Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168.
- Ross, S. M. (2010). *Introduction to Probability Models* (10th ed.). Academic Press is an imprint of Elsevier 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA 525 B Street, Suite 1900, San Diego, California 92101-4495, USA Elsevier, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB.
- Sarıçam, S. ve Coşkun Hepcan, Ç. (2015). Porsuk Çayı Adalar mevkii ve çevresinin rekreasyonel kullanımının belirlenmesine yönelik bir araştırma. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52 (1), 1-11.
- Sharma, M. (2012). The Historical Simulation Method for Value-at-Risk: A Research Based Evaluation of the Industry Favorite. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2042594> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2042594>. (Erişim tarihi: 20.08.2024).
- Smith, J. B. (1996). Standardized estimates of climate change damages fir the United States. *Climatic Change*, 32: 313-326. (1996 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.)
- Spatial Finance Initiative (SFI). (2023). State and trends of spatial finance 2023: Fundamental building blocks for transparency and accountability in green finance. (<https://www.cgfi.ac.uk/wp-content/uploads/2023/03/State-and-Trends-of-Spatial-Finance-2023.pdf>, erişim tarihi: 25.04.2024).
- Sulong, S., & Romali, N. S. (2022). The role of socio-economic and property variables in the establishment of flood depth-damage curve for the data-scarce area in Malaysia. *Urban Water Journal*, 19 (8), 859–878. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2022.2099292>.

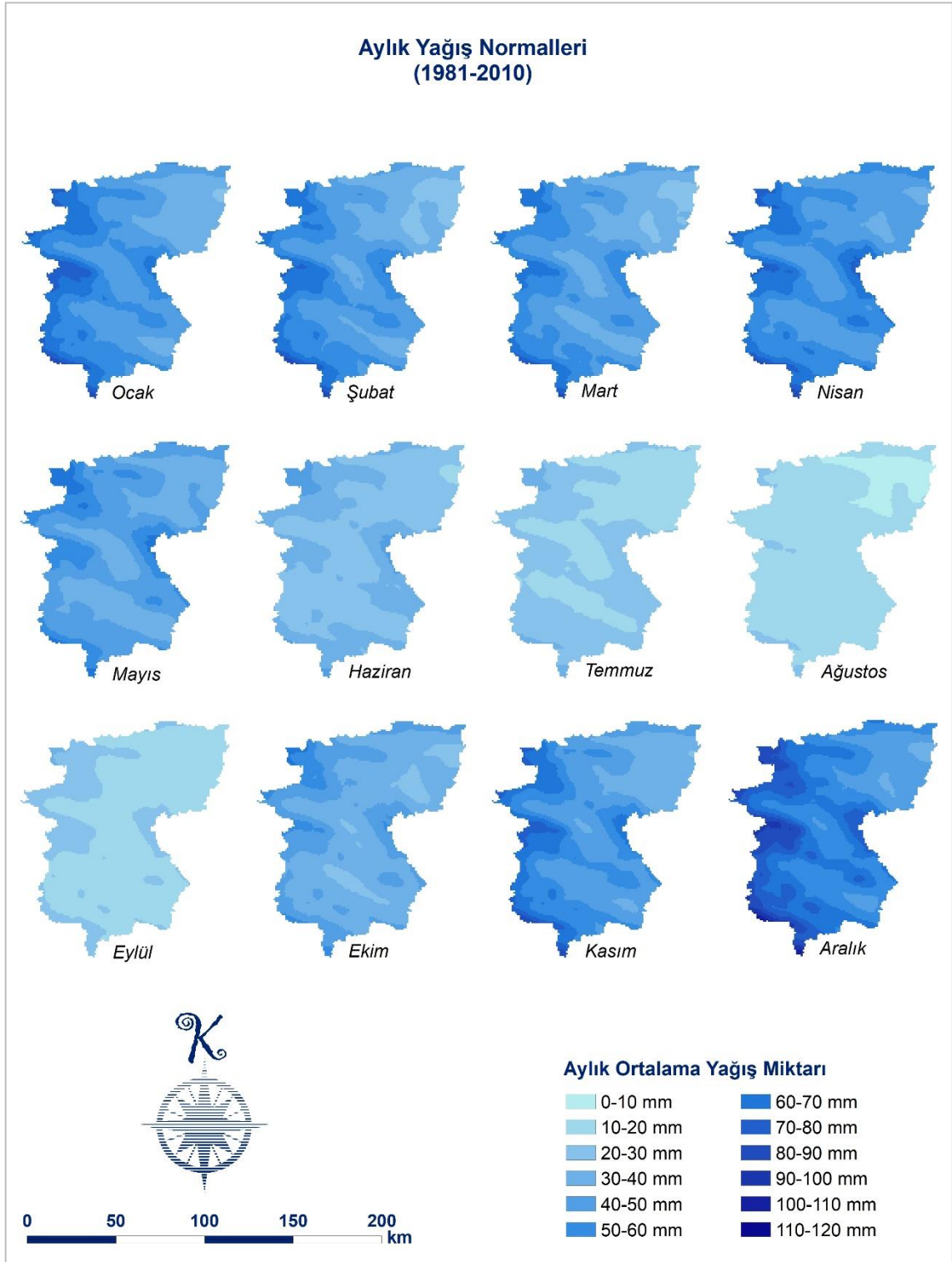
- TCDF-Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (2017). Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures (Final Report). (<https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2021/10/FINAL-2017-TCFD-Report.pdf>).
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü (2015). Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği.
- Titus, J.G. 1992. The Costs of Climate Change to the United States. Originally published in: Majumdar, S.K., L.S. Kalkstein, B. Yarnal, E.W. Miller, and L.M. Rosenfeld (eds). Global Climate Change: Implications, Challenges, and Mitigation Measures. Pennsylvania Academy of Sciences. The format of this document has been modified for electronic distribution.
- Tol, R. S. J. (2009). The economic effects of climate change. *The Journal of Economic Perspectives*, 23 (2), 29-51. <https://www.jstor.org/stable/27740523>.
- U.S. Department of Homeland Security. Federal Emergency Management Agency. (2004). Multi-hazard loss estimation methodology: Flood model Hazus®-MH technical manual. Washington, D.C.: Mitigation Division.
- USACE (US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources) (1992). Catalog of Residential Depth-Damage Functions Used by the Army Corps of Engineers in Flood Damage Estimations, May 1992, IWR Report 92-R-3. Davis, S. A. and Skaggs, L. L.
- USACE (1997). Depth-Damage relationship for structures, contents, and vehicles and content-to-structure value ratios (CSV) in support of the lower Atchafalaya reevaluation and Morganza to the gulf, Louisiana feasibility studies.
- Vafeidis, A.T., Reimann, L., Ellen, G.J., Goransson, G., Koers, G., Van Well, L., Vollstedt, B., Tsakiris, M., Oen, A. (2024). Harmonizing the Development of Local Socioeconomic Scenarios: A Participatory Downscaling Approach Applied in Four European Case Studies. *Sustainability*, 16 (6), 2578. <https://doi.org/10.3390/su16062578>.
- Van der Meer, F. D., Van der Werff, H. M. A., Van Ruitenbeek, F. J. A., Hecker, C. A., Bakker, W. H., Noomen, M. F., Van Der Meijde, M., Carranza, E. J. M., De Smeth, J. B. And Woldai, T. (2012). Multi-and hyperspectral geologic remote sensing: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 14 (1), 112–128.
- Vaniya, K., Talaviya, R., & Gor, R. (2022). Estimating the Value at Risk Using Monte Carlo Simulation. *IOSR Journal of Mathematics (IOSR-JM)*, 18 (4), 16-23.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J. F., Masui, T., Meinshausen, M.,

- Nakicenovic, N., Smith, S. J., & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109, 5-31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>.
- Vasileiou, E. (2017) Value at Risk (VaR) Historical Approach: Could It Be More Historical and Representative of the Real Financial Risk Environment? *Theoretical Economics Letters*, 7, 951-974. doi: 10.4236/tel.2017.74065.
- Velasco, M., Cabello, A., & Russo, B. (2016) Flood damage assessment in urban areas. Application to the Raval district of Barcelona using synthetic depth damage curves. *Urban Water Journal*, 13 (4), 426-440, DOI: 10.1080/1573062X.2014.994005.
- WCRP Joint Scientific Committee (JSC), 2019. World Climate Research Programme Strategic Plan 2019–2028. WCRP Publication 1/2019.
- Wen, X., Ferreira, A.M.A., Rae, L.M., Saffari, H., Adeel, Z., Bakkensen, L.A., Estrada, K.M.M., Garfin, G.M., McPherson, R.A., & Franco Vargas, E. (2022). A Comprehensive Methodology for Evaluating the Economic Impacts of Floods: An Application to Canada, Mexico, and the United States. *Sustainability*, 14, 14139. <https://doi.org/10.3390/su142114139>.
- WMO and UNEP. (1992). CLIMATE CHANGE: The 1990 and 1992 IPCC Assessments IPCC First Assessment Report Overview and Policymaker Summaries and 1992 IPCC Supplement. Intergovernmental Panel on Climate Change 1992, Printed in Canada, Climate Change: The IPCC 1990 and 1992 Assessments, 1. Climate Changes, I. Title II. IPCC, ISBN : 0-662-19821-2
- Xia, J. A. (2022). Systematic review: How does organisational learning enable ESG performance (from 2001 to 2021). *Sustainability*, 14, 16962.
- Yin, Z., Hu, Y., Jenkins, K., He, Y., Forstenhäusler, N., Warren, R., Yang, L., Jenkins, R., Guan, D. (2021). Assessing the economic impacts of future fluvial flooding in six countries under climate change and socio-economic development. *Climatic Change*, 166, 38.
- Zargar, F., & Kumar, D. (2018). Forecasting Value-at-Risk (VaR) in the Major Asian Economies. *Theoretical Economics Letters*, 8, 1565-1581. doi: 10.4236/tel.2018.89100.
- Zhou, G., Liu, L., & Luo, S. (2022). Sustainable development, ESG performance and company market value: Mediating effect of financial performance. *Business Strategy and the Environment*, 31, 3371–3387. DOI:10.1002/bse.3089.
2020. “Spatial Finance: Challenges and Opportunities in a Changing World” EFI Insight-Finance. Washington, DC: World Bank and WWF.
- http-1: <https://sa.catapult.org.uk/spatial-finance-initiative/> (Erişim tarihi: 04.08.2022).

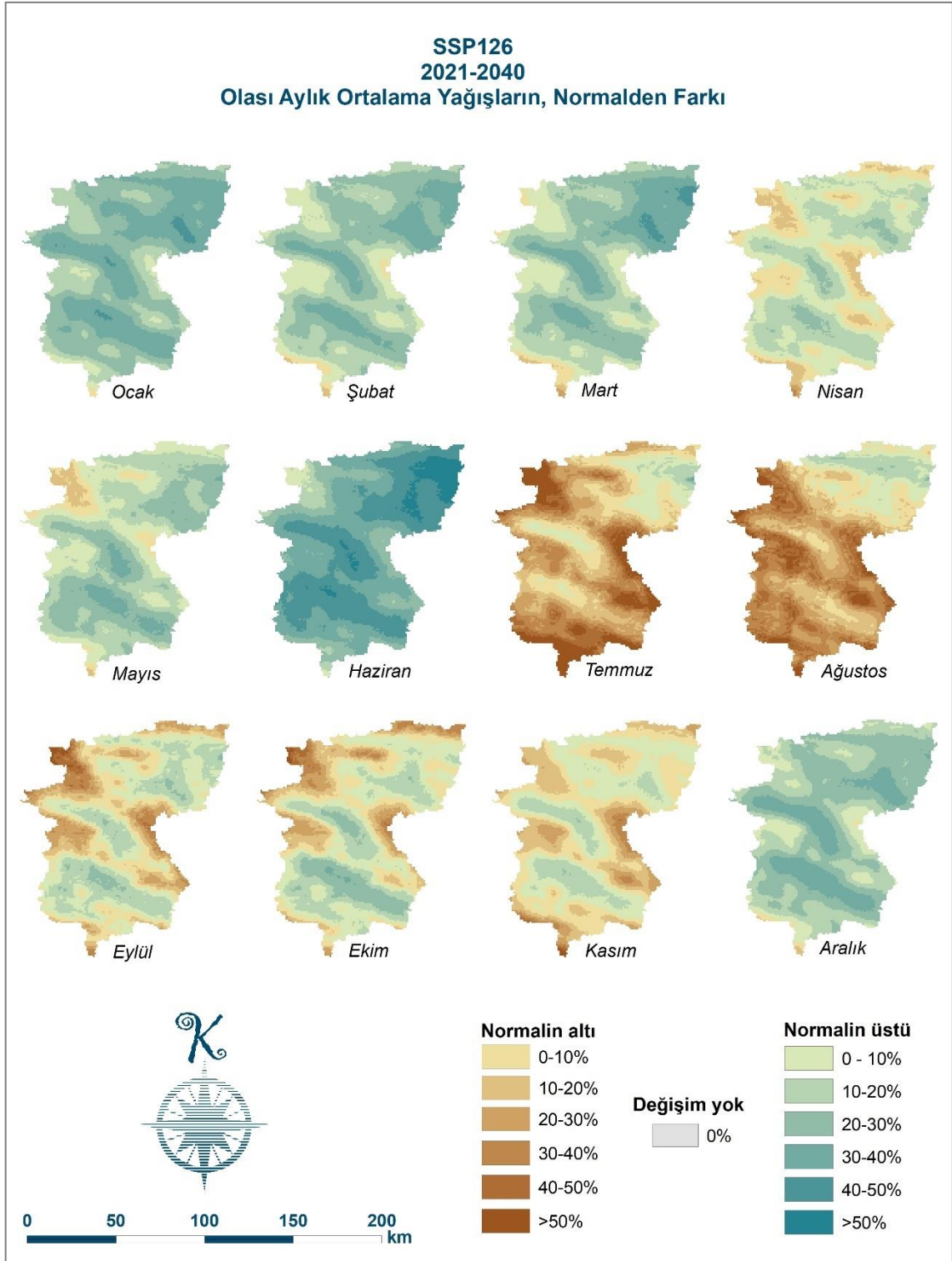
- http-2: <https://www.climatewatchdata.org/net-zero-tracker> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-3: <https://www.globalforestwatch.org/> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-4: <https://www.fsb-tcfd.org/publications/> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-5: <https://www.cfainstitute.org/insights/articles/what-is-esg-investing> (Erişim tarihi : 04.08.2022).
- http-6: <https://clima.caltech.edu/2017/01/09/climate-goals-and-computing-the-future-of-clouds/> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-7 :<https://pcmdi.llnl.gov/CMIP6/> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-8: <https://www.wcrp-climate.org/about-wcrp/wcrp-overview> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-9: <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-overview> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-10: <https://climateextremes.org.au/climate-modelling-an-overview/> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-11: <https://www.ipcc.ch/about/> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-12:<https://www.ipcc.ch/about/history/> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-13:<https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v20/en/> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-14:<https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6climate.html> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-15: <https://dask.gov.tr/tr/teminat-ve-kapsami> (Erişim tarihi: 04.08.2022).
- http-16: <https://www.ccrif.org/> (Erişim tarihi: 04.08.2022).

EKLER

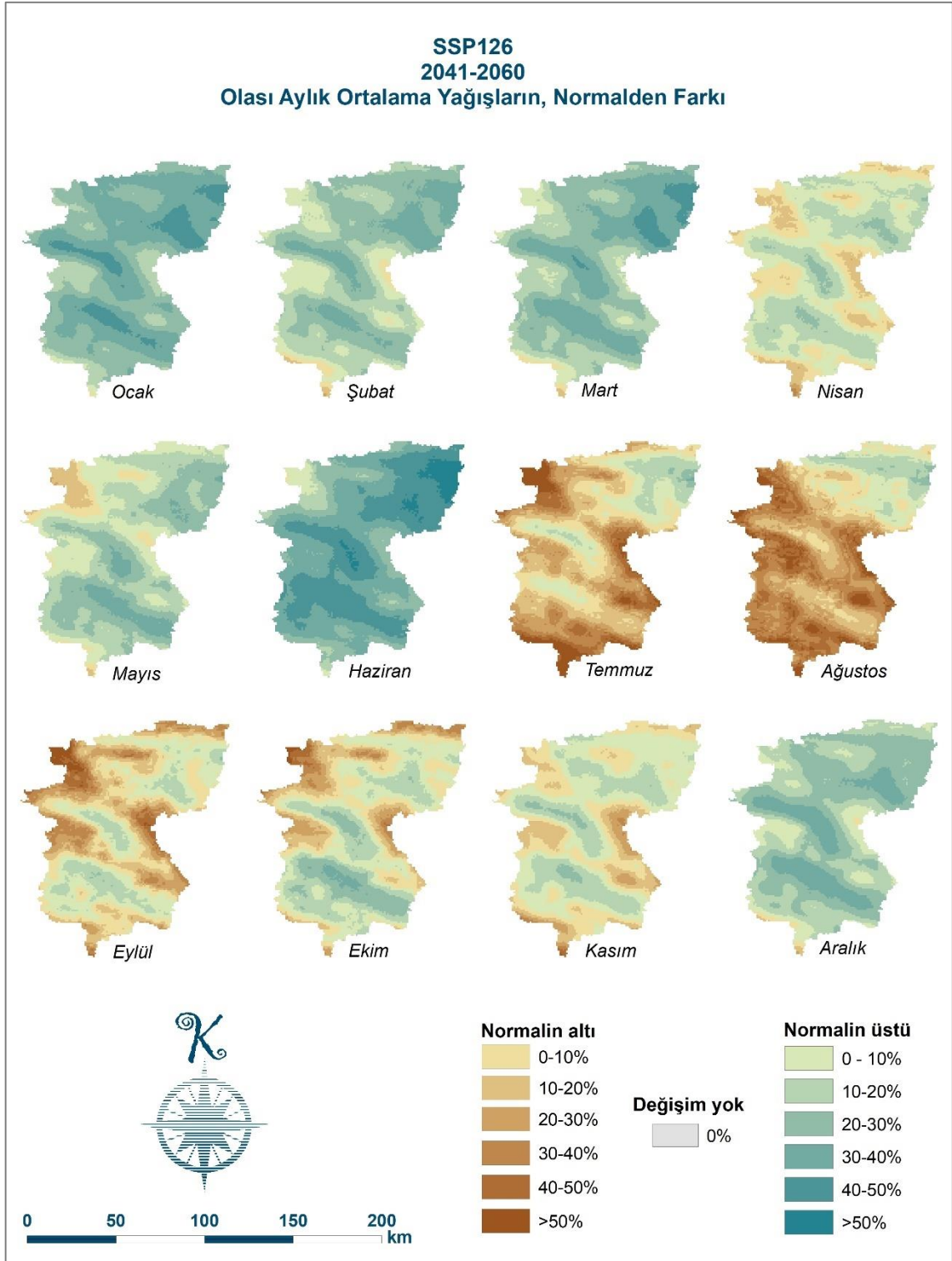
EK-1: 1981-2010 Aylık Yağış Normalleri Haritası



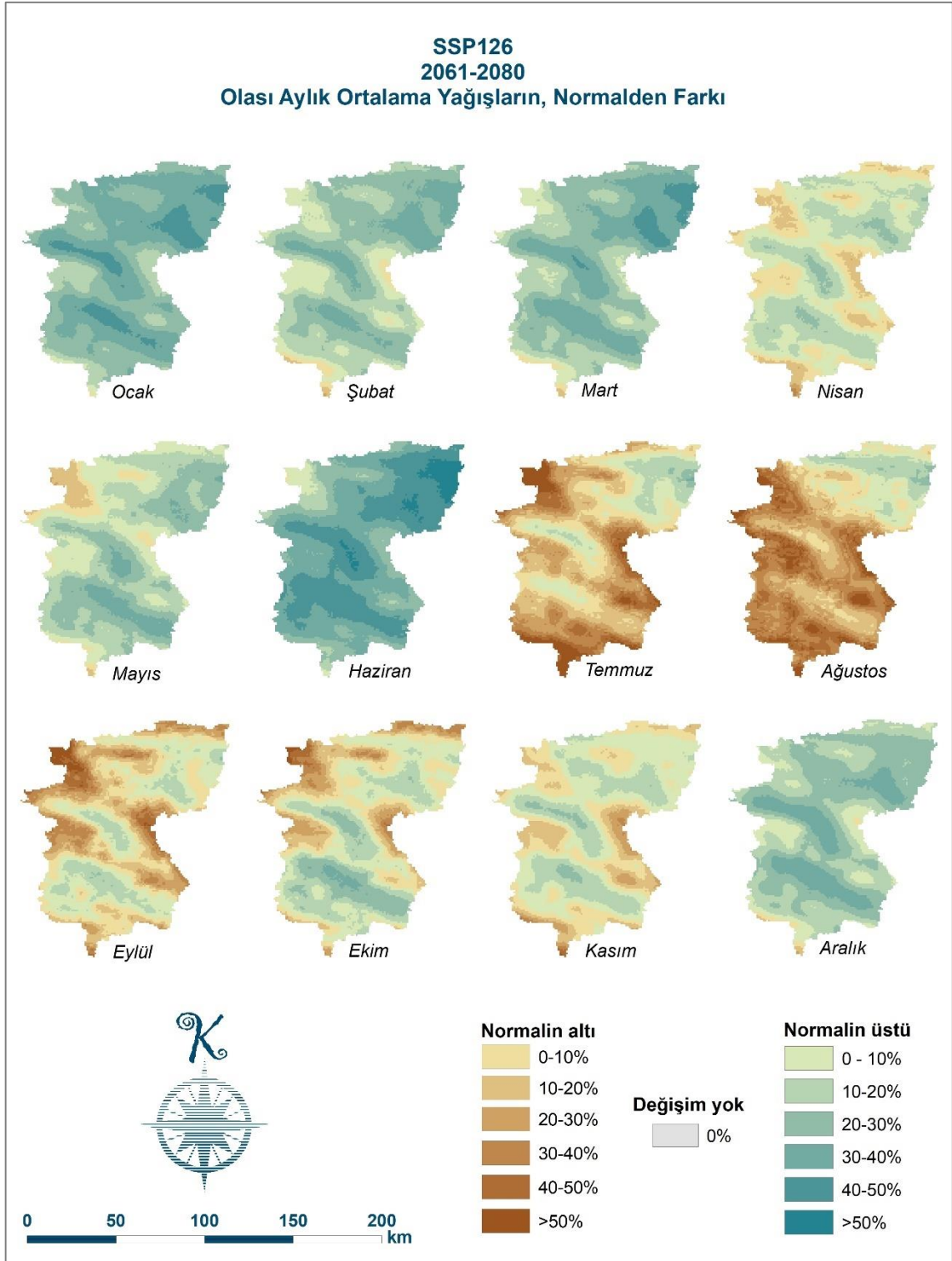
EK-2: SSP1-2.6 Senaryosu, 2021-2040 Dönemi, Aylık Ortalama Yağışların Normalden Fark Haritası



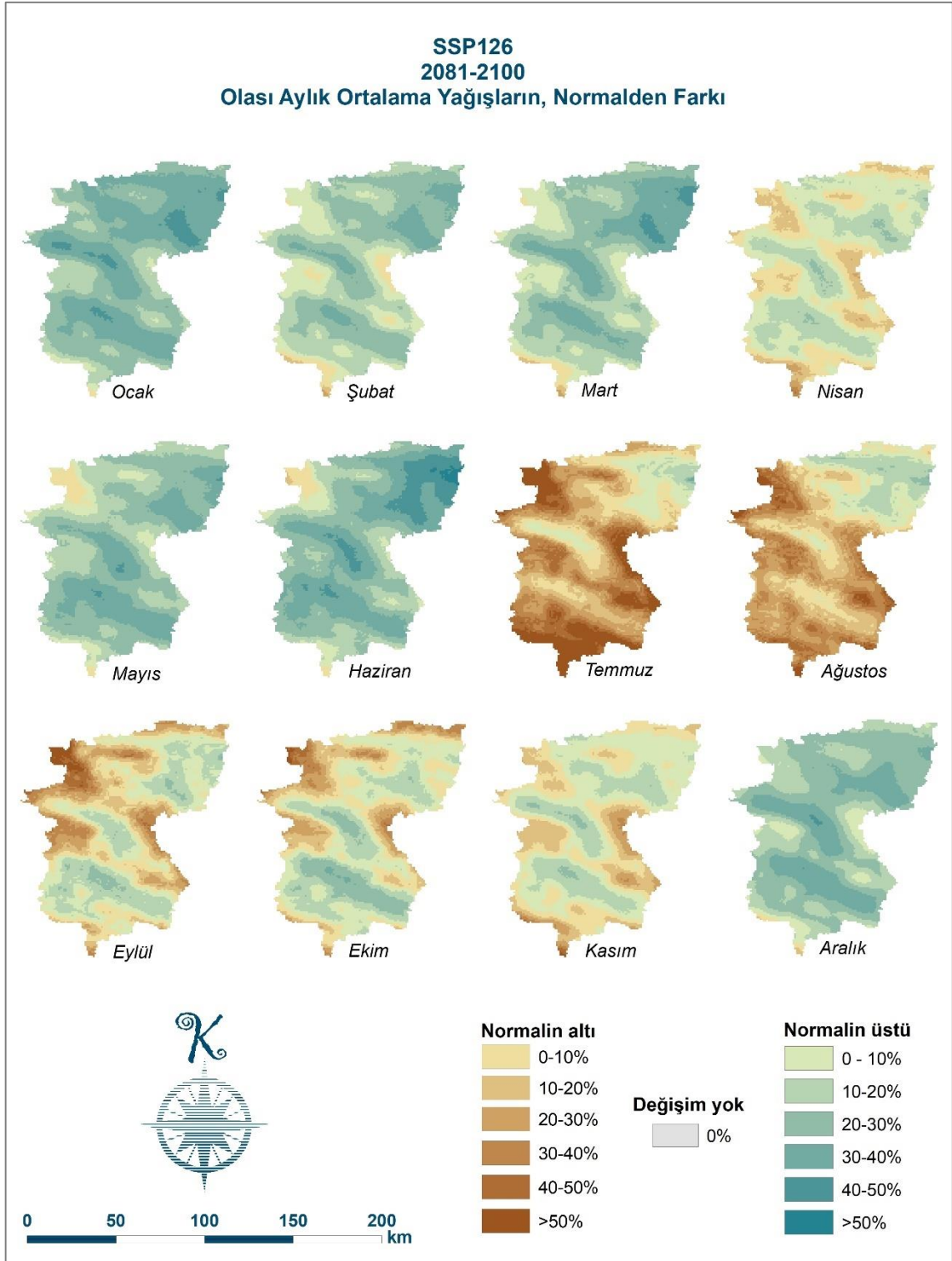
EK-3: SSP1-2.6 Senaryosu, 2041-2060 Dönemi, Aylık Ortalama Yağışların Normalden Fark Haritası



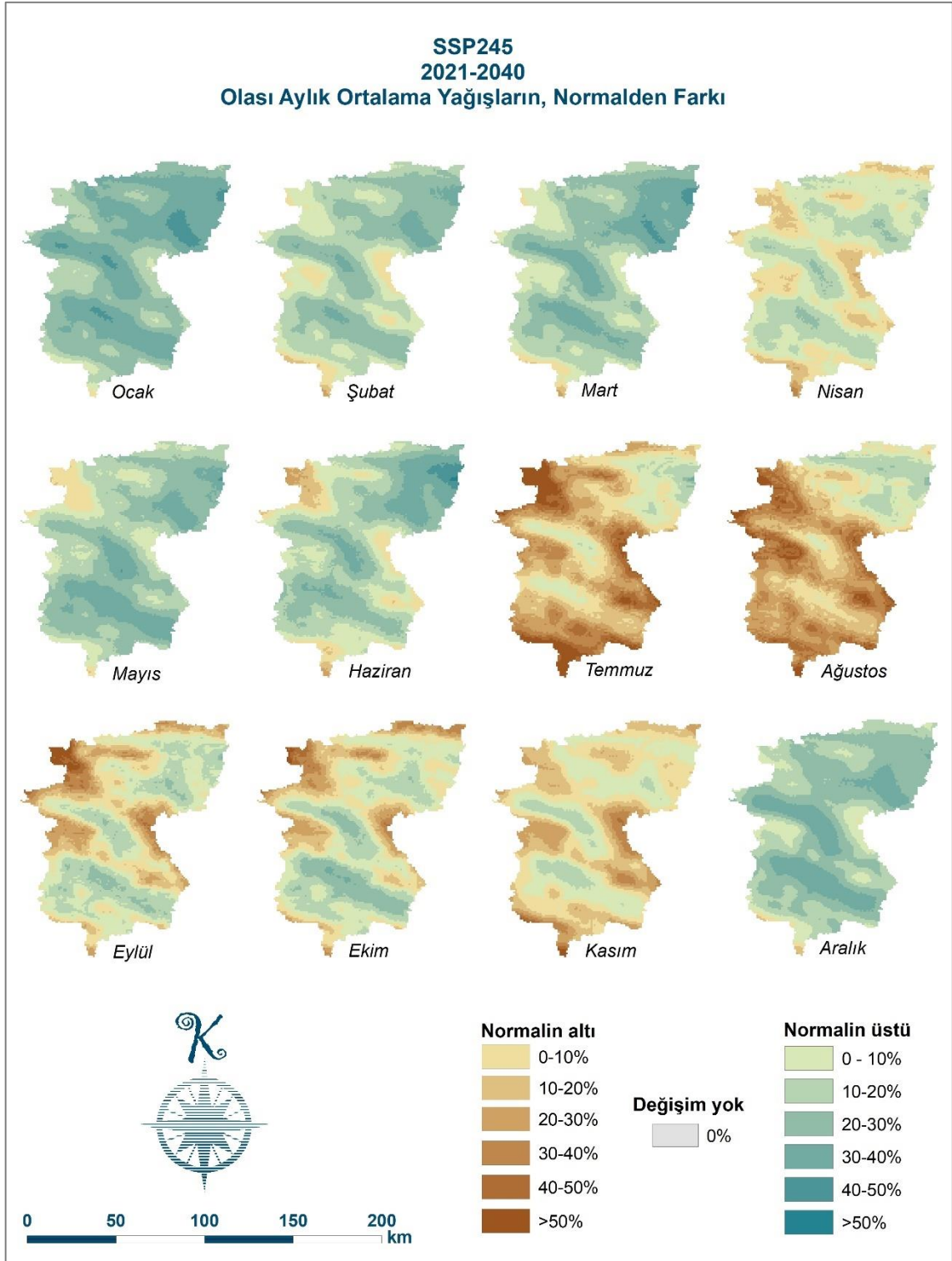
EK-4: SSP1-2.6 Senaryosu, 2061-2080 Dönemi, Aylık Ortalama Yağışların Normalden Fark Haritası



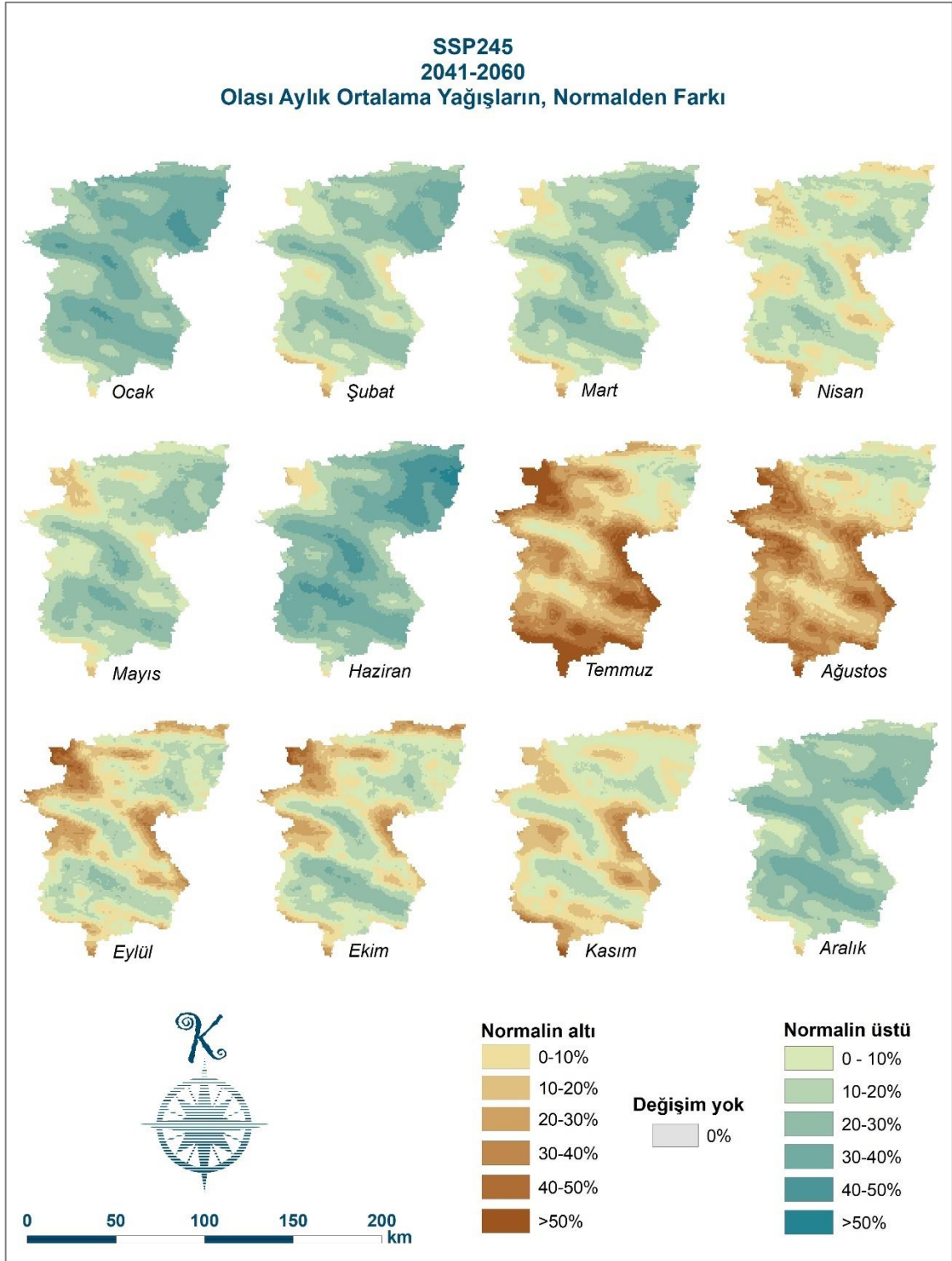
EK-5: SSP1-2.6 Senaryosu, 2081-2100 Dönemi, Aylık Ortalama Yağışların Normalden Fark Haritası



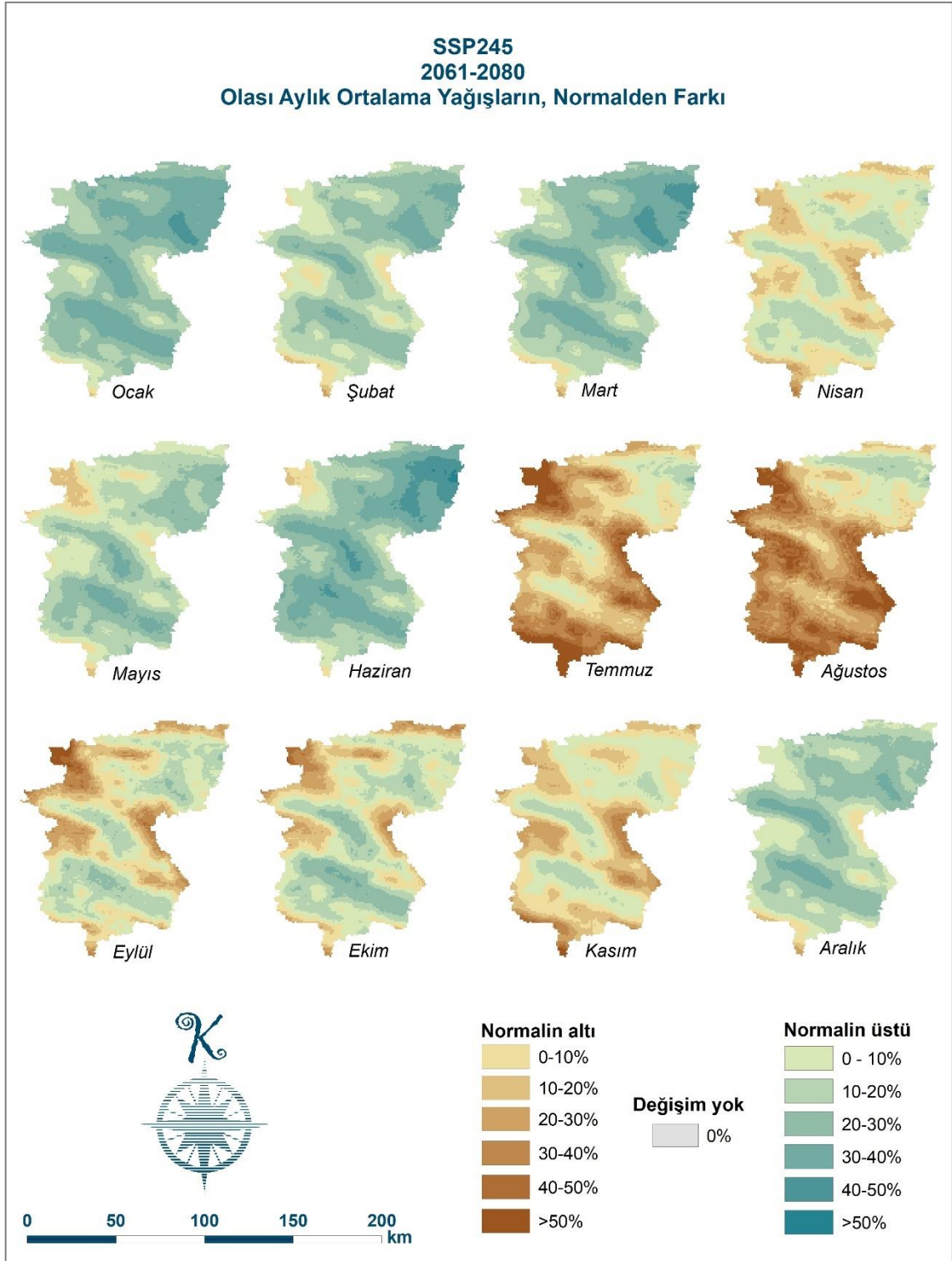
EK-6: SSP2-4.5 Senaryosu, 2021-2040 Dönemi, Aylık Ortalama Yağışların Normalden Fark Haritası



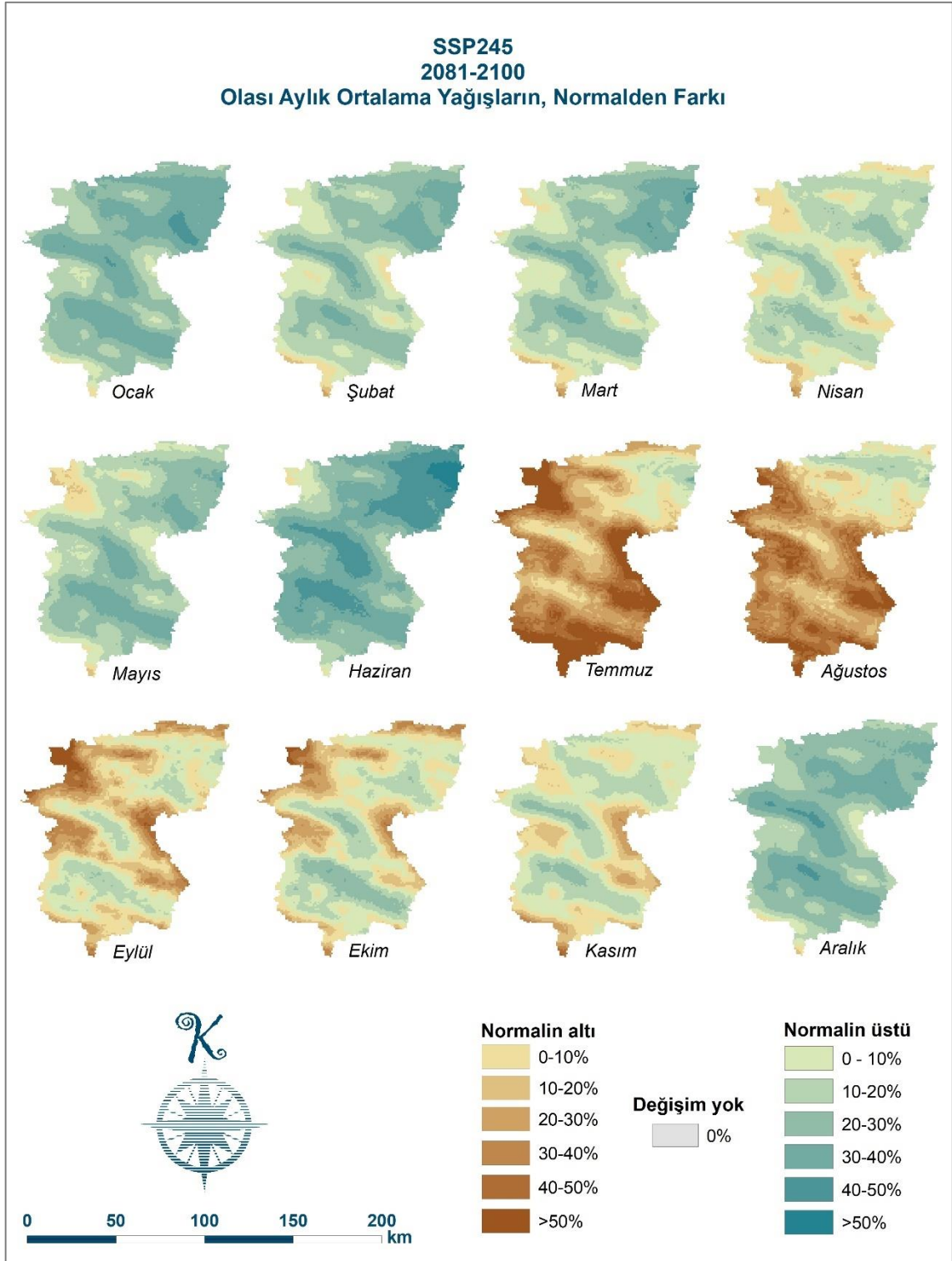
EK-7: SSP2-4.5 Senaryosu, 2041-2060 Dönemi, Aylık Ortalama Yağışların Normalden Fark Haritası



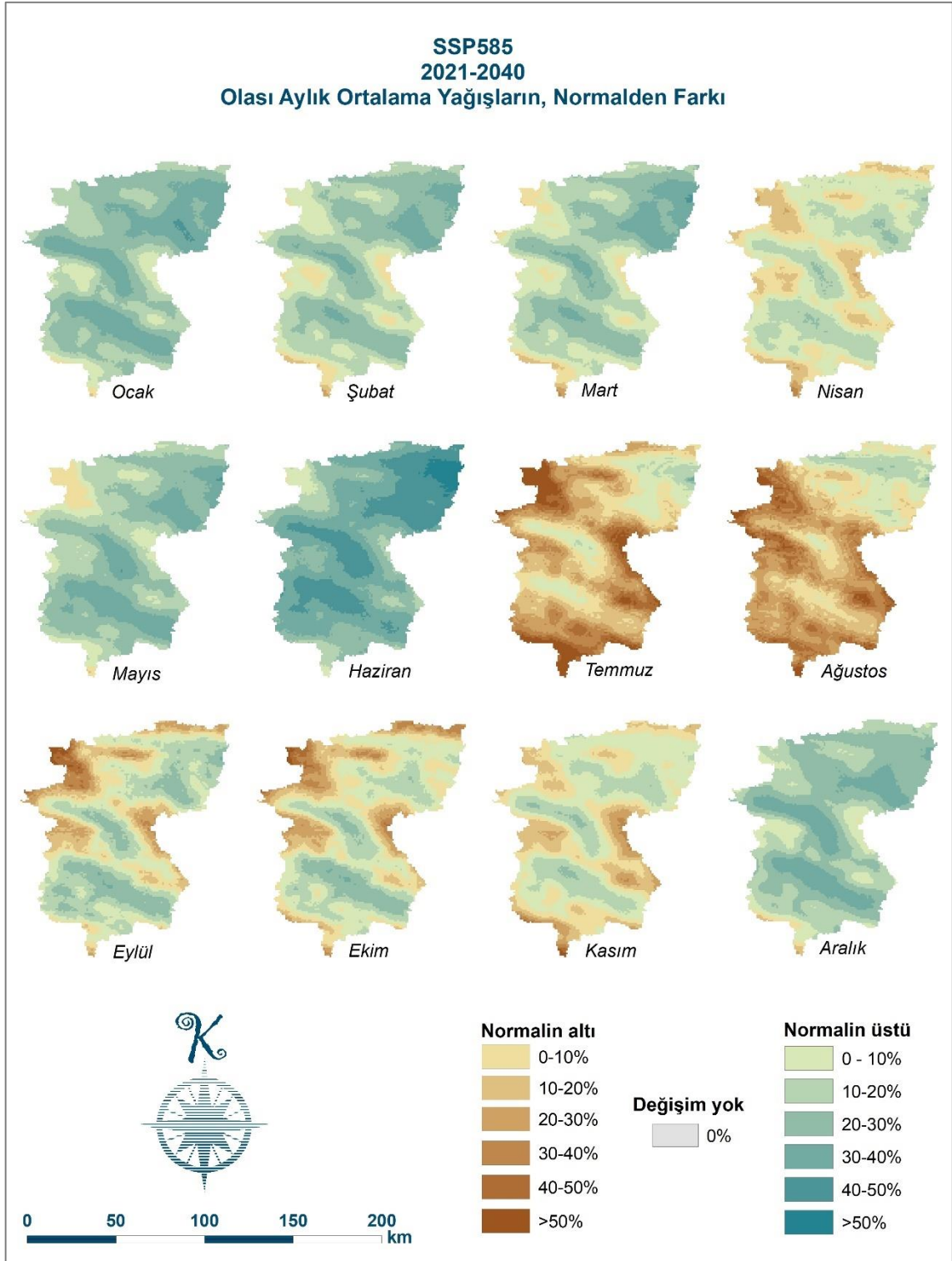
EK-8: SSP2-4.5 Senaryosu, 2061-2080 Dönemi, Aylık Ortalama Yağışların Normalden Fark Haritası



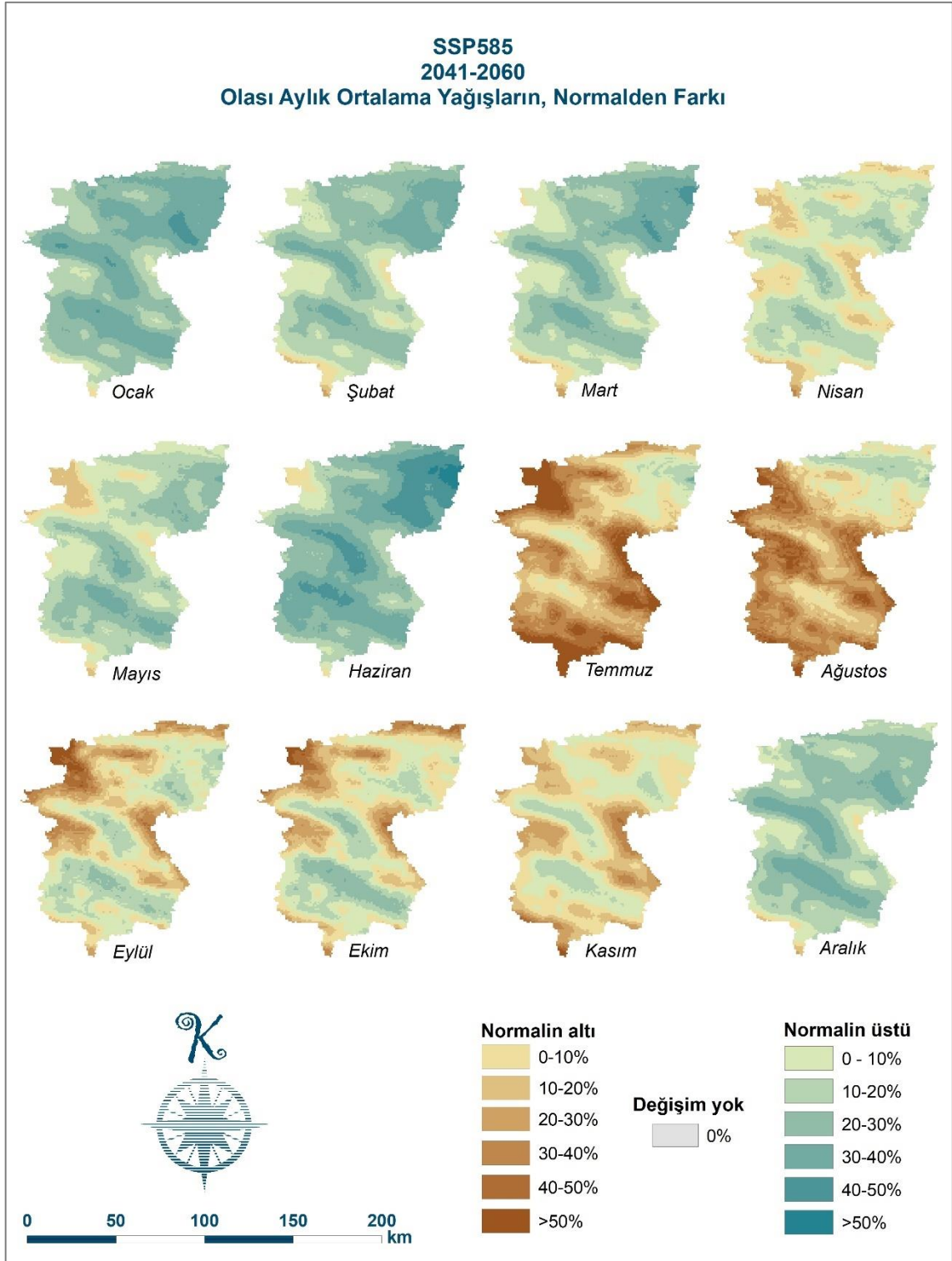
EK-9: SSP2-4.5 Senaryosu, 2081-2100 Dönemi, Aylık Ortalama Yağışların Normalden Fark Haritası



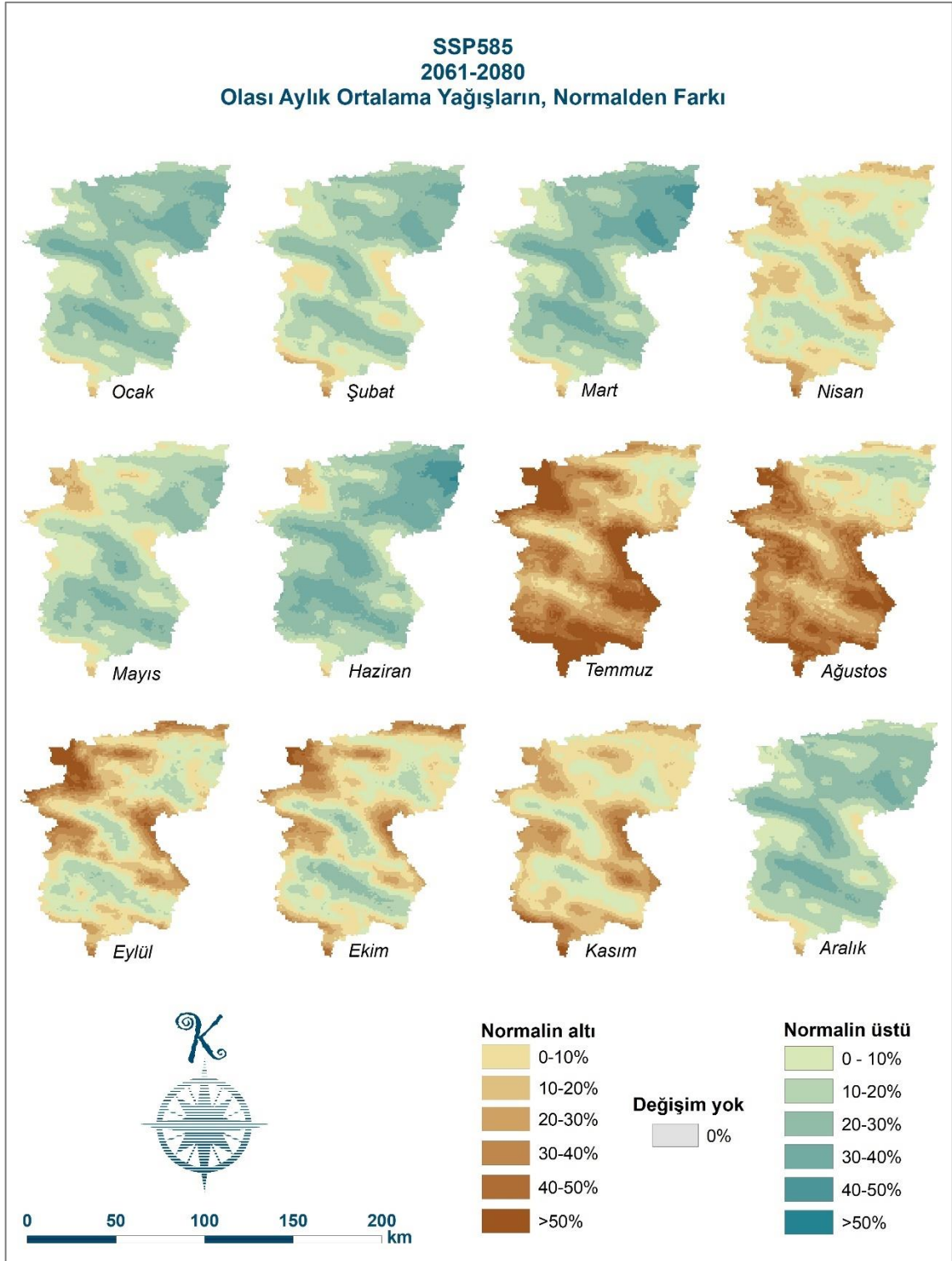
EK-10: SSP5-8.5 Senaryosu, 2021-2040 Dönemi, Aylık Ortalama Yağışların Normalden Fark Haritası



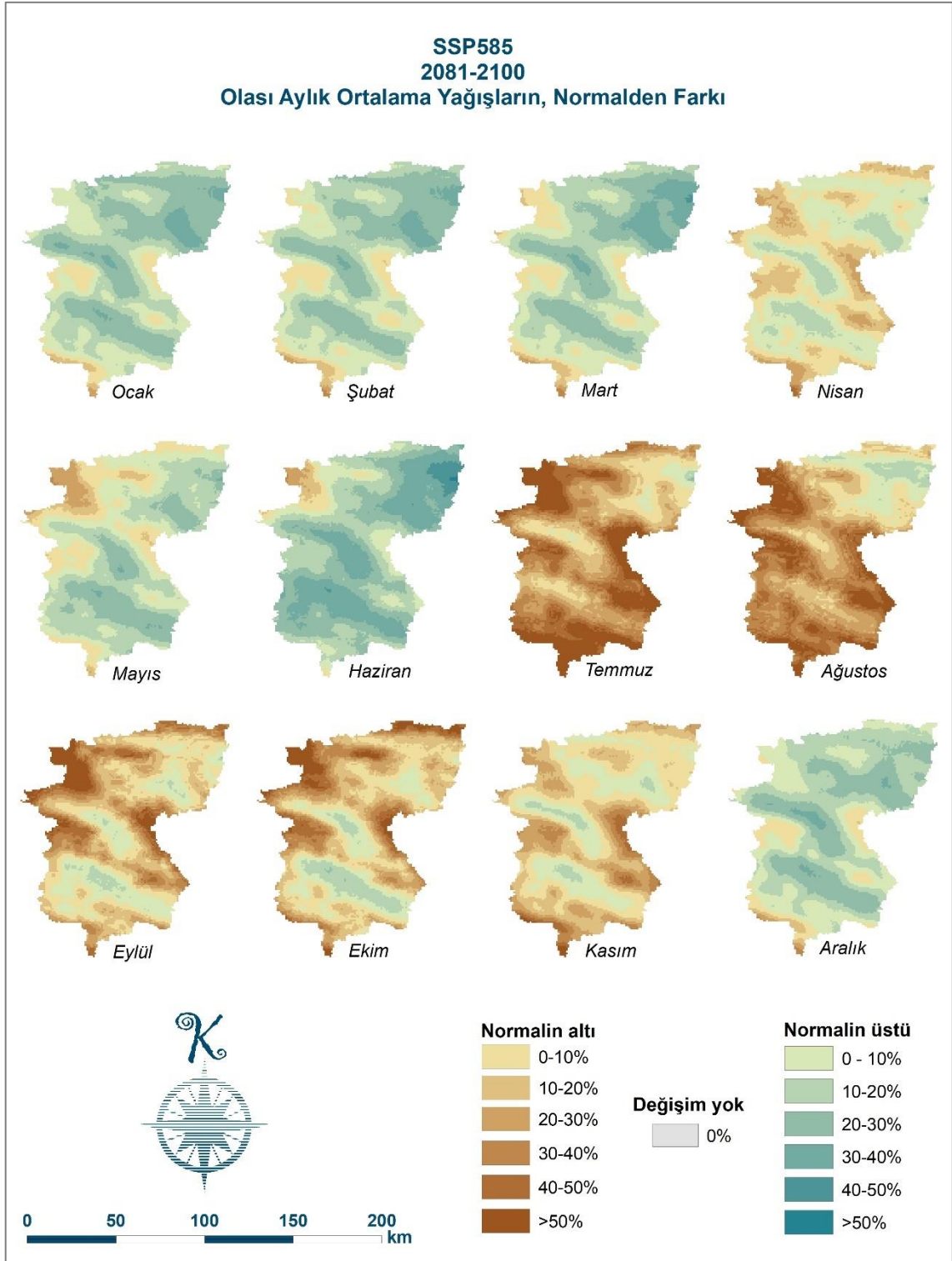
EK-11: SSP5-8.5 Senaryosu, 2041-2060 Dönemi, Aylık Ortalama Yağışların Normalden Fark Haritası



EK-12: SSP5-8.5 Senaryosu, 2061-2080 Dönemi, Aylık Ortalama Yağışların Normalden Fark Haritası



EK-13: SSP5-8.5 Senaryosu, 2081-2100 Dönemi, Aylık Ortalama Yağışların Normalden Fark Haritası



EK-14: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2024 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ

20 Şubat 2024 SALI

Resmî Gazete

Sayı : 32466

TEBLİĞ

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığından;

**MİMARLIK VE MÜHENDİSLİK HİZMET BEDELLERİNİN HESABINDA
KULLANILACAK 2024 YILI YAPI YAKLAŞIK BİRİM
MALİYETLERİ HAKKINDA TEBLİĞ**

Yapı yaklaşık birim maliyetleri

MADDE 1- (1) 16/7/1985 tarihli ve 85/9707 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile yürürlüğe konulan Mimarlık ve Mühendislik Hizmetler Şartnamesinin 3.2 inci maddesi gereğince, mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak 2024 yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri, yapının mimarlık hizmetlerine esas olan sınıfı dikkate alınarak; KDV hariç, genel giderler (%15) ile yüklenici kârı (%10) dâhil edilerek aşağıda gösterilmiştir.

YAPININ MİMARLIK HİZMETLERİNE ESAS OLAN SINIFI

I. SINIF YAPILAR

A GRUBU YAPILAR..... 1.450,00

1. Kâgir veya betonarme ihata duvarı (3,00 m yüksekliğe kadar)
2. Basit klünes ve basit tarım yapıları
3. Yumuşak plastik örtülü seralar
4. Mevcut yapılar arası bağlantı - geçiş yapıları
5. Geçici kullanımı olan küçük yapılar
6. Kalıcı kullanımı olan yardımcı yapılar
7. Gölgelikler - çardaklar
8. Üstü kapalı yanları açık dinlenme, oyun ve gösteri alanları
9. Depo amaçlı kayadan oyma yapılar
10. Bu gruptakilere benzer yapılar.

B GRUBU YAPILAR..... 2.100,00

1. Cam veya sert plastik örtülü seralar
2. Basit padok, büyük ve küçük baş hayvan ağılları
3. Kâgir ve betonarme su depoları
4. İş yeri depoları
5. Bu gruptakilere benzer yapılar.

II. SINIF YAPILAR

A GRUBU YAPILAR..... 3.500,00

1. Kuleler, ayaklı su depoları
2. Palplanj ve ankrajlı perde ve istinat duvarları
3. Kayıkhanes
4. Bu gruptakilere benzer yapılar.

B GRUBU YAPILAR..... 5.250,00

1. Şişirme (Pnömatik) yapılar
2. Tek katlı ofisler, dükkân ve basit atölyeler
3. Semt sahaları, küçük semt parkları, çocuk oyun alanları ve eklentileri
4. Tarımsal endüstri yapıları (Tek katlı, prefabrik beton, betonarme veya çelik depo ve atölyeler, tesisat ağırlıklı ağıllar, fidan yetiştirme ve bekletme tesisleri)
5. Yat bakım ve onarım atölyeleri, çekek yerleri
6. Jeoloji, botanik ve tema parkları
7. Mezbahalar
8. Bu gruptakilere benzer yapılar.

II. SINIF YAPILAR	
C GRUBU YAPILAR.....	7.750,00
1. Hangar yapıları (küçük uçaklar, helikopterler, tarım uçakları park ve bakım onarım yeri) 2. Sanayi yapıları (Tek katlı, bodrum ve asma katı da olabilen) 3. Bu gruptakilere benzer yapılar.	
III. SINIF YAPILAR	
A GRUBU YAPILAR.....	12.250,00
1. Okul ve mahalle spor tesisleri (Temel eğitim okullarının veya işletme ve tesislerin spor salonları, jimnastik salonları, semt salonları) 2. Katlı garajlar 3. Ticari amaçlı binalar (üç kata kadar üç kat dâhil - asansörsüz - 3/7/2017 tarihli ve 30113 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinin 34 üncü maddesinin birinci fıkrasına göre asansör yeri bırakılacak) 4. Alışveriş merkezleri (semt pazarları, küçük ve büyük hal binaları, marketler ve benzeri) 5. Basımevleri, matbaalar 6. Soğuk hava depoları 7. Konutlar (üç kata kadar- üç kat dâhil - asansörsüz - 3/7/2017 tarihli ve 30113 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinin 34 üncü maddesinin birinci fıkrasına göre asansör yeri bırakılacak) 8. Akaryakıt ve gaz istasyonları 9. Kampingler 10. Semt postaneleri 11. Sanayi tesisleri (Donanımlı atölyeler, imalathane, dökümhane) 12. Kreş ve gündüz bakımevleri, hobi ve oyun salonları 13. Bu gruptakilere benzer yapılar.	
B GRUBU YAPILAR.....	14.400,00
1. Entegre tarımsal endüstri yapıları, büyük çiftlik yapıları 2. Gençlik merkezleri, halk evleri 3. Lokanta, kafeterya ve yemekhaneler 4. Temel eğitim okulları 5. Küçük kitaplık ve benzeri kültür tesisleri 6. Jandarma ve emniyet karakol binaları 7. Sağlık ocakları, kamu sağlık dispanserleri 8. Ticari amaçlı binalar (Yapı yüksekliği 21,50 m’ye kadar olan) 9. 150 kişiye kadar cezaevleri 10. Fuarlar 11. Sergi salonları 12. Konutlar (Yapı yüksekliği 21,50 m’den az yapılar) 13. Marinalar 14. Gece kulübü, diskotekler 15. Misafirhaneler, pansiyonlar 16. Bu gruptakilere benzer yapılar.	

IV. SINIF YAPILAR**A GRUBU YAPILAR..... 15.300,00**

1. Özelliği olan büyük okul yapıları (Spor salonu, konferans salonu ve ek tesisleri olan eğitim yapıları)
2. Poliklinikler
3. Liman binaları
4. İdari binalar (ilçe tipi hükümet konakları, vergi daireleri ve benzeri)
5. İlçe belediyeleri
6. 150 kişiyi geçen cezaevleri
7. Kaplıcalar, şifa evleri ve benzeri termal tesisleri
8. İbadethaneler (1500 kişiye kadar)
9. Aqua parklar
10. Entegre sanayi tesisleri
11. Müstakil spor köyleri (Yüzme havuzları, spor salonları ve statları bulunan)
12. Yaşlılar huzurevi, kimsesiz çocuk yuvaları, yetiştirme yurtları
13. Büyük alışveriş merkezleri
14. Yüksek okullar ve eğitim enstitüleri
15. Apartman tipi konutlar (Yapı yüksekliği 30,50 m'den az yapılar)
16. Oteller (1 ve 2 yıldızlı)
17. Bu gruptakilere benzer yapılar.

B GRUBU YAPILAR..... 17.400,00

1. Araştırma binaları, laboratuvarlar ve sağlık merkezleri
2. İl tipi belediyeler
3. İl tipi idari kamu binaları
4. Metro istasyonları
5. Stadyum, spor salonları ve yüzme havuzları
6. Büyük postaneler (merkez postaneleri)
7. Otobüs terminalleri
8. Eğlence amaçlı yapılar (çok amaçlı toplantı, eğlence ve düğün salonları)
9. Banka binaları
10. Normal radyo ve televizyon binaları
11. Özelliği olan genel sığınaklar
12. Müstakil veya ikiz konutlar (Bağımsız bölüm brüt alanı 151 m² ~ 600 m² villalar, teras evleri, dağ evleri, kaymakam evi ve benzeri)
13. Bu gruptakilere benzer yapılar.

C GRUBU YAPILAR..... 18.700,00

1. Büyük kütüphaneler ve kültür yapıları
2. Bakanlık binaları
3. Yüksek öğrenim yurtları
4. Arşiv binaları
5. Radyoaktif korumalı depolar
6. Büyük Adliye Sarayları
7. Otel (3 yıldızlı) ve moteller
8. Rehabilitasyon ve tedavi merkezleri
9. İl tipi hükümet konakları ve büyükşehir belediye binaları
10. İş merkezleri (Yapı yüksekliği 21,50 m ile 30,50 m arası - 30,50 m dâhil yapılar)
11. Konutlar (Yapı yüksekliği 30,50 m ile 51,50 m arası - 51,50 m dâhil yapılar)
12. Bu gruptakilere benzer yapılar.

V. SINIF YAPILAR	
A GRUBU YAPILAR.....	21.300,00
1. Televizyon, Radyo İstasyonları, binaları 2. Orduvleri 3. Büyükelçilik yapıları, vali konakları ve brüt alanı 600 m ² üzerindeki özel konutlar 4. Borsa binaları 5. Üniversite kampüsleri 6. İş merkezleri (Yapı yüksekliği 30,50 m aşan yapılar) 7. Yapı yüksekliği 51,50 m'yi aşan yapılar (Konutlar dâhil) 8. Alışveriş kompleksleri (İçerisinde sinema, tiyatro, sergi salonu, kafe, restoran, market ve benzeri bulunan) 9. Bu gruptakilere benzer yapılar.	
B GRUBU YAPILAR.....	22.250,00
1. Kongre merkezleri 2. Olimpik spor tesisleri – hipodromlar 3. Bilimsel araştırma merkezleri, AR-GE binaları 4. Hastaneler 5. Havalimanları 6. İbadethaneler (1500 kişinin üzerinde) 7. Oteller (4 yıldızlı) 8. Uçak Bakım, Onarım ve Yenileme Merkezleri 9. Bu gruptakilere benzer yapılar.	
C GRUBU YAPILAR.....	24.300,00
1. Oteller ve tatil köyleri (5 yıldızlı) 2. Müze ve kütüphane kompleksleri 3. Bu gruptakilere benzer yapılar.	
D GRUBU YAPILAR.....	26.800,00
1. Opera, tiyatro ve bale yapıları, konser salonları ve kompleksleri 2. Tarihi eser niteliğinde olup restore edilerek veya yıkılarak aslına uygun olarak yapılan yapılar 3. Bu gruptakilere benzer yapılar.	

Yapının mimarlık hizmetlerine esas olan sınıfının belirlenmesine ilişkin açıklamalar

MADDE 2- (1) Benzer yapılar, ilgili gruptaki yapılara kıyasen uygulayıcı kurum ve kuruluşlarca Mimarlık ve Mühendislik Hizmetleri Şartnamesinin ilgili hükümlerinden yararlanılarak belirlenecektir.

(2) Tebliğin revizyonu çalışmalarında sınıfı veya grubu değiştirilen veya tebliğden çıkarılan yapılar için, 2024 yılından önceki tebliğlere göre yapı sınıfı ve grubu belirlenmiş mimarlık ve mühendislik hizmetlerinde; belirlendiği yılın tebliğindeki yapı sınıfı ve grubu değiştirilmeksizin 2024 yılı tebliğinde karşılığı olan tutar esas alınmak suretiyle hesap yapılacaktır.

(3) Tebliğdeki sınıf ve gruplar yapım aşamasında belirlenirken tereddüte düşülmesi halinde, o yapının yapı yaklaşık maliyeti; yapının projesine göre hazırlanacak metrajlara

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Birim Fiyatlarının uygulanması suretiyle hesaplanacaktır.

(4) Bu Tebliğde yer alan yapıların birim metrekare maliyetleri, asgari mahal listesine göre belirlenen yapı malzemeleri dikkate alınarak belirlenmektedir. Ayrıca, Tebliğdeki yapı yaklaşık birim maliyetlerinin tespitinde; yapının bulunduğu arsa bedeli, çevre düzenlemesi (peyzaj, bahçe sulama, yağmur suyu drenaj, çevre aydınlatma, hata duvarı, ada içi yollar ve benzer), altyapı (zemin iyileştirme, bina dışı; elektrik, içme suyu, doğalgaz, kanalizasyon, internet, haberleşme ve benzer) giderler dahil edilmemektedir.

Yürürlük

MADDE 3- (1) Bu Tebliğ 1/1/2024 tarihinden geçerli olmak üzere yayımı tarihinde yürürlüğe girer.

Yürütme

MADDE 4- (1) Bu Tebliğ hükümlerini Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanı yürütür.

EK-15: Standart t-dağılım tablosu

t-Tablosu												
Kümülatif olasılık		t _{.05}	t _{.75}	t _{.80}	t _{.85}	t _{.90}	t _{.95}	t _{.975}	t _{.99}	t _{.995}	t _{.999}	t _{.9995}
tek yönlü	çift	0.50	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
yönlü		1.00	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.002	0.001
serbestlik derecesi												
1		0.000	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	318.31	636.62
2		0.000	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.599
3		0.000	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924
4		0.000	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5		0.000	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6		0.000	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7		0.000	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8		0.000	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9		0.000	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10		0.000	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11		0.000	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12		0.000	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13		0.000	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14		0.000	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15		0.000	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16		0.000	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17		0.000	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18		0.000	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19		0.000	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.823
20		0.000	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21		0.000	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22		0.000	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23		0.000	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.768
24		0.000	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25		0.000	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26		0.000	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27		0.000	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28		0.000	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29		0.000	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30		0.000	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
40		0.000	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
60		0.000	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
80		0.000	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.195	3.416
100		0.000	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.174	3.390
1000		0.000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.330	2.581	3.098	3.300
Z		0.000	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291
		%0	%50	%60	%70	%80	%90	%95	%98	%99	%99.8	%99.9
		Güven Düzeyi										

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO : 0000-0002-5807-2184

Ad Soyad : Gökben ADANA KARAAĞAÇ

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- Doktora: 2024, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ABD
- Yüksek Lisans: 2018, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme ABD, Finansman BD
- Lisans: 2012, Anadolu Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

Uluslararası diğer hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

- Cihangir, M. ve Adana Karaağaç, G. (2016). İhmal edilmiş, normal ve popüler pay senetlerinin performanslarının göreceli değerlendirilmesi: Borsa İstanbul'da bir uygulama. ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODÜSOBİAD), 6(3), 793-802.
- Evci, S., Şak, N. ve Adana Karaağaç, G. (2016). Analysis of volatility in gold prices with the Markov Regime-Switching Models. Business and Economics Research Journal, 7(4), 67-77. 10.20409/berj.2016422339
- Adana Karaağaç, G. ve Altınırmak, S. (2018). En yüksek piyasa değerine sahip 10 kripto paranın birbirleriyle etkileşimi. Muhasebe ve Finansman Dergisi, 79, 123-138. <https://doi.org/10.25095/mufad.438852>
- Adana Karaağaç, G. ve Altınırmak, S. (2018). Türkiye konut endeksi ve düzey bazlı konut fiyat endeksleri ile seçili değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi. Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi, 39(39),222-240. <https://doi.org/10.17498/kdeniz.415650>
- Adana Karaağaç, G., Altınırmak, S. ve Ergün, M. (2019). Coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla gayrimenkul değer haritalarının oluşturulması: Eskişehir ili Tepebaşı ilçesi örneği. Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi, 42,131-156. <https://doi.org/10.17498/kdeniz.516110>

- Yıldırım, V., Yurdakul, E., Adana Karaağaç, G., Koçer, M. & Uyguçgil, H. (2023). Eskişehir Kent Merkezindeki Trafik Kazalarının Zamana Bağlı Konumsal Analizi. Turkish Journal of Remote Sensing and GIS, 4 (1), 17-32. DOI: 10.48123/rsgis.1167844
- Bakır, S., Adana Karaağaç, G., Uyguçgil, H. (2024). Coğrafi Bilgi Teknolojileri ile Taşınmaz Kültür Varlıkları Envanterlerinin Oluşturulması: Büyükkada, Nizam ve Maden Mahalleri Örneği. Coğrafya Dergisi, 48, 49-64. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2024-1292825>

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (*Proceedings*) basılan bildiriler

- Adana Karaağaç, G., Altınırnak, S. ve Okoth, B. (2019, Haziran). An application of the Delphi Technique in the real estate market. 2nd International Conference on Empirical Economics and Social Sciences-ICEESS 2019. https://www.icoaef.com/wp-content/uploads/2019/09/ICEESS19_PROCEEDINGS_280919.pdf
- Ulutak, E., Adana Karaağaç, G., Aghlmand, M. ve Uyguçgil, A. (2020). Acil Durum Yönetimi: Eskişehir Olası Deprem Senaryosu. Idrc 2020, 2nd International Disaster&Resilience Congress, Resilience of/in Megacities.
- Yıldırım, V., Yurdakul, E., Adana Karaağaç, G. Ve Uyguçgil, H. (2020). İller Bazında Covid-19 Kırılganlık Göstergesi. Idrc 2020, 2nd International Disaster&Resilience Congress, Resilience of/in Megacities.

Diğer yayınlar

- Temizel, F., Yıldırım, M. ve Adana Karaağaç, G. (2018). “Hangi Makroekonomik Değişkenler Bist Metal Eşya, Makine ve Gereç Yapım Endeksi (XMESY) Getirisini Etkilemektedir?”, Sanayi Sektörü Getirilerinin Belirleyicileri, Editör: Fatih Temizel, Beta, s.94-115, İstanbul.
- Altınırnak, S. ve Adana Karaağaç, G. (2020). Genel İşletme (1. Basım). Ankara: Nobel

Projeler

- Ulusal Coğrafi Bilgi Stratejisi ve Eylem Planı İzleme ve Raporlama Faaliyetleri İçin Olgunluk Modeli Geliştirilmesi (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı-2020) CBS Uzmanı.
- Ulusal Coğrafi Bilgi Stratejisi ve Eylem Planı İzleme Raporlama Faaliyetleri Kapsamında Olgunluk Modelinin Uygulanması (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı-2021) CBS Uzmanı.

- Kısa, A., Çabuk, A., Çabuk, S.N., Özdamar, N., Avdan, U., Uyguçgil, H., Tün, M., Pekkan, E., Şenel Kürkçüoğlu, M.A., Yılmazel, B., Kaplan, O., Çömert, R., Bilgilioğlu, S., Tuncer, S., Kavşut, A., Sarmusak, E., Battal Şamiloğlu, F., Özenen-Kavlak, M., Sarı, S., Aksoy, T., Adana Karaağaç, G., Demirtaş, M., Yurdakul, E., Bingül, B., Aydemir, H.S., Yalçın, H., Çelik, İ.T. (2021). Ulusal Coğrafi Bilgi Stratejisi ve Eylem Planı İzleme ve Raporlama Faaliyetleri Kapsamında Olgunluk Modelinin Uygulanması. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü.
- Kısa, A., Çabuk, A., Avdan, U., Uyguçgil, H., Çabuk, S.N., Tün, M., Pekkan, E., Şenel Kürkçüoğlu, M.A., Yılmazel, B., Kaplan, O., Kaplan, G., Kavşut, A., Sarmusak, E., Battal Şamiloğlu, F., Tuncer, S., Bektöre, E.M., Küçük Matcı, D., Öçer, N.E., Mutlu, S., Kavlak, M. O., Mercan, E., Ortakavak, Z., Sarı, S., Demirtaş, M., Adana Karaağaç, G., Yurdakul, E., Bingül, B., Balkan, E., Erdem, F. (2020). Ulusal Coğrafi Bilgi Stratejisi ve Eylem Planı İzleme ve Raporlama Faaliyetleri için Olgunluk Modeli Geliştirilmesi. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü.
- Urban GreenUp. Avrupa Birliği Horizon 2020 Araştırma ve Yenilik Programı. Projenin İzmir ayağında, proje sonuçlarının paylaşımı için web tabanlı CBS uygulaması oluşturulması faaliyeti (01.12.2022-31.03.2023) (Hibe Anlaşma No:730426)
- İnsansız Hava Araçları Kullanımı ile Harita ve Kent Modellerinin Üretimi. Araştırmacı. GAP Projesi. 22GAP249. Araştırmacı (2022-2023)
- 6 Şubat Kahramanmaraş Depreminin Neden Olduğu Doğrudan Ekonomik Zarar: Hatay Örneği. ADP Projesi. 23ADP160. Araştırmacı (2023-2024)
- Küresel İklim Modellerinde Ölçek İndirgeme ve Spatio-Temporal Kuraklık Analizi: Türkiye Örneği. ADP Projesi. 24ADP199. Araştırmacı (2024-2025)