



**CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME  
YAKLAŞIMLARINI KULLANARAK DURAĞAN  
OLMAYAN KOŞULLAR ALTINDA TAŞKIN RİSK  
DEĞERLENDİRMESİ**

**Reşat GÜN**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**2026**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.  
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMLARINI  
KULLANARAK DURAĞAN OLMAYAN KOŞULLAR ALTINDA TAŞKIN  
RİSK DEĞERLENDİRMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Reşat GÜN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muhammet YILMAZ

ERZURUM, 2026

**T.C.**  
**ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI**

---

**CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMLARINI  
KULLANARAK DURAĞAN OLMAYAN KOŞULLAR ALTINDA TAŞKIN  
RİSK DEĞERLENDİRMESİ**

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet YILMAZ danışmanlığında Reşat GÜN tarafından hazırlanan bu çalışma 10.02.2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **Oy birliği ile (3/3)** kabul edilmiştir.

<b>Danışman:</b>	Dr. Öğr. Üyesi Muhammet YILMAZ <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	<i>İmza</i> .....
<b>Üye:</b>	Prof. Dr. Fatih TOSUNOĞLU <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	<i>İmza</i> .....
<b>Üye:</b>	Doç. Dr. Serkan ŞENOCAK <i>Atatürk Üniversitesi</i>	<i>İmza</i> .....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

**Prof. Dr. İlker KAZAZ**  
**Enstitü Müdürü**

## ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etik ilkelere uygun davrandığımı ve tezin hazırlanması sürecinde üretken yapay zekâ programlarından, içeriğin ve sonuçların özgünlük sorumluluğunun tarafıma ait olması ve çalışmanın bilimsel niteliğini etkilemeyecek düzeyde, yalnızca yardımcı bir araç olarak sınırlı düzeyde destek alındığını beyan ederim.

10.02.2026

İmzası

Reşat GÜN

## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐması Erzurum Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danıŐsam bana yardımcı olabilmek için elinden gelenin fazlasını yapan danıŐmam hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muhammet YILMAZ'a teŐekkürü bir borç bilirim.

ÇalıŐmam kapsamında verilerin değerlendirilmesi aŐamalarında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen DSİ 8. Bölge Müdürlüğünde görevli olan İnşaat Mühendisi İbrahim Gökhan BALKAN'a ve DSİ 8. Bölge Müdürlüğü Taşkın Kontrol Őubesinde görevli mühendis arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca, tez sürecine katkıda bulunan ve tez savunma jürime katılan Sayın Prof. Dr. Fatih TOSUNOĞLU ve Sayın Doç. Dr. Serkan ŞENOCAK hocalarıma sayĐı ve Őükranlarımı ifade etmek isterim.

EĞitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen anneme, babama ve kardeŐlerime içten teŐekkürlerimi sunarım.

**Reşat GÜN**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMLARINI KULLANARAK DURAĞAN OLMAYAN KOŞULLAR ALTINDA TAŞKIN RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Reşat GÜN

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Muhammet YILMAZ

Sel baskınları, önemli ekonomik kayıplara ve can güvenliği açısından ciddi risklere yol açan başlıca doğal afetlerden biridir. Bu nedenle, kentsel alanlarda sel risk değerlendirmesi çalışmaları, sel felaketinin azaltılması ve sürdürülebilir kalkınma faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için önemli bir konudur. Sel riski üzerine yapılan çalışmalar artmış olsa da, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve çok kriterli karar verme modeli (ÇKKV) tabanlı sel risk değerlendirmelerinde, durağan olmayan koşullar altında farklı geri dönüş periyotlarındaki yağışların sel riski üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmalar yetersizdir. Bu boşluğu ele almak için önerilen tez çalışması Türkiye'nin en kalabalık şehirlerinden biri olan İzmir ilinde sel risk alanlarını belirlemek ve önceliklendirmek amacıyla, durağan olmayan koşullar altında farklı geri dönüş periyotları için hesaplanan yağış kantilleri ile ÇKKV tabanlı sel tehlikesi haritalama tekniklerini entegre etmiştir. Çalışma kapsamında ilk olarak mevcut sel riskini değerlendirmek için, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), CBS'ye entegre edilmiş ve kritik olarak belirlenen 165 noktanın sel risk önceliğini analiz etmek için Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü (VIKOR) yaklaşımı kullanılmıştır. Değerlendirme sonuçlarına göre, Buca, Menderes, Bornova, Kemalpaşa, Çeşme, Torbalı, Menemen, Seferihisar ve Çiğli ilçeleri yüksek sel riski altındadır. VIKOR sonuçları, en yüksek sel riski noktalarının R91 (Çeşme), R153 (Buca) ve R93 (Çeşme) olduğunu göstermektedir. Çalışma alanında kapsamlı bir risk değerlendirmesi gerçekleştirmek için, durağan olmayan koşullar altında 10, 20, 50 ve 100 yıllık geri dönüş seviyelerinde Dağılım parametreleri için Genelleştirilmiş Eklemeli Modeller (GAMLSS) ile elde edilen yağış tahminleri AHP ile yeniden ağırlıklandırılmış ve tehlike kriterlerine dâhil edilerek dört senaryo için sel riski analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, geri dönüş süreleri arttıkça yüksek riskli alanların genişlediğini, düşük riskli alanların ise daraldığını göstermiştir. VIKOR sonuçları, önceki sonuçlardan farklı olarak, Kemalpaşa ilçesindeki R55, R56 ve R54 noktalarının dört senaryoda da en yüksek sel riskine sahip bölgeler olduğunu ortaya koymuştur. Önerilen bütünsel yaklaşımın İzmir ilinde sel riski azaltma stratejileri için karar vericilere önemli bilgiler sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Taşkın risk analizi; ÇKKV, Dağılım parametreleri için genelleştirilmiş eklemeli modeller (GAMLSS), CBS, İzmir

## ABSTRACT

MASTER'S THESIS

### FLOOD RISK ASSESSMENT UNDER NON-STATIONARY CONDITIONS USING CBS-BASED MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING APPROACHES

Reşat GÜN

Erzurum Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

**Supervisor:** Assist. Prof. Dr. Muhammet YILMAZ

Floods are one of the major natural disasters causing significant economic losses and serious risks to life safety. Therefore, flood risk assessment studies in urban areas are crucial for flood mitigation and the implementation of sustainable development activities. Although studies on flood risk have increased, research examining the effects of rainfall at different return periods under non-stationary conditions on flood risk is insufficient in Geographic Information System (GIS) and multi-criteria decision-making model (MCDM) based flood risk assessments. To address this gap, the proposed thesis integrates rainfall quantiles calculated for different return periods under non-stationary conditions with MCDM-based flood hazard mapping techniques to identify and prioritize flood risk areas in Izmir, one of Turkey's most populous cities. In this study, the Analytical Hierarchy Process (AHP) was first integrated into the GIS to assess the existing flood risk, and the ViseKriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) approach was used to analyze the flood risk priority of 165 critically identified points. According to the assessment results, the districts of Buca, Menderes, Bornova, Kemalpaşa, Çeşme, Torbalı, Menemen, Seferihisar, and Çiğli are under high flood risk. VIKOR results show that the highest flood risk points are R91 (Çeşme), R153 (Buca), and R93 (Çeşme). To conduct a comprehensive risk assessment in the study area, rainfall estimates obtained the Generalized Additive Models for Location, Scale and Shape (GAMLSS) at 10, 20, 50, and 100-year return levels under non-stationary conditions were re-weighted with AHP and included in the hazard criteria, and flood risk analyses were performed for four scenarios. The results showed that as return periods increased, high-risk areas expanded, while low-risk areas contracted. Unlike previous findings, the VIKOR results revealed that points R55, R56, and R54 in Kemalpaşa district had the highest flood risk in all four scenarios. It is believed that the proposed integrated approach will provide important information to decision-makers regarding flood risk reduction strategies in İzmir province.

**Keywords:** Flood risk analysis, MCDM, Generalized additive models for location, Scale and shape (GAMLSS), GIS, İzmir

## İÇİNDEKİLER

ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI .....	i
TEŞEKKÜR .....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT .....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
TABLolar DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ .....	ix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Taşkın Riski Analizine İlişkin Literatür Taraması .....	4
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>12</b>
2.1. Çalışma Alanı .....	13
2.2. Değerlendirme Kriterlerinin Tanımlanması .....	15
2.2.1. Tehlike Kriterleri .....	16
2.2.2. Kırılganlık Kriterleri .....	20
2.3. Atmosferik Salınımlar .....	24
2.3.1. Kuzey Atlantik Salınımı (NAO).....	24
2.3.2. Güney Salınım (SO) .....	25
2.3.3. Batı Akdeniz Salınımı (WeMO).....	26
2.4. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) .....	28
2.5. Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm Yöntemi (VIKOR) .....	29
2.6. Dağılım parametreleri için Genelleştirilmiş Eklemeli Modeller (GAMLSS) .....	31
<b>3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>34</b>
3.1. AHP Bulgularının Değerlendirilmesi .....	34
3.2. AHP Tabanlı CBS Değerlendirilmesi .....	37
3.3. VIKOR Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi .....	42
3.4. Durağan Olmayan Koşullar Altında GAMLSS ile Modelleme .....	42
3.5. Geliştirilen Yaklaşımın Değerlendirilmesi.....	50
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>57</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>59</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>69</b>

EK-1. Durağan modellerin karşılaştırması .....	69
EK-2. Farklı geri dönüş seviyeleri için kantil değerlerinin gösterimi .....	70
<b>TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR.....</b>	<b>77</b>
1. Makaleler .....	77



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. İzmir ilinde meydana gelen sel olayları.....	14
Tablo 2.2. Kriterlerin sembolleştirilmesi .....	24
Tablo 2.3. Çalışmada kullanılan atmosferik salınımlar .....	28
Tablo 2.4. Çalışmada kullanılan olasılık dağılım fonksiyonlarının özeti .....	32
Tablo 3.1. Tehlike kriterleri ve alt kriter ağırlıkları .....	35
Tablo 3.2. Kırılganlık kriterleri ve alt kriter ağırlıkları.....	36
Tablo 3.3. Yüksek sel riski olan ilk 20 nokta.....	42
Tablo 3.4. Uygulanan modeller için AIC değerleri, Filliben katsayıları ve LR testi p değeri ile özet bilgi .....	44
Tablo 3.5. Belirlenen en uygun modellerin matematiksel formülasyonları.....	45
Tablo 3.6. Farklı geri dönüş dönemlerinde sel riski değerlendirmesi için ana ağırlıklar	47
Tablo 3.7. Toplam taşkın riskine maruz kalan alanın oranı .....	48
Tablo 3.8. Dört farklı senaryo için en yüksek 20 sel riski noktaları .....	49
Tablo 3.9. %95 Persentile dayalı sel riski değerlendirmesine göre ilk 20 nokta .....	54

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çalışmanın akış diyagramı.....	12
Şekil 2.2. Çalışma alanının gösterimi .....	15
Şekil 2.3. İzmir ilçelerinin harita üzerindeki yerleşimi.....	15
Şekil 2.4. Çalışmada kullanılan ERA5-Land veri noktalarının harita üzerindeki mekânsal yerleşimi .....	16
Şekil 2.5. NAO'nun pozitif ve negatif dönemi .....	25
Şekil 2.6. Sırasıyla La Nina ve El Nino'nun ekvator bölgesindeki etkileri .....	26
Şekil 2.7. WeMO'nun pozitif ve negatif fazlardaki durumu .....	27
Şekil 3.1. Taşkın tehlike kriter katmanları .....	37
Şekil 3.2 Taşkın kırılma kriter katmanları .....	38
Şekil 3.3 İzmir şehrinin sel tehlike haritası .....	40
Şekil 3.4. İzmir şehrinin sel kırılma kriter haritası .....	40
Şekil 3.5. İzmir ilinde taşkın riskinin dağılımı.....	41
Şekil 3.6. Seçilen en uygun modellerin solucan grafikleri.....	45
Şekil 3.7. Farklı geri dönüş dönemleri için sel riski haritaları .....	48
Şekil 3.8. Taşkın riski haritasında VIKOR sıralamasının görselleştirilmesi .....	51
Şekil 3.9. Farklı senaryolar için elde edilen taşkın riski haritalarında VIKOR sıralamalarının görselleştirilmesi.....	53
Şekil 3.10. 100 Yıl tekerrür periyodu (T=100) için %95 percentile dayalı olarak elde edilen sel riski haritası .....	54
Şekil 3.11. 100 Yıl tekerrür periyodu (T=100) için %95 percentile dayalı olarak elde edilen sel riski haritası için VIKOR sıralaması .....	55
Şekil 3.12. Taşkın risk dağılımı; (a) Mevcut durum, (b) 100 yıl geri dönüş seviyesi (c) 100 yıl için %95 percentile göre .....	56

## KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

$g$	Yerçekimi ivmesi
$m$	Metre
NIR	Yakın Kızılötesi Bant Yansımaları
R	L8 Uydu görüntüsündeki kırmızı bant yansımaları
AS	Belirli bir havza alanı
$\beta$	Yerel eğim açısı(derece)
CR	Tutarlılık Oranı
CI	Tutarlılık İndeksi
RI	Rastgele Tutarlılık İndeksi
$w_i$	$i$ . kriterin (veya alternatifin) ağırlık değeri
$n$	Kriter Sayısı
$r'_{ij}$	Normalizasyon Sonucu Elde Edilen Değer
LR	Olasılık Oranı
$S_i$	Alternatif $i$ 'nin toplam fayda ölçütü
$S^*$	Değerlerin Minimumu
$Q_i$	Uzlaşık çözüm indeksi
$v$	Ağırlık (veya strateji katsayısı)
$S^*$	En iyi $S_i$ değeri(minimum)
$S^-$	En kötü $S_i$ değeri(maksimum)
$R_i$	Alternatifi'nin en kötü kriter performansı
$R^*$	En iyi $R_i$ değeri(minimum)
$R^-$	En kötü $R_i$ değeri(maksimum)
AHP	Analitik Hiyerarşi Yöntemi
DSİ	Devlet Su İşleri
ÇÇKV	Çok Kriterli Karar Verme
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
VIKOR	VİseKriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerlik Sıra Tercihi Tekniği
GAMLSS	Dağılım parametreleri için Genelleştirilmiş Eklemeli Modeller
WeMO	Batı Akdeniz Salınımı
SO	Güney Salınımı

NAO	Kuzey Atlantik Salınımı
LOGNO	Lognormal
WEI	Weibull
LOGİS	Lojistik
GA	Gamma
ELECTRE	Eliminasyon ve Seçimle Gerçekliği Çevirme
FAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci
ANP	Analitik Ağ Süreci
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
TUİK	Türkiye İstatistik Kurumu
ECMWF	Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi
NDVI	Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü
TWI	Topoğrafik Nem İndeksi

# 1. GİRİŞ

Günümüzde doğal afetler, insan hayatının fiziksel, sosyal, ekonomik ve psikolojik boyutlarını derinden etkileyen ve insanlığın karşı karşıya olduğu en önemli tehditlerden biri haline gelmiştir (Sui et al., 2018). Bu afetler arasında sel, en yıkıcı ve yaygın olanlardan biridir (Joy and X.x, 2004; Foudi et al., 2015; Papaioannou et al., 2015). İnsanların yıkıcı sellere maruz kalma oranı 2000 ile 2021 yılları arasında %20'den %24'e yükselmiştir ve mevcut iklim değişikliği projeksiyonları bu oranın artacağını göstermektedir (Tellman et al., 2021). Yoğun kentleşme ve iklim değişikliği nedeniyle kentsel seller son yıllarda önemli ölçüde artmıştır (O'Donnell and Thorne, 2020; Abdo et al., 2024). İklim değişikliğinin neden olduğu ani ve yoğun yağış (Lyu and Yin, 2023), kentsel alanlardaki geçirimsiz yüzeylerin artması nedeniyle sızma ve buharlaşma gibi hidrolojik süreçlerdeki değişikliklerle birleşerek yüzey akışını hızlandırmakta ve şehirleri ciddi sel riskine maruz bırakmaktadır (Melesse and Shih, 2003). Bu nedenle, yoğun kentsel alanlarda kapsamlı bir sel riski değerlendirmesi, etkili sel azaltma stratejilerinin geliştirilmesi ve insan yerleşimlerinin korunması için son derece önemli bir konu haline gelmiştir.

Sel riski, bir bölgedeki sel tehlikesi ile toplumun kırılganlık düzeyinin bir araya getirilmesiyle belirlenmektedir. (Wolfgang, 2005; Müller et al., 2011). Sel tehlikesi, herhangi bir bölgedeki doğal afet olaylarının yoğunluk analizinin coğrafi ve sıklık dağılımı olarak tanımlanmaktadır (Wang and Sebastian, 2021). Kırılganlık, beklenen bir tehlikeye karşı duyarlılık ve kırılganlık olarak ifade edilebilir ve aynı zamanda zaman içinde gelişen dinamik bir kavramdır (Menoni et al., 2012). Böylece sel riski bu iki farklı bileşenin birleşimini yansıtan kapsamlı bir gösterge olarak tanımlanmaktadır. Sel riski değerlendirmesi çalışmaları, kentsel alanların risk yönetiminde sellerin değerlendirilmesi, önlenmesi ve bunlara hızlı bir şekilde müdahale edilmesi için kritik öneme sahiptir. Birçok ülkede, çeşitli sel tehlikesi, kırılganlık ve risk tahmini için fiziksel tabanlı ve ampirik yaklaşımlar veya metodolojiler kullanan çalışmalar bulunmaktadır (Lyu et al., 2019a). Fiziksel tabanlı teknikler, sentetik sel olaylarını simüle etmek ve sel tehlikesi haritaları üretmek için manuel veya otomatik olarak kalibre edilen bilgisayar tabanlı hidrolik modelleri kullanmaktadır (Nkwunonwo et al., 2020). Geliştirilen modellerle ilgili en büyük zorluklardan biri, farklı çalışma alanlarında doğrulanması, güvenilirliğinin artırılması ve etkili bir şekilde kalibre edilmesidir. Ek olarak, model sürekliliğini

sağlamak için parametrelerin kapsamlı bir hassasiyet analizinin yapılması oldukça önemlidir (Abdrabo et al., 2020). Dahası, sınırlı verilerle, bu modelleri uygulamak, özellikle ayrıntılı girdilerin çok önemli olduğu kentsel alanlarda bu durum oldukça zorlaşmaktadır (Bates et al., 2006). Deneysel yöntemler kullanılarak yapılan sel riski değerlendirmesi, kara kutu yaklaşımları, yapay zekâ modelleri, çok kriterli karar verme (ÇKKV) çerçeveleri ve makine öğrenimi teknikleri için çeşitli istatistiksel ve veri odaklı stratejileri içermektedir (Mosavi et al., 2018; Mudashiru et al., 2021). Bir bölge için ayrıntılı bir sel riski değerlendirmesi oldukça karmaşık işlemleri gerektirebilir, çünkü birçok parametre ve değişkenin dâhil edilmesi gerekmektedir (Liu et al., 2003). ÇKKV yaklaşımları, çelişkili ve rekabetçi ilişkilere sahip farklı faktörleri ele alma becerisi sayesinde bu karmaşık sorunların üstesinden gelmede oldukça başarılı yöntemlerdir. (Zheng et al., 2022). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), İdeal Çözüme Benzerlik Sıra Tercihi Tekniği (TOPSIS) ve Kompromisno Resenje ViseKriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) gibi çeşitli ÇKKV yöntemleri, araştırmacılar tarafından sel riski analizinde dünyanın farklı bölgelerinde sıklıkla kullanılmıştır (Ahmadisharaf et al., 2016; Al-Abadi et al., 2016; Luu et al., 2018; Zarei et al., 2021; Pathan et al., 2022; Agustina et al., 2023; Dadrasajirlou et al., 2023; Shariati et al., 2023).

Birçok araştırmacı, iklim değişikliğinin etkisiyle beraber kısa ve uzun vadeli yoğun yağışların sel riski üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu vurgulamıştır (Rahmati et al., 2016; Mann and Gupta 2023). Bu nedenle, yağış yoğunluğunun farklı tekrar dönemlerinde sel riski üzerindeki etkisini tartışmak, kapsamlı bir risk değerlendirmesi için kritik öneme sahiptir (Zope et al., 2015). Frekans analizi yöntemi, tekrar dönemi hesaplamasında sıklıkla kullanılan bir yaklaşımdır (Bonaccorso et al., 2003; Zhang et al., 2021; Cho et al., 2023). Geleneksel frekans analizi, hidrolojik veya meteorolojik zaman serilerinin durağan olduğunu ortalama ve varyans gibi parametrelerin zaman içinde sabit istatistiksel özelliklere sahip olduğunu varsayar (López and Francés, 2013; Gao et al., 2018). Ancak, bu varsayım küresel iklim değişikliğinin ve antropojenik bozulmaların etkileri nedeniyle giderek daha fazla sorgulanır hale gelmiştir (Li et al., 2019). Bu nedenle, literatürde zaman serilerinin durağan olmayan frekans analizleri için farklı teknikler ve kavramlar önerilmiştir. Herhangi bir değişken için durağan olmayan modellerin performansını iyileştirmek amacıyla araştırmacılar, atmosferik salınım endeksleri, hidrolojik ve meteorolojik verilerden elde edilen zaman serileri de dâhil olmak

üzere fiziksel olarak anlamlı yardımcı değişkenler kullanmışlardır (Han et al., 2022). Bunlar arasında büyük ölçekli atmosferik salınımlar, yağış serilerinin durağan olmayan modellenmesi için en kritik açıklayıcı değişkenlerden biri olarak önerilmektedir (Tosunoglu et al., 2024). Önerilen çalışma kapsamında yağış verileri için durağan olmayan modelleri oluşturmak amacıyla Rigby and Stasinopoulos (2005) tarafından geliştirilen Dağılım parametreleri için Genelleştirilmiş Eklemeli Modeller (GAMLSS) tekniğinin kullanılması planlanmaktadır. GAMLSS tekniği hidrolojik ve meteorolojik verilerin durağan olmayan modellerinin oluşturulmasında sıklıkla kullanılmaktadır (Villarini et al., 2009; Machado et al., 2015; Gu et al., 2017; Chen et al., 2021).

Bu bağlamda, önerilen çalışmada, CBS ve ÇKKV tekniklerinin entegrasyonu sağlanarak, İzmir ili için taşkın riski alanlarının belirlenmesi planlanmış ve durağan olmayan koşullar altında farklı tekrar dönemlerindeki yağışların taşkın riski üzerindeki etkilerini değerlendirmek üzere yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışmanın amacı aşağıdaki gibi sıralanabilir; (1) kapsamlı bir literatür taraması ve uzman görüşlerini dikkate alarak AHP yöntemi ile tehlike ve kırılganlık kriterleri için ağırlık değerlerini elde etmek; (2) taşkın riski haritasından elde edilen potansiyel taşkın alanlarının tehlike endeksi önem sıralamasını VIKOR yöntemi ile gerçekleştirmek; (3) Batı Akdeniz Salınımı (WeMO), Güney Salınımı (SO) ve Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) gibi atmosferik salınım endekslerini GAMLSS tekniği ile açıklayıcı değişkenler olarak dâhil ederek yağış verileri için gamma (GA), lojistik (LOGIS), iki parametrelili lognormal (LOGNO) ve Weibull (WEI) dâhil olmak üzere en uygun olasılık dağılım fonksiyonlarını belirlemek ve ardından durağan olmayan koşullar altında 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş seviyelerinde yağış tahminlerini elde etmek; (4) farklı dönüş seviyelerinde elde edilen yağış kriterini dâhil ederek dört farklı yağış senaryosu için tehlike kriterlerini yeniden ağırlıklandırmak ve sonuçta dört ayrı tehlike haritası üretmek; (5) mevcut kırılganlık haritasının dört farklı tehlike haritası ile ağırlıklı bir katman analizini gerçekleştirerek dört taşkın riski haritası oluşturmak ve sonuçları mevcut taşkın riski haritasıyla karşılaştırmak; (6) VIKOR yöntemi ile dört taşkın riski haritası için taşkın tehlikesi endeksinin önem sırasını değerlendirmek ve sonuçları mevcut VIKOR yönteminin sonuçlarıyla karşılaştırmak; (7) önerilen entegre yeni yaklaşımın avantajlarını tartışmaktır.

Böylece çalışma kapsamında önerilen yeni yaklaşımın, karar vericilere ve yöneticilere İzmir ilinde planlı şehirleşmeyi desteklemek için afet yönetimi ve afet sonrası süreçlerin kolaylaşması konusunda faydalı bilgiler sunacağı düşünülmektedir.

## 1.1. Taşkın Riski Analizine İlişkin Literatür Taraması

Sel baskınları, dünya çapında en yıkıcı doğal afetler arasında yer almakta ve kentsel, kırsal ve kıyı bölgeleri üzerinde ciddi etkilere sahip olmaktadır. İklim değişikliği, ormansızlaşma ve hızlı kentleşme politikaları nedeniyle sıklıkları ve şiddetleri giderek artmış ve insan yaşamı, sosyal tesisler, altyapı ve çevresel bileşenler için ciddi riskler ve kalıcı sorunlar oluşturmaktadır. Etkili sel riski yönetimi ve değerlendirmesine olan ihtiyaç, araştırmacıları çeşitli yaklaşımları entegre etmeye teşvik etmiştir. Birçok alanda kullanılan CBS, sel risklerinin mekânsal dağılımını görselleştirmek ve değerlendirmek için kapsamlı ve geniş olanaklar sunan bir platform olarak mekânsal analiz süreçleri için vazgeçilmez hale gelmiştir (Aydın and Sevgi Birincioğlu, 2022). Sel riskinde etkili kriterleri önceliklendirmek ve belirlenen alternatifleri (veya potansiyel risk alanlarını) sıralayıp karşılaştırmak için kullanılan ÇKKV teknikleri, sağlam bir çerçeve sağlayarak sel riski değerlendirmelerine katkıda bulunmaktadır (Levy, 2005). Literatürde sel risklerinin değerlendirilmesi ve tahmini üzerine yapılan çalışmalar aşağıda ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

Dawod et al. (2012), Mekke'deki yolların sel tehlikesi seviyelerini belirlemek için bir CBS tabanlı tehlike faktörü geliştirmiştir. Bu amaçla, topografik, meteorolojik, jeolojik ve arazi kullanım kriterleri kullanılarak CBS aracılığıyla bir sel modellemesi gerçekleştirilmiştir. Önerilen bu yaklaşımın uygulanması, Mekke şehrindeki yol ağının %21'inin düşük sel tehlikelerine, %29'unun orta düzeyde tehlikelere ve yolların %50'sinin şiddetli sel etkilerine maruz kaldığını ortaya koymuştur. Sonuçlarında geliştirilen yaklaşımın, yollardaki sel tehlikelerini tahmin etmek için başka durumlarda veya bölgelerde kolayca tekrar çalıştırılabilen dijital ve hassas bir yöntem olarak kullanılabilceğini vurgulamışlardır.

Franci et al. (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada taşkın tehlikesi haritaları üretmek için çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin çok kriterli analiz ile birleştirilmesine odaklanılmıştır. Metodoloji, Yialias nehri havzasının bir bölümünde (Lefkoşa, Kıbrıs) test edilmiştir. AHP tekniği ile taşkın oluşumunu tetikleyen, eğim, kanallara uzaklık, drenaj dokusu, jeoloji ve arazi örtüsü kriterleri ağırlıklandırılmıştır. Sonuçlarına göre tehlike, özellikle yoğun insan kaynaklı müdahalelerin gözlemlenebildiği bazı kentsel alanlarda ciddi görünmektedir. Çalışmalarında, özellikle güvenilir verilerin mevcut olmadığı durumlarda, tehlike değerlendirmesiyle ilgili hızlı ve

uygun maliyetli bilgi sağlamak için uzaktan algılama verilerinin çok kriterli analiz yaklaşımlarıyla birleştirilmesinin faydaları vurgulanmaktadır.

Liu et al. (2019), Çin in Hebei eyaletinin başkenti olan Shijiazhuang da kapsamlı bir taşkın değerlendirme için CBS tabanlı AHP yöntemini kullanmıştır. Çalışmada sel riski değerlendirme gösterge faktörleri, arazi örtüsü, ekonomi, nüfus ve yağış verileriyle birlikte sayısal yükseklik modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Her bir normleştirilmiş endeksin ağırlığını belirlemek için bir AHP yöntemi kullanılmış ve Shijiazhuang'daki sel felaketinin risk haritasını hesaplamak için CBS mekansal analiz aracı benimsenmiştir. Sonuçlarında elde edilen haritaların Hebei İl Su Koruma Bürosu tarafından yayınlanan raporlarla tutarlı olduğu ve çalışmanın çıktılarının karar vericilere ve yöneticilere faydalı bilgiler sağladığı vurgulanmıştır.

Radwan et al. (2019) çalışmasında Riyad şehrinde taşkın risk değerlendirme için AHP-CBS entegrasyonunu kullanmıştır. Araştırmada, 30 m hassasiyete sahip dijital yükseklik modeli, mekansal toprak ve jeoloji haritaları, geçmiş günlük yağış kayıtları ve yağmur suyu drenaj sistemleri verileri dâhil olmak üzere çeşitli uzaktan algılama tabanlı veriler kullanılmıştır. Çalışmada taşkın tehlikelerine ve kırılganlık gelişmelerine karşılık gelen beş tekrar periyodu (2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 200 yıl) ağırlıklı bindirme tekniği kullanılarak haritalanmıştır. Sonuçlara göre, 100 yıllık bir sel senaryosu için sel riski kategorileri, toplam alanın sırasıyla %17, %41, %33, %8 ve %1'ini oluşturan çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük olarak belirlenmiştir. Bu sınıflar, felaket boyutunda ani sellere yol açan yerleşim bölgelerini ve ana yolları kapsadığı vurgulanmıştır..

Kittipongvises et al. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada AHP ile CBS tabanlı mekânsal analizler bir araya getirilerek taşkın tehlikesinin mekânsal dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmanın temel hedefi, özellikle hızlı kentleşmenin ve arazi kullanımındaki değişimlerin taşkın tehlikesi üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Çalışmada taşkın tehlikesini etkileyen hem doğal hem de beşerî faktörler dikkate alınmıştır. Kriterler arasında eğim, yükselti, toprak geçirgenliği, drenaj yoğunluğu, yağış miktarı, nehre uzaklık ve arazi kullanımı yer almaktadır. Araştırmanın bulgularına göre, yüksek riskli alanların çoğunlukla düşük kotlu ve akarsulara yakın bölgelerde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Yoğun yerleşim bölgelerinde taşkın riskinin daha da arttığı belirlenmiştir. Buna karşılık, yüksek eğimli, geçirgen topraklı ve yüksek kotlu alanlar düşük riskli bölgeler olarak ortaya çıkmıştır.

Chen et al. (2021), sel risklerine karşı sosyal kırılganlık üzerine bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada üç ana kriter (maruz kalma, duyarlılık, benimsenebilirlik) ve 18 alt kriter kullanılmıştır. Kriterlere göre performans karşılaştırması, Nanjing'deki 10 ilçe dikkate alınarak istatistiksel olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, karar vericilere hangi bölgelerde öncelikli müdahale yapılması gerektiği konusunda mekânsal bir rehberlik sunmaktadır. Ayrıca yöntemsel açıdan değerlendirildiğinde, AHP ile CBS yaklaşımına çoklu doğrusallık kontrolü ve duyarlılık analizi eklenmesinin, genel risk modelleme yaklaşımlarını daha sağlam ve güvenilir hale getirebileceği önerilmektedir.

Ramkar and Yadav (2021), Tapi Nehri boyunca altı tehlike (eğim, ana nehre uzaklık, arazi kullanımı / örtüsü, toprak tipi, drenaj yoğunluğu ve yağış) ve üç kırılganlık (nüfus yoğunluğu, tarımsal üretim, yol-nehir kesişim yoğunluğu) kriteri kullanarak taşkın riski değerlendirmesi gerçekleştirmiştir. Kriterlerin risk değerlendirmesindeki üstünlüğünü belirlemek için AHP yöntemi kullanılmıştır. Kriterlerin mekansal analiz haritaları ve nihai risk haritasının türetilmesi CBS ile yapılmıştır. Sonuçlarına göre Nehir havzasında yüksek riskli bölgeler başarılı şekilde tespit edilmekte; bu bölgeler genelde nehre yakın, düşük eğimli, drenaj yoğunluğu yüksek ve toprak geçirgenliği düşük alanlarla örtüştüğü vurgulanmıştır. Sonuç itibariyle çalışma alanının yaklaşık 3.331 km<sup>2</sup>'sinin taşkın riski açısından yüksek riskli olduğu tespit edilmiştir.

Ozturk et al. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Türkiye'nin Çorum ilindeki sel tehlikesi CBS tabanlı AHP yöntemi ile kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. AHP süreci sonucunda Çorum ili, "çok yüksek", "yüksek", "orta", "düşük" ve "çok düşük" olmak üzere beş sel tehlikesi sınıfına ayrılmıştır. Çalışmanın bulgularına göre, toplam alanın %3'ünün çok yüksek sel tehlikesi altında olduğu, %25'inin ise yüksek sel tehlikesi olarak kabul edildiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların güvenilirliğini değerlendirmek için oluşturulan sel tehlikesi haritası, tarihsel sel envanteri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlarında elde edilen tehlike haritasının tarihsel sel envanteri ile uyumlu olduğunu ve tehlike haritasının olası sel baskınlarından tehdit altındaki alanları tahmin etmek için kullanılabilir olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca ÇKKV' ye dayalı tehlike değerlendirmesinin sel tehlikesi haritalaması için uygun olduğu belirtilmiştir.

Chen (2022) tarafından yapılan çalışmada, taşkın olayını tetikleyen on bir farklı kriter seçilmiş ve üç farklı ÇKKV yöntemi ile (AHP, TOPSIS ve Sıralı Ağırlıklı Ortalama (OWA)), taşkına eğilimli alanların mekânsal dağılımını incelemek amacıyla bir CBS-ÇKKV çerçevesi oluşturulmuştur. Çalışmanın uygulaması, Çin'deki Dadu Nehri

havzasında gerçekleştirilmiş ve havza genelinde toplam on bir sel tehlikesi haritası üretilmiştir. Bu haritaların analizleri ve karşılaştırmaları, farklı CBS-ÇKKV yaklaşımlarının sonuçlarına ve bunların örtüşme durumlarına göre sel eğilimli alanların mekânsal dağılımlarını ortaya koymuştur. Çalışmanın bulgularına göre, üç yöntemin de sonuçları genel olarak benzer mekânsal dağılımlar sergilemiştir. Ancak, gerçek taşkın gözlemleriyle yapılan doğrulama çalışmalarında, TOPSIS tabanlı sonuçların en yüksek uyum sağladığı rapor edilmiştir.

Doorga et al. (2022), taşkın risklerinin değerlendirilmesi için on kriteri göz önünde bulundurarak bir çalışma yürütmüştür. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında AHP yöntemi kullanılırken, kriterlerin mekansal analiz haritalarının oluşturulması ve risk haritasının türetilmesinde CBS tercih edilmiştir. Taşkın riskleri fiziksel, sosyal ve ekonomik olmak üzere ayrı ayrı analiz edilmiştir. Fiziksel, sosyal ve ekonomik senaryolar arasında yüksek derecede benzerlikler ve farklılıklar tespit edilmiştir. Sonuçlarında kent içinde su yollarına yakın olan, drenaj sisteminin yetersiz olduğunu vurgulamışlardır.

Ha-Mim et al. (2022), Bangladeş, Barguna'da sekiz tehlike ve on bir kırılabilirlik kriteri kullanarak taşkın riski değerlendirmesi gerçekleştirmiştir. Kriter önceliklendirmesi AHP yöntemi ile, kriterlerin mekansal analiz haritaları ise CBS ile yapılmıştır. CBS ortamında elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanının %37,65'inin yüksek taşkın riski seviyesine sahip olduğu bulunmuştur.

Pathan et al. (2022) tarafından yürütülen çalışmada, sel riski değerlendirmesi yedi tehlike (yükseklik, eğim, drenaj yoğunluğu, nehre uzaklık, yağış, toprak tipi, akım toplamı) ve yedi kırılabilirlik (nüfus yoğunluğu, kadın nüfus oranı, arazi kullanımı, yol ağı yoğunluğu, hane sayısı, hastaneye uzaklık, okuryazarlık oranı) kriterleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. AHP ve TOPSIS' ten elde edilen kriter ağırlık değerleri ile CBS ortamında ayrı risk haritaları oluşturulmuştur. Sonuçlara göre, AHP haritasının %5,67'si (0,55 km<sup>2</sup>) ve TOPSIS haritasının %2,31'i (0,34 km<sup>2</sup>) çok yüksek riskli bulunmuştur. Sonuçlarında hangi bölgelerde sel yönetim stratejilerinin daha acil uygulanması gerektiği vurgulanmıştır.

Dutta and Deka (2024) tarafından yürütülen sel riski değerlendirme çalışması, Hindistan'ın Bongoigoon bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Topografik, hidrolojik, jeo-çevresel, nüfus, altyapı ve yardımcı ana kriterler ve alt kriterler AHP ile

ağırlıklandırılmıştır. CBS ortamında elde edilen nihai risk haritasına göre, ilçenin %28'i sel riski altındadır.

Tanış and Çelik (2024) tarafından yürütülen çalışmada, Van Gölü Güzelsu Alt Havzası'nda olası taşkın riskine maruz kalan alanların belirlenmesi, farklı kriter katmanlarının birlikte değerlendirilmesi için CBS tabanlı AHP yöntemi aracılığıyla taşkın risk haritası üretilmesi ve karar vericilere hangi bölgelerde önlem alınması gerektiğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, yöntemsel olarak, yükseklik, yağış, jeoloji, eğim, bakı, nehre uzaklık, arazi kullanımı ve büyük toprak grubu olmak üzere farklı kriterler belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, taşkın risk sınıflarının kapladığı yüzdelere göre, yüksek risk için %6,6, yüksek risk için %14,5, riskli (orta-yüksek arası) için %29,7, az riskli için %31,9 ve risksiz için %17,2 olarak belirlenmiştir. AHP analizinde en yüksek ağırlığı taşıyan kriterlerin nehre uzaklık ve eğim olduğu, bu nedenle taşkın risk modelinde en belirleyici unsurlar olarak kabul edildikleri görülmüştür. En düşük ağırlık taşıyan kriterler ise bakı ve jeoloji olarak belirlenmiştir.

Jodhani et al. (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Rel Nehri havzasındaki taşkın riskini değerlendirmek için VİseKriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmada yükseklik, eğim, toprak tipi, akış birikimi ve yağış gibi temel tehlike göstergeleri, arazi kullanımı/arazi örtüsü, nüfus yoğunluğu, hastanelere uzaklık, Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi ve arazi yüzey sıcaklığı (LST) gibi kırılganlık faktörleriyle entegre edilmiştir. 52 mikro havzada yapılan değerlendirmelere göre, 20 mikro havza yüksek ila çok yüksek riskli alanlar olarak belirlenirken, 32 mikro havza düşük ila orta riskli olarak sınıflandırılmıştır.

Yılmaz and Alemdar (2025a) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, CBS tabanlı farklı ÇKKV yöntemlerini (AHP, TOPSIS ve PROMETHEE) içeren çok yönlü bir yaklaşım kullanılarak Türkiye'nin Erzurum iline bağlı Yakutiye İlçesi'nde taşkın riski analizi yapılmıştır. Çalışmada, taşkın riski haritalarını değerlendirmek amacıyla 11 tehlike ve 9 kırılganlık göstergesi olmak üzere toplamda 20 farklı sel göstergesi dikkate alınmıştır. Özellikle günlük maksimum yağış miktarı, eğim ve yükselti kriterlerinin tehlike açısından; nüfus yoğunluğu, köprüler ve menfezler ile yoğun kavşakların ise kırılganlık açısından öne çıktığı belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda, ilçenin yaklaşık %14,7'sinin "yüksek" ve "çok yüksek" riskli alanlar olarak belirlendiği ifade edilmiştir. Özellikle ilçenin güneydoğu bölgelerinde yer alan 8 mahallenin sel açısından en riskli noktalar olduğu tespit edilmiştir.

Ashfaq et al. (2025) tarafından yapılan çalışmada Nowshera bölgesinde sel tehlikesine en fazla maruz kalan alanları belirlemek amacıyla CBS tabanlı AHP yaklaşımı kullanılarak mekânsal bir sel duyarlılık haritası geliştirilmiştir. Araştırma, hem doğal hem de beşerî faktörlerin etkilerini birlikte ele alarak taşkın riskinin mekânsal dağılımını ortaya koymayı hedeflemiştir. Araştırmanın bulgularına göre, çalışma alanında yüksek ve çok yüksek sel duyarlılığına sahip bölgeler özellikle nehir kenarlarında, alçak kotlu alanlarda ve geçirimsiz zemin özelliklerine sahip yerlerde yoğunlaşmıştır. Yüksek riskli bölgelerin yerleşim alanlarıyla çakışması, bölgedeki nüfus ve altyapının selden ciddi ölçüde etkilenebileceğini ortaya koymuştur. Buna karşılık düşük riskli bölgeler daha çok yüksek eğimli ve yüksek kotlu alanlarda bulunmuştur. Sonuçlarında elde edilen haritalar, bölgesel planlama ve afet yönetimi açısından öncelikli müdahale gerektiren alanların mekânsal dağılımını net bir biçimde gösterdiği vurgulanmıştır.

Yılmaz and Alemdar (2025b) tarafından gerçekleştirilen çalışmada CBS tabanlı ÇKKV (AHP ve Eliminasyon ve Seçimle Gerçekliği Çevirme (ELECTRE)) yöntemleri ile Türkiye' nin Ordu ilindeki, taşkın risklerinin yol ağları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. AHP tabanlı CBS sonuçları, taşkın riskinin yol ağları üzerindeki etkisinin Altınordu'da daha belirgin olduğunu ortaya koymuştur. ELECTRE sonuçlarına göre, Altınordu, Kumru ve Çatalpınar ilçelerindeki yol ağlarında risk daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, taşkın riskini tetikleyen faktörleri değerlendirmek amacıyla duyarlılık analizi de yapılmıştır. Sonuçlar, Günlük Maksimum Yağış, Nehire Yakınlık ve Akış Birikimi kriterlerinin tehlike için, Yol Yoğunluğu, Yol Ağları ve Nüfus kriterlerinin ise kırılganlık için en hassas kriterler olduğunu göstermiştir. Sonuçlarında elde edilen bulguların çalışma alanındaki yol ağlarının sürdürülebilir taşkın afet planlaması ve yönetimi için karar vericilere ve yerel yönetimlere faydalı olabileceği ve önerilen yöntemin, etkili taşkın yönetim stratejileri geliştirmek için farklı çalışma alanlarına genişletilebileceği vurgulanmıştır.

Alemdar and Yılmaz (2025) tarafından yürütülen çalışmada Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (FAHP) yöntemi CBS ile bütünleştirilerek, çalışma alanında belirlenen bölgelerin performans değerleri kullanılarak İstanbul'daki kentsel raylı sistemlerin su baskını riskinin değerlendirilmesi için VIKOR. Su baskını riski analizi için 10 tehlike kriteri ve 12 kırılganlık kriteri belirlenmiştir. FAHP tabanlı CBS sonuçlarına göre, çalışma alanının Avrupa yakasının güneydoğusu ile Asya yakasının güneybatısı en hassas bölgeler olarak belirlenmiştir. VIKOR sonuçları, Ataşehir, Kadıköy ve Tuzla ilçelerinde

su baskını riskinin daha yüksek olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca, sonuçlar kentsel raylı sistemlerin %60'ından fazlasının su baskını riskine yüksek oranda maruz kaldığını ve bu sonucun Kadıköy ilçesinde daha belirgin olduğunu göstermiştir. Duyarlılık analizi sonuçlarına göre, taşkın riski analizinde en hassas ölçütlerin, tehlike ve kırılmalık açısından en yüksek ağırlığa sahip olan Günlük Maksimum Yağış ve Nüfus Yoğunluğu olduğu belirlenmiştir. Sonuçlarında, bulguların İstanbul' daki kentsel raylı sistemlerin taşkın uyarısı ve önlenmesi açısından büyük önem taşımakta olduğu, kullanılan veriler ve yöntemler açısından diğer metropol alanlarındaki taşkın riskini değerlendirmek için teorik bir çerçeve sunabileceği vurgulanmıştır.

Sharker et al. (2025), Bangladeş'in Tangail bölgesindeki sel riskini değerlendirmek için CBS tabanlı AHP yöntemini kullanan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yükseklik, topoğrafik nem indeksi, arazi kullanımı/arazi örtüsü, eğim, toprak tipi, nehirlerle ve yollara yakınlık, normalleştirilmiş bitki örtüsü farkı indeksi, drenaj yoğunluğu ve yağış dâhil olmak üzere on farklı sel nedeni faktörü kullanılmıştır. Sonuçlara göre, çalışma alanının %15,74'ü çok yüksek risk kategorisine girmektedir.

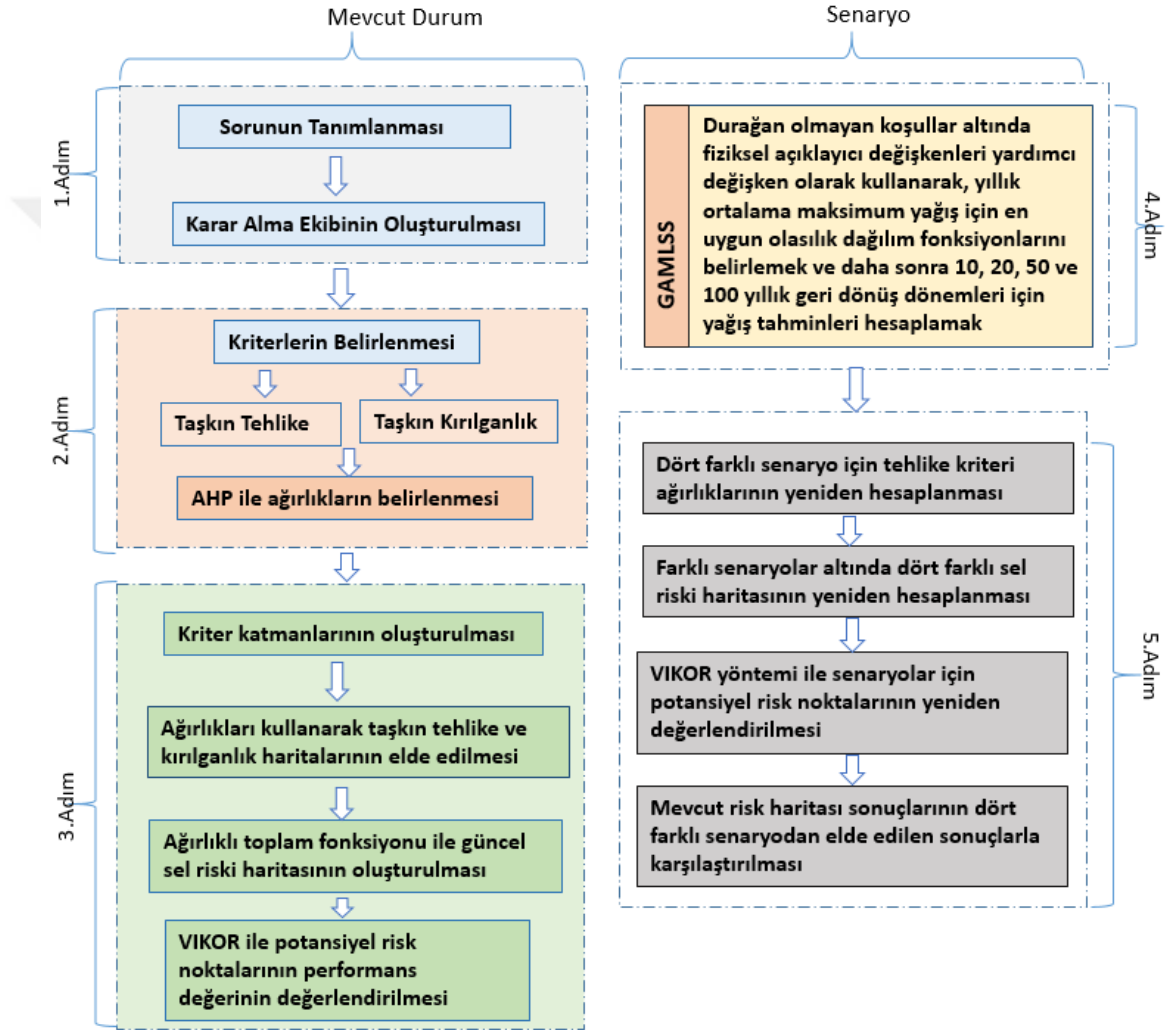
Son araştırmalar, aşırı yağış olaylarının gezegenin sıcaklığındaki her derecelik artışla birlikte sıklık ve yoğunlukta artacağını göstermektedir (Myhre et al., 2019). Aşırı yağışların neden olduğu sel olayları, küresel çapta önemli ekonomik kayıplara ve insan hayatı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilen en yıkıcı doğal afetler arasındadır (Jian et al., 2021; Rangari et al., 2021). Bu nedenle, farklı dönüş seviyelerindeki yağış olaylarının tehlike haritalamasına etkilerini araştırmak, sel riski değerlendirmesi ve kentsel alanların olası hasarlarının önlenmesinde önemli bir görev haline gelmiştir. Aşırı yağışın farklı dönüş seviyeleri için sel riski üzerindeki etkilerini ÇKKV tabanlı yaklaşımlarla araştıran çalışmalar oldukça sınırlıdır. Örneğin, Chen et al. (2024) öznel ve nesnel çoklu ağırlık yöntemlerinin bir kombinasyonuna dayalı bölgesel bir sel riski değerlendirme modeli oluşturmuştur. P-III dağılımına farklı yağış endeksleri uydurularak 10, 50, 100 ve 200 yıllık dönüş periyotları için sel riski değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Dönüş periyotlarındaki artışla birlikte orta ile çok yüksek riskli alanların genel mekansal yayılımının giderek azaldığını, çok yüksek riskli alanların dağılımının ise giderek güneye doğru kaydığını vurgulamışlardır. Zzaman et al. (2021) 12 hidro-jeomorfolojik faktör kullanarak AHP ve Analitik Ağ Süreci (ANP) tabanlı CBS yöntemi ile sel tehlikesi değerlendirmesi gerçekleştirmiştir. Sel tehlikesi için dört dağılım fonksiyonu (yani, iki parametrelili log normal, Pearson tip III, log Pearson tip III ve

Gumbel) kullanarak 20, 50 ve 100 yıllık geri dönüş seviyelerinde yağışı hesaplamışlardır. Sonuçlarına göre, 100 yıllık geri dönüş periyotları için tehlike haritası, toplamda 0,71 milyon nüfusun “çok yüksek” sel maruziyeti riski altında olduğunu göstermektedir. (Radwan et al., 2019) kurak ve yarı kurak bölgeler için sel riskini mekansal AHP ve CBS entegrasyonuna dayalı olarak değerlendirmiştir. Çalışmada, sel riski değerlendirmesi için farklı geri dönüş seviyelerinde yağış değerleri Log Pearson tip III dağılımı ile hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuçları, geri dönüş periyodu seviyesi arttıkça orta, yüksek ve çok yüksek riskli alanların arttığını, düşük ve çok düşük riskli alanların azaldığını göstermiştir.

Farklı getiri seviyeleri için ÇKKV tabanlı risk değerlendirmesi yapan mevcut çalışmalarda, yağış verilerinin durağan olduğu kabul edilmektedir. Ancak, iklim değişikliği ve insan faaliyetleri nedeniyle yağış serilerinin istatistikleri karmaşık ve durağan olmayan değişimler göstermektedir (Gu et al., 2019). Bu nedenle, hidrolojik değişkenlerin frekans analizindeki dağılımların ortalamasının ve varyansının zaman içinde sabit kalacağı varsayımı tartışmalı bir konudur (Scala et al., 2022). Çok sayıda çalışma, hidrolojik zaman serilerinin artık durağan olmadığını bildirmektedir (Gu et al., 2017a; Xiong et al., 2019; Liu et al., 2022). Bu nedenle, bu araştırma alanındaki boşluğu gidermek, durağan olmayan koşullar altında sel riski değerlendirmesi için son derece kritiktir. Bu bağlamda, bu çalışmada, CBS ve ÇKKV (AHP ve VIKOR) tekniklerinin entegre edilmesiyle İzmir ili için taşkın riski alanları belirlenmiş ve GAMLSS çerçevesinde durağan olmayan koşullar altında farklı tekrar dönemlerindeki yağışların taşkın riski üzerindeki etkilerini değerlendirmek üzere yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Böylece kapsamlı bir taşkın risk değerlendirmesi için farklı bir bakış açısının önerilmesi amaçlanmaktadır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, sel tehlikesi ve kırılabilirlik kriterlerini göz önünde bulundurarak İzmir ilinde kapsamlı bir sel riski değerlendirmesi yapmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, farklı geri dönüş seviyelerinde yağış değerlerini sel tehlikesi haritalarına dâhil ederek kapsamlı risk değerlendirmesine yeni bir yaklaşım getirmektedir. Çalışmanın akış şeması Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışmanın akış diyagramı

Taşkın riski analizini gerçekleştirmek için, karar alma ekibinin (Devlet Su İşleri 8. Bölge Müdürlüğünde Taşkın Kontrol alanında uzman İnşaat Mühendisi İbrahim Gökhan BALKAN, İnşaat Mühendisi Reşat GÜN, Bölge Müdür Yardımcısı İnşaat Mühendisi Bünyamin ÇAKUR ve Erzurum Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisi Bölümü Hidrolik Anabilim dalında görevli Dr. Öğr. Üyesi Muhammet YILMAZ ve

Ulaştırma Anabilim dalında görevli Dr. Öğr. Üyesi Kadir Diler ALEMDAR) görüşlerinden yararlanılarak tehlike ve kırılganlık kriterlerinin ağırlıklandırılmasında AHP yöntemi tercih edilmiştir. Kriterlerin mekansal analizi ArcGIS yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve her kriter için mekansal katmanlar oluşturulmuştur. AHP'den elde edilen kriter ağırlıkları ile ağırlıklı örtüşme analizi yapılarak tehlike, kırılganlık ve taşkın riski haritaları oluşturulmuştur. En yüksek riske sahip alanlar VIKOR yöntemi ile belirlenmiştir. Daha sonra, durağan olmayan koşullar altında fiziksel açıklayıcı değişken olarak kullanılan atmosferik salınımları yardımcı değişken olarak içeren GAMLLS tekniği kullanılarak çeşitli geri dönüş seviyelerinde (10, 20, 50 ve 100 yıl) yağış tahmin edilmiştir. Ağırlıklandırma için tekrar AHP kullanılmış ve dört farklı risk haritası oluşturmak için CBS ortamında örtüşme analizi gerçekleştirilmiştir. Kapsamlı bir taşkın riski yönetimi için dört farklı senaryodan elde edilen risk haritalarındaki alternatifleri değerlendirmek amacıyla VIKOR yaklaşımı yeniden uygulanmıştır. Yukarıda bahsedilen yöntemler, veriler ve çalışma alanına ilişkin ayrıntılar aşağıdaki başlıklar altında sunulmuştur.

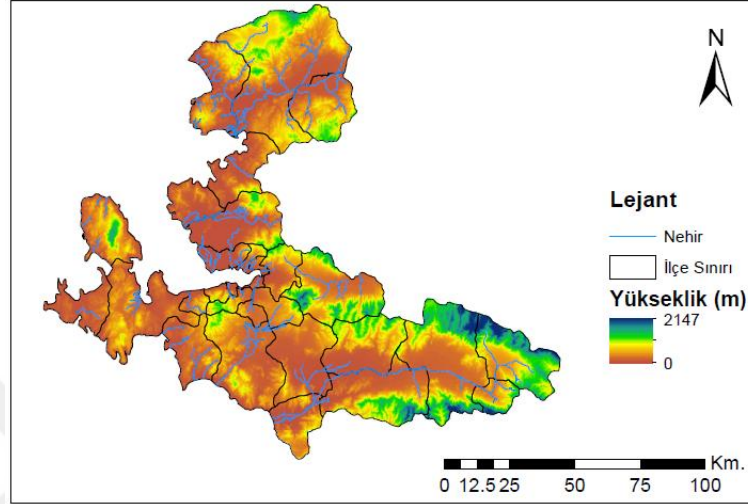
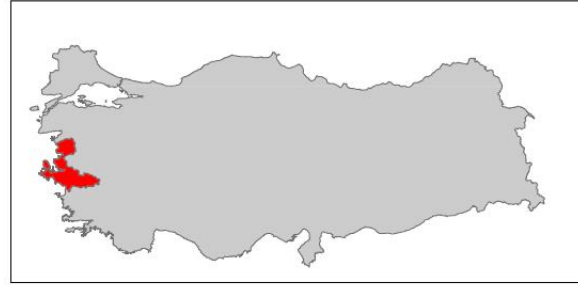
## 2.1. Çalışma Alanı

Türkiye'nin Ege Bölgesi'nde yer alan İzmir, 12.012 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüyle ülkenin en kalabalık üçüncü şehridir. Bölgede, sıcak ve kurak yazlar ve ılık ve yağışlı kışlardan oluşan Akdeniz İklimi görülür. Akdeniz iklimi kıyı kesimlerinde daha baskın olmakla birlikte, bölgenin topoğrafik yapısı nedeniyle iç kesimlerde de Akdeniz iklimi görülmektedir. 1938-2023 yıllarına ait verilere göre İzmir'de yılda ortalama 77,8 yağışlı gün, ortalama aylık toplam yağış miktarı 712,1 mm ve ortalama yıllık sıcaklık 18°C'dir (MGM, 2024). İzmir, 30 ilçeden oluşmakta olup, 2023 yılı itibarıyla toplam nüfusu 3.701.733'tür (Türkiye İstatistik Kurumu, 2024). Gelişen ekonomi ve nüfus artışı, bölgede arazi kullanımı ve arazi örtüsünde değişikliklere neden olarak hızlı bir kentleşmeye yol açmış ve bu nedenle tarihi boyunca sık ve şiddetli sellere maruz kalan Türkiye bölgelerinden biri olmuştur. Hemen hemen her yıl büyük şiddetli yağışlar ve seller yaşanmıştır. Kasım 1995'te İzmir'de şiddetli yağışlar ve sağanak yağışlar meydana gelmiş, şehirlerde ve tarım arazilerinde ciddi sellere neden olmuştur. Bu afet sonucunda 65 kişi hayatını kaybetmiştir. 2 Şubat 2021'de ise şiddetli yağışlar nedeniyle İzmir ilinin birçok yerinde sel ve su baskınları meydana gelmiş, kentsel yaşam ciddi şekilde etkilenmiştir. Kayıtlardan da görüleceği üzere İzmir ili çeşitli sel olaylarına maruz

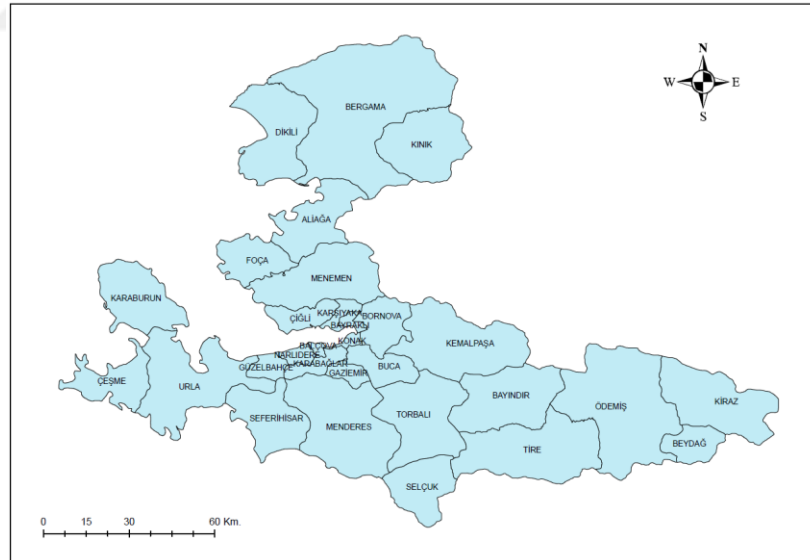
kalmıştır. Bu nedenle çalışma alanı olarak seçilmiştir. Tablo 2.1’de İzmirde daha önce yaşanan sel olaylarını özetlemektedir. Şekil 2.2’de çalışma alanı ve su kaynakları gösterilmektedir. Ayrıca İzmir iline ait ilçelerin yerleşimi Şekil 2.3’te sunulmuştur.

**Tablo 2.1.** İzmir ilinde meydana gelen sel olayları

<b>Tarih</b>	<b>Can Kaybı</b>	<b>Olay</b>
<b>23-26 Ekim 1930</b>	Net kayıt yok	Meles Çayı'nın taşmasıyla Kemer bölgesi su altında kalmış; Poligon ve Reşadiye köprüleri yıkılmıştır. Karşıyaka ve Bostanlı'da ciddi hasar oluşmuştur.
<b>4 Kasım 1995</b>	61-65	İzmir tarihinin en büyük felaketidir. Karşıyaka (Örnekköy), Çiğli ve Narlıdere'de derelerin taşması sonucu binlerce ev su altında kalmış, onlarca kişi yaşamını yitirmiştir.
<b>14 Aralık 2020</b>	2	Menderes ilçesinde dereleden geçmeye çalışan bir aracın sel sularına kapılması sonucu iki vatandaş hayatını kaybetmiştir.
<b>2 Şubat 2021</b>	2	Metrekareye 126 kg yağış düşmüştür. Menderes'te sel sularına kapılan bir araçta 2 kişi can vermiş, kent merkezinde denizle kara birleşmiştir.
<b>25 Kasım 2023</b>	-	Deniz taşkını (tsunami benzeri çekilme/yükselme) ve sağanak birleşmiş, Alsancak ve Kordon boyu tamamen su altında kalmıştır.
<b>12 Temmuz 2024</b>	2	Yaz aylarında ani bastıran gök gürültülü sağanak; Konak ve Bayraklı'da caddeleri göle çevirmiş, elektrik kontakları ve su baskınları nedeniyle can kayıpları yaşanmıştır.
<b>23 Ekim 2025</b>	1	Foça ilçesinde 1,5 saatte 144 kg yağış düşmüş, dereler taşmıştır. Sel sularına kapılan bir vatandaşın cansız bedenine arama kurtarma çalışmalarıyla ulaşılmıştır.
<b>1 Şubat 2026</b>	3	Menderes'te köprüden geçmeye çalışırken sele kapılan araçtaki 2 kardeş ve Torbalı'da alt geçitte mahsur kalan 1 kişi olmak üzere toplam 3 kişi hayatını kaybetmiştir.



Şekil 2.2. Çalışma alanının gösterimi



Şekil 2.3. İzmir ilçelerinin harita üzerindeki yerleşimi

## 2.2. Değerlendirme Kriterlerinin Tanımlanması

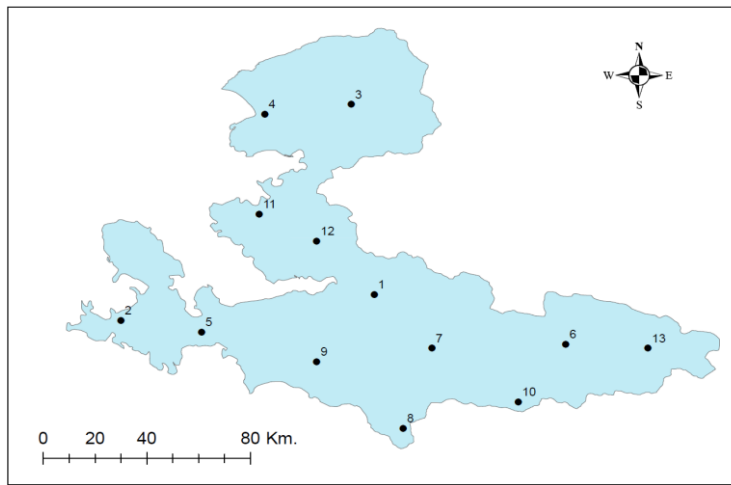
Bu araştırmada taşkın riski kavramı, tehlike ve kırılganlık olmak üzere iki başlık altında ele alınmıştır. Taşkın tehlikesini ve kırılganlığı tetikleyen kriterler, literatür,

akademisyen ve uzman görüşleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Karar alma ekibinde alanında uzman iki akademisyen ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden üç uzman yer almaktadır. Çalışmanın kapsamı, literatürde ilk kez kullanılan yeni kırılma kriterleri eklenerek genişletilmeye çalışılmıştır. Taşkın tehlikesi analizi için 10 kriter, kırılma analizi için ise 9 kriter seçilmiştir. Aşağıdaki başlıklarda kullanılan kriterlere ilişkin kısa açıklamalar bulunmaktadır.

## 2.2.1. Tehlike Kriterleri

### 2.2.1.1 Yıllık Ortalama Maksimum Yağış

Kentsel alanlardaki şiddetli yağışların su baskınlarına neden olma olasılığı oldukça yüksektir. Çalışmada, MGM tarafından işletilen gözlem istasyonu sayısının yetersiz olması/veri uzunluğunun kısa olması nedeniyle, çalışma alanında homojen olarak dağılmış 13 noktadan, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından sağlanan yeniden analiz iklim verileri olan ERA5-Land (Muñoz-Sabater et al., 2021) dan elde edilen yağış verileri kullanılmıştır. Nispeten hassas mekansal-zamansal çözünürlükleri (9×9 km) sayesinde ERA5-Land, meteorolojik ve hidrolojik çalışmalar da sıklıkla kullanılmaktadır. ERA5-Land yağış ve sıcaklık veritabanı, Copernicus İklim Değişikliği Servisi'nden (<https://cds.climate.copernicus.eu/>) talep edilmiştir. Veriler 1960-2021 yılları arasında günlük olarak elde edilmiş ve ardından yıllık ortalama maksimum yağış miktarı her nokta için hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan ERA5-Land verilerinin görsel hali Şekil 2.4'te sunulmuştur.



**Şekil 2.4.** Çalışmada kullanılan ERA5-Land veri noktalarının harita üzerindeki mekânsal yerleşimi

### **2.2.1.2 Akış Toplamı**

Akış birikimi, topoğrafyada suyun nerede toplandığını, suyun her hücreye yukarı havzadan kaç adet hücreden yüzey akışıyla ulaştığını, akışın potansiyel toplandığı yerleri gösteren ve dolayısıyla kritik taşkın riski taşıyan alanları gösteren önemli bir göstergedir. Daha yüksek bir değer, suyun doğal olarak toplandığı alan dolayısıyla yüksek taşkın tehlikesini temsil etmektedir. ArcGIS programı yardımıyla çalışma alanı için elde edilen sayısal yükseklik verisinden elde edilmiştir.

### **2.2.1.3 Drenaj Yoğunluğu**

Drenaj yoğunluğu, nehir kanallarının toplam uzunluğunun drenaj havzası alanına oranını temsil eder. Çalışma kapsamında akarsu ağları, grid şeklinde bölünen havza ile ilişkilendirilerek, her grid için toplam akarsu uzunluğu hesaplanmıştır. Ardından drenaj yoğunluğu, her grid için toplam akarsu uzunluğu grid alanına oranlanmasıyla hesaplanmıştır. Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde taşkın riski daha yüksektir (Elkhrachy, 2015).

### **2.2.1.4 Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü (LULC)**

Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü, insan etkisi veya doğal afetler nedeniyle bir bölgenin zaman içindeki arazi kullanımı ve arazi örtüsü kullanımları hakkında kapsamlı bilgiler sunar. Özellikle kentsel alanların homojen olmayan arazi örtüsünde, sızma kapasitesi ve akış hızı değişkenlik gösterir. Bu durum, sel riskinin bölgeden bölgeye değişmesine neden olur (Tehrany et al., 2015; Hamlat et al., 2021). Böylece taşkın risk haritalarının oluşturulmasında Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü verisi oldukça kritiktir. Çalışma kapsamında livingatlas.arcgis.com tarafından sunulan 10 m çözünürlüklü Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü haritası kullanılmıştır. Belirtilen internet sitesinden en güncel görüntüler indirilerek ArcGIS ortamında çalışma alanına göre kestirilmiştir. Son aşamada ise çalışma alanına göre elde edilen görüntü yeniden sınıflandırılarak Su yüzeyleri, kentsel alanlar, çıplak arazi, tarım alanları, ağaçlık alanlar ve mera alanları olmak üzere altı farklı sınıfa ayrılmıştır.

### **2.2.1.5 Nehire Olan Mesafe**

Bir bölgenin taşkınlara maruz kalma riskini belirlemede nehire olan mesafe oldukça önemlidir. Nehire daha uzak olan bölgelerin, daha yakın olanlara göre taşkın

tehlikelerinden etkilenme olasılığı daha düşüktür (Khouz et al., 2023; Hossain and Mumu 2024). Ayrıca, nehire olan mesafe azaldıkça yağışlardan dolayı meydana gelen yüzeysel akışlarının nehire ulaşma süresi kısalmakta ve suyun birikimi artmaktadır. Dolayısıyla taşkın risk değerlendirmelerinde nehire olan mesafe değerlendirilmesi gereken önemli bir kriterdir. ArcGIS ortamında elde edilen nehir kollarına buffer analizi uygulanarak nehire olan mesafe kriteri elde edilmiştir. Bu aşamada nehire olan mesafe 500' er metrelik aralıklar ile beş farklı sınıfa (0-500 m, 500-1000 m, 1000-1500 m, 1500-2000 m , >2500 m) ayrılmıştır. Nehire yakın alanların taşkına daha duyarlı olduğu varsayılarak kısa mesafeler yüksek risk sınıfı olarak değerlendirilerek analiz edilmiştir.

### **2.2.1.6 Yükseklik**

En düşük rakımlı alanlar, suların yüksek yerden alçak yere doğru akması nedeniyle sel riskinin en yüksek olduğu alanlardır ve bu nedenle sel nedeniyle düşük rakımlı alanların da su altında kalması doğaldır (Khosravi et al., 2019; Lyu et al., 2018). Çalışma kapsamında <https://earthexplorer.usgs.gov/> dan elde edilen yaklaşık 25 m çözünürlükteki sayısal yükseklik verisi, ArcGIS ortamında beş eşit sınıfa (0-409.5m, 409.6-843.8m, 843.9-1278.2m, 1278.3-1712.6m, 1712.7-2147m) ayrılarak yükseklik kriteri oluşturulmuştur.

### **2.2.1.7 Eğim**

Taşkın riskini etkileyen bir diğer önemli kriter ise arazinin eğimidir. Düz yamaçlar, yüksek yamaçlara göre daha kolay sular altında kalmaktadır (Lyu et al., 2018; Wang et al., 2021; Zheng et al., 2022). ArcGIS ortamında eğim aracını kullanarak sayısal yükseklik verisinden elde edilmiştir. Elde edilen raster veri katmanı beş farklı sınıfa (0-10°, 10,1-20°, 20,1-30°, 30,1-45°, 45.1-72.77°) ayrılarak değerlendirilmiştir.

### **2.2.1.8 Eğrilik**

Eğrilik, belirli bir yöndeki eğimin değişim oranını ifade etmektedir. Arazi yüzeyi formundaki eğrilikler akış oluşumunun yönünü ve hızını etkileyen önemli bir parametredir. Negatif değerler içbükeyliği, sıfır değerleri düz yüzeyi ve pozitif değerler dışbükey eğriligi göstermektedir. İçbükey araziler sel riski açısından tehlikeliyken, dışbükey araziler en az tehlikeli alanlardır (Das and Pardeshi 2018; Malik et al., 2021; Lyu and Yin, 2023). ArcGIS ortamında eğriliği aracını kullanarak sayısal yükseklik

verisinden elde edilmiştir. Elde edilen raster veri katmanı iç bükey, düz ve dış bükey olmak üzere üç farklı sınıfa ayrılarak değerlendirilmiştir.

#### **2.2.1.9 Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI)**

Bitki örtüsü, akışın hızlanmasını azaltarak ve doğal bir bariyer görevi görerek taşkın olaylarına karşı koruyucu bir rol oynaktadır. Her pikseldeki bitki yoğunluğunu ve mekânsal dağılımını değerlendirmek için uzaktan algılama yöntemlerini kullanmak kritik bir öneme sahiptir. Hidrolojik çalışmalarda, bu bitki örtüsü, -1 ile +1 arasında değişen normalleştirilmiş fark bitki örtüsü endeksi (NDVI) kullanılarak temsil edilir. Negatif NDVI değerleri, taşkınlara karşı oldukça hassas bir alanı temsil eder (Chaulagain et al., 2023; Hidayah et al., 2023). NDVI değerleri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (2.1)$$

*NIR*, uydu görüntüsünün yakın kızılötesi bant yansımalarını; *R* ise Landsat 8 uzaktan algılama uydu görüntüsündeki kırmızı bant yansımalarını ifade etmektedir. Çalışma kapsamında <https://earthexplorer.usgs.gov/> dan elde edilen Landsat 8 görüntüleri kullanılarak ArcGIS ortamında raster hesaplayıcı aracı ile *NDVI* değerleri elde edilmiştir. Elde edilen harita çalışma alanına göre kestirilmiş ve beş farklı sınıfa ayrılarak analiz edilmiştir. Yüksek *NDVI* değeri, yoğun ve sık bitki örtüsünü ifade ederken taşkın riskinin az olduğu varsayılır; düşük *NDVI* ise çıplak zemin, beton, su yüzeyini ifade edip taşkın riskinin yüksek olduğu varsayılır.

#### **2.2.1.10 Topografik Nemlilik İndeksi (TWI)**

Topografik Nem İndeksi (TWI), bir arazinin nem potansiyelini belirlemek için kullanılan bir endekstir. TWI, taşkın risk bölgelerinin tanımlanmasında, heyelan bölgelerinin belirlenmesinde, toprak nemi tahminlerinde ve ekosistem davranışlarını kavramak için kullanılan oldukça önemli bir kriterdir. Yüksek pozitif değerler su birikimine eğilimli alanları temsil ederken, düşük negatif değerler ise suyun hızlıca drene olduğu, akışın hızlı olduğu ve su tutulmasının az olduğu alanları göstermektedir. (Samanta et al., 2018; Shah and Shah 2023). CBS ortamında sayısal yükseklik modeli tabanlı olarak hesaplanmaktadır. Çalışmada TWI haritası, akışın nerede toplandığı ve arazinin ne kadar eğimli olduğu parametrelerine dayanıp aşağıda verilen formül

kullanılarak ArcGIS ortamında hidrolojik analiz aracı ve raster hesaplama aracı ile belirlenmiştir.

$$TWI = \ln\left(\frac{AS}{\tan\beta}\right) \quad (2.2)$$

burada  $AS$  belirli havza alanı ve  $\beta$  derece cinsinden yerel eğim açısıdır.

### 2.2.2. Kırılgenlik Kriterleri

Kırılgenlik kriterleri, taşkın olayından etkilenecek insan, altyapı ve sosyal yapıların duyarlılığını temsil eden insan kaynaklı parametrelerdir.

#### 2.2.2.1 Toplu Taşıma İstasyonu

Toplu taşıma istasyonları, insanların yoğun olarak bulunduğu alanlar oldukları için sel baskınlarına maruz kalma riskini önemli ölçüde artırabilir ve bu durum can ve mal kaybına yol açabilir. Bu çalışma da, İzmir ilindeki tüm otobüs, metro ve İZBAN istasyonları dikkate alınmıştır. Veriler <https://acikveri.bizizmir.com/> adresinden temin edilmiştir. İlgili adresten 10778 farklı noktanın konumları temin edilmiş ve noktasal olayların çevresine bir etki yarıçapı dağıtarak yoğunluk haritası üretme mantığına dayanan Kernel Density yöntemi ile alansal dağılım haritası çıkarılmıştır. Elde edilen yoğunluk haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılarak değerlendirilmeler gerçekleştirilmiştir.

#### 2.2.2.2 Yol Ağları

İnsanların yola olan uzaklığı, sel müdahalesi ve tahliye sürecinde önemli bir faktördür. Kentsel alanlarda nüfus yollara yakın yoğunlaşır, taşkın anında en çok hasar ulaşım akslarında oluşur. Yola yakınlık arttıkça taşkına maruziyet artar. Sel riski altındaki yolların durumu, selin şiddetini artırmaktadır (Lyu et al., 2018; Zheng et al., 2022). Çalışma kapsamında yol ağları verileri OpenStreet Map dan vektör formatında elde edilmiştir. Elde edilen verilerden başlıca ana yollar dikkate alınmış ve ArcGIS ortamında kestirilerek çalışma alanı için analizler yapılmıştır. Son aşamada yol ağları verisi, nehre uzaklık kriteri gibi düşünülerek buffer analizi uygulanmıştır ve beş farklı sınıfa (0-250m, 250-500m, 500-1000 m, 1000-1500 m ve >1500 m) bölünerek analizler gerçekleştirilmiştir.

### **2.2.2.3 Nüfus Yoğunluğu**

Nüfus yoğunluğu, sellere maruz kalma riskini doğrudan artıran önemli bir parametredir. Nüfusun yoğun olduğu bölgelerde, sel olaylarına karşı hassasiyet riski oldukça yüksektir (Lin et al., 2019; Pathan et al., 2022). Böylece nüfus yoğunluğun fazla olduğu kentsel bölgelerde sosyal hayatın sürdürülebilirliği için taşkın risk yönetimi oldukça kritik bir konudur. Çalışma kapsamında İzmir ili için nüfus verisi TÜİK kaynaklı demografik göstergeleri derleyen endeksa.com platformundan temin edilmiştir. Veriler İzmir ilinin 30 ilçesi için güncel olarak sağlanmıştır. Elde edilen veriler ArcGIS ortamında Ters Mesafe Ağırlıklı Yöntemi (IDW) ile alansal olarak dağıtılmış, nüfusun mekânsal olarak nerelerde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Oluşturulan raster veri katmanı çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

### **2.2.2.4 Hane Halkı**

Hane halkı, sel tehlikesiyle karşı karşıya olan hane halkı sayısıdır ve selin şiddetini etkileme potansiyeli yüksektir (Kittipongvises et al., 2020; Gacu et al., 2022). Çünkü aynı konut hasarında selden etkilenen kişi sayısını gösterir. Çalışma kapsamında hane halkı verisi, TÜİK kaynaklı demografik göstergeleri derleyen endeksa.com platformundan temin edilmiştir. Veriler İzmir ilinin 30 ilçesi için güncel olarak temin edilmiştir. Elde edilen veri ilçe bazında bir hanede ortalama kaç kişi yaşadığını yani hane halkı büyüklüğünü ifade eder. Elde edilen veriler ArcGIS ortamında IDW ile alansal olarak dağıtılmıştır. Oluşturulan raster veri katmanı çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

### **2.2.2.5 Eğitim Seviyesi**

Eğitim seviyesi ile taşkın riski arasındaki ilişki, toplumsal kırılganlık ve afetlere karşı dayanıklılık açısından önemli bir göstergedir. Genel olarak, eğitim seviyesi yükseldikçe bireylerin taşkın riskine karşı farkındalığı, hazırlık düzeyi ve doğru karar alma becerileri artar. Eğitimli bireyler, erken uyarı sistemlerini takip etme, güvenli tahliye yollarını bilme ve risk azaltma önlemlerini uygulama konusunda daha bilinçli davranırlar. Buna karşılık, düşük eğitim düzeyine sahip topluluklar genellikle afet yönetimi konusunda yetersiz bilgiye sahiptir ve bu durum, taşkınlara karşı kırılganlıklarını artırır. Dolayısıyla, eğitim seviyesi, taşkın riski haritalarında sosyo-ekonomik faktörlerden biri

olarak değerlendirilmekte ve yüksek eğitim düzeyine sahip bölgelerde taşkın zararlarının daha düşük olduğu sıkça gözlemlenmektedir (Wang et al., 2021). Çalışma kapsamında eğitim seviyesi verisi TÜİK kaynaklı demografik göstergeleri derleyen endeksa.com platformundan temin edilmiştir. Eğitim seviyesi olarak lisans, yüksek lisans ve doktora dereceleri dikkate alınmıştır. Elde edilen veriler ArcGIS ortamında IDW ile alansal olarak dağıtılmıştır. Oluşturulan raster veri katmanı çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

#### **2.2.2.6 Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Düzeyi**

Sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyi ile taşkın riski arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Yüksek sosyo-ekonomik gelişmişliğe sahip bölgelerde, altyapı hizmetleri, sağlam konut yapıları ve erken uyarı sistemleri gibi risk azaltıcı önlemler yaygın olduğundan, taşkınların olumsuz etkileri daha sınırlı olmaktadır. Buna karşılık, düşük sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyine sahip alanlarda, yetersiz altyapı, düşük eğitim seviyesi ve sınırlı ekonomik kaynaklar nedeniyle taşkınlara karşı kırılganlık artar; bu durum hem can kaybı hem de maddi kayıpların daha yüksek olmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla sosyo-ekonomik gelişmişlik, taşkın riskinin mekânsal dağılımını etkileyen önemli bir belirleyici olarak değerlendirilmektedir. Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Düzeyi verileri sanayi.gov.tr üzerinden ilçe bazlı temin edilmiştir. Elde edilen veriler ArcGIS ortamında IDW ile alansal olarak dağıtılmıştır. Oluşturulan raster veri katmanı çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

#### **2.2.2.7 Sağlık Merkezleri**

Sağlık hizmetlerine kolay erişimin sağlanması, sel baskınları durumunda bölge sakinlerinin sağlık ve refahını korumak için hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle, sel baskınlarının neden olduğu hasar, sağlık tesislerinin konumuna bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Izere et al., 2024). İzmir ilindeki 85 farklı hastanenin konumları <https://acikveri.bizizmir.com/> adresinden temin edilmiştir ve ArcGIS programında Kernel Density yöntemi ile alansal dağılım haritası çıkarılmıştır. Oluşturulan raster veri katmanı çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

### **2.2.2.8 Afet ve Acil Durum Toplanma Alanları**

Afet ve acil durumlarda kullanılmak üzere şehir genelinde toplanma alanlarının yaygınlaşması, sel gibi olayların yol açtığı hasarın boyutunu etkileyebilir. Bu alanların dağılımı, acil durumlarda sakinlerin tehlikelere maruz kalma riskini değiştirebilir. Böylece, bu alanlar, olası bir taşkın durumunda halkın güvenli şekilde toplanabileceği ve yardım alabileceği bölgeler olarak belirlenir. Taşkın riski yüksek bölgelerde yeterli sayıda ve uygun konumda toplanma alanlarının bulunmaması, acil müdahaleyi zorlaştırır ve can kaybı ile maddi zararları artırabilir. İzmir ilindeki 2417 farklı Afet ve Acil Durum Toplanma Alanlarının konumları <https://acikveri.bizizmir.com/> adresinden temin edilmiştir ve ArcGIS programında Kernel Density yöntemi ile alansal dağılım haritası çıkarılmıştır. Oluşturulan raster veri katmanı çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

### **2.2.2.9 Acil Durum İstasyonları**

Acil durum tesisleri, bir şehrin afetlere müdahale etme ve bu afetlerle başa çıkma kapasitesini göstermektedir. Afet anında hızlı kurtarma ve yardım, kritik öneme sahiptir; bu nedenle, acil durum tesislerinin yoğunluğu, sel olaylarına karşı dayanıklılığı artıran bir faktördür. Acil durum istasyonlarının sıklığının az olduğu bölgelerde afetlerden dolayı mal ve can kaybının daha fazla olması kaçınılmazdır (Chen et al., 2023). İzmir ilindeki 159 Acil Durum İstasyonlarının konumları <https://acikveri.bizizmir.com/> adresinden temin edilmiştir ve ArcGIS programında Kernel Density yöntemi ile alansal dağılım haritası çıkarılmıştır. Oluşturulan raster veri katmanı çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Tüm kriterler için hesaplama aşamasında kolaylık sağlanması amacıyla Tablo 2.2'deki semboller kullanılmıştır.

**Tablo 2.2.** Kriterlerin sembolleştirilmesi

<b>Tehlike Kriterleri</b>	<b>Sembol</b>	<b>Kırılganlık Kriterleri</b>	<b>Sembol</b>
Yıllık ortalama maksimum yağış	T1	Toplu taşıma istasyonu	K1
Akış toplamı	T2	Yol ağları	K2
Drenaj yoğunluğu	T3	Nüfus yoğunluğu	K3
Arazi kullanımı / Arazi Örtüsü (LULC)	T4	Hane halkı	K4
Nehire olan mesafe	T5	Eğitim seviyesi	K5
Yükseklik	T6	Sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyi	K6
Eğim	T7	Sağlık merkezleri	K7
Eğrilik	T8	Afet ve acil durum toplanma alanları	K8
Normalize edilmiş fark bitki indeksi (NDVI)	T9	Acil durum istasyonları	K9
Topografik Nemlilik İndeksi (TWI)	T10		

### **2.3. Atmosferik Salınımlar**

Büyük ölçekli atmosferik sistemlerin Türkiye'deki hidrolojik ve meteorolojik değişkenler üzerinde etkileri olduğunu gösteren birçok çalışma bulunmaktadır (Karabörk and Kahya 2003; Tosunoğlu et al., 2018; Yılmaz and Tosunoğlu 2024). Bu nedenle, yıllık ortalama maksimum yağış serilerinin durağan olmayan modellerini oluşturmak için atmosferik salınım indisleri açıklayıcı değişken olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan atmosferik salınımlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

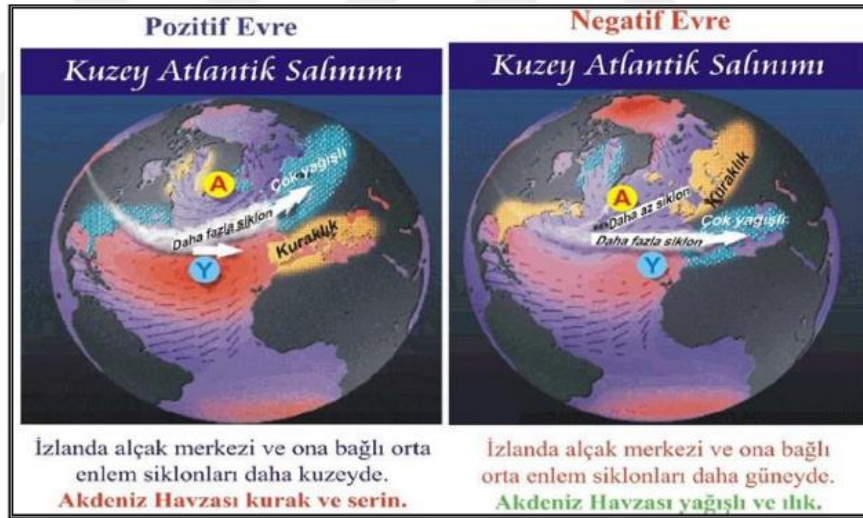
#### **2.3.1. Kuzey Atlantik Salınımı (NAO)**

Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), genellikle iki farklı basınç merkezi olan İzlanda alçak ve Azor yüksek arasındaki atmosferik basınç farkının Kuzey Atlantik Okyanusu üzerinde meydana getirdiği bir hava olayı olarak açıklanmaktadır. NAO, özellikle kış aylarında, Amerika'nın batı kıyılarından Sibiryaya kadar uzanan geniş bir alanda, Arktik bölgeden Subtropikal Atlantik'e ve Akdeniz havzasına kadar etkili olarak iklim koşullarını belirleyen başlıca faktörlerden biridir (Hurrell et al., 2003). Etkisini gösterdiği

bölgelerde hava olaylarını etkilediğini için su kaynaklarını ilgilendiren tüm sektörler üzerinde oldukça kritik bir öneme sahiptir.

Kuzey Atlantik Salınımı indeksi (NAOI), genellikle Azor Adaları ile İzlanda'daki iki farklı istasyonda kaydedilen deniz seviyesi basınçlarının standartlaştırılmış değerleri arasındaki farkın alınmasıyla elde edilir. İndisler kullanıcılara aylık, mevsimsel ve yıllık olarak sunulmaktadır. Hesaplanan değer, +1'e eşit veya daha büyük ise pozitif, -1'e eşit veya daha küçük ise etkisi negatif olarak ifade edilmektedir.

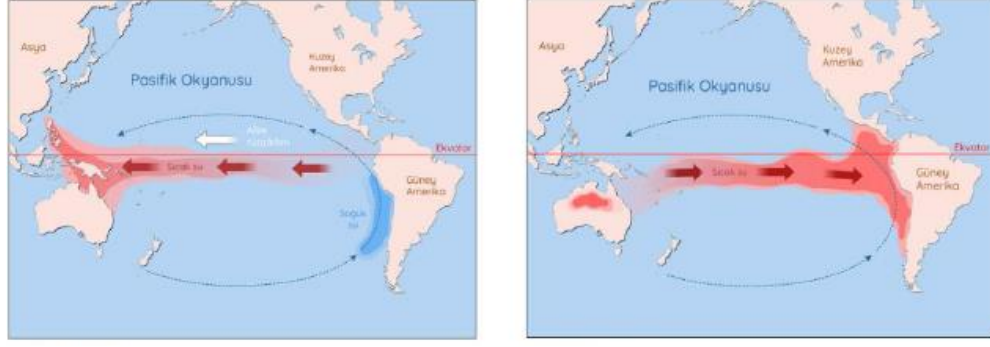
NAO, pozitif ve negatif evresindeyken etkili olduğu alanlarda iklimsel olarak farklı değişikliklere neden olabilir. Şekil 2.5'te NAO'un pozitif ve negatif evresindeyken etkileri gösterilmektedir. Pozitif evresindeyken iki basınç merkezi arasındaki basınç farkı artar ve bu durumda nemli hava Avrupa'nın kuzeyine taşınır ve bu bölgeler yağışlı hava koşullarına maruz kalır. Negatif evresinde iken ise iki basınç merkezi arasındaki basınç farkı azalır ve rüzgarlar yönünü Avrupa'nın güneyine doğru yöneltir. Bu durumda Avrupa'nın güneyi ve Türkiye nemli hava koşulları yaşar.



Şekil 2.5. NAO'nun pozitif ve negatif dönemi

### 2.3.2. Güney Salınım (SO)

Güney Salınım (SO), Pasifik Okyanusu'nda atmosfer basınçlarındaki zıt yönlü değişimlerden ortaya çıkan geniş ölçekli bir atmosferik salınım sistemidir. El Niño (sıcak evre) ve La Niña (soğuk evre) olayları ise bu sistemin birbirine karşı zıt fazları olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.6 El Niño ve La Niña'nın etkili oldukları bölgeleri göstermektedir.



**Şekil 2.6.** Sırasıyla La Nina ve El Nino'nun ekvator bölgesindeki etkileri

Ticaret rüzgârları doğudan batıya doğru estiğinde, sıcak hava kütlelerini de bu yönde taşır. Bu durum La Niña olayı olarak adlandırılır. Bu süreçte, Doğu Pasifik'te kurak koşullar hâkim olurken, soğuk su kütleleri yüzeye yükselir ve buna bağlı olarak balık türlerinin sayısında artış gözlenir. Buna karşılık, Batı Pasifik'e taşınan sıcak sular bölgedeki yağış miktarını artırır. El Niño olayı ise bunun tam tersidir; Batı Pasifik'te kuraklık yaşanırken, Doğu Pasifik daha yağışlı bir döneme girer.

SO çalışmalarında farklı şekilde hesaplanırken en yaygın kullanımı standardize edilmiş, Tahiti' de ki deniz seviyesi atmosfer basıncı ile Darwin'de ki (Avustralya) deniz seviyesi atmosfer basınçları arasında hesaplanan Güney Salınım indeksi (SOI) indisidir. SOI' nın pozitif değerleri ve negatif değerleri sırasıyla La Niña ve El Niño olaylarını temsil etmektedir. El Niño dönemlerinde (SOI negatif), jet akımlarının ve basınç sistemlerinin konumu değişebilir. Türkiye'de özellikle kış aylarında bazı yıllar daha ılık ve nispeten kurak koşullar görülebilir. Batı ve Orta Anadolu'da yağış azalışı eğilimi ortaya çıkabilir; ancak bu etki her El Niño yılında aynı şiddette gerçekleşmez.

La Niña dönemlerinde (SOI pozitif) ise atmosferik dolaşım farklı bir yapıya geçer ve Doğu Akdeniz'de siklonik aktivite artabilir. Bu durum Türkiye'nin özellikle batı ve kuzey kesimlerinde kış yağışlarının artmasına ve zaman zaman daha serin koşulların yaşanmasına neden olabilir. Ancak etki, diğer atmosferik sistemlerle birlikte şekillenir.

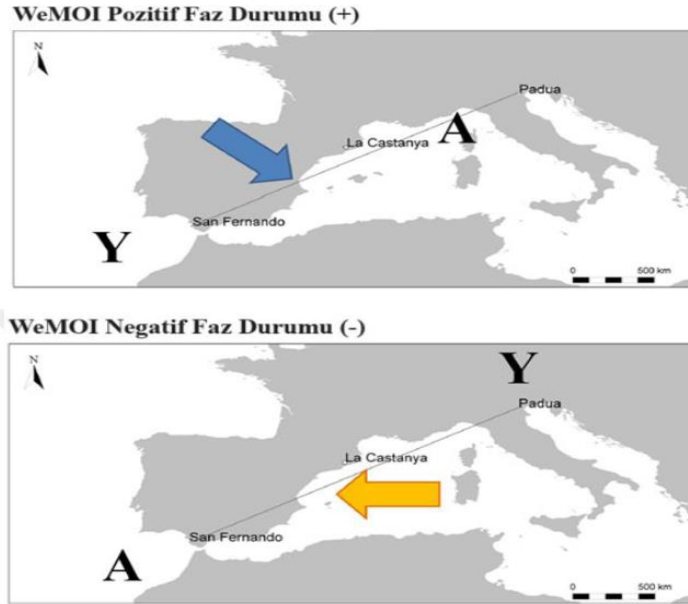
### 2.3.3. Batı Akdeniz Salınımı (WeMO)

Batı Akdeniz Salınımı (WeMO), İtalya Yarımadası'nın kuzeyinde yer alan Po Ovası ile Azor yüksek basıncının etkisindeki İber Yarımadası'nın güneybatısında bulunan Cadiz Körfezi arasındaki basınç farkından ortaya çıkmaktadır. Batı Akdeniz

salınımı indisi (WeMOI), Puada ve San Fernando (Cadiz) istasyonları arasındaki standartlaştırılmış yüzey basıncı değerleri farkı olarak tanımlanmaktadır.

Diğer indislerde olduğu gibi WeMOI' nun da pozitif ve negatif fazları bulunmaktadır. Şekil 2.7'de pozitif ve negatif fazlarındaki etkileri gösterilmiştir. WeMOI' nun pozitif evresinde Azor yükseği İber Yarımadasının güneybatısını çevreler ve bu durumda Ligurya Körfezinde alçak basınç etkisini gösterir. Böylece San Fernando ve Padua istasyonlarında sırasıyla yüksek ve alçak basınç etkili olmaktadır.

WeMOI' nun negatif evresinde ise merkezi Avrupa yüksek basıncı İtalya' nın kuzeyine yerleşir ve alçak basınç İber yarımadasını kuzeyinde hakim olur. Böylece, San Fernando istasyonunda alçak, Padua istasyonunda yüksek basınç etkin olur. Nötr evrede ise iki istasyon arasındaki basınç farkı eşitlenir (Martín-Vide and Lopez-Bustins, 2006).



**Şekil 2.7.** WeMO'nun pozitif ve negatif fazlardaki durumu

Çalışma kapsamında, yıllık ortalama maksimum yağış serilerinin zamansal değişkenliğini belirlemek için yıllık ve mevsimsel WeMO, SO ve NAO endeksleri yardımcı değişken olarak kullanılmıştır. SOI, NAOI ve WeMO değerleri, Doğu Anglia Üniversitesi İklim Araştırma Birimi (Climatic Research Unit – CRU) tarafından sağlanan resmi veri arşivlerinden temin edilmiştir (University of East Anglia, Climatic Research Unit, 2024). Kış, ilkbahar, yaz ve sonbaharı içeren her salınım endeksi için mevsimsel zaman serileri ve yıllık veri kümeleri hesaplanmıştır. Tablo 2.3, çalışmada kullanılan açıklayıcı atmosferik salınımların bir özetini sunmaktadır.

**Tablo 2.3.** Çalışmada kullanılan atmosferik salınımlar

Yardımcı değişkenler	Kod	Yardımcı değişkenler	Kod
Yıllık NAO	x <sub>1</sub>	Yaz SO	x <sub>9</sub>
Kış NAO	x <sub>2</sub>	Sonbahar SO	x <sub>10</sub>
İlkbahar NAO	x <sub>3</sub>	Yıllık WeMO	x <sub>11</sub>
Yaz NAO	x <sub>4</sub>	Kış WeMO	x <sub>12</sub>
Sonbahar NAO	x <sub>5</sub>	İlkbahar WeMO	x <sub>13</sub>
Yıllık SO	x <sub>6</sub>	Yaz WeMO	x <sub>14</sub>
Kış SO	x <sub>7</sub>	Sonbahar WeMO	x <sub>15</sub>
İlkbahar SO	x <sub>8</sub>		

#### 2.4. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Yarı nicel bir teknik olarak sunulan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi, araştırmacılar tarafından risk analizi, kırılabilirlik analizi, yer seçimi, bölgesel alanların coğrafi değerlendirmeleri gibi alanlarda kullanılan etkili bir yöntemdir ve kullanıcıya tematik katmanlar arasındaki kriter ilişkilerini sunarak ve çok kriterli problemlerin çözümünde kullanılmaktadır (Lyu et al., 2018; Zhang et al., 2020; Caner and Aydın, 2021; Ekmekcioğlu et al., 2021; Wu et al., 2022). AHP, karmaşık karar verme problemlerinde karar vericinin yargısını bilimsel ve sistematik bir şekilde hiyerarşik yapıya entegre ederek çözüm sürecinde daha etkili sonuçlar elde edilmesine katkıda bulunmaktadır (Saaty, 2008). AHP, karar sürecinde birimler açısından birbirleriyle karşılaştırılmayan birçok parametrenin dâhil edilmesi ve karar süreçlerinin çözümünde oldukça kullanışlı bir yöntemdir (Stefanidis and Stathis, 2013). AHP yönteminde, kriterleri karşılaştırmak için temel olarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmaktadır. Yöntem birçok işlem adımı ve uygulama içermektedir (Saaty, 2008; Liu et al., 2013).

**1.Adım:** Karar verme sürecine ilişkin problemin tanımlanması

**2.Adım:** Literatürdeki çalışmalar ve oluşturulan karar alma ekibinin önerileri doğrultusunda karar alma süreçlerinde etkili olan kriterlerin seçilmesi

**3.Adım:** AHP hiyerarşik yapısının oluşturulması ve ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması (her karar alma ekibi üyesi ayrı bir ikili karşılaştırma matrisi oluşturur).

İkili karşılaştırma matrislerinde, her kriter sırayla diğer tüm kriterlerle karşılaştırılır. Bu şekilde, nicel ve nitel özellikler aynı matriste karşılaştırılabilir ve karar alma sürecine dâhil edilebilir. Kriterlerin karşılaştırma sayısı " $n(n-1)/2$ " yardımıyla hesaplanabilir ve karşılaştırmalar yapılırken Saaty [1-9] ölçeği kullanılır (Sennaroglu ve Varlık Çelebi 2018).

**4.Adım:** Matrisin homojenliğini sağlamak için, Denklem 2.3'de sunulan ve AHP yönteminde sıklıkla kullanılan vektör normalizasyonu gerçekleştirilir.

$$r'_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \quad (2.3)$$

**5.Adım:** Ağırlık değerlerini yansıtan öncelik vektör değerleri, Denklem 2.4'deki formülasyonla elde edilir.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n r'_{ij} \quad i, j, = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.4)$$

**6.Adım:** Karşılaştırma matrislerinin doğruluğunu ve kullanılabilirliğini test etmek amacıyla Denklem 2.5 ve Denklem 2.6'da sunulan formülasyonlar kullanılarak tutarlılık analizi yapılır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.5)$$

$$CI = \lambda_{max} - \frac{n}{n-1} \quad (2.6)$$

Buradaki Tutarlılık indeksi ( $CI$ ) karşılaştırma matrisindeki tutarsızlık düzeyini ölçen ara parametredir,  $\lambda_{max}$  ise maksimum özdeğer ikili karşılaştırma matrisinin en büyük özdeğerini ifade etmektedir. Teorik olarak tamamen tutarlı bir matriste  $\lambda_{max}$  değeri kriter sayısına ( $n$ ) eşit olmaktadır.  $\lambda_{max}$  değeri  $n$ 'den uzaklaştıkça matrisin tutarsızlığı artar.  $RI$  değeri ise Rastgele indeks adı verilen rastgele tutarsızlık indeksini temsil

Karşılaştırma matrislerinin kullanılabilir olduğunu belirlemek için Tutarlılık Oranı'nın ( $CR$ ) 0,1'den küçük bir sonuç vermesi gerekir. Bu sağlanamazsa, ilgili karşılaştırma matrisi yeniden oluşturulur ve  $CR$  değeri yeniden hesaplanır.

## 2.5. Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm Yöntemi (VIKOR)

Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm Yöntemi (VIKOR), karmaşık sistemlerde ÇKKV süreçleri için geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Karar verme problemi

çözümlerinde farklı veya ölçülemez birimlere sahip kriterleri dâhil etmek üzere geliştirilmiş çok nitelikli bir yöntemdir (Opricovic and Tzeng 2004). Uzlaşmalı sıralama listesi, AHP'den elde edilen ağırlıklar kullanılarak oluşturulmaktadır.

VIKOR yönteminde sonuçlarını sıralamak için ideal yakınlık değeri kullanılmaktadır (Sayadi et al., 2009; Sari, 2021). VIKOR yöntemi birçok süreç adımından oluşur (Opricovic and Tzeng, 2004).

**1. Adım:** Karar matrisinin oluşturulması

**2. Adım:** Karar verme sürecine dâhil edilen her değerlendirme kriteri için en iyi ( $f_i^*$ ) ve en kötü ( $f_i^-$ ) performans değerleri denklem 2.7 ve 2.8 ile hesaplanır. En iyi ( $f_i^*$ ) ve en kötü ( $f_i^-$ ) belirlenirken, kriterlerin fayda mı yoksa maliyet mi odaklı olduğu dikkate alınır.

$$f_i^* = \max_i x_{ij}, \quad f_i^- = \min_i x_{ij}; \text{ Fayda Kriteri} \quad (2.7)$$

$$f_i^- = \min_i x_{ij}, \quad f_i^* = \max_i x_{ij}; \text{ Maliyet Kriteri} \quad (2.8)$$

**Adım 3.**  $S_i$  ve  $R_i$  değerleri, Denklem 2.9 ve 2.10 kullanılarak elde edilir.  $S_i$ , farklı alternatiflerin maksimum grup faydasını ve S değerlerinin minimumunu temsil eder.  $R_i$ , ilgili alternatifin veya aday değerinin en kötü performans değerini temsil eder (Biswas at al., 2023).

$$S_i = \sum_{j=1}^n \frac{w_j(f_i^* - x_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad (2.9)$$

$$R_i = \max_j \left[ \frac{w_j(f_i^* - x_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \right] \quad (2.10)$$

**Adım 4.** Alternatifleri sıralamak için kullanılan  $Q_i$  parametre değeri, Denklem 2.11 kullanılarak hesaplanır.

$$Q_i = v * \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 + v) * \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \quad (2.11)$$

burada  $Q_i$  öncelik kuralıdır;

$$S^- = \max_i S_i, \quad S^* = \min_i S_i, \quad R^- = \max_i R_i, \quad R^* = \min_i R_i, \quad v = 0,5$$

Denklem 2.11'de yer alan  $v$  parametresi, karar verme sürecindeki stratejik ağırlığı ifade etmektedir. Literatürde 'maksimum grup faydasını' temsil eden bu değer, çalışmada 0,5 olarak belirlenmiştir. Bu tercih, çoğunluğun uzlaşması ( $S_i$ ) ile minimum bireysel

pişmanlık ( $R_i$ ) arasında tarafsız bir denge kurmayı amaçlayan uzlaşmacı bir yaklaşımı temsil etmektedir (Opricovic and Tzeng, 2004).

**Adım 5.** Alternatifleri tam olarak sıralayabilmek için  $S_i$ ,  $R_i$  ve  $Q_i$  değerleri en küçükten en büyüğe doğru sıralanır.

$Q_i$ 'nin verimliliğini değerlendirmek için iki gereklilik vardır:

$$C1 = Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{N-1} \quad (2.12)$$

$A_1$  ve  $A_2$ ,  $Q$  değerinin sırasıyla birinci ve ikinci değerleridir ve  $N$ , kriter sayısıdır.

$$C2 = Q(A_m) - Q(A_1) < \frac{1}{N-1} \quad (2.13)$$

## 2.6. Dağılım parametreleri için Genelleştirilmiş Eklemeli Modeller (GAMLSS)

Rigby and Stasinopoulos (2005) tarafından önerilen Dağılım parametreleri için Genelleştirilmiş Eklemeli Modeller (GAMLSS), zamanla değişen dağılım parametrelerine sahip regresyon modelleri için güçlü ve popüler bir çerçevedir. GAMLSS, dağılım parametrelerinin açıklayıcı değişkenlerin bir fonksiyonu olarak modellenmesini sağlamaktadır. Bu açıklayıcı değişkenler, örneğin zamana veya fiziksel temelli yardımcı değişkenler olabilmektedir (Chen et al., 2021). Son zamanlarda, GAMLSS çerçevesi hidrolojik ve meteorolojik serilerin durağan olmayan frekans analizinde başarıyla kullanılmıştır (Li and Tan, 2015; Zhang et al., 2015; Wang et al., 2022; Yılmaz and Tosunoğlu, 2024). Gözlem süresi çok uzun olmadığı için çalışma kapsamında sadece 2 parametrelilik dağılımlar kullanılmıştır. Böylece, yıllık maksimum yağış serilerini modellemek için yaygın olarak kullanılan dört dağılım fonksiyonu seçilmiştir. Sonuç itibarıyla, yıllık maksimum yağış serilerini modellemek için yaygın olarak kullanılan dört dağılım fonksiyonu seçilmiştir (Tablo 2.4): Gamma (GA), Lojistik (LOGIS), iki parametrelilik Lognormal (LOGNO) ve Weibull (WEI). Geleneksel zamanla değişen durağan olmayan modellere ek olarak, çalışma kapsamında  $\mu(\mu)$ ,  $\sigma(\sigma)$  veya hem  $\mu(\mu)$  hem de  $\sigma(\sigma)$  içeren fiziksel tabanlı durağan olmayan modeller geliştirilmiştir.

Sunulan çalışmada, durağan olmayan modellerin geliştirilmesinde (Tosunoglu et al., 2023) yaklaşımı benimsenmiştir. Yağış serisinin durağan olmayan frekans analizi için dört potansiyel model değerlendirilmiştir:

(Model 1) konum ve ölçek parametrelerin ( $\mu$  ve  $\sigma$ ) zaman içinde sabit olduğu durağan bir model,

(Model 2) konum ( $\mu$ ) parametresinin herhangi bir salınım indeksine bağlı olarak değiştiği durağan olmayan bir model,

(Model 3) konum ( $\mu$ ) parametresinin ve ölçek ( $\sigma$ ) parametresinin bir salınım indeksine bağlı olarak değiştiği durağan olmayan bir model,

(Model 4) konum ( $\mu$ ) parametresinin salınım indeksi kombinasyonlarına bağlı olarak değiştiği durağan olmayan bir model.

**Tablo 2.4.** Çalışmada kullanılan olasılık dağılım fonksiyonlarının özeti

Kod	Dağılım Tipi	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
WEI	Weibull	$f_y(y \mu, \sigma) = \frac{\sigma y^{\sigma-1}}{\mu^\sigma} \exp\left\{-\left(\frac{y}{\mu}\right)^\sigma\right\}$ $y > 0, \mu > 0, \sigma > 0$
LOGNO	Log-Normal	$f_y(y \mu, \sigma)$ $= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}y} \exp\left\{-\frac{[\log(y) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right\}$ $y > 0, \mu > 0, \sigma > 0$
GA	Gamma	$f_y(y \mu, \sigma) = \frac{1}{(\sigma^2\mu)^{1/\sigma^2}} \frac{y^{\frac{1}{\sigma^2}-1} e^{-y/(\sigma^2\mu)}}{\Gamma(1/\sigma^2)}$ $y > 0, \mu > 0, \sigma > 0$
LOGIS	Logistic	$f_y(y \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma} \exp\left\{\frac{x - \mu}{\sigma}\right\}$ $+ \left\{1 + \exp\left\{\frac{x - \mu}{\sigma}\right\}^{-2}\right\}$ $y > 0, \mu > 0, \sigma > 0$

En uygun dağılımın, Akaike bilgi kriteri değeri (Akaike, 1974) kullanılarak seçilmesi planlanmaktadır. En düşük AIC değerine sahip dağılım, en uygun model olarak seçilmiştir. *AIC* aşağıdaki şekilde basitçe hesaplanabilir:

$$AIC = -2L_{max} + 2p \quad (2.14)$$

Burada  $L_{max}$ , kurulan model için log-olabilirlik (log-likelihood) fonksiyonunun maksimum değerini,  $p$  ise modelde yer alan toplam parametre sayısını ifade etmektedir.

Seçilen modelin performansını daha fazla araştırmak için artıkların bağımsızlığı ve normalliği, Filliben katsayısı (Filliben, 1975) ve görsel olarak worm grafiği (Buuren and Fredriks, 2001) kullanılarak test edilmiştir. Worm plot grafiğinde eğer model iyi uyuyorsa noktalar yaklaşık olarak yatay sıfır çizgisi etrafında dağılır. Ayrıca worm plot sayesinde dağılımın hangi parametresinde problem olduğu da anlaşılabilir. Örneğin yatay düz çizgi ise model uygun, eğik çizgi ise ortalama yanlış, U şeklinde bir çizgi ise varyans yanlış, S şeklinde bir çizgi ise çarpıklık problemi, ters U var ise basıklık problemi olduğu hakkında bilgiler verir. Hao et al. (2019) tarafından belirtildiği gibi, modelde 0,97'yi aşan bir Filliben katsayısı, modelin uygun olduğunu göstermektedir. En başarılı modelleri seçerken dikkate alınması gereken önemli bir husus, modele daha fazla açıklayıcı değişken eklenmesinin daha küçük bir AIC değeri üretebilmesidir. Ancak, bu iyileştirme istatistiksel olarak anlamlı olmayabilir. Bu nedenle, olasılık oranı (LR) testi (Coles, 2001), yeni bir açıklayıcı değişkenin eklenmesinin önemli bir iyileştirmeyle sonuçlanıp sonuçlanmadığını belirlemek için kullanılmaktadır. LR test istatistiği şu şekildedir:

$$LR = 2(L_1 - L_0) \quad (2.15)$$

Denklem 2.15'te,  $L_1$  ve  $L_0$ , sırasıyla  $M_1$  ve  $M_0$  modelleri altında log-olasılık fonksiyonunun maksimize edilmiş değerlerini temsil etmektedir.  $M_0$  ve  $M_1$  ifadeleri, istatistiksel model hiyerarşisindeki iç içe geçmiş yapıları temsil etmektedir.  $M_0$ , daha az parametre içeren veya açıklayıcı değişkenlerin etkisinin kısıtlandığı basit modeli ifade ederken;  $M_1$ , bu modele yeni bir açıklayıcı değişken (örneğin bir atmosferik salınım indisi) eklenerek oluşturulan karmaşık modeli simgelemektedir. Test sonucuna göre hesaplanan  $p$  değeri 0,05'ten büyükse, karmaşık model seçilmemiştir. Tüm işlemler, ücretsiz olarak sunulan gamlss paketi (Rigby and Stasinopoulos, 2005) kullanılarak R platformunda gerçekleştirilmiştir.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. AHP Bulgularının Değerlendirilmesi

Taşkın riski analizinde kullanılan kriter ağırlıkları, karar alma ekibinin görüşlerine dayanarak AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Çiftler halinde karşılaştırma matrisleri Saaty [1-9] ölçeği kullanılarak oluşturulmuştur. Bu seçim ölçeğine göre bütün faktörler 1-9 aralığında ikili olarak karşılaştırılmıştır. Bir faktörün diğerine kıyasla ne kadar önemli olduğu hem literatür taraması hem de karar verme ekibinin görüşlerine dayanarak karar verilmiştir. Ana ve alt kriterler için Tablo 3.1, farklı kategorilerdeki taşkın tetikleyici parametrelerini göstermektedir. Tehlike kriterleri için oluşturulan çeşitli ağırlıklandırma sonuçlarına göre, çalışma alanında taşkın oluşumunda en yüksek ağırlığa sahip faktör Yıllık ortalama maksimum yağıştır. Yıllık ortalama maksimum yağış 0,246 ağırlığıyla, bunu Arazi kullanımı-Arazi örtüsü (0,194), Nehire yakınlık (0,164), Akış toplamı (0,133), Yükseklik (0,082), Eğim (0,06), Eğrilik (0,041), NDVI (0,033), Topoğrafik nemlilik indeksi (0,027), Drenaj yoğunluğu (0,02) izlemektedir. Kriterlerin göreceli ağırlıklarını elde etmek için, ağırlıklarının toplamı 1 olacak şekilde, ikili karşılaştırma matrisindeki sütunlar toplamı alınmış ve her değer sütunlar toplamına bölünmüştür. Daha sonra, her satırın ortalaması alınarak göreceli ağırlıklar hesaplanmıştır. Bu sonuçları doğrulamak için bir tutarlılık analizi yapılmıştır. Tutarlılık oranı, çiftler arası karşılaştırma değerlerinin tutarlılığını belirlemek için hesaplanmıştır. Tutarlılık oranı (CR), 0,1 eşiğinin altında kalarak yüksek bir tutarlılık düzeyine işaret etmekte ve önerilen ağırlıkların kabul edilebilir olduğunu doğrulamaktadır. Çalışmada belirlenen taşkın kırılma faktörleri ve bunların tümüne ait hesaplamalar, alt sınıflarıyla birlikte Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Kırılma kriterlerinin hesaplanmasında Nüfus yoğunluğu en önemli faktör olarak seçilmiş ve 0,204 olarak ağırlıklandırılmıştır. Bunu sırasıyla Yol ağları (0,171), Afet ve acil durum toplanma Alanları (0,141), Acil durum istasyonları (0,125), Sağlık merkezleri (0,103), Hane halkı (0,088), Toplu taşıma istasyonları (0,076), Sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyi (0,055) ve Eğitim seviyesi (0,037), takip etmektedir.

**Tablo 3.1.** Tehlike kriterleri ve alt kriter ağırlıkları

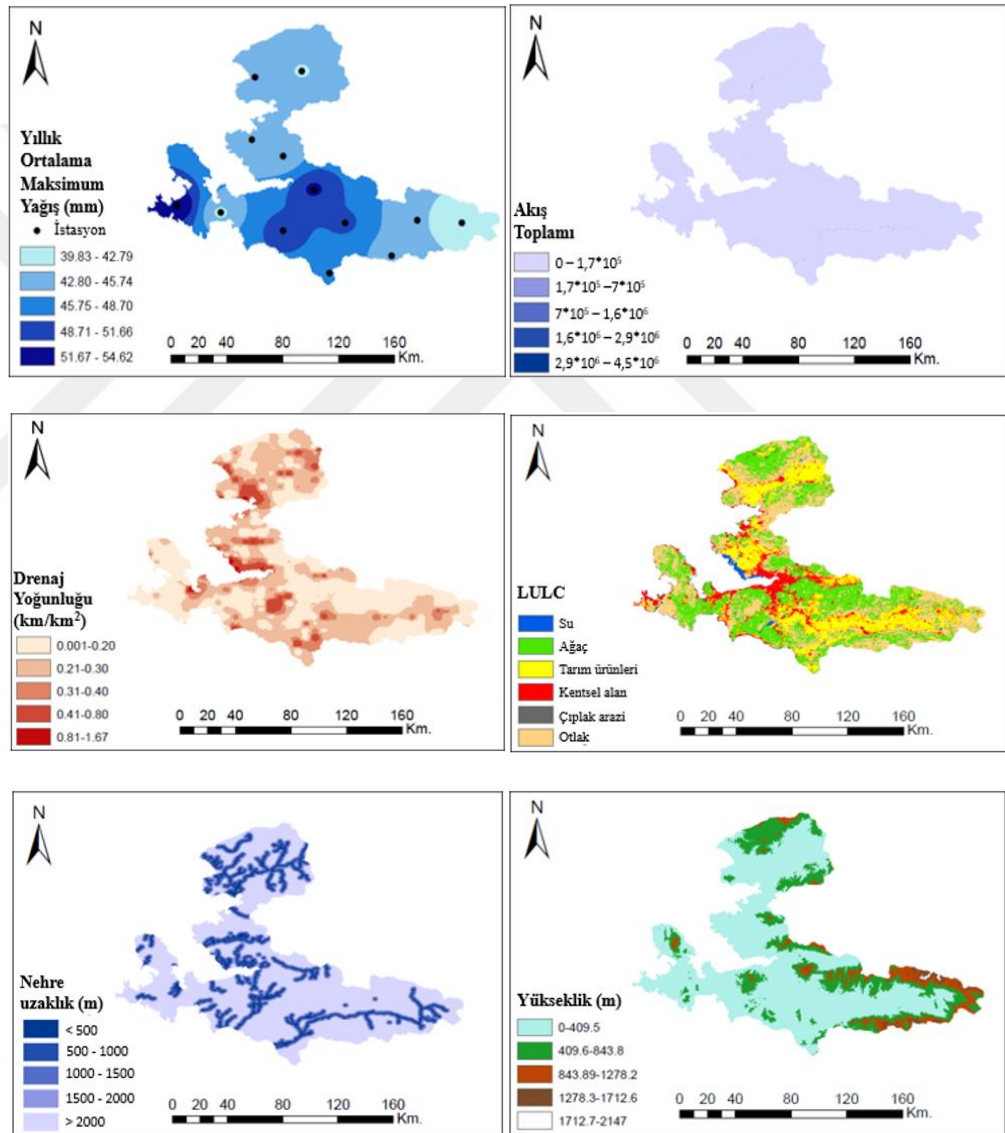
Tehlike					
Kriterler		Kriter Ağırlıkları	Kriterler		Kriter Ağırlıkları
Meteorolojik ve Hidrolojik	<b>Yıllık Ortalama Maksimum Yağış (mm)</b>	<b>0,246</b>	Topografik	<b>Yükseklik (m)</b>	<b>0,082</b>
	39,83-42,79	0,064		0-409,5	0,358
	42,80-45,74	0,12		409,6-843,8	0,271
	45,75-48,70	0,182		843,89-1278,2	0,206
	48,71-51,66	0,264		1278,3-1712,6	0,107
	51,67-54,62	0,37		1712,7-2147	0,058
	<b>Akış Toplamı (piksel sayısı)</b>	<b>0,133</b>		<b>LULC</b>	<b>0,194</b>
	0-1,7*10 <sup>5</sup>	0,059		Su yüzeyleri	0,32
	1,7*10 <sup>5</sup> -7*10 <sup>5</sup>	0,099		Kentsel alanlar	0,237
	7*10 <sup>5</sup> -1,6*10 <sup>6</sup>	0,144		Çıplak arazi	0,167
	1,6*10 <sup>6</sup> -2,9*10 <sup>6</sup>	0,219		Tarım alanları	0,125
	2,9*10 <sup>6</sup> -4,5*10 <sup>6</sup>	0,479		Ağaçlık alanlar	0,101
	<b>Drenaj Yoğunluğu (km/km<sup>2</sup>)</b>	<b>0,02</b>		Mera alanları	0,05
	0,001-0,20	0,073		<b>TWI</b>	<b>0,027</b>
	0,21-0,30	0,132		2,23-6,89	0,084
0,31-0,40	0,159	6,90-11,55	0,148		
0,41-0,80	0,24	11,56-16,22	0,194		
0,81-1,67	0,396	16,23-20,88	0,256		
Topografik	<b>Eğim (derece)</b>	<b>0,06</b>	20,89-25,54	0,318	
	0-10	0,342	<b>Nehre Yakınlık (m)</b>	<b>0,164</b>	
	10, 1-20	0,262	<500	0,334	
	20, 1-30	0,21	500-1000	0,265	
	30,1-45	0,121	1000-1500	0,189	
	45,1-72,77	0,065	1500-2000	0,143	
	<b>Eğrilik</b>	<b>0,041</b>	>2000	0,069	
	İç Bükey	0,558	<b>NDVI</b>	<b>0,033</b>	
	Düz	0,32	<0	0,353	
	Dış Bükey	0,122	0,01-0,20	0,268	
		0,21-0,40	0,184		
		0,41-0,60	0,123		
		0,61-0,99	0,072		

**Tablo 3.2.** Kırılgenlik kriterleri ve alt kriter ağırlıkları

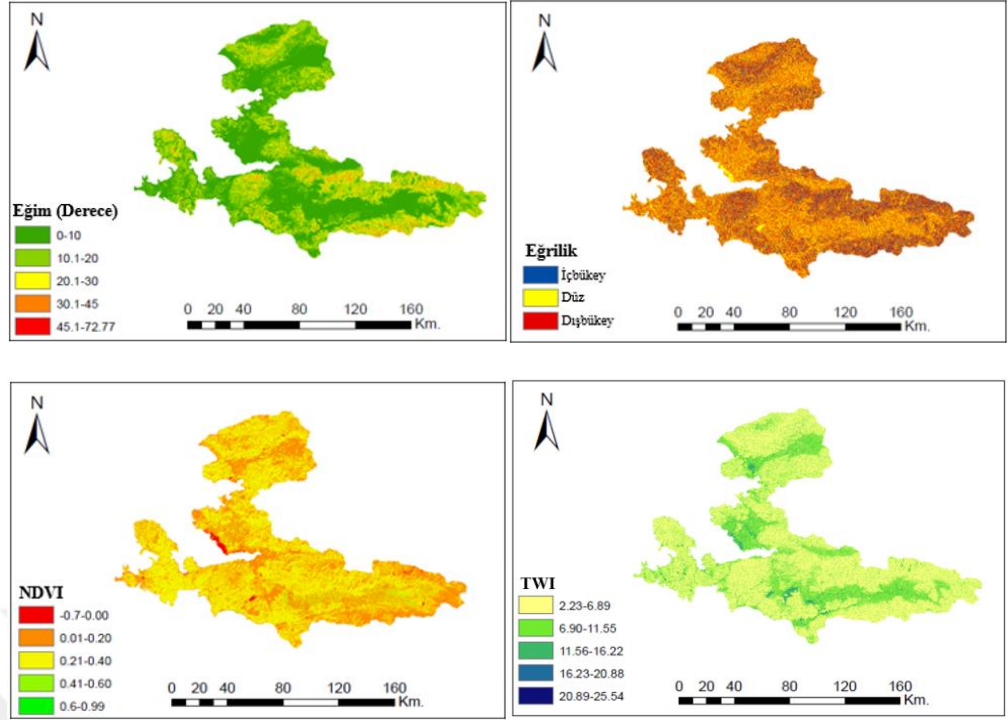
Kırılgenlik					
Kriterler		Kriter Ağırlıkları	Kriterler		Kriter Ağırlıkları
Toplu taşıma	<b>Toplu Taşıma İstasyonları</b>	<b>0,076</b>	Kentsel	<b>Sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyi</b>	<b>0,055</b>
	<0,870	0,086		0,29-1,23	0,307
	0,871-3,50	0,117		1,24-2,10	0,248
	3,51-8,660	0,196		2,01-3,0	0,189
	8,661-15,770	0,273		3,01-4,0	0,142
	15,771-24,82	0,328		4,01-6,91	0,114
	<b>Yol Ağları (m)</b>	<b>0,171</b>	Yakınlık	<b>Sağlık Merkezleri</b>	<b>0,103</b>
	<250	0,099		0-0,020	0,313
	250-500	0,156		0,021-0,130	0,24
	500-1000	0,184		0,131-0,340	0,209
1000-1500	0,242	0,341-0,60		0,153	
>1500	0,319	0,61-0,92	0,085		
Kentsel	<b>Nüfus yoğunluğu</b>	<b>0,204</b>	Yakınlık	<b>Afet ve Acil Durum Toplanma Alanları</b>	<b>0,141</b>
	12.094-80.000	0,081		0-0,170	0,313
	80.000,01-140.000	0,136		0,171-0,50	0,295
	140000,01-200000	0,226		0,51-1,15	0,183
	200.000,01-300000	0,256		1,151-2,12	0,116
	300.000,01-522.738	0,301		2,121-3,38	0,093
	<b>Hane halkı</b>	<b>0,088</b>	Yakınlık	<b>Acil Durum İstasyonları</b>	<b>0,125</b>
	2,23-2,55	0,092		0-0,013	0,343
	2,56-2,74	0,181		0,014-0,050	0,25
	2,75-2,87	0,213		0,051-0,13	0,189
	2,88-3,00	0,248		0,131-0,30	0,154
	3,01-3,28	0,266		0,31-0,47	0,064
	<b>Eğitim Seviyesi</b>	<b>0,037</b>	Yakınlık		
	862-120.00	0,335			
	120.00,01-24000	0,253			
240.00,01-40.000	0,192				
40.000,01-60.000	0,146				
60.000,01-122.932	0,074				

### 3.2. AHP Tabanlı CBS Değerlendirilmesi

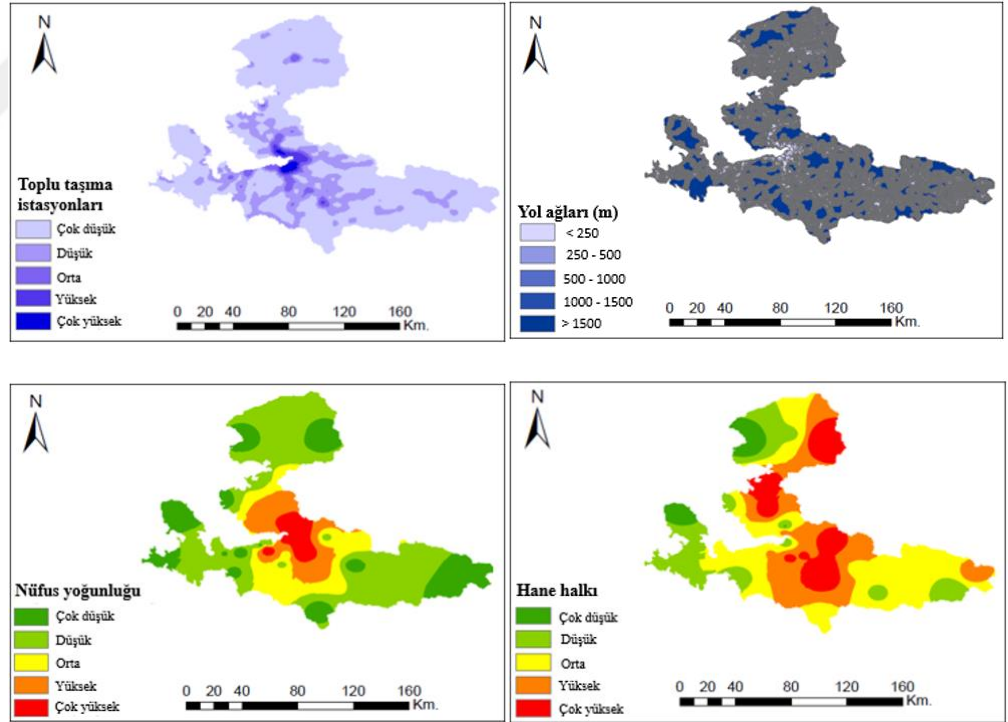
Çalışmanın bu bölümünde, taşkın riskini tetikleyen tehlike ve kırılganlık kriterleri CBS ortamına aktarılmıştır. Her kriterin katman haritasını (yani Eğim, Çekirdek Yoğunluğu ve IDW mekansal analizleri) oluşturmak için uygun bir enterpolasyon yöntemi seçilmiş ve ardından uygun aralık kategorilerini belirlemek için yeniden sınıflandırma yapılmıştır (Jing et al., 2018; Xia et al., 2019; Akar et al., 2024). Bu çalışmada kullanılan ve CBS çerçevesinde oluşturulan on tehlike ve dokuz kırılganlık göstergesinin mekansal dağılım haritaları sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



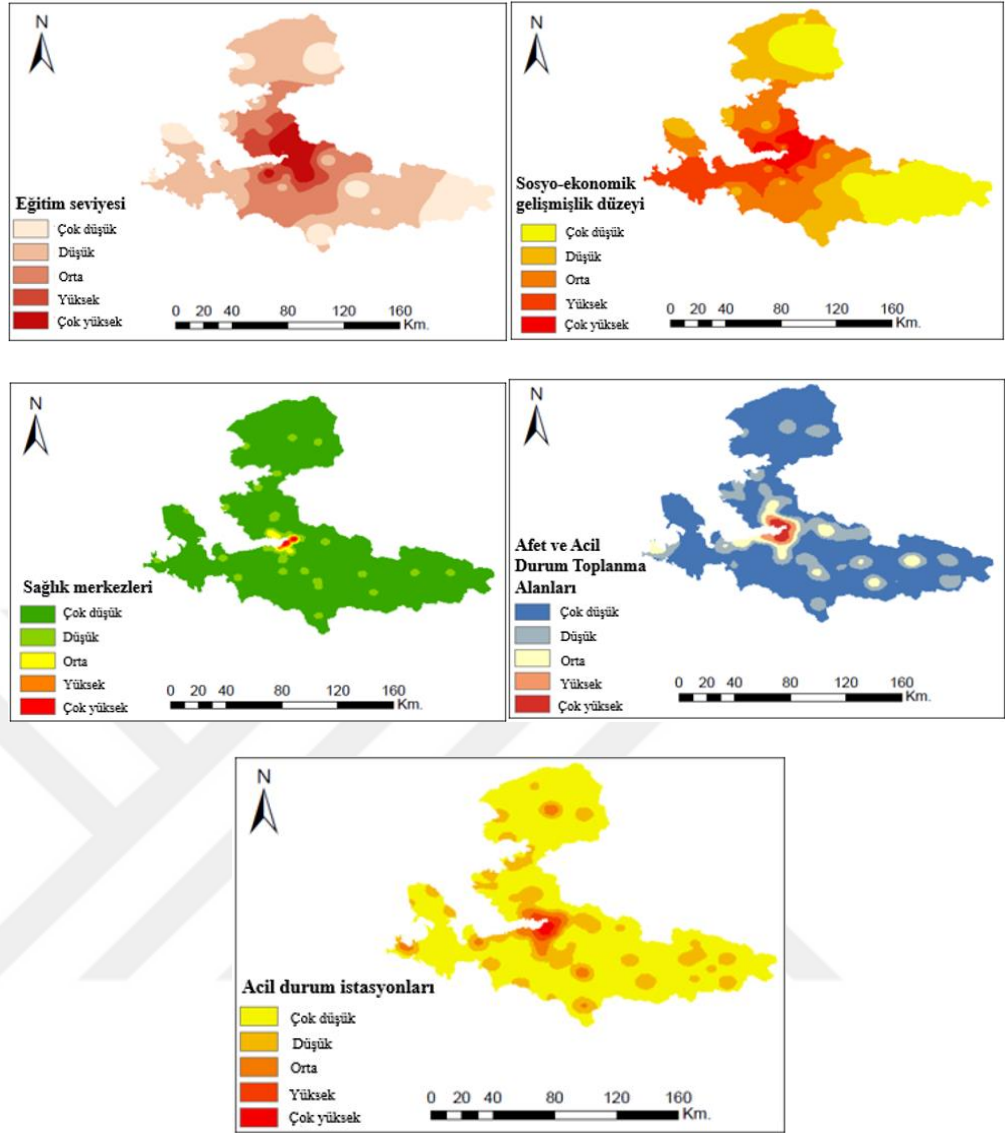
Şekil 3.1. Taşkın tehlike kriter katmanları



Şekil 3.1.(devamı) Taşkın tehlike kriter katmanları



Şekil 3.2 Taşkın kırılganlık kriter katmanları



**Şekil 3.2.(devamı)** Taşkın kırılganlık kriter katmanları

AHP'den elde edilen alt kriter ağırlıkları, CBS ortamındaki kriter katmanlarına uyarlanmıştır. Daha sonra, tüm kriter katmanları, 25 x 25 m piksel mekansal çözünürlüğe sahip raster haritalar oluşturmak için raster verilerine dönüştürülmüştür. AHP'den elde edilen ana kriter ağırlıkları kullanılarak, CBS ortamında tehlike ve hassasiyet kriterleri için ağırlıklı katman analizi uygulanmıştır.

Göreceli tehlike haritası, verilen formülle elde edilmiştir:

Tehlike Endeksi =

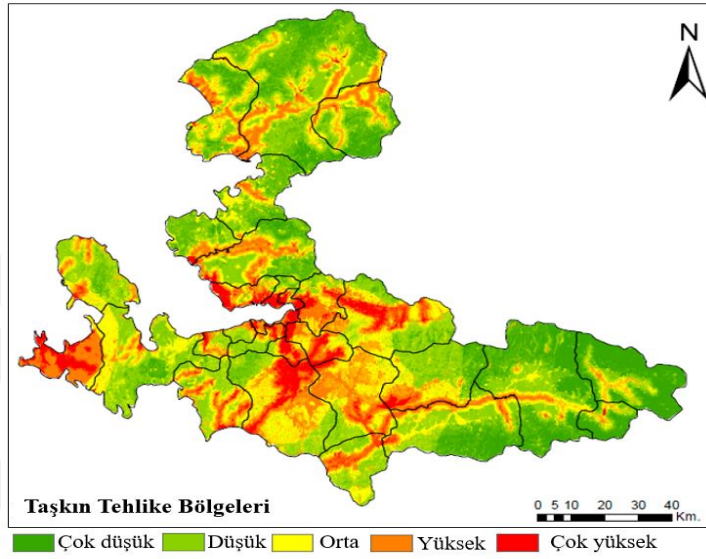
$$0,246T_1 + 0,133T_2 + 0,02T_3 + 0,194T_4 + 0,164T_5 + 0,082T_6 + 0,06T_7 + 0,041T_8 + 0,033T_9 + 0,027T_{10} \quad (3.1)$$

Göreceli taşkın kırılganlık haritası, aşağıdaki formül kullanılarak türetilmiştir:

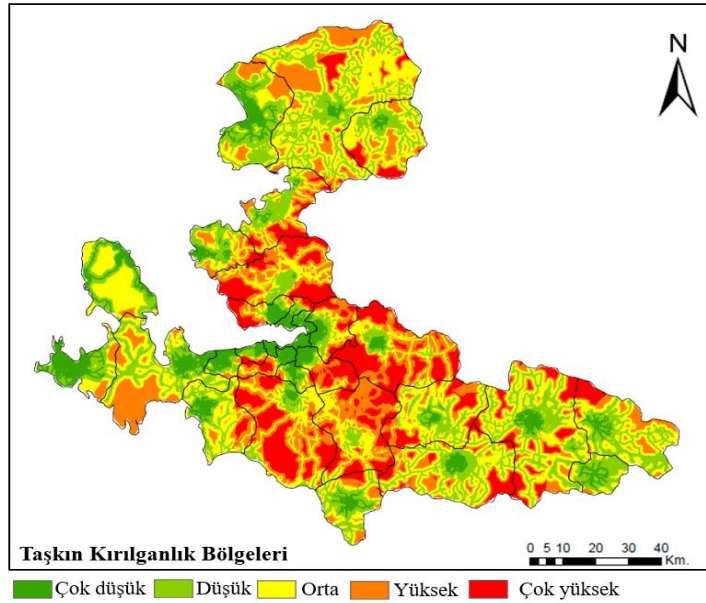
Kırılganlık İndeksi =

$$0,076K_1 + 0,171K_2 + 0,204K_3 + 0,088K_4 + 0,037K_5 + 0,055K_6 + 0,103K_7 + 0,141K_8 \times +0,125K_9 \quad (3.2)$$

Tehlike ve Kırılganlık indeksleri için son formüle edilmiş ifadeler (3.1) ve (3.2) denklemlerinde yazılmış ve ilgili mekansal haritalar (yani, sel tehlike haritası ve sel hassasiyet haritası) sırasıyla Şekil 3.3 ve 3.4'te gösterilmiştir.



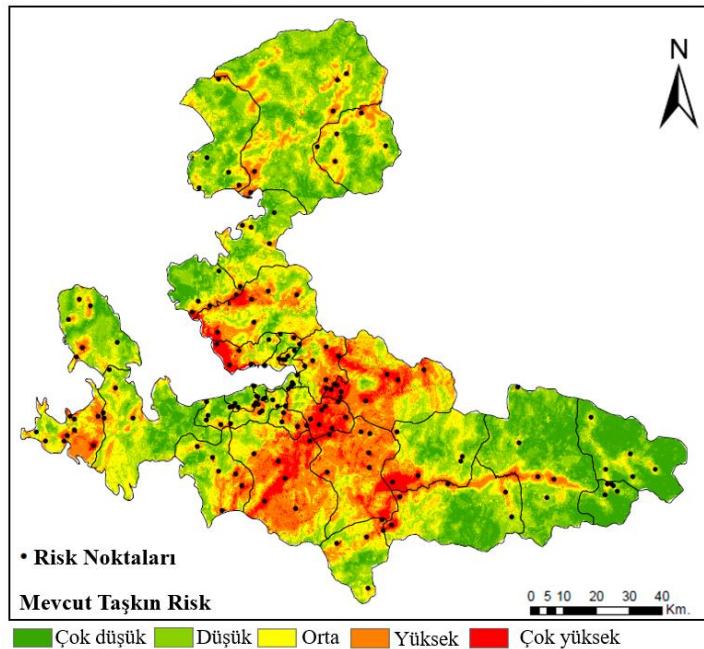
Şekil 3.3 İzmir şehrinin sel tehlike haritası



Şekil 3.4. İzmir şehrinin sel kırılganlık haritası

Taşkın tehlikesi ve kırılganlık bölgeleri, "çok düşük", "düşük", "orta", "yüksek" ve "çok yüksek" olmak üzere beş bölgeye yeniden sınıflandırıldıktan sonra belirlenmiştir.

Taşkın tehlikesi bölgeleri şu alanları kapsamaktadır: "çok düşük" %18,31; "düşük" %32,66; "orta" %24,78; "yüksek" %18,10 ve "çok yüksek" %6,15 (Şekil 3.3). Şekil 3.3'de, "çok yüksek" ve "yüksek" olarak kategorize edilen taşkın tehlikesi bölgeleri, şehrin merkezi kesimlerinde ve şehrin batısında bulunan Çeşme ilçesinde yoğunlaşmaktadır. Kırılganlık açısından, İzmir ilinin %8,41'i "çok düşük", %23,30'u "düşük", %31,34'ü "orta", %22,49'u "yüksek" ve %14,46'sı "çok yüksek" riskli alanlardır (Şekil 3.4). Menemen, Kemalpaşa, Buca ve Menderes de dâhil olmak üzere çalışma alanındaki birçok ilçenin bu kırılgan alanlarda yer aldığı tespit edilmiştir. Kırılganlık ve tehlike haritaları birleştirilerek bir taşkın risk haritası oluşturulmuştur (Ouma and Tateishi, 2014). Bu nedenle, çalışma kapsamında kapsamlı bir taşkın risk değerlendirmesi yapmak amacıyla, kırılganlık ve tehlike kriterlerine eşit ağırlıklar atanarak ağırlıklandırılmış bindirme analizi tekrarlanmış ve böylece taşkın risk haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.5). Literatürde taşkın riski, genellikle tehlike ve kırılganlık bileşenlerinin eşit derecede kritik öneme sahip olduğu varsayılan bütünleşik bir yapı olarak ele alınmaktadır. (Alemdar and Yılmaz, 2025)



Şekil 3.5. İzmir ilinde taşkın riskinin dağılımı

Şekil 3.5'de görüldüğü gibi, "çok düşük", "düşük", "orta", "yüksek" ve "çok yüksek" taşkın riski seviyelerinin oranları sırasıyla %16,57, %30,57, %27,68, %18,82 ve %6,36'dır. Buca, Menderes, Bornova, Kemalpaşa, Çeşme, Torbalı, Menemen, Seferihisar ve Çiğli, yüksek ve çok yüksek taşkın riski altında olduğu tespit edilen ilçelerdir. Risk seviyelerini karşılaştırmak için, yüksek riskli bölgelerden rastgele bölgeler seçilmiştir. Bu bölgelerin performans değerleri, risk bölgelerini VIKOR yöntemi ile değerlendirmek ve sıralamak için kullanılmıştır.

### 3.3. VIKOR Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi

Bu çalışmada, sel riskini değerlendirmek ve derecelendirmek için İzmir ilinde 165 nokta değerlendirilmiştir. VIKOR, seçilen farklı noktalar için sel riskini değerlendirmek ve derecelendirmek üzere uygulanmıştır. VIKOR yöntemi uygulama aşamasında, öncelikle kriterler, fayda ve maliyet unsurları belirlenmiştir. Sel riskini derecelendirmek için  $S_i$ ,  $R_i$  ve  $Q_i$  değerleri en küçükten en büyüğe doğru sıralanmıştır. Karşılanması gereken koşullar arasında C1 ve C2 koşulları da yer almaktadır. VIKOR yönteminden elde edilen sonuçlar Tablo 3.3'de sunulmaktadır. Tablo 3.3'deki bölgeler için sel riskinin sıralama sonuçlarına göre, Çeşme ilçesindeki R91 noktasının 0,884 ile en yüksek sel riski puanına sahip olduğunu, bunu sırasıyla Buca ilçesindeki R153 noktasının, Çeşme ilçesindeki R93, R90 ve R92 noktalarının sırasıyla 0,768, 0,754, 0,752 ve 0,722 puanlarla takip ettiğini göstermektedir.

**Tablo 3.3.** Yüksek sel riski olan ilk 20 nokta

<b>Sıra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Nokta</b>	<b>R91</b>	<b>R153</b>	<b>R93</b>	<b>R90</b>	<b>R92</b>	<b>R110</b>	<b>R32</b>	<b>R31</b>	<b>R97</b>	<b>R28</b>
<b><math>Q_i</math></b>	0,884	0,768	0,754	0,752	0,722	0,715	0,706	0,703	0,691	0,657
<b>Sıra</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
<b>Nokta</b>	<b>R163</b>	<b>R22</b>	<b>R115</b>	<b>R117</b>	<b>R151</b>	<b>R2</b>	<b>R100</b>	<b>R1</b>	<b>R114</b>	<b>R33</b>
<b><math>Q_i</math></b>	0,652	0,627	0,619	0,603	0,599	0,589	0,576	0,576	0,564	0,556

### 3.4. Durağan Olmayan Koşullar Altında GAMLSS ile Modelleme

Modeller, 13 istasyondan alınan yıllık maksimum yağış verileri kullanılarak geliştirilmiştir. Tablo 2.3'te belirtilen 15 potansiyel yardımcı değişken kullanılarak hem durağan hem de durağan olmayan modeller oluşturulmuştur. Modellerin

oluşturulmasında, Gamma (GA), Lojistik (LOGIS), Lognormal (LOGNO) ve Weibull (WEI) olmak üzere dört adet iki parametrelili dağılım dikkate alınmıştır. Bölüm 2.6'da belirtildiği gibi, farklı senaryolarda GAMLSS yöntemi kullanılarak modeller geliştirilmiş ve en uygun dağılımlar AIC kriterine göre seçilmiştir. İlk olarak GAMLSS tekniğini kullanarak 13 istasyon için durağan modelleri kullanarak en uygun dağılımlar seçilmiş ve sonuçlar EK-1'de sunulmuştur. Tablo 3.4, seçilen dağılımları, dağılım parametrelerinin matematiksel modellerini, AIC değerlerini, Filliben katsayılarını ve LR testi p değerlerini özetlemektedir. Tablo 3.4'den görülebileceği gibi, LOGNO ve GA dağılımları sırasıyla 10 ve 3 istasyonda en iyi dağılımlar olarak seçilmiştir. WEI ve LOGIS dağılımları hiçbir istasyonda en iyi performans gösteren dağılımlar olarak seçilmemiştir. LR testi istatistik sonuçlarına göre, 5 numaralı istasyona daha fazla açıklayıcı değişken eklemek, %5 anlamlılık düzeyinde AIC değerinde istatistiksel olarak anlamlı bir iyileşmeye yol açmamıştır. Bu nedenle, söz konusu istasyondaki durağan olmayan model daha fazla analiz için dikkate alınmamıştır. Model dağılımları karşılaştırıldığında, en başarılı modellerin artıklarının bağımsızlığı ve normalliği çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Tablo 3.4, en iyi performans gösteren modellerin Filliben katsayılarının 0,97'den büyük olduğunu göstermektedir. Bu değerlendirme, seçilen modellerin uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.4 ayrıca, 1 istasyon hariç, yalnızca konum parametresinin salınım indeksleriyle temsil edildiği durağan olmayan modellerin çoğunlukla daha başarılı olduğunu vurgulamaktadır. NAO ve SO, yıllık ortalama maksimum yağış miktarını modellemek için en önemli yardımcı değişkenler iken, WeMO birkaç istasyonda yıllık ortalama maksimum yağış miktarını modellemek için birincil yardımcı değişkendir. Çalışma kapsamında kullanılan yağış verileri için belirlenen optimal modellerin parametrelerinin matematiksel formülasyonu Tablo 3.5' de verilmiştir. Ayrıca, Şekil 3.6'da istasyonlar için belirlenen en uygun dağılımlara göre solucan grafikleri çizilmiştir. Solucan grafiklerinde siyah kesikli çizgiler %95 güven aralığına karşılık gelmektedir. Genellikle modellerin standartlaştırılmış artıkları %95 güven aralığında kalması bu modellerin geçerli olduğunu göstermektedir.

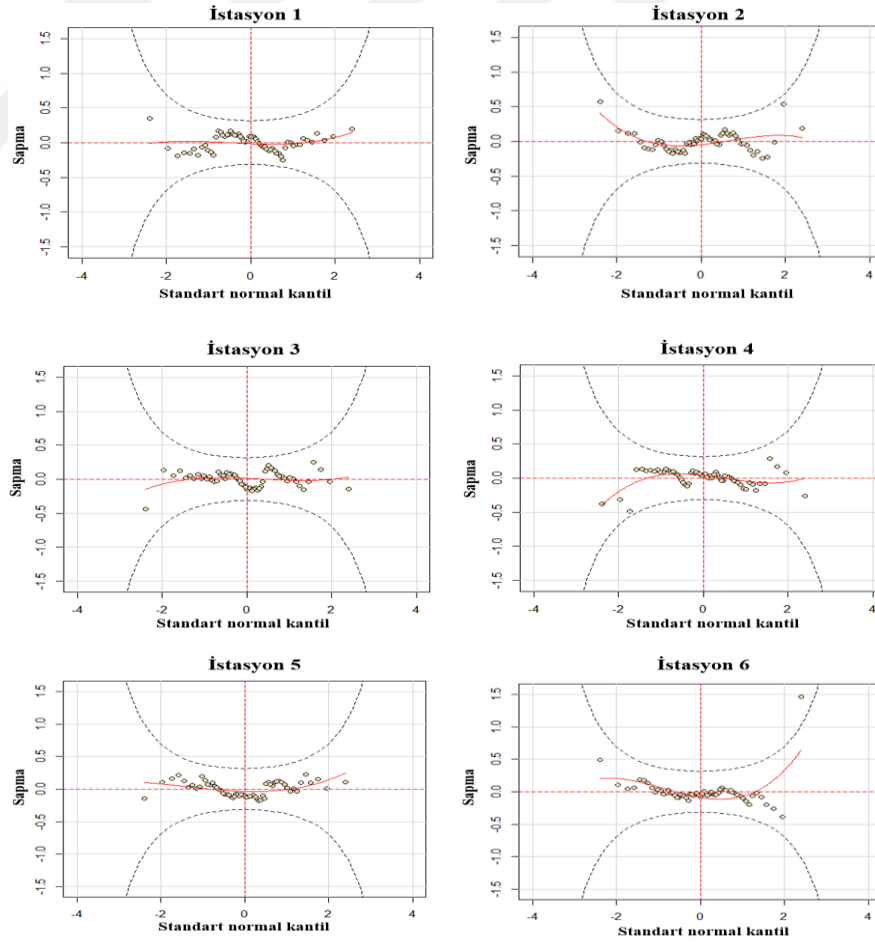
**Tablo 3.4.** Uygulanan modeller için AIC değerleri, Filliben katsayıları ve LR testi p değeri ile özet bilgi

İstasyon No	Model	AIC Değerleri	Filliben Katsayıları	LR Test p Değerleri
1	LOGNO( $\mu, \sigma$ )	496,79	0,99	
	LOGNO( $\mu \sim x_1, \sigma$ )	491,8	0,99	0,008
	LOGNO( $\mu \sim x_1+x_{14}, \sigma$ )	487,99	0,99	0,015
2	LOGNO( $\mu, \sigma$ )	512,9	0,99	
	LOGNO( $\mu \sim x_2, \sigma$ )	511,86	0,99	0,01
	LOGNO( $\mu \sim x_2+x_{12}, \sigma$ )	507,88	0,99	0,014
3	GA( $\mu, \sigma$ )	461,7	0,99	
	GA( $\mu \sim x_1, \sigma$ )	455,09	0,99	0,003
4	LOGNO( $\mu, \sigma$ )	474,87	0,98	
	LOGNO( $\mu \sim x_1, \sigma$ )	468,71	0,99	0,004
5	LOGNO( $\mu, \sigma$ )	484,35	0,99	
	<b>LOGNO(<math>\mu \sim x_{14}, \sigma</math>)</b>	<b>483,56</b>	<b>0,98</b>	<b>0,094</b>
6	LOGNO( $\mu, \sigma$ )	459,25	0,97	
	LOGNO( $\mu \sim x_5, \sigma$ )	456,23	0,97	0,024
7	GA( $\mu, \sigma$ )	485,64	0,99	
	GA( $\mu \sim x_{10}, \sigma$ )	482,53	0,99	0,023
8	LOGNO( $\mu, \sigma$ )	476,27	0,99	
	LOGNO( $\mu \sim x_{10}, \sigma$ )	471,4	0,99	0,008
9	LOGNO( $\mu, \sigma$ )	484,24	0,99	
	LOGNO( $\mu \sim x_1, \sigma$ )	481,3	0,99	0,02
	LOGNO( $\mu \sim x_1+x_{10}, \sigma$ )	478,8	0,99	0,03
10	LOGNO( $\mu, \sigma$ )	470,74	0,97	
	LOGNO( $\mu \sim x_1, \sigma$ )	466,7	0,98	0,014
11	GA( $\mu, \sigma$ )	472,07	0,99	
	GA( $\mu \sim x_9, \sigma$ )	469,3	0,99	0,03
12	LOGNO( $\mu, \sigma$ )	472,51	0,99	
	LOGNO( $\mu \sim x_{10}, \sigma$ )	470,6	0,98	0,04
	LOGNO( $\mu \sim x_{10}, \sigma \sim x_{10}$ )	468,34	0,99	0,03
13	LOGNO( $\mu, \sigma$ )	445,37	0,98	
	LOGNO( $\mu \sim x_5, \sigma$ )	442,78	0,98	0,03

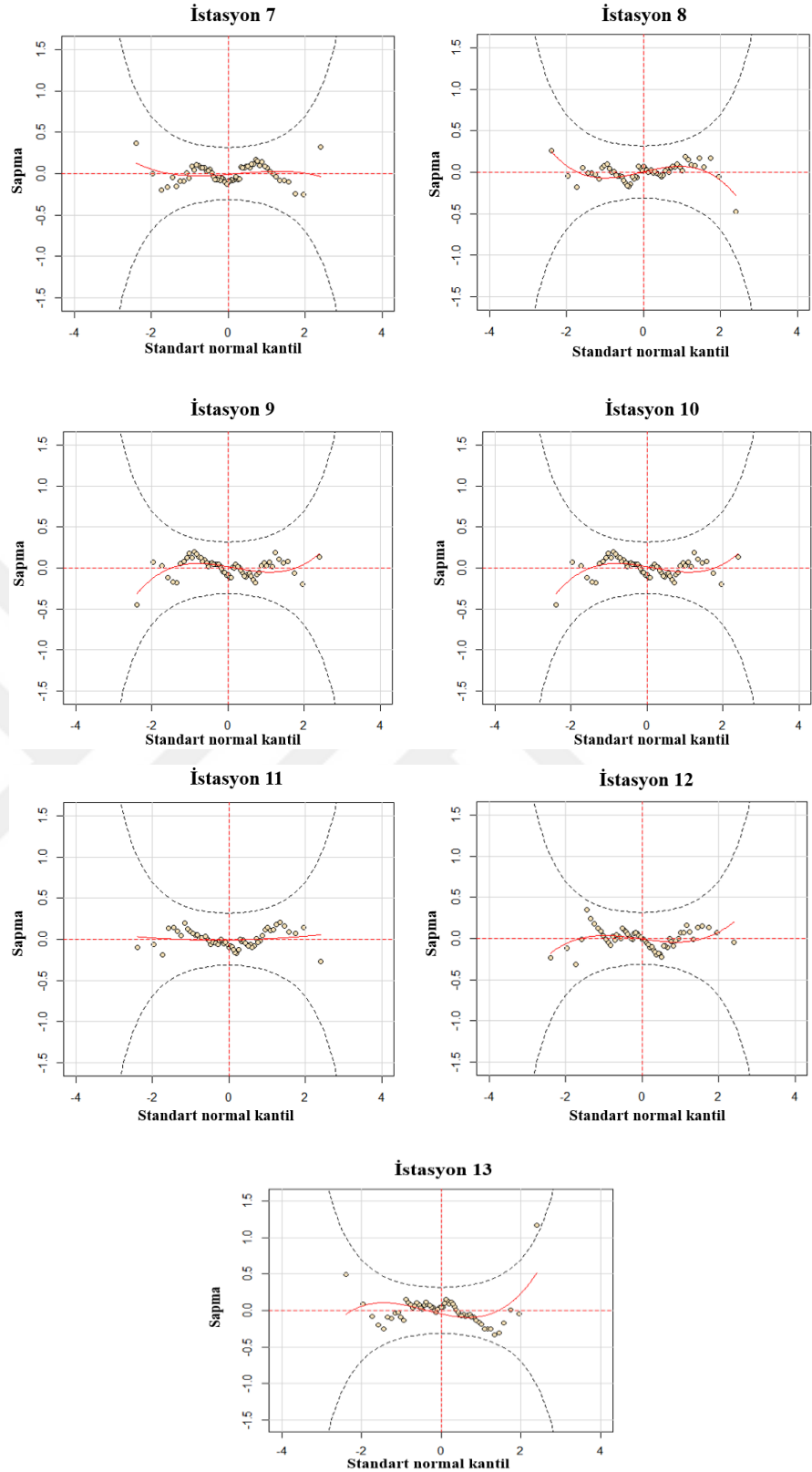
**Not:** Koyu LR test p değerleri karmaşık modelin %5 anlamlılık düzeyinde seçilmediğini gösterir.

**Tablo 3.5.** Belirlenen en uygun modellerin matematiksel formülasyonları

İstasyon No	$\log (\mu) =$	$\log (\sigma) =$
1	$3,92-0,17*x_1-0,106*x_{14}$	-1,4
2	$3,93-0,06*x_2+0,158*x_{12}$	-1,27
3	$3,75-0,16*x_1$	-1,468
4	$3,77-0,17*x_1$	-1,39
5	3,69	-1,18
6	$3,72-0,082*x_5$	-1,45
7	$3,9+0,081*x_{10}$	-1,38
8	$3,859+0,086*x_{10}$	-1,45
9	$3,87-0,115*x_1+0,071*x_{10}$	-1,43
10	$3,75-0,144*x_1$	-1,39
11	$3,77+0,078*x_9$	-1,35
12	$3,74+0,094*x_{10}$	$-1,36+0,185*x_{10}$
13	$3,65-0,07*x_5$	-1,49



**Şekil 3.6.** Seçilen en uygun modellerin solucan grafikleri



**Şekil 3.6.(devamı)** Seçilen en uygun modellerin solucan grafikleri

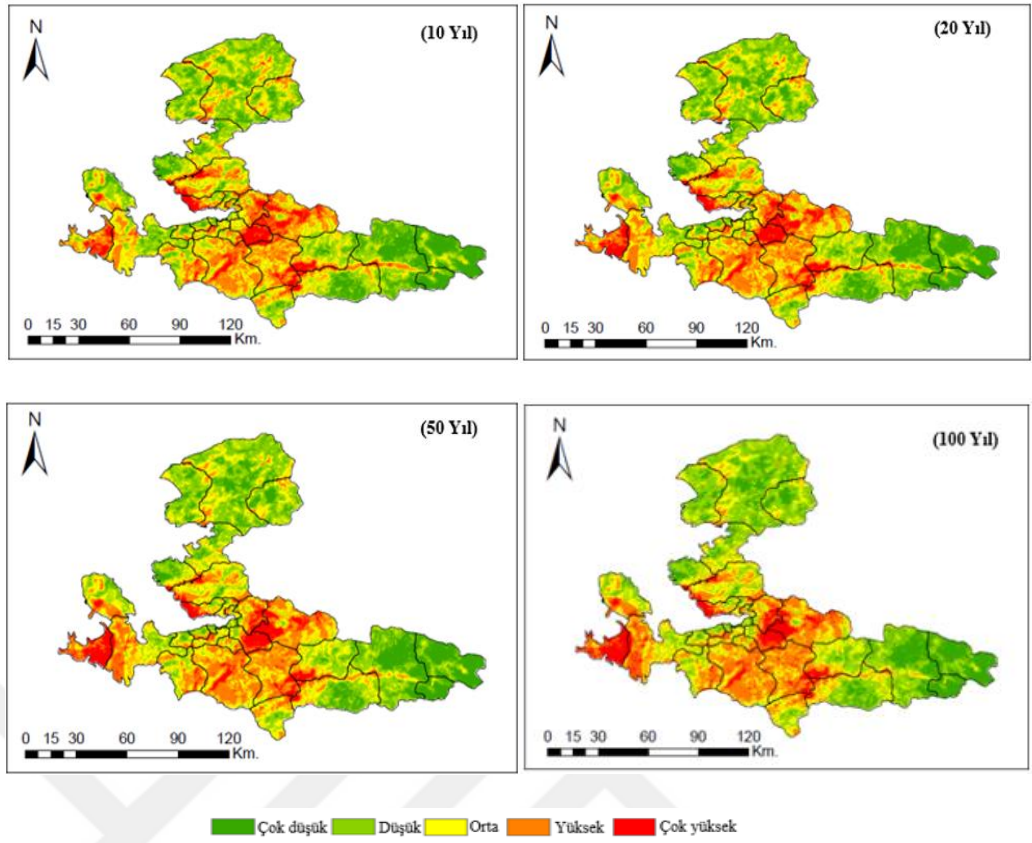
En iyi modeller belirlendikten sonra, taşkın riskini değerlendirmek için  $T = 10$ , 20, 50 ve 100 yıllık farklı geri dönüş periyotlarıyla ( $T$ ) ilişkili yağış verileri

hesaplanmıştır. Geri dönüş periyodu, aşılmama olasılığı ile ilişkilidir ve  $T = 1 / (1 - F(\text{Pr} > \text{pr}))$  genel formülü ile hesaplanmıştır. Yağış yüzdeleri, bu denklemin tersi uygulanarak uygulanmaktadır. Herhangi bir geri dönüş periyodu (T) için yüzdelerinin durağan olmayan koşullarda zamanla değişeceğini, ancak durağan koşullarda sabit kalacağını vurgulamak gerekmektedir. Çalışma kapsamında, 10, 20, 50 ve 100 yıllık yağış kantilleri hesaplanmış ve yağış haritası oluşturulurken bu kantillerin ortalama değerleri alınmıştır (Her istasyon için hesaplanan kantil değerlerinin çizimi EK-2’de sunulmuştur.). Tehlike kriterleri, 10, 20, 50 ve 100 yıllık yağış kantilleri dikkate alınarak AHP yöntemi ile yeniden ağırlıklandırılmış ve ağırlıklar Tablo 3.6’de verilmiştir.

**Tablo 3.6.** Farklı geri dönüş dönemlerinde sel riski değerlendirmesi için ana ağırlıklar

Kriterler	Tekerrür Periyotları			
	10 Yıl	20 Yıl	50 Yıl	100 Yıl
<b>T1</b>	0,295	0,334	0,398	0,427
<b>T2</b>	0,124	0,117	0,105	0,088
<b>T3</b>	0,018	0,018	0,017	0,016
<b>T4</b>	0,185	0,172	0,153	0,186
<b>T5</b>	0,152	0,143	0,128	0,107
<b>T6</b>	0,075	0,073	0,066	0,057
<b>T7</b>	0,057	0,052	0,049	0,042
<b>T8</b>	0,038	0,037	0,034	0,031
<b>T9</b>	0,031	0,03	0,027	0,025
<b>T10</b>	0,025	0,024	0,023	0,021

Tablo 3.6’den elde edilen sonuçlar için tutarlılık analizi yapılmıştır. Sonuçlar, CR değerinin 0,1 eşiğinin altında olduğunu ve ağırlıkların kabul edilebilir olduğunu göstermiştir. Çalışmanın bu aşamasında, 3.2 bölümündeki prosedür izlenmiş ve farklı tekrar periyotlarındaki yağış kriterleri tehlike kriterlerine dâhil edilerek CBS ortamına aktarılmıştır. Senaryolardaki kriter ağırlık kombinasyonlarını kullanarak potansiyel tehlike alanlarını belirlemek için ağırlıklı bindirme analizleri yeniden gerçekleştirilmiştir. Kapsamlı bir taşkın riski analizi yapmak için, mevcut kırılma ve dört farklı yağış senaryosu için dikkate alınan tehlike kriterlerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Ağırlıklar eşitlenerek ağırlıklı örtüşme analizi tekrar gerçekleştirilmiş ve dört farklı yağış senaryosu için taşkın riski haritaları Şekil 3.7’de sunulmuştur.



**Şekil 3.7.** Farklı geri dönüş dönemleri için sel riski haritaları

Şekil 3.7'de görüldüğü gibi, İzmir ilindeki genel taşkın riskinin mekansal dağılımı, merkez ve batı bölgelerinin daha yüksek risk altında olduğunu, doğu ve kuzey bölgelerinin ise nispeten daha düşük risk sergilediğini göstermektedir. Önemli bir bulgu olarak, geri dönüş periyodu seviyesi arttıkça şehrin batı kesimindeki taşkın riskinin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.7). İzmir ilindeki taşkın riski dağılımı, Tablo 3.7'da sunulduğu gibi belirlenmiştir. Tablo 3.7, geri dönüş periyotlarındaki kademeli artışla birlikte, risk bölgelerindeki yüksek ile çok yüksek riskli alanların genel mekansal dağılımının arttığını, çok düşük riskli alanların dağılımının ise azaldığını göstermiştir.

**Tablo 3.7.** Toplam taşkın riskine maruz kalan alanın oranı

Taşkın risk senaryoları	Çok Düşük (%)	Düşük (%)	Orta(%)	Yüksek (%)	Çok Yüksek (%)
<b>10 Yıl</b>	15,12	28,26	28,60	21,29	6,73
<b>20 Yıl</b>	14,91	28,48	27,85	21,69	7,07
<b>50 Yıl</b>	14,52	28,70	27,80	21,70	7,28
<b>100 Yıl</b>	13,92	31,59	24,64	22,32	7,53

Çalışmanın bu aşamasında, 3.3 bölümündeki mevcut taşkın riski haritasından belirlenen 165 noktanın taşkın riski değerlendirilmesi ve sıralama işlemi dört farklı senaryo için de gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, VIKOR yöntemi dört farklı senaryo için tekrar çalıştırılmıştır. İzmir ilindeki kapsamlı taşkın riskinin değerlendirilmesine ilişkin VIKOR sonuçları Tablo 3.8' de sunulmuştur.

**Tablo 3.8.** Dört farklı senaryo için en yüksek 20 sel riski noktaları

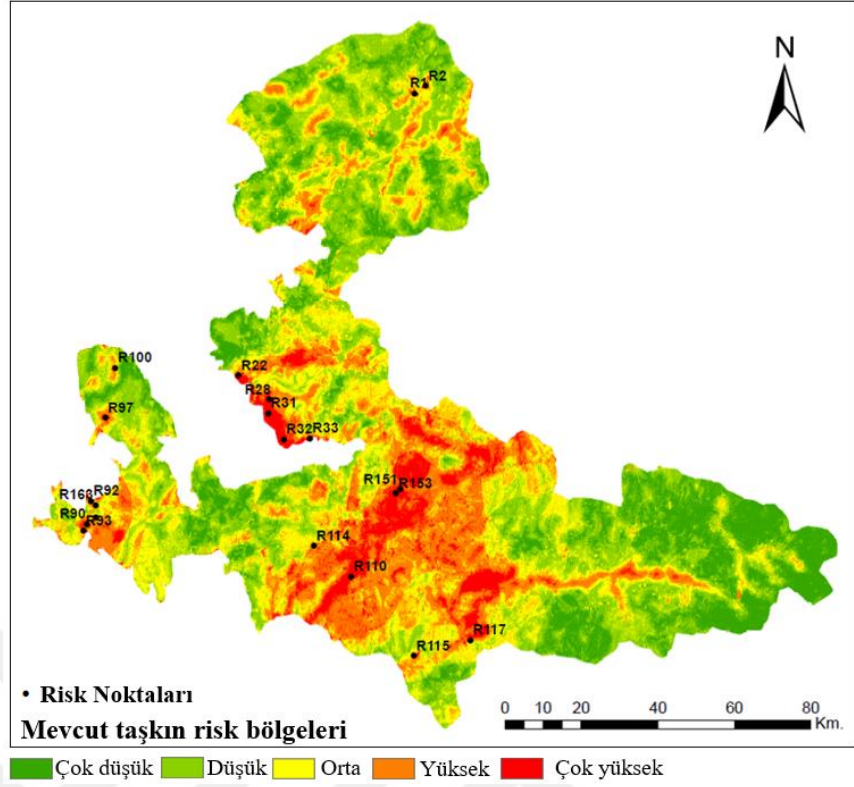
<b>10 Yıl</b>	<b>Sıra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
	<b>Nokta</b>	<b>R55</b>	<b>R56</b>	<b>R54</b>	<b>R153</b>	<b>R163</b>	<b>R31</b>	<b>R32</b>	<b>R28</b>	<b>R97</b>	<b>R110</b>
	$Q_i$	0,957	0,770	0,740	0,714	0,678	0,670	0,666	0,626	0,618	0,617
	<b>Sıra</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
	<b>Nokta</b>	<b>R22</b>	<b>R53</b>	<b>R115</b>	<b>R117</b>	<b>R33</b>	<b>R151</b>	<b>R100</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R114</b>
$Q_i$	0,608	0,595	0,587	0,573	0,569	0,568	0,566	0,549	0,545	0,540	
<b>20 Yıl</b>	<b>Sıra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
	<b>Nokta</b>	<b>R55</b>	<b>R56</b>	<b>R54</b>	<b>R153</b>	<b>R163</b>	<b>R53</b>	<b>R151</b>	<b>R164</b>	<b>R165</b>	<b>R152</b>
	$Q_i$	0,974	0,820	0,804	0,728	0,721	0,700	0,681	0,620	0,616	0,589
	<b>Sıra</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
	<b>Nokta</b>	<b>R50</b>	<b>R155</b>	<b>R156</b>	<b>R37</b>	<b>R154</b>	<b>R41</b>	<b>R31</b>	<b>R32</b>	<b>R159</b>	<b>R157</b>
$Q_i$	0,585	0,552	0,544	0,533	0,530	0,510	0,503	0,500	0,500	0,500	
<b>50 Yıl</b>	<b>Sıra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
	<b>Nokta</b>	<b>R55</b>	<b>R56</b>	<b>R54</b>	<b>R153</b>	<b>R53</b>	<b>R163</b>	<b>R151</b>	<b>R164</b>	<b>R165</b>	<b>R152</b>
	$Q_i$	0,979	0,849	0,828	0,753	0,748	0,747	0,709	0,669	0,654	0,642
	<b>Sıra</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
	<b>Nokta</b>	<b>R50</b>	<b>R156</b>	<b>R155</b>	<b>R154</b>	<b>R157</b>	<b>R159</b>	<b>R141</b>	<b>R37</b>	<b>R120</b>	<b>R146</b>
$Q_i$	0,629	0,598	0,590	0,580	0,555	0,553	0,544	0,539	0,525	0,521	
<b>100 Yıl</b>	<b>Sıra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
	<b>Nokta</b>	<b>R55</b>	<b>R56</b>	<b>R54</b>	<b>R163</b>	<b>R53</b>	<b>R153</b>	<b>R151</b>	<b>R164</b>	<b>R165</b>	<b>R152</b>
	$Q_i$	0,979	0,855	0,824	0,771	0,763	0,750	0,711	0,678	0,670	0,654
	<b>Sıra</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
	<b>Nokta</b>	<b>R50</b>	<b>R156</b>	<b>R155</b>	<b>R154</b>	<b>R159</b>	<b>R157</b>	<b>R146</b>	<b>R141</b>	<b>R37</b>	<b>R147</b>
$Q_i$	0,638	0,599	0,589	0,580	0,553	0,552	0,532	0,528	0,522	0,511	

VIKOR sonuçları, dört senaryonun tamamında, şehrin kuzeydoğusundaki Kemalpaşa ilçesindeki R55 noktasının en yüksek taşkın riskine sahip olduğunu, bunu aynı ilçedeki R56 ve R54 noktalarının izlediğini göstermektedir.

### 3.5. Geliştirilen Yaklaşımın Değerlendirilmesi

Bu çalışma, durağan olmayan koşullar altında farklı geri dönüş seviyelerinde elde edilen risk haritalarıyla ÇKKV'yi birleştirerek kapsamlı taşkın riskini değerlendirmek için bir yaklaşım sunmaktadır. Durağan olmayan koşullarda farklı fiziksel açıklayıcı değişkenler kullanılarak geri dönüş seviyelerinde yağış değerleri elde etmek için GAMLSS tekniği kullanılmıştır. ÇKKV yöntemleri ve GAMLSS tekniği, taşkın riskinin değerlendirilmesinde bir potansiyel sunmakla birlikte, taşkın riski değerlendirmesine entegre edilmeleri literatürde ilk kez bu çalışmayla bildirilmiştir. Mevcut durum için değerlendirme sonuçları, tehlike için en önemli üç kriterin sırasıyla Yıllık ortalama maksimum yağış, Arazi kullanımı/Arazi örtüsü, Nehire uzaklık olduğunu göstermiştir. Bu sonuca benzer şekilde, (Belazreg et al., 2024) ve (Ekmekcioğlu et al., 2021), yağış miktarının sel tehlikesi için en önemli kriter olduğunu bildirmiştir. Kırılabilirlik için en önemli üç faktör sırasıyla Nüfus yoğunluğu, Yol ağları ve Afet ve acil durum toplanma alanlarıdır. Bu sonuç, nüfus yoğunluğunun kırılabilirlik için birincil kriter olduğunu belirleyen (Rafiei-Sardooi et al., 2021) çalışmasıyla da desteklenmektedir. Kapsamlı bir analiz yapmak için tehlike ve kırılabilirlik haritaları örtüştürülmüştür.

Şekil 3.5'de görüldüğü gibi, şehrin merkez kesiminde yer alan ilçeler ile sahil kesiminde bulunan Çeşme, Seferihisar ve Çiğli ilçeleri yüksek taşkın riski altındadır. Bu haritanın analizi, bol yağış, yakınlardaki akarsular, düz yamaçlar ve düşük kot profilleri ile kentsel gelişim tiplerinin taşkın riskine önemli ölçüde katkıda bulunduğunu göstermektedir. Birçok çalışma, taşkın risklerinin etkili yönetiminde yüksek riskli alanları sıralamak için CBS ve ÇKKV yöntemlerinin birleşiminin önemini vurgulamıştır (Yang et al., 2018; Lyu et al., 2019b, 2023; Moghadas et al., 2019; Chen, 2022). Ayrıca, karar vericilerin uygun taşkın riski azaltma önlemlerini geliştirmek için herhangi bir alandaki taşkın riski puanlarını belirlemeleri faydalıdır (Luu et al., 2018). Bu amaçla, VIKOR yöntemi kentsel alanların taşkın risklerini sıralamak için sıklıkla kullanılmaktadır (Khosravi et al., 2019; Ghaleno et al., 2020; Pourghasemi et al., 2021). Tablo 3.3, VIKOR yöntemi ile belirlenen 165 nokta arasında en yüksek taşkın riskine sahip 20 noktayı göstermektedir. Bu noktaların çalışma alanındaki temsili Şekil 3.8'de sunulmaktadır. En yüksek taşkın riskine sahip nokta olan R91, Çeşme ilçesinde bulunmaktadır. Çeşme ve Buca ilçelerinde bulunan noktaların genellikle yüksek risk puanlarına sahip olduğu görülmektedir.

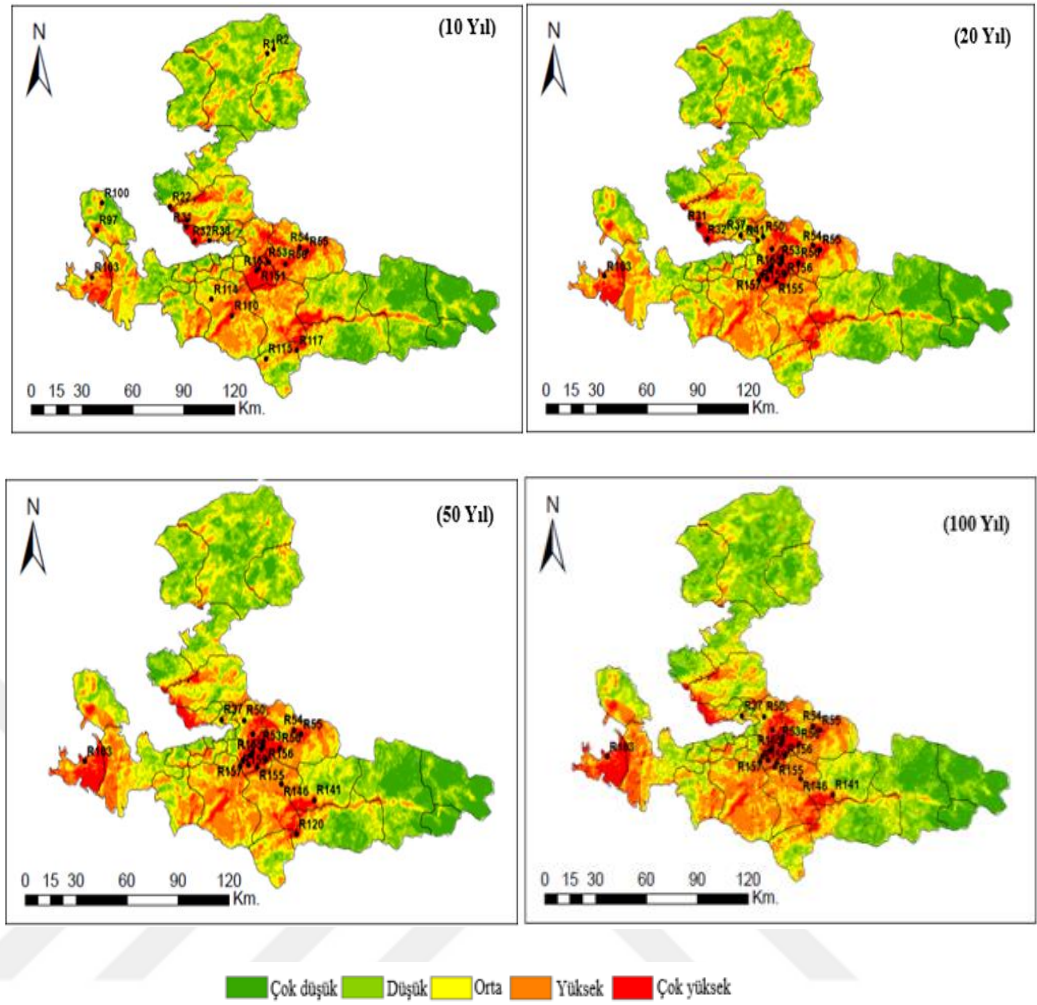


**Şekil 3.8.** Taşkın riski haritasında VIKOR sıralamasının görselleştirilmesi

Farklı geri dönüş seviyelerine sahip yağış olayları altında taşkın risklerinin değerlendirilmesi, karar vericilere ve politikacılara faydalı bilgiler sağlayabilir (Koliokosta, 2023). Böylece yağış verileri GAMLSS çerçevesi kullanılarak durağan olmayan koşullar altında dört farklı olasılık dağılım fonksiyonu ile modellenmiş ve çeşitli değerlendirme kriterlerine göre en başarılı modeller Tablo 3.4'de gösterilmiştir. Sonuçlar LOGNO ve GA dağılımlarının sırasıyla 10 ve 3 istasyonda en uygun olduğunu göstermiştir. Durağan olmayan modeller oluşturmak için atmosferik salınım indeksleri yıllık ve mevsimsel ölçeklerde açıklayıcı değişkenler olarak kullanılmıştır. Bulgular, yıllık NAO ve sonbahar SO indekslerinin açıklayıcı değişkenler olarak kullanılmasının başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçları, Türkiye'de NAO ve SO'nun yağış değişkenleri üzerindeki etkilerini inceleyen önceki çalışmaların sonuçlarını doğrulamaktadır. Tosunoglu et al. (2023), NAO ve SO endekslerinin Türkiye'deki yağış için önemli açıklayıcı değişkenler olduğu sonucuna varmıştır.

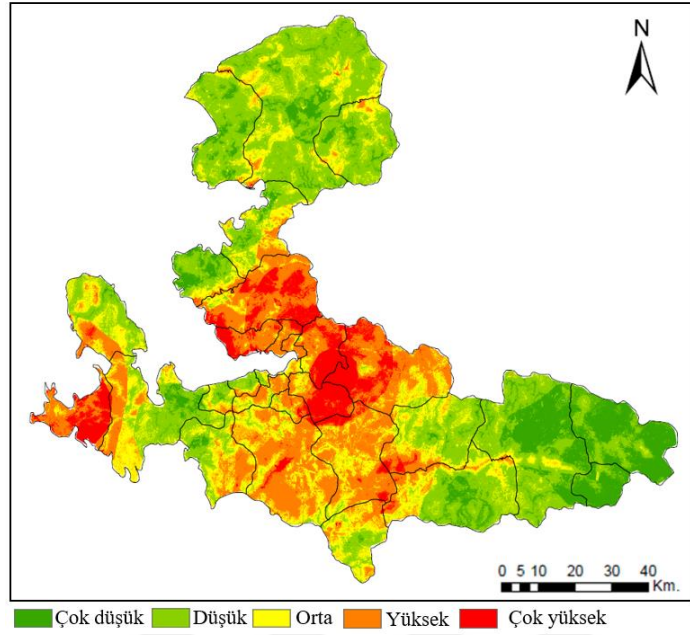
ÇKKV kullanan önceki araştırmalar, durağan olmayan koşullarda yağış dönüş periyotlarıyla sel tehlikesi haritalama tekniklerini entegre etmemiş ve potansiyel tehlike alanlarını belirlememiştir. Bu nedenle, çalışmada, GAMLSS tekniği ile belirlenen en uygun olasılık dağılım fonksiyonları kullanılarak 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş seviyeleri

için yağış değerleri hesaplanmış ve farklı senaryolar için sel riski haritaları elde etmek üzere CBS ortamına aktarılmıştır. Şekil 3.7'de farklı senaryolar için verilen sel riski haritaları, Şekil 3.5'deki mevcut risk haritasıyla karşılaştırıldığında, sonuçlar, dönüş periyotlarındaki değişimle birlikte yüksek ve çok yüksek riskli alanların şehrin doğu ve kuzey kesimlerinden merkeze doğru kademeli olarak hareket ettiğini göstermiştir. Bunlar arasında, özellikle Çeşme ilçesinde yüksek riskli alanlardaki artış daha belirgindir. Yüksek ve çok yüksek alanların oranı mevcut risk haritası ve 100 yıllık risk haritası ile karşılaştırıldığında %35,35'ten %41,69'a yükselmekte olup, bu bölgede aşırı sel olasılığının arttığını göstermektedir. Orta ve çok yüksek riskli alanlar çoğunlukla Buca, Bornova, Kemalpaşa, Menderes, Çeşme ve Çiğli'de yer almaktadır. Bu bölgelerde sık ve şiddetli yağışlar nedeniyle sel şiddeti yüksektir ve yerleşim yoğunluğu da önemlidir. Tablo 3.6, farklı tekrar dönemlerinde sel risklerinin alansal dağılımını göstermektedir. Mevcut sel risk haritası 10 yıllık harita ile karşılaştırıldığında, çok düşük ve düşük riskli olarak sınıflandırılan alanlar azalırken, orta, yüksek ve çok yüksek riskli alanlar artmıştır. 20, 50 ve 100 yıllık dönemlerde, çok düşük ve orta riskli alanlar 10 yıllık döneme kıyasla azalırken, düşük, çok ve çok yüksek riskli alanlar artmıştır. Son olarak, mevcut taşkın risk haritasından elde edilen 165 noktanın risk değerlendirmesi, farklı geri dönüş periyotları için elde edilen risk haritaları için de mevcut VIKOR yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve çıktılar mevcut VIKOR sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Tablo 3.8 sonuçları, en yüksek taşkın risk puanına sahip noktaların mevcut VIKOR sonuçlarına göre değiştiğini göstermektedir. Şekil 3.9, bu noktaların çalışma alanındaki konumunu göstermektedir. Mevcut taşkın risk haritasında en yüksek üç taşkın risk puanına sahip noktalar sırasıyla R91 (Çeşme ilçesi), R153 (Buca ilçesi) ve R93'tür (Çeşme ilçesi). Ancak, 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönemler için en yüksek taşkın risk puanına sahip ilk üç nokta sırasıyla Kemalpaşa ilçesinde R55, R56 ve R54'tür. Sonuçlar ayrıca Buca ilçesinin yüksek taşkın riskine sahip olduğunu göstermektedir. Nitekim, 10, 20 ve 50 yıllık getiri seviyeleri için dördüncü en yüksek taşkın risk puanı Buca ilçesinde R153'tür. Aynı nokta, 100 yıllık dönem için altıncı en yüksek taşkın risk puanına sahiptir. 100 yıllık dönem için dördüncü en yüksek taşkın risk puanına sahip olan R163 noktası (Çeşme ilçesi), 10 ve 20 yıllık dönemler için beşinci, 50 yıllık dönem için ise altıncı sırada yer almaktadır. Ancak aynı nokta, mevcut VIKOR sonuçlarında on birinci en yüksek taşkın risk puanına sahiptir.



**Şekil 3.9.** Farklı senaryolar için elde edilen taşkın riski haritalarında VIKOR sıralamalarının görselleştirilmesi

Çalışma kapsamında İzmir ili için kapsamlı taşkın risk analizleri gerçekleştirildiğinden, 100 yıl tekerrür periyoduna ait elde edilen değerlerin %95 persentil seviyeleri esas alınarak ek bir taşkın risk analizi yapılmıştır. Taşkın tehlikesinin oluşumunda etkili olan kriterler yeniden değerlendirilmiş ve bu kriterlerin taşkın oluşumu üzerindeki görece önem düzeylerini belirlemek AHP yöntemi kullanılarak tekrar ağırlıklandırılmıştır. AHP sonuçlarına göre kriter ağırlıkları sırasıyla T1 (0,451), T2 (0,074), T3 (0,027), T4 (0,143), T5 (0,107), T6 (0,057), T7 (0,046), T8 (0,036), T9 (0,031), T10 (0,028) olarak belirlenmiştir. Elde edilen ağırlıklar CBS ortamına aktarılarak taşkın tehlike haritası ve kırılma bileşenleri ile birlikte değerlendirilerek çalışma alanına ait taşkın risk haritası hazırlanmıştır (Şekil 3.10)

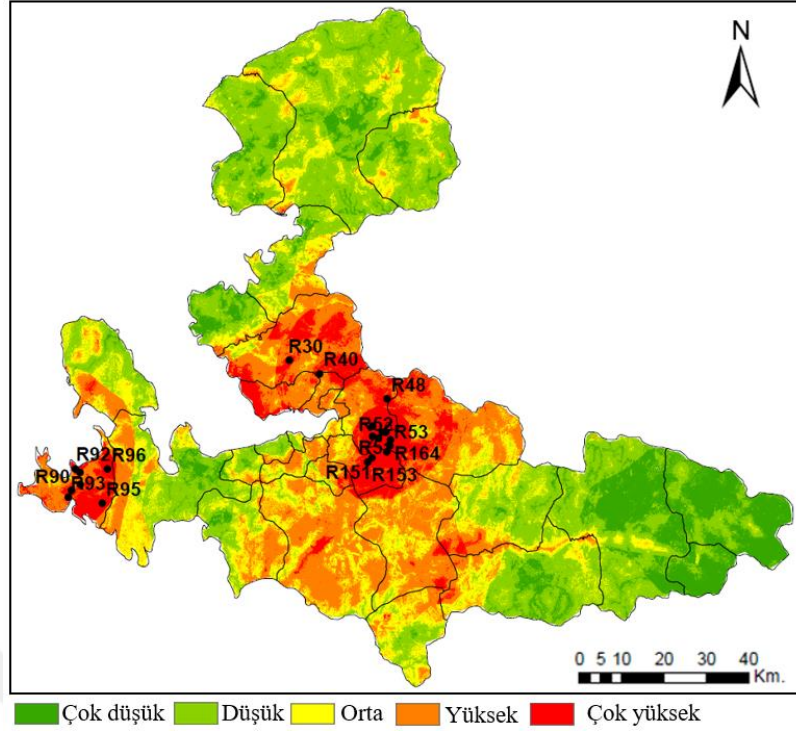


**Şekil 3.10.** 100 Yıl tekerrür periyodu (T=100) için %95 persentile dayalı olarak elde edilen sel riski haritası

Şekil 3.10'dan elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanının sırasıyla %12,23'sinin çok düşük, %35,41'inin düşük, %21,42'ünün orta, %22,86'sinin yüksek ve %8,08'inin ise çok yüksek taşkın risk sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. 165 alternatif nokta için VIKOR sıralama yöntemi yeniden uygulanmış ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda noktaların taşkın riski açısından öncelik sıralaması belirlenmiştir. Analiz sonucunda en yüksek risk düzeyine sahip ilk 20 noktaya ait sıralama sonuçları Tablo 3.9'da, harita üzerinde gösterimi ise Şekil 3.11 de sunulmuştur.

**Tablo 3.9.** %95 Persentile dayalı sel riski değerlendirmesine göre ilk 20 nokta

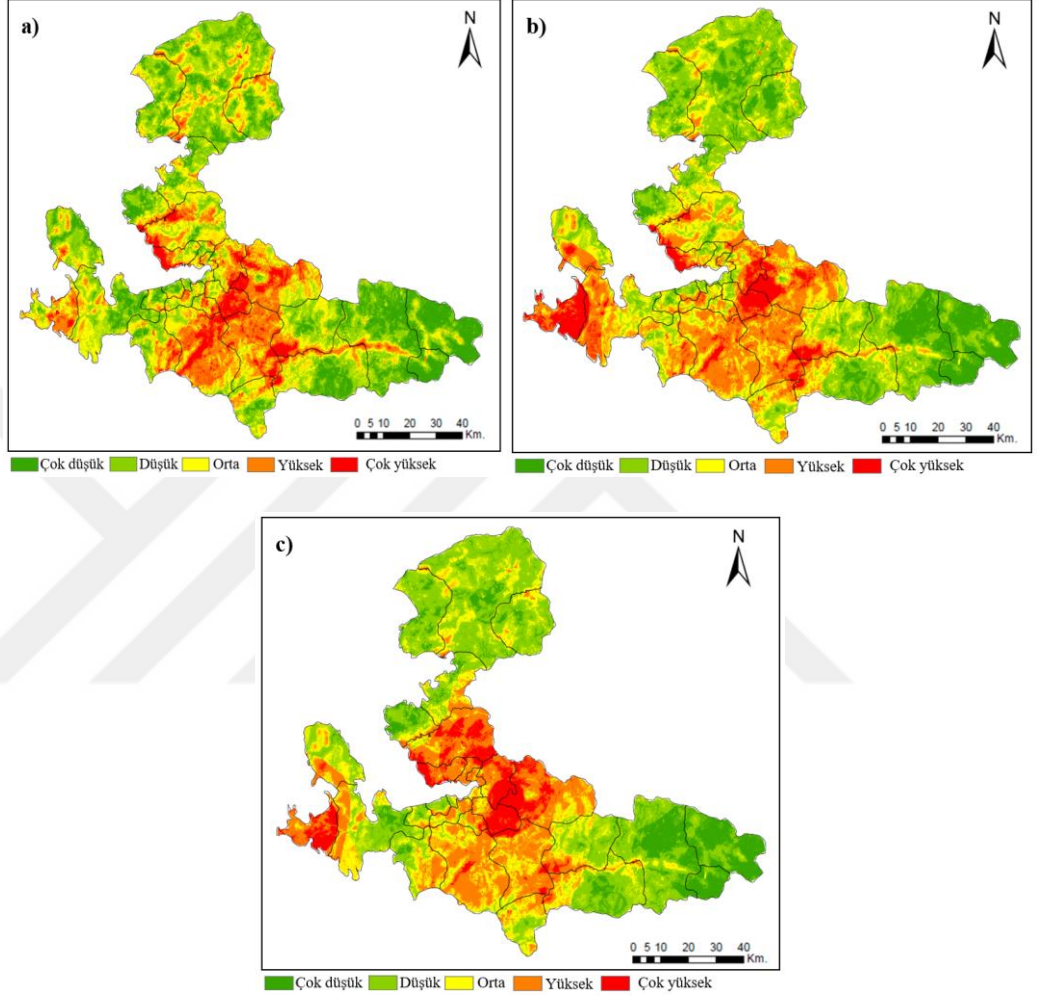
<b>Sıra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Nokta</b>	<b>R91</b>	<b>R153</b>	<b>R92</b>	<b>R90</b>	<b>R93</b>	<b>R151</b>	<b>R164</b>	<b>R163</b>	<b>R53</b>	<b>R165</b>
<b><math>Q_i</math></b>	0,942	0,859	0,848	0,836	0,835	0,814	0,804	0,803	0,802	0,781
<b>Sıra</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
<b>Nokta</b>	<b>R51</b>	<b>R52</b>	<b>R47</b>	<b>R152</b>	<b>R151</b>	<b>R46</b>	<b>R95</b>	<b>R96</b>	<b>R30</b>	<b>R40</b>
<b><math>Q_i</math></b>	0,78	0,779	0,777	0,768	0,76	0,758	0,757	0,699	0,696	0,695



**Şekil 3.11.** 100 Yıl tekerrür periyodu (T=100) için %95 percentile dayalı olarak elde edilen sel riski haritası için VIKOR sıralaması

Ayrıca çalışma kapsamında mevcut durum, 100 yıl geri dönüş seviyesi ve 100 yıl için %95 percentil değerlerine göre elde edilen taşkın risk dağılım haritalarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amacıyla kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.12). Şekil 3.12 incelendiğinde, geri dönüş seviyesi arttıkça yüksek ve çok yüksek risk sınıfında yer alan alanların oranının arttığı, buna karşılık çok düşük risk sınıfında bulunan alanların oranının azaldığı açıkça görülmektedir. Bu durum, taşkın tehlikesinin artan tekerrür periyotları ile birlikte daha geniş alanları etkileyebileceğini ve risk düzeylerinin yükseldiğini göstermektedir. Özellikle mevcut durum risk haritası ile 100 yıl tekerrür periyoduna ait %95 percentil değerleri kullanılarak oluşturulan risk haritası karşılaştırıldığında, yüksek riskli bölgelerde belirgin bir genişleme olduğu dikkat çekmektedir. Bu kapsamda, özellikle şehrin kuzey kesiminde yer alan Menemen, Çiğli, Karşıyaka ve Bayraklı ilçeleri ile kentin orta kesimlerinde bulunan Bornova, Kemalpaşa ve Buca ilçelerinde %95 percentil sonuçlarına göre taşkın riskinin yüksek seviyelere ulaştığı görülmektedir. Bu durum, söz konusu bölgelerin aşırı yağış koşullarına karşı daha hassas olduğunu göstermekte ve taşkın risk yönetimi açısından öncelikli olarak ele alınması gereken alanlar arasında yer aldığını ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, taşkın riskinin yalnızca mevcut koşullar altında değil, olasılıksal aşırı değer senaryoları

altında da önemli ölçüde değişebileceğini vurgulamaktadır. %95 persentil yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar, daha uç ve kritik yağış koşullarını temsil ettiğinden, risk düzeylerinin artışı daha belirgin şekilde yansıtmaktadır. Bu durum, taşkın yönetimi, afet planlaması ve risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesinde durağan olmayan koşullar altında olasılıksal yaklaşımların dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır.



**Şekil 3.12.** Taşkın risk dağılımı; (a) Mevcut durum, (b) 100 yıl geri dönüş seviyesi (c) 100 yıl için %95 persentile göre

Çalışma, karar vericiler ve planlamacıların en savunmasız alanları belirleyip önceliklendirmeleri için kolayca erişilebilir risk verileri sunarak kapsamlı bir sel riski değerlendirmesi sunmaktadır. Entegre değerlendirme yönteminden elde edilen sonuçlar, farklı senaryolar ışığında afet risklerini değerlendirme kapasitesini artırabilir ve sel riski yönetimiyle ilgili karar alma süreçlerinde daha iyi bilgi sağlayabilir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, sel riskini değerlendirmek ve potansiyel tehlike alanlarını belirlemek için makul bir yaklaşım geliştirmek amacıyla, durağan olmayan koşullar altında sel tehlikesi haritalama tekniklerini yağış dönüş periyotlarıyla entegre etmiştir. Çalışmada, İzmir ilindeki sel riskini değerlendirmek için CBS ile entegre AHP ve belirlenen bölgelerin performans değerlerini kullanan VIKOR yöntemi uygulanmıştır. Durağan olmayan koşullar altında açıklayıcı değişkenler olarak fiziksel değişkenleri kullanan GAMLSS yöntemi ile 10, 20, 50 ve 100 yıllık dönüş seviyelerinde yağışlar elde edilmiştir. Temel sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

(1) İzmir'deki sel riskini değerlendirmek için AHP, CBS'ye dâhil edilmiştir. Sonuçlar, Buca, Menderes, Bornova, Kemalpaşa, Çeşme, Torbalı, Menemen, Seferihisar ve Çiğli ilçelerinin yüksek ve çok yüksek sel riski taşıyan alanlar olarak belirlendiğini göstermiştir.

(2) VIKOR sonuçlarına göre, en yüksek sel riski puanına sahip üç nokta sırasıyla R91 (Çeşme ilçesi), R153 (Buca ilçesi) ve R93'tür (Çeşme ilçesi).

(3) Farklı geri dönüş dönemlerinde sel risklerini değerlendirmek için yağış verilerine farklı olasılık dağılım fonksiyonları uygulanmıştır. Bulgular, LOGNO ve GA dağılımlarının sırasıyla on ve üç istasyonda değerlendirme kriterleri açısından en uygun dağılımlar olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yıllık NAO ve sonbahar SO endekslerinin açıklayıcı değişkenler olarak kullanılması başarılı sonuçlar vermiştir.

(4) En başarılı dağılımlar belirlenerek, 10, 20, 50 ve 100 yıllık geri dönüş düzeylerindeki yağışlar elde edilmiş ve farklı senaryolar için sel riski haritaları elde etmek üzere CBS ortamına aktarılmıştır. Sonuçlar, geri dönüş periyotlarındaki artışla birlikte yüksek ve çok yüksek riskli alanların şehrin doğu ve kuzeyinden merkez bölgelerine doğru kademeli olarak hareket ettiğini ve şehrin batı kesimindeki sel riskinin arttığını göstermiştir. Mekansal değerlendirme sonuçlarına göre, geri dönüş periyotları arttıkça risk bölgeleri içindeki yüksek ve çok yüksek riskli alanların genel mekansal yayılımının genişlediği, çok düşük riskli alanların kapsamının ise azaldığı tespit edilmiştir.

(5) Dört farklı sel riski haritasında belirlenen noktaların sel riski puanlarını sıralamak için VIKOR tekrar çalıştırılmıştır. Sonuçların, mevcut sel riski haritası için elde edilen VIKOR sonuçlarından farklı olduğu ve dört senaryonun hepsinde, şehrin

kuzeydoğusunda bulunan Kemalpaşa ilçesindeki R55 noktasının en yüksek sel riskine sahip olduğu, bunu aynı ilçedeki R56 ve R54 noktalarının izlediği görülmüştür.

(6) Ek bir analiz olarak 100 yıl tekerrür periyoduna ait %95 persentil değerleri kullanılarak taşkın risk haritası oluşturulmuştur. Sonuçlara göre, aşırı yağış koşullarının dikkate alınmasıyla yüksek ve çok yüksek riskli alanların mekânsal olarak genişlediği belirlenmiştir. Bu bulgular, taşkın risk değerlendirmelerinde olasılıksal yaklaşımların dikkate alınmasının önemini ortaya koymuştur.

Çalışmada, yeni ve bütünlük bir yaklaşım sunulmuş ve İzmir ili için kapsamlı bir sel riski değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Sunulan çalışma, durağan olmayan koşullar dikkate alınarak benzer ova kentlerindeki kentsel sel riskinin değerlendirilmesi için fikirler sunabilir.

## KAYNAKÇA

- Abdo, H. G., Darwish, K. S., Bindajam, A. A., Niknam, A., Youssef, Y. M., Ahmed, M. F. M., & Mallick, J. (2024). Detection of flood vulnerable areas in urban basins using multi-criteria analysis and geospatial tools: a case study from eastern Mediterranean. *Environmental Earth Sciences*, 83(17), 524.
- Abdrabo, K. I., Kantoush, S. A., Saber, M., Sumi, T., Habiba, O. M., Elleithy, D., & Elboshy, B. (2020). Integrated methodology for urban flood risk mapping at the microscale in ungauged regions: A case study of Hurghada, Egypt. *Remote Sensing*, 12(22), 3548.
- Agustina, R. D., Putra, R. P., & Susanti, S. (2023). Mapping Greater Bandung flood susceptibility based on multi-criteria decision analysis (MCDA) using AHP method. *Environmental Earth Sciences*, 82, 370.
- Ahmadisharaf, E., Tajrishy, M., & Alamdari, N. (2016). Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multi-criteria decision-making. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59(8), 1397–1417.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716-723
- Akar, A. U., Sisman, S., Ulku, H., Yel, E., & Yalpir, S. (2024). Evaluating lake water quality with a GIS-based MCDA integrated approach: a case in Konya/Karapınar. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(13), 19478-19499.
- Al-Abadi, A. M., Shahid, S., & Al-Ali, A. K. (2016). A GIS-based integration of catastrophe theory and analytical hierarchy process for mapping flood susceptibility: A case study of Teeb area, Southern Iraq. *Environmental Earth Sciences*, 75, 687.
- Alemdar, K. D., & Yılmaz, M. (2025). Inundation risk assessment in urban rail system of mega-city via GIS-based multi criteria decision approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 116, 105145.
- Ashfaq, S., Tufail, M., Niaz, A., Muhammad, S., Alzahrani, H., & Tariq, A. (2025). Flood susceptibility assessment and mapping using GIS-based analytical hierarchy process and frequency ratio models. *Global and Planetary Change*, 251, 104831.
- Bates, P. D., Wilson, M. D., Horritt, M. S., Mason, D. C., Holden, N., & Currie, A. (2006). Reach scale floodplain inundation dynamics observed using airborne synthetic aperture radar imagery: Data analysis and modelling. *Journal of Hydrology*, 328(1–2), 306–318.
- Belazreg, N. E. H., Hasbaia, M., Şen, Z., & Ferhati, A. (2024). Flood risk mapping using multi-criteria analysis (MCA) through AHP method: Case of El-Ham Wadi watershed of Hodna Basin (Algeria). *Natural Hazards*, 120, 1023–1039.
- Biswas, B., Ghosh, A., & Sailo, B. L. (2023). Spring water suitable and vulnerable watershed demarcation using AHP-TOPSIS and AHP-VIKOR models: Study on Aizawl district of north-eastern hilly state of Mizoram, India. *Environmental Earth Sciences*, 82, 80.

- Bonaccorso, B., Cancelliere, A., & Rossi, G. (2003). An analytical formulation of return period of drought severity. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 17(3), 157-174.
- Buuren, S. V., & Fredriks, M. (2001). Worm plot: A simple diagnostic device for modelling growth reference curves. *Statistics in Medicine*, 20(8), 1259-1277.
- Caner, H. I., & Aydin, C. C. (2021). Shipyard site selection by raster calculation method and AHP in GIS environment, İskenderun, Turkey. *Marine Policy*, 127, 104439.
- Chaulagain, D., Ram Rimal, P., Ngando, S. N., Nsafon, B. E. K., Suh, D., & Huh, J. S. (2023). Flood susceptibility mapping of Kathmandu Metropolitan City using GIS-based multi-criteria decision analysis. *Ecological Indicators*, 154, 110653.
- Chen, M., Papadikis, K., & Jun, C. (2021). An investigation on the non-stationarity of flood frequency across the UK. *Journal of Hydrology*, 597, 126309.
- Chen, Y. (2022). Flood hazard zone mapping incorporating geographic information system (GIS) and multi-criteria analysis (MCA) techniques. *Journal of Hydrology*, 612, 128268.
- Chen, Y.; Wang, D.; Zhang, L.; Guo, H.; Ma, J.; Gao, W. (2023) Flood Risk Assessment of Wuhan, China, Using a Multi-Criteria Analysis Model with the Improved AHP-Entropy Method. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 30, 96001–96018.
- Chen, J., Gao, C., Zhou, H., Wang, Q., She, L., Qing, D., & Cao, C. (2024). Urban flood risk assessment based on a combination of subjective and objective multi-weight methods. *Applied Sciences*, 14, 3694.
- Cho, E., Ahmadisharaf, E., Done, J., & Yoo, C. (2023). A multivariate frequency analysis framework to estimate the return period of hurricane events using event-based copula. *Water Resources Research*, 59(12), e2023WR034786.
- Climatic Research Unit (2024) High-resolution gridded datasets. In: uea.ac.uk/. <https://crudata.uea.ac.uk>
- Coles, S. (2001). *An introduction to statistical modeling of extreme values* (1st ed.). Springer.
- Dadrasajirlou, Y., Karami, H., & Mirjalili, S. (2023). Using AHP-PROMETHEE for selection of best low-impact development designs for urban flood mitigation. *Water Resources Management*, 37(1), 375–402.
- Das, S., & Pardeshi, S. D. (2018). Morphometric analysis of Vaitarna and Ulhas river basins, Maharashtra, India: Using geospatial techniques. *Applied Water Science*, 8, 158.
- Dawod, G. M., Mirza, M. N., & Al-Ghamdi, K. A. (2012). GIS-based estimation of flood hazard impacts on road network in Makkah city, Saudi Arabia. *Environmental Earth Sciences*, 67(8), 2205-2215.
- Doorga, J. R. S., Magerl, L., Bunwaree, P., Zhao, J., Watkins, S., Staub, C. G., Rughooputh, S. D. D. V., Cunden, T. S. M., Lollchund, R., & Boojhawon, R. (2022). GIS-based multi-criteria modelling of flood risk susceptibility in Port Louis, Mauritius: Towards resilient flood management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 67, 102683.
- Dutta, P., & Deka, S. (2024). A novel approach to flood risk assessment: Synergizing with geospatial based MCDM-AHP model, multicollinearity, and sensitivity

- analysis in the lower Brahmaputra floodplain, Assam. *Journal of Cleaner Production*, 467, 142985.
- Ekmekcioğlu, Ö., Koc, K., & Özger, M. (2021). Stakeholder perceptions in flood risk assessment: A hybrid fuzzy AHP-TOPSIS approach for Istanbul, Turkey. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 60, 102327.
- Elkhrachy, I. (2015). Flash flood hazard mapping using satellite images and GIS tools: A case study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA). *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(3), 261–278.
- Filliben, J. J. (1975). The probability plot correlation coefficient test for normality. *Technometrics*, 17(1), 111-117.
- Foudi, S., Osés-Eraso, N., & Tamayo, I. (2015). Integrated spatial flood risk assessment: The case of Zaragoza. *Land Use Policy*, 42, 278–292.
- Franci, F., Bitelli, G., Mandanici, E., Hadjimitsis, D., & Agapiou, A. (2016). Satellite remote sensing and GIS-based multi-criteria analysis for flood hazard mapping. *Natural Hazards*, 83(Suppl 1), 31-51.
- Gacu, J. G., Monjardin, C. E. F., Senoro, D. B., & Tan, F. J. (2022). Flood risk assessment using GIS-based analytical hierarchy process in the municipality of Odiongan, Romblon, Philippines. *Applied Sciences*, 12, 9456.
- Gao, L., Huang, J., Chen, X., Chen, Y., & Liu, M. (2018). Contributions of natural climate changes and human activities to the trend of extreme precipitation. *Atmospheric Research*, 205, 60-69.
- Ghaleno, M. R. D., Meshram, S. G., & Alvandi, E. (2020). Pragmatic approach for prioritization of flood and sedimentation hazard potential of watersheds. *Soft Computing*, 24(22), 15701–15714.
- Gu, X., Zhang, Q., Singh, V. P., Xiao, M., & Cheng, J. (2017a). Nonstationarity-based evaluation of flood risk in the Pearl River basin: changing patterns, causes and implications. *Hydrological Sciences Journal*, 62(2), 246-258.
- Gu, X., Zhang, Q., Singh, V. P., & Shi, P. (2017b). Non-stationarities in the occurrence rate of heavy precipitation across China and its relationship to climate teleconnection patterns. *International Journal of Climatology*, 37(11), 4186-4198.
- Gu, X., Zhang, Q., Li, J., Singh, V. P., & Sun, P. (2019). Impact of urbanization on nonstationarity of annual and seasonal precipitation extremes in China. *Journal of Hydrology*, 575, 638–655.
- Ha-Mim, N. M., Rahman, M. A., Hossain, M. Z., Fariha, J. N., & Rahaman, K. R. (2022). Employing multi-criteria decision analysis and geospatial techniques to assess flood risks: A study of Barguna district in Bangladesh. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, 103081.
- Hamlat, A., Kadri, C. B., Guidoum, A., & Bekkaye, H. (2021). Flood hazard areas assessment at a regional scale in M'zi Wadi Basin, Algeria. *Journal of African Earth Sciences*, 182, 104281.
- Han, S., Slater, L., Wilby, R. L., & Faulkner, D. (2022). Contribution of urbanisation to non-stationary river flow in the UK. *Journal of Hydrology*, 613, 128417.

- Hao, W., Shao, Q., Hao, Z., Ju, Q., Baima, W., & Zhang, D. (2019). Non-stationary modelling of extreme precipitation by climate indices during rainy season in Hanjiang River Basin, China. *International Journal of Climatology*, 39(10), 4154-4169.
- Hidayah, E.; Halik, G.; Indarto, I.; Khaulan, D.W. (2023) Flood Hazard Mapping of the Welang River, Pasuruan, East Java, Indonesia. *J. Appl. Water Eng. Res.*, 11, 333–344.
- Hossain, M. N., & Mumu, U. H. (2024). Flood susceptibility modelling of the Teesta River Basin through the AHP-MCDA process using GIS and remote sensing. *Natural Hazards*, 120, 12137–12161.
- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G., & Visbeck, M. (2003). An overview of the North Atlantic oscillation. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 134, 1-36.
- Izere, D.; Li, L.; Mind'je, R.; Kayiranga, A.; Umwali, E.D.; Nzabarinda, V.; Muhirwa, F.; Maniraho, A.P.; Niyomugabo, P.; Mupenzi, C.; et al.(2024) Suitability Analysis for Resettlement Potential Sites of Flood Vulnerable Community in Kigali City, Rwanda. *Earth Syst. Environ.*, 8, 521–544.
- Jian, W., Li, S., Lai, C., Wang, Z., Cheng, X., Lo, E. Y. M., & Pan, T. C. (2021). Evaluating pluvial flood hazard for highly urbanised cities: a case study of the Pearl River Delta Region in China. *Natural Hazards*, 105(2), 1691-1719.
- Jing, Y., Liu, Y., Cai, E., Liu, Y., & Zhang, Y. (2018). Quantifying the spatiality of urban leisure venues in Wuhan, Central China—GIS-based spatial pattern metrics. *Sustainable cities and society*, 40, 638-647.
- Jodhani, K. H., Patel, D., Madhavan, N., Gupta, N., & Singh, S. K. (2025). Integrating Earth Observations and Multi-Criteria Decision Making for Flood Risk Assessment. *Water Conservation Science and Engineering*, 10(2), 60.
- Joy, S., & X.x. L. (2004) Application of Remote Sensing in Flood Management with Special Reference to Monsoon Asia: A Review. *Naturel Hazards* 283–301.
- Karabörk M. Ç., & Kahya, E. (2003) The teleconnections between the extreme phases of the Southern Oscillation and precipitation patterns over Turkey. *International Journal of Climatology* 23(13), 1607-1625.
- Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B. T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B., ... & Prakash, I. (2019). A comparative assessment of flood susceptibility modeling using multi-criteria decision-making analysis and machine learning methods. *Journal of Hydrology*, 573, 311-323.
- Khouz, A.; Trindade, J., Santos, P.P., Oliveira, S.C., El Bchari, F., Bougadir, B., Garcia, R.A.C., Reis, E., Jadoud, M., Saouabe, T., et al.(2023) Flood Susceptibility Assessment through Statistical Models and HEC-RAS Analysis for Sustainable Management in Essaouira Province, Morocco. *Geosciences*, 13, 382.
- Kittipongvises, S., Phetrak, A., Rattanapun, P., Brundiars, K., Buizer, J. L., & Melnick, R. (2020). AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities nearby the world heritage site on Ayutthaya Island, Thailand. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48, 101612.
- Koliokosta, E. (2023). Return periods in assessing climate change risks: Uses and misuses. *Environmental Sciences Proceedings*, 26(1), 75.

- Levy, J. K. (2005). Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(6), 438-447.
- Li, M., Zhang, T., & Feng, P. (2019). A nonstationary runoff frequency analysis for future climate change and its uncertainties. *Hydrological Processes*, 33(21), 2759-2771.
- Liu, Y. B., Gebremeskel, S., De Smedt, F., Hoffmann, L., & Pfister, L. (2003). A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modeling. *Journal of Hydrology*, 283(1-4), 91-106.
- Liu, S., Zhao, Q., Wen, M., Deng, L., Dong, S., & Wang, C. (2013). Assessing the impact of hydroelectric project construction on the ecological integrity of the Nuozhadu Nature Reserve, southwest China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(7), 1709-1718.
- Liu, Q., Yang, H., Liu, M., Sun, R., & Zhang, J. (2019). An Integrated flood risk assessment model for cities located in the transitional zone between Taihang mountains and north China plain: a case study in Shijiazhuang, Hebei, China. *Atmosphere*, 10(3), 104.
- Liu, H., Zou, L., Xia, J., Chen, T., & Wang, F. (2022). Impact assessment of climate change and urbanization on the nonstationarity of extreme precipitation: a case study in an urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze river. *Sustainable Cities and Society*, 85, 104038.
- López, J., & Francés, F. (2013). Non-stationary flood frequency analysis in continental Spanish rivers, using climate and reservoir indices as external covariates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(8), 3189-3203.
- Luu, C., Von Meding, J., & Kanjanabootra, S. (2018). Assessing flood hazard using flood marks and analytic hierarchy process approach: a case study for the 2013 flood event in Quang Nam, Vietnam. *Natural Hazards*, 90(3), 1031-1050.
- Lyu, H. M., Sun, W. J., Shen, S. L., & Arulrajah, A. (2018). Flood risk assessment in metro systems of mega-cities using a GIS-based modeling approach. *Science of the Total Environment*, 626, 1012-1025.
- Lyu, H. M., Shen, S. L., Zhou, A., & Yang, J. (2019a). Perspectives for flood risk assessment and management for mega-city metro system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 84, 31-44.
- Lyu, H. M., Shen, S. L., Zhou, A. N., & Zhou, W. H. (2019b). Flood risk assessment of metro systems in a subsiding environment using the interval FAHP-FCA approach. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101682.
- Lyu, H. M., & Yin, Z. Y. (2023). An improved MCDM combined with GIS for risk assessment of multi-hazards in Hong Kong. *Sustainable Cities and Society*, 91, 104427.
- Machado, M. J., Botero, B. A., López, J., Francés, F., Díez-Herrero, A., & Benito, G. (2015). Flood frequency analysis of historical flood data under stationary and non-stationary modelling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(6), 2561-2576.
- Malik, S., Pal, S. C., Arabameri, A., Chowdhuri, I., Saha, A., Chakraborty, R., Roy, P., & Das, B. (2021). *GIS-based statistical model for the prediction of flood hazard susceptibility* (Vol. 23). Springer.

- Mann, R., & Gupta, A. (2023). Mapping flood vulnerability using an analytical hierarchy process (AHP) in the Metropolis of Mumbai. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(12), 1534.
- Martin-Vide, J., & Lopez-Bustins, J. A. (2006). The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of climatology*, 26(11), 1455-1475.
- Melesse, A. M., & Shih, S. F. (2003). Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS. *Computers and Electronics in Agriculture*, 37(1-3), 173-183.
- Menoni, S., Molinari, D., Parker, D., Ballio, F., & Tapsell, S. (2012). Assessing multifaceted vulnerability and resilience in order to design risk-mitigation strategies. *Natural hazards*, 64(3), 2057-2082.
- MGM (2024) Statistics. In: Mgm.Gov.Tr. <https://www.mgm.gov.tr/>
- Moghadas, M., Asadzadeh, A., Vafeidis, A., Fekete, A., & Kötter, T. (2019). A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. *International journal of disaster risk reduction*, 35, 101069.
- Mosavi, A., Ozturk, P., & Chau, K. W. (2018). Flood prediction using machine learning models: Literature review. *Water*, 10(11), 1536.
- Mudashiru, R. B., Sabtu, N., Abustan, I., & Balogun, W. (2021). Flood hazard mapping methods: A review. *Journal of hydrology*, 603, 126846.
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., ... & Thépaut, J. N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth system science data*, 13(9), 4349-4383.
- Müller, A., Reiter, J., & Weiland, U. (2011). Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach—a case study for Santiago de Chile. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(8), 2107-2123.
- Myhre, G., Alterskjær, K., Stjern, C. W., Hodnebrog, Ø., Marelle, L., Samset, B. H., ... & Stohl, A. (2019). Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming. *Scientific reports*, 9(1), 16063.
- Nkwunonwo, U. C., Whitworth, M., & Baily, B. J. S. A. (2020). A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in the developing countries. *Scientific African*, 7, e00269.
- O'Donnell, E. C., & Thorne, C. R. (2020). Drivers of future urban flood risk. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378(2168), 20190216.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European journal of operational research*, 156(2), 445-455.
- Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water*, 6(6), 1515-1545.
- Ozturk, D., Yilmaz, I., & Kirbas, U. (2021). Flood hazard assessment using AHP in Corum, Turkey. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(2), 379-415.

- Papaioannou, G., Vasiliades, L., & Loukas, A. (2015). Multi-criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping. *Water resources management*, 29(2), 399-418.
- Pathan, A. I., Girish Agnihotri, P., Said, S., & Patel, D. (2022). *AHP and TOPSIS based flood risk assessment—A case study of the Navsari City, Gujarat, India* (Vol. 194). Springer International Publishing.
- Pourghasemi, H. R., Honarmandnejad, F., Rezaei, M., Tarazkar, M. H., & Sadhasivam, N. (2021). Prioritization of water erosion-prone sub-watersheds using three ensemble methods in Qareaghaj catchment, southern Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(28), 37894-37917.
- Radwan, F., Alazba, A. A., & Mossad, A. (2019). Flood risk assessment and mapping using AHP in arid and semiarid regions. *Acta Geophysica*, 67(1), 215-229.
- Rafiei-Sardooi, E., Azareh, A., Choubin, B., Mosavi, A. H., & Clague, J. J. (2021). Evaluating urban flood risk using hybrid method of TOPSIS and machine learning. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 66, 102614.
- Rahmati, O., Zeinivand, H., & Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(3), 1000-1017.
- Ramkar, P., & Yadav, S. M. (2021). Flood risk index in data-scarce river basins using the AHP and GIS approach. *Natural Hazards*, 109(2), 1119–1140.
- Rangari, V. A., Umamahesh, N. V., & Patel, A. K. (2021). Flood-hazard risk classification and mapping for urban catchment under different climate change scenarios: a case study of Hyderabad city. *Urban Climate*, 36, 100793.
- Rigby, R. A., Stasinopoulos, D. M., & Lane, P. W. (2005). Generalized additive models for location, scale and shape. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 54(3), 507–554.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Samanta, S., Pal, D. K., & Palsamanta, B. (2018). Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Applied Water Science*, 8, 66.
- Sari, F. (2021). Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Forest Ecology and Management*, 480, 118644.
- Sayadi, M. K., Heydari, M., & Shahanaghi, K. (2009). Extension of VIKOR method for decision making problem with interval numbers. *Applied mathematical modelling*, 33(5), 2257-2262.
- Scala, P., Cipolla, G., Treppiedi, D., & Noto, L. V. (2022). The use of GAMLSS framework for a non-stationary frequency analysis of annual runoff data over a Mediterranean area. *Water*, 14(18), 2848.
- Sennaroglu, B., & Celebi, G. V. (2018). A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 160-173.

- Shah, R. K., & Shah, R. K. (2023). GIS-based flood susceptibility analysis using multi-parametric approach of analytical hierarchy process in Majuli Island, Assam, India. *Sustainable Water Resources Management*, 9, 139.
- Shariati, M., Kazemi, M., Naderi Samani, R., Kaviani Rad, A., Kazemi Garajeh, M., & Kariminejad, N. (2023). An integrated geospatial and statistical approach for flood hazard assessment. *Environmental Earth Sciences*, 82(16), 384.
- Sharker, R., Islam, M. R., Hosen, M. B., Kader, Z., Aziz, M. T., Tahera-Tun-Humayra, U., ... & Roy, A. (2025). GIS-based AHP approach to flood susceptibility assessment in Tangail district, Bangladesh. *Journal of Earth System Science*, 134(1), 26.
- Stefanidis, S., & Stathis, D. (2013). Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). *Natural hazards*, 68(2), 569-585.
- Sui, Y., Lang, X., & Jiang, D. (2018). Projected signals in climate extremes over China associated with a 2 C global warming under two RCP scenarios. *International Journal of Climatology*, 38, e678-e697.
- Tanış, E., & Çelik, R. (2024). CBS Tabanlı AHP Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (ÇKKY) Kullanılarak Van Gölü Güzelsu Alt Havzası Taşkın Risk Haritalarının Çıkarılması ve Değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 15(4), 941-950,
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2015). Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(4), 1149–1165.
- Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettner, A. J., Doyle, C. S., Brakenridge, G. R., ... & Slayback, D. A. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596(7870), 80-86.
- Tosunoglu, F., Slater, L. J., Kowal, K. M., Gu, X., & Yin, J. (2024). Non-stationary modeling of seasonal precipitation series in Turkey: Estimating the plausible range of seasonal extremes. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(3), 1985–2003.
- Turkish Statistical Institute (2024) Geographic Statistics Portal. In: Tuik.Gov.Tr. <https://cip.tuik.gov.tr/>
- University of East Anglia, Climatic Research Unit (CRU). (2024). Climate indices data archive. <https://crudata.uea.ac.uk/>
- Villarini, G., Serinaldi, F., Smith, J. A., & Krajewski, W. F. (2009). On the stationarity of annual flood peaks in the continental United States during the 20th century. *Water Resources Research*, 45(8).
- Wang, G., Liu, Y., Hu, Z., Zhang, G., Liu, J., Lyu, Y., ... & Liu, L. (2021). Flood risk assessment of subway systems in metropolitan areas under land subsidence scenario: a case study of Beijing. *Remote Sensing*, 13(4), 637.
- Wang, Y., & Sebastian, A. (2021). Community flood vulnerability and risk assessment: An empirical predictive modeling approach. *Journal of Flood Risk Management*, 14(3), e12739.

- Wang, M., Jiang, S., Ren, L., Xu, C. Y., Shi, P., Yuan, S., ... & Fang, X. (2022). Nonstationary flood and low flow frequency analysis in the upper reaches of Huaihe River Basin, China, using climatic variables and reservoir index as covariates. *Journal of Hydrology*, 612, 128266.
- Wolfgang, K. (2005). Flood risk= hazard. Values. vulnerability. *Water International*, 30(1), 58-68.
- Wu, J., Chen, X., & Lu, J. (2022). Assessment of long and short-term flood risk using the multi-criteria analysis model with the AHP-Entropy method in Poyang Lake basin. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 75, 102968.
- Xia, Z., Li, H., Chen, Y., & Yu, W. (2019). Detecting urban fire high-risk regions using colocation pattern measures. *Sustainable cities and society*, 49, 101607.
- Xiong, L., Yan, L., Du, T., Yan, P., Li, L., & Xu, W. (2019). Impacts of climate change on urban extreme rainfall and drainage infrastructure performance: a case study in Wuhan City, China. *Irrigation and Drainage*, 68(2), 152-164.
- Yang, W., Xu, K., Lian, J., Ma, C., & Bin, L. (2018). Integrated flood vulnerability assessment approach based on TOPSIS and Shannon entropy methods. *Ecological Indicators*, 89, 269-280,
- Yılmaz, M., & Alemdar, K. D. (2025a). Mapping and assessment of flood risk based on vulnerability and hazard factors in urban areas through the integration of multi-criteria techniques and GIS: A case study in Yakutiye, Erzurum, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*, 84(15), 435.
- Yılmaz, M., & Alemdar, K. D. (2025b). An integrated methodology for flood risk assessment of road networks: a case study of Ordu, Türkiye. *Modeling Earth Systems and Environment*, 11(6), 447.
- Yılmaz, M., & Tosunoğlu, F. (2024). Non-stationary low flow frequency analysis under climate change. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(8), 7479-7497.
- Zarei, A. R., Moghimi, M. M., & Koohi, E. (2021). Sensitivity assessment to the occurrence of different types of droughts using GIS and AHP techniques. *Water Resources Management*, 35(11), 3593-3615.
- Zhang, D. D., Yan, D. H., Wang, Y. C., Lu, F., & Liu, S. H. (2015). GAMLSS-based nonstationary modeling of extreme precipitation in Beijing–Tianjin–Hebei region of China. *Natural Hazards*, 77(2), 1037-1053.
- Zhang, Q., Yu, H., Li, Z., Zhang, G., & Ma, D. T. (2020). Assessing potential likelihood and impacts of landslides on transportation network vulnerability. *Transportation research part D: transport and environment*, 82, 102304.
- Zhang, H., Chen, L., & Singh, V. P. (2021). Flood frequency analysis using generalized distributions and entropy-based model selection method. *Journal of Hydrology*, 595, 125610,
- Zheng, Q., Shen, S. L., Zhou, A., & Lyu, H. M. (2022). Inundation risk assessment based on G-DEMATEL-AHP and its application to Zhengzhou flooding disaster. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104138.
- Zope, P. E., Eldho, T. I., & Jothiprakash, V. (2015). Impacts of urbanization on flooding of a coastal urban catchment: a case study of Mumbai City, India. *Natural Hazards*, 75(1), 887-908.

Zzaman, R. U., Nowreen, S., Billah, M., & Islam, A. S. (2021). Flood hazard mapping of Sangu River basin in Bangladesh using multi-criteria analysis of hydro-geomorphological factors. *Journal of Flood Risk Management*, 14(3), e12715.

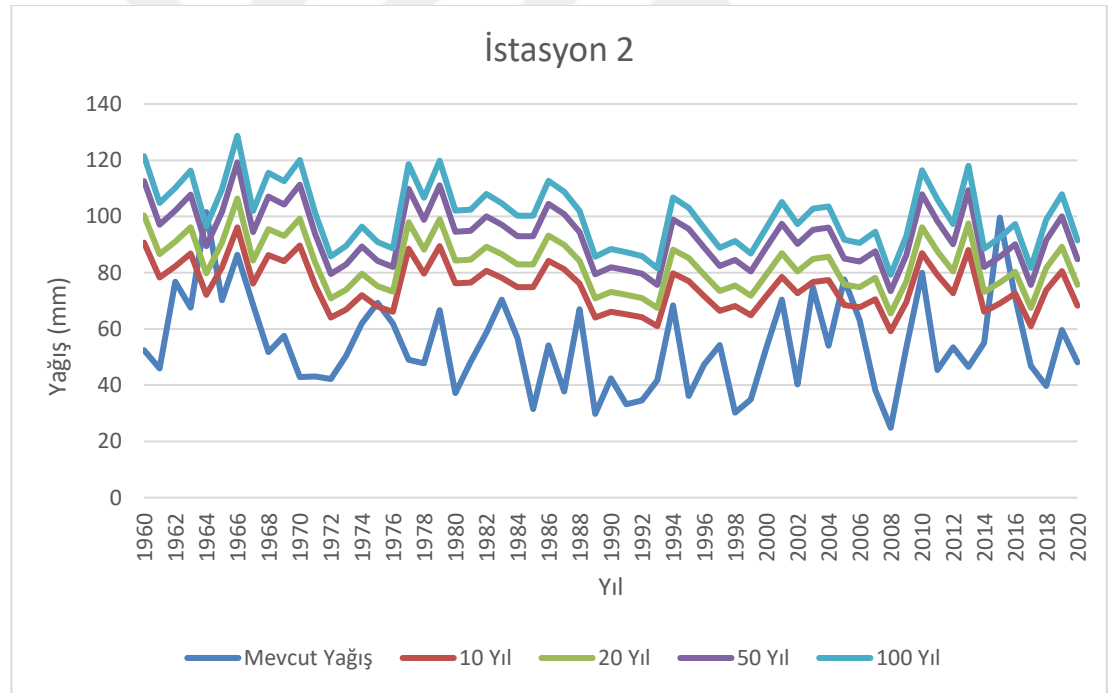
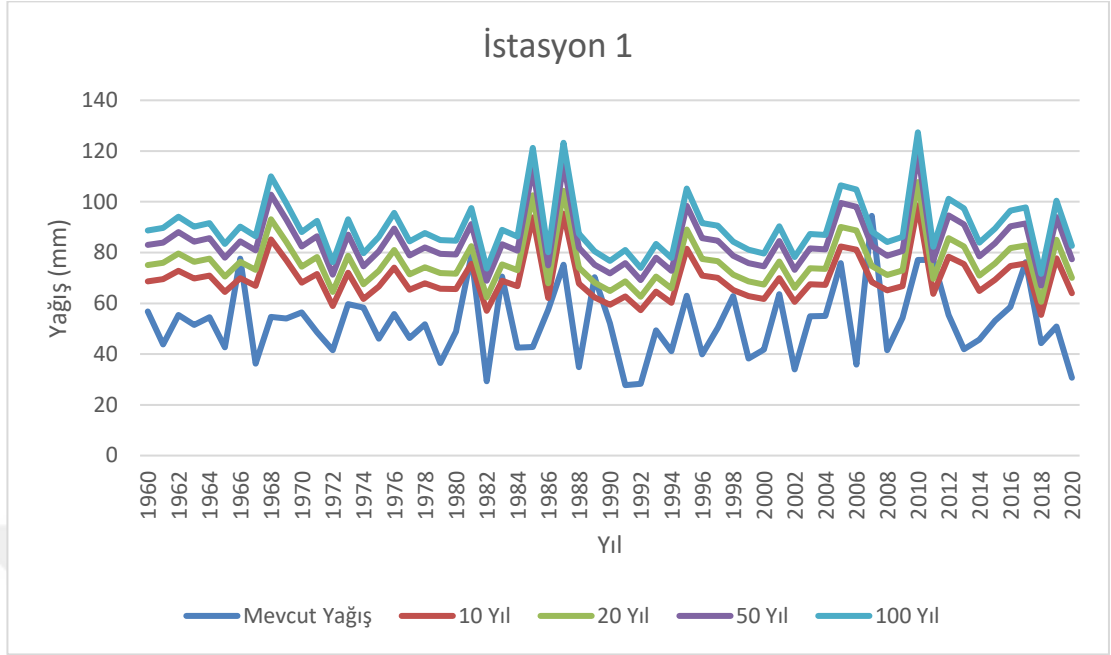


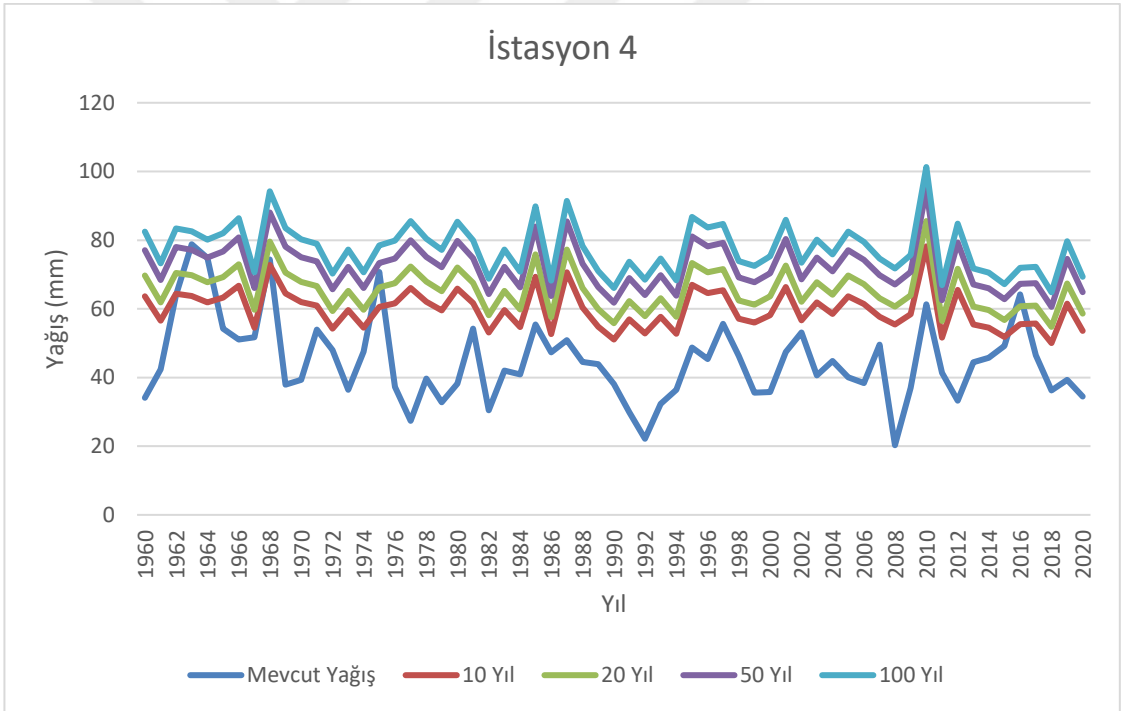
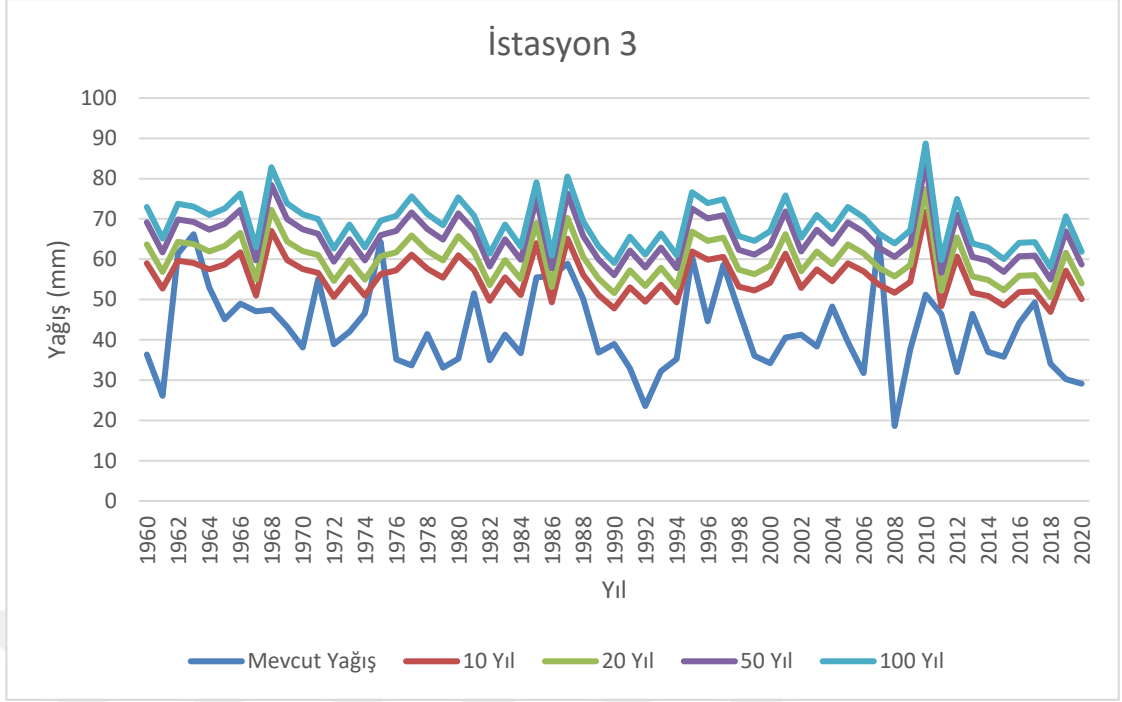
## EKLER

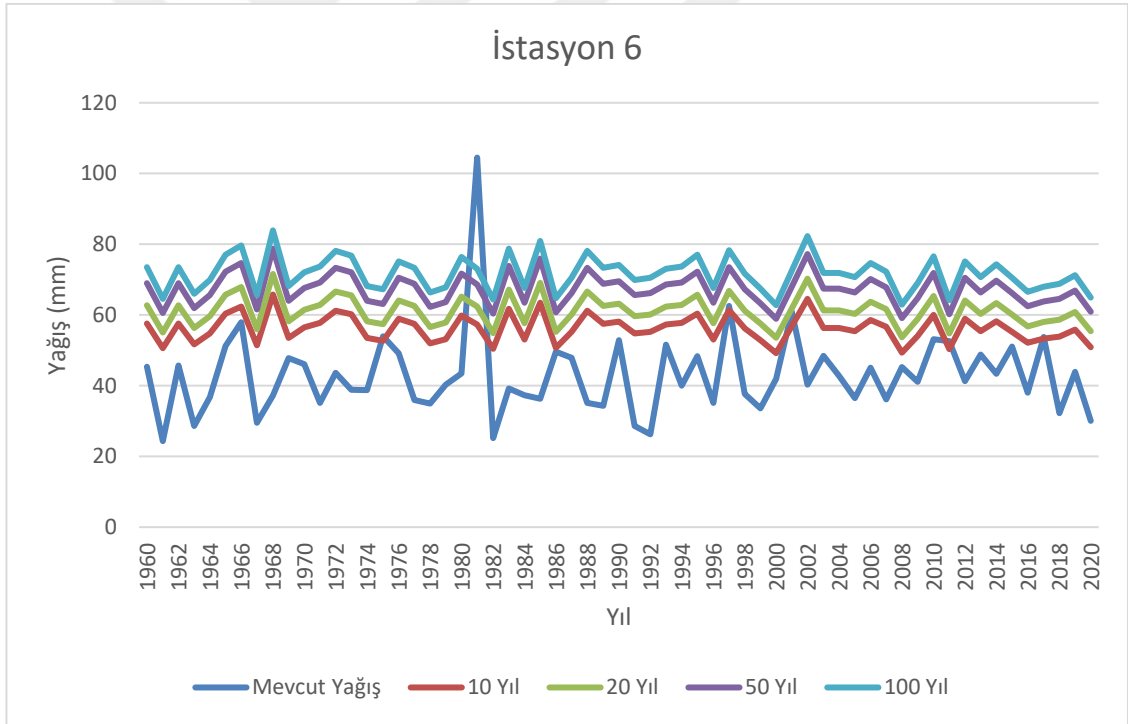
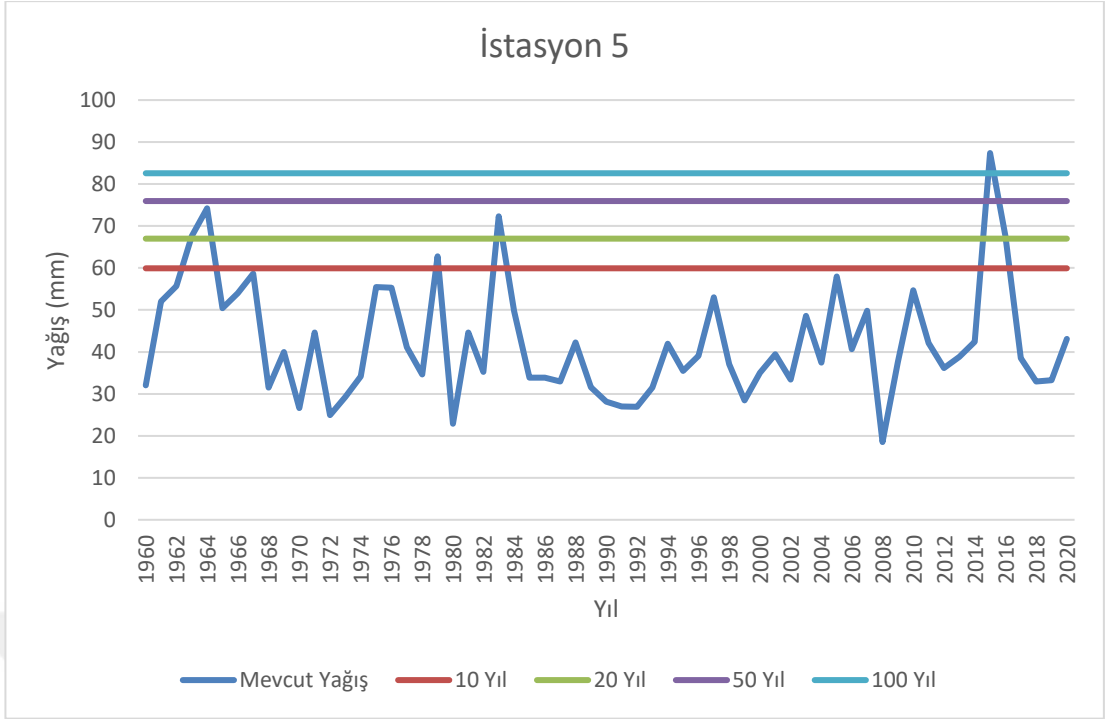
**EK-1.** Durağan modellerin karşılaştırması

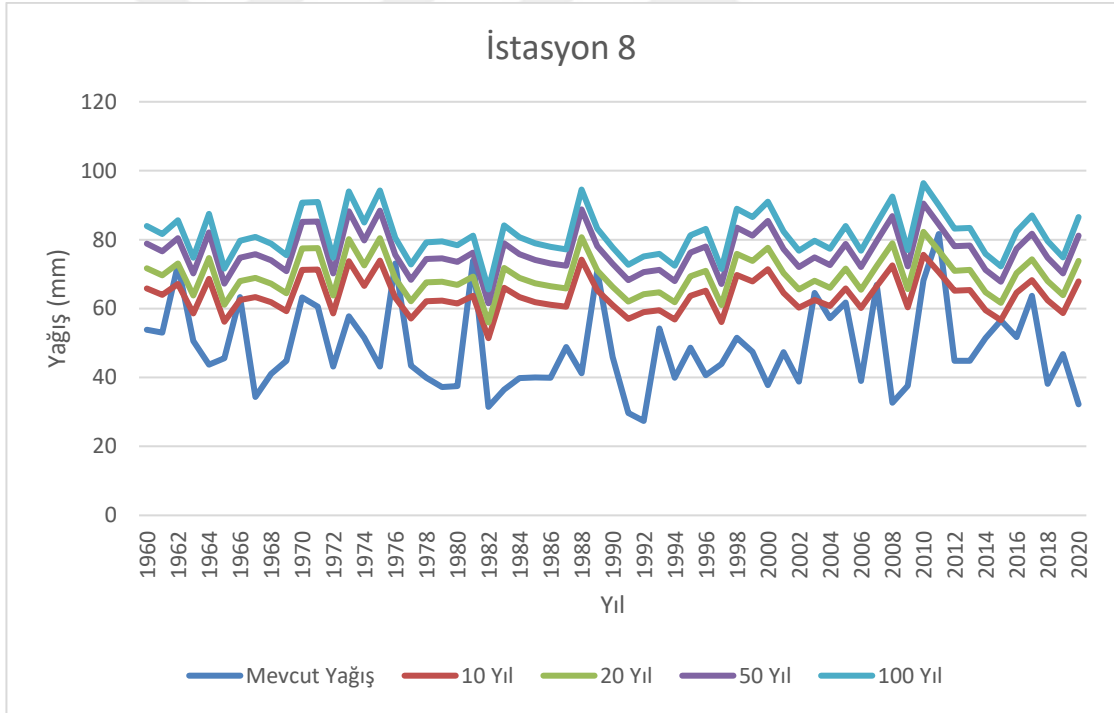
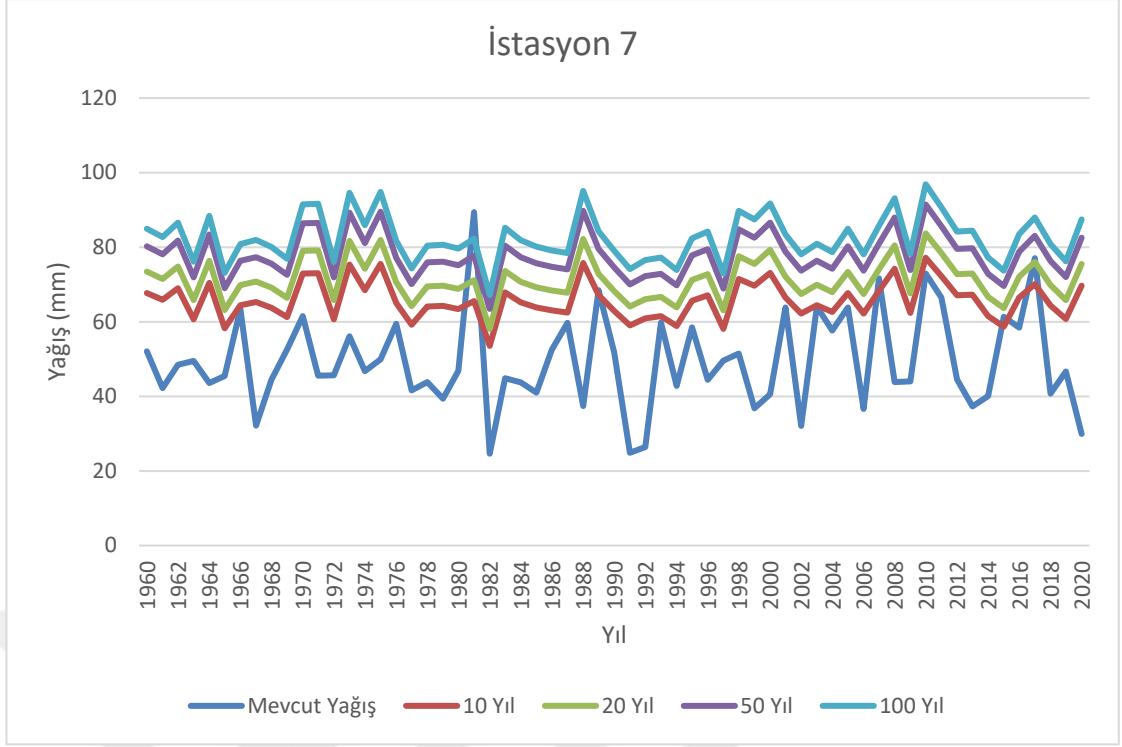
İstasyon No	Model	AIC Değerleri	Filliben Katsayıları	İstasyon No	Model	AIC Değerleri	Filliben Katsayıları
1	WEI	503,14	0,97	9	WEI	491,31	0,97
	<b>LOGNO</b>	496,79	0,99		<b>LOGNO</b>	484,24	0,99
	GA	496,9	0,99		GA	484,31	0,99
	LOGIS	501,56	0,98		LOGIS	488,39	0,98
2	WEI	519,3	0,97	10	WEI	492,47	0,9
	<b>LOGNO</b>	512,9	0,99		<b>LOGNO</b>	470,74	0,97
	GA	513,1	0,99		GA	473,73	0,96
	LOGIS	518,8	0,98		LOGIS	474,18	0,97
3	WEI	465,4	0,98	11	WEI	475,26	0,98
	LOGNO	462,8	0,98		LOGNO	472,9	0,99
	<b>GA</b>	461,7	0,99		<b>GA</b>	472,07	0,99
	LOGIS	464,9	0,98		LO	476,53	0,98
4	WEI	483,34	0,96	12	WEI	484,06	0,96
	<b>LOGNO</b>	474,87	0,98		<b>LOGNO</b>	472,51	0,99
	GA	474,98	0,98		GA	473,65	0,99
	LOGIS	477,59	0,98		LOGIS	477,8	0,98
5	WEI	496,22	0,96	13	WEI	467,88	0,9
	<b>LOGNO</b>	484,35	0,99		<b>LOGNO</b>	445,37	0,98
	GA	486,36	0,98		GA	448,04	0,96
	LOGIS	494,02	0,97		LOGIS	447,02	0,97
6	WEI	485,82	0,88				
	<b>LOGNO</b>	459,25	0,97				
	GA	463,04	0,96				
	LOGIS	462,48	0,96				
7	WEI	491,13	0,97				
	LOGNO	486,42	0,98				
	<b>GA</b>	485,64	0,99				
	LOGIS	488,22	0,98				
8	WEI	486,08	0,96				
	<b>LOGNO</b>	476,27	0,99				
	GA	477,58	0,98				
	LOGIS	484,62	0,97				

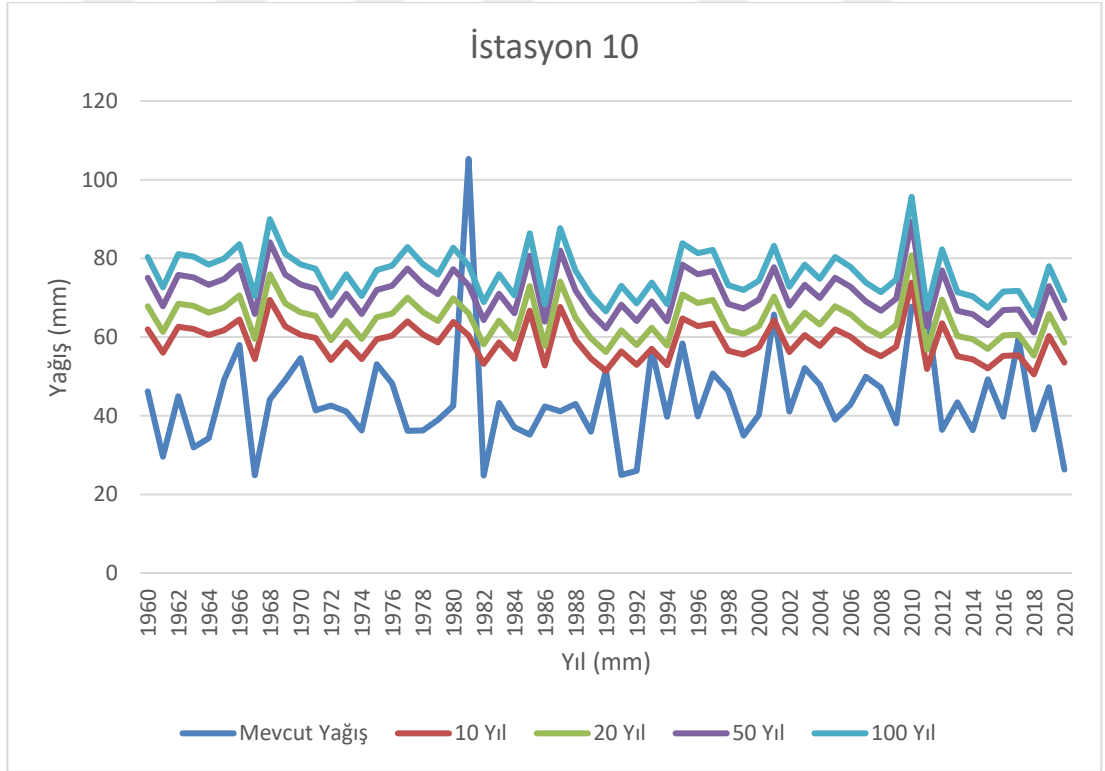
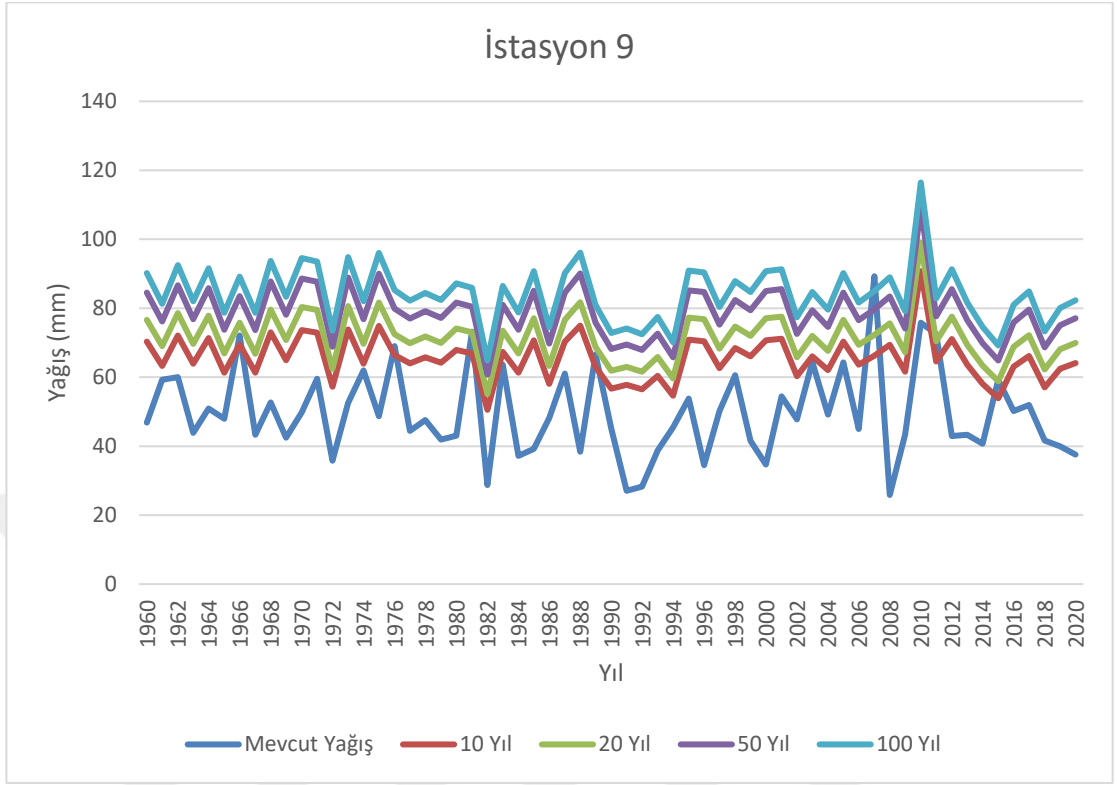
**EK-2.** Farklı geri dönüş seviyeleri için kantil değerlerinin gösterimi

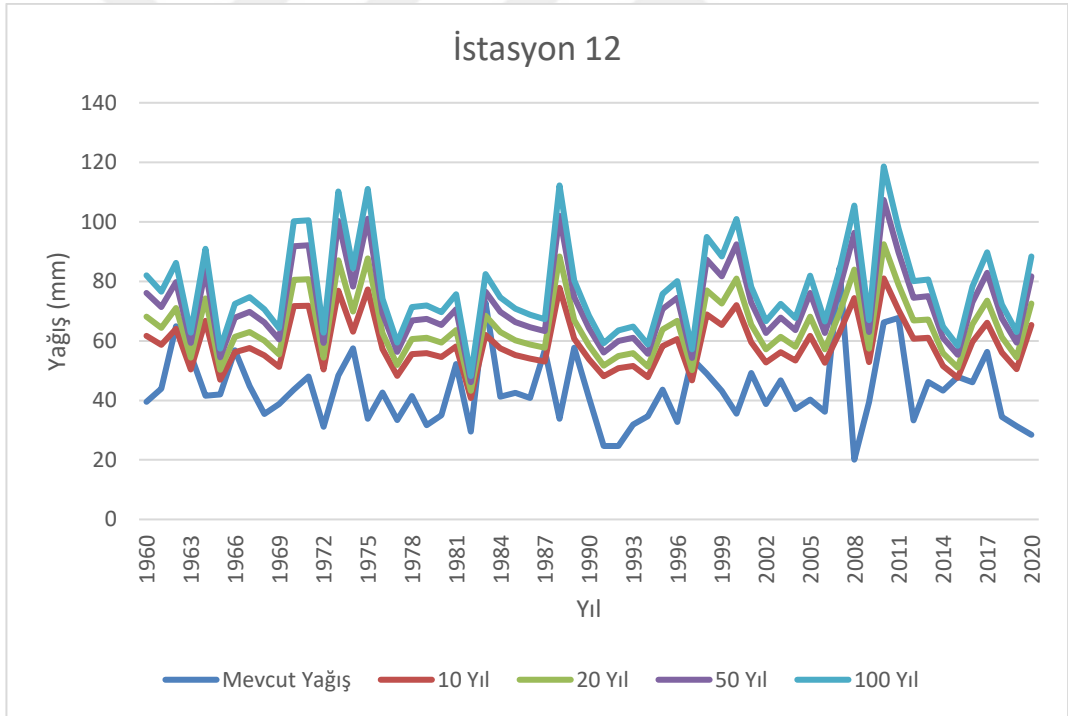
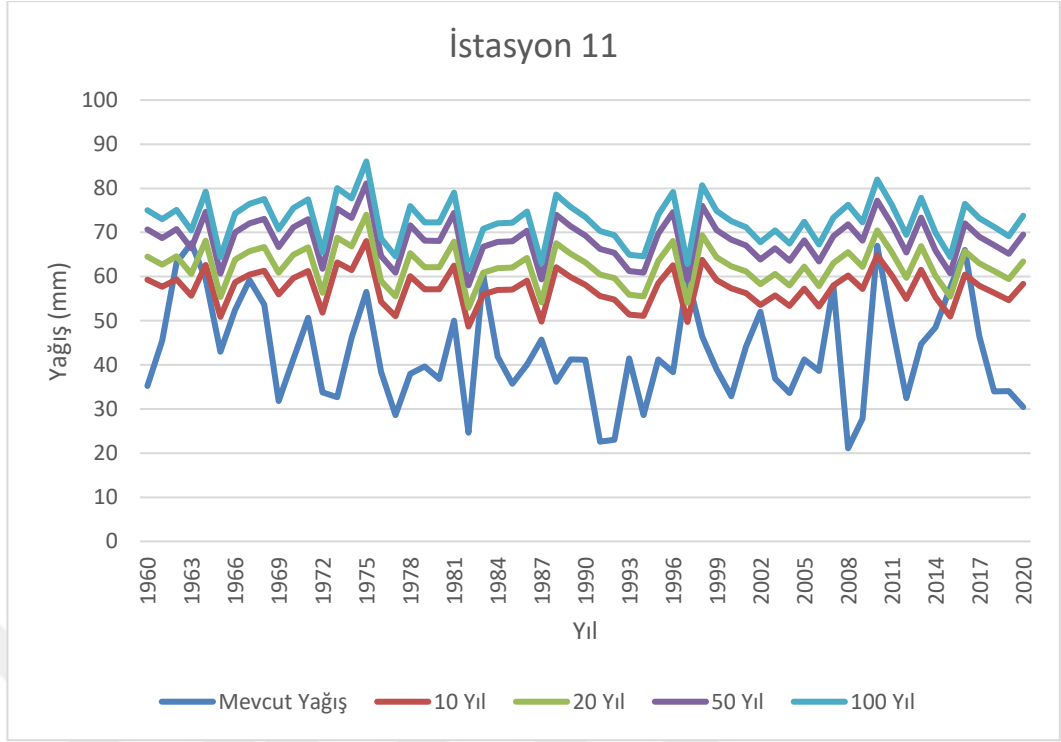


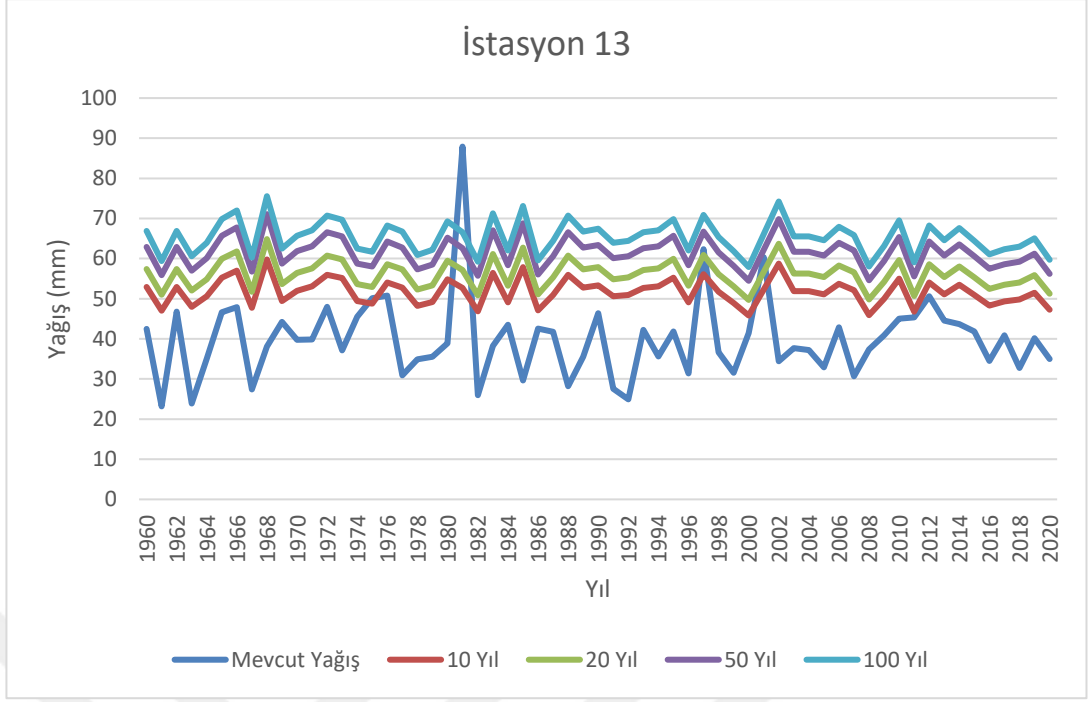












## TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR

### 1. Makaleler

Gün R., & Yılmaz, M. (2026). A New Framework for Comprehensive Flood Risk Assessment Under Non-Stationary Conditions Using GIS-Based MCDM Modeling. *Atmosphere*, 17(1), 62.

