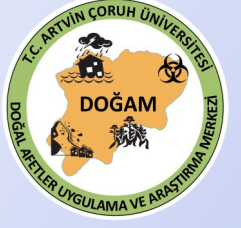




ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
DOĞAL AFETLER UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ



DOĞAL AFETLER VE ÇEVRE DERGİSİ
Journal of Natural Hazards and Environment



Sahibi / Owner

Artvin Çoruh Üniversitesi
Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Adına
Prof. Dr. Halil AKINCI (Müdür)

Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Halil AKINCI

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Doç. Dr. Ayşe YAVUZ ÖZALP
Doç. Dr. Mustafa TÜFEKÇİOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Kazım Onur DEMİRARSLAN

Yabancı Dil Editörü / Language Editor

Dr. Öğr. Üyesi Hakan GÜLTEKİN

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Managing Editor

Doç. Dr. Mehmet ÖZALP

Editör Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Abdurrahman DOKUZ (Gümüşhane Üniversitesi)
Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN (Düzce Üniversitesi)
Prof. Dr. Aydın TÜFEKÇİOĞLU (Artvin Çoruh Üniversitesi)
Prof. Dr. Aykut AKGÜN (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Prof. Dr. Bülent SAĞLAM (Artvin Çoruh Üniversitesi)
Prof. Dr. Bülent TURGUT (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)
Prof. Dr. Haluk ÖZENER (Boğaziçi Üniversitesi)
Prof. Dr. Hasan ÖZDEMİR (Uludağ Üniversitesi)
Prof. Dr. Mikdat KADIOĞLU (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ (Gümüşhane Üniversitesi)
Prof. Dr. Selim Latif SANİN (Hacettepe Üniversitesi)
Prof. Dr. Serkan ÖZTÜRK (Gümüşhane Üniversitesi)
Prof. Dr. Yasin FAHJAN (Gebze Teknik Üniversitesi)
Prof. Dr. Zafer ASLAN (İstanbul Aydın Üniversitesi)
Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK (Fırat Üniversitesi)
Doç. Dr. Ayla BİLGİN (Artvin Çoruh Üniversitesi)
Doç. Dr. Ayşe YAVUZ ÖZALP (Artvin Çoruh Üniversitesi)
Doç. Dr. Cem KILIÇOĞLU (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)
Doç. Dr. Gülseren DAĞDELENLER (Hacettepe Üniversitesi)
Doç. Dr. Hazan ALKAN AKINCI (Artvin Çoruh Üniversitesi)
Doç. Dr. Mehmet ÖZALP (Artvin Çoruh Üniversitesi)
Doç. Dr. Mustafa TÜFEKÇİOĞLU (Artvin Çoruh Üniversitesi)
Doç. Dr. Sedat DOĞAN (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)
Doç. Dr. Yalçın KANBAY (Artvin Çoruh Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Kazım Onur DEMİRARSLAN (Artvin Çoruh Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Serden BAŞAK (Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Vedat YILMAZ (Artvin Çoruh Üniversitesi)

Uluslararası Editörler / International Editors

Richard C SCHULTZ (Iowa State University)
Biswajeet PRADHAN (University of Technology Sydney)
Netra R. REGMİ (University of Oklahoma)
Ehsan NOROOZİNEJAD FARSANGİ (Kerman Graduate University of Advanced Technology, Iran)

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ RESEARCH ARTICLES

- İstanbul İçin CBS Tabanlı Makine Öğrenmesi İle Sel Duyarlılık Haritasının Oluşturulması
Generating the Flood Susceptibility Map for Istanbul with GIS-Based Machine Learning Algorithms
Zehra Koyuncu, Ömer Ekmekcioğlu 1 - 15
- Devegeçidi Baraj Gölü Meteorolojik-Hidrolojik-Tarımsal Kuraklık Analizi
Meteorological-Hydrological-Agricultural Drought Analysis of Devegeçidi Reservoir
Nermin Şarлак, Abdullah Muratoğlu, Şahmaz Tığrek..... 16 - 28
- Afet Yönetiminde İnsani Yardım Lojistiğinin Kritik Başarı Faktörlerinin Belirlenmesi
Identifying Critical Success Factors of Humanitarian Aid Logistics in Disaster Management
Makber Tekin, Fahriye Merdivenci 29 - 48
- Baraj Yıkılması Sonucu Oluşan Taşkınların İncelenmesi: Darlık Barajı Örneği
Investigation of Flooding due to Dam Failure: A Case Study of Darlık Dam
Ezgi Selen Tilav, Sezar Gülbaz 49 - 67
- Termodinamik İndekslerin ve Atmosferik Kararlılık Parametrelerinin Oran Hadiselerinin Tahmininde Performans Analizi: Samsun Örneği
Performance Analysis of Thermodynamic Indices and Atmospheric Stability Parameters in Thunderstorm Prediction: The Case of Samsun
Ahmet Can Kaya, Veli Yavuz..... 68 - 76
- Yeşilirmak Havzasında Düşük Akarsu Akımlarının Analizi
Low Streamflow Analysis in Yeşilirmak Basin
Sümeyye Özkan, Turgay Partal 77 - 88
- İstanbul İçin Sıcak ve Soğuk Sezon Oranlarının Analizi
Analysis of Warm and Cold Season Thunderstorms for Istanbul
Muhammed Başpınar, Veli Yavuz 89 - 102
- Orman Yangını Sonrası Oluşan Hasarın ve Hava Kirlilik Parametrelerinin İzlenmesi: Çanakkale Yangını Örneği
Monitoring Damage and Air Pollutant Parameters after Forest Fire: A Case Study of Çanakkale Fire
Özer Akyürek 103 - 112
- 6 Şubat 2023 Depremi Sonrası Geçici Barınma Uygulamaları: Gaziantep Nurdağı Örneği
Temporary Shelter Applications after the February 6, 2023, Earthquake: Gaziantep Nurdağı Example
Cafer Giyik..... 113 - 124
- Planlı Gelişme Alanlarının Hava Kirliliğine Olası Etkilerinin Değerlendirilmesi
Evaluation of the Possible Impacts of New Residential Areas on Air Pollution in the Development Plan
Merve Arslan, Doğan Dursun 125 - 139
- Kentsel Gelişme Alanlarında Deprem Riskinin Değerlendirilmesi
Assessment of Earthquake Risk in Urban Development Areas
Seyran Büşra Gök, Merve Yavaş 140 - 154
- Çevresel Mikroplastik Analizlerindeki Geri Kazanımı Değerlendirmeye Yönelik Bir Ön Çalışma
A Preliminary Study to Evaluate Recovery in Environmental Microplastic Analysis
İrem Öztürk, Dilara Cinci, Fatma Nur Eraslan, Mansoor Ahmad Bhat, Eftade O. Gaga, Kadir Gedik 155 - 166

ARAŞTIRMA MAKALELERİ RESEARCH ARTICLES

Su ve Kanalizasyon İdareleri için Mevcut Durum Analizi ile Uygun Performans Göstergelerinin Web Tabanlı Hesaplama Aracı ile Değerlendirilmesi

Current Situation Analysis and Evaluation of Appropriate Performance Indicators with Web Based Calculation Tool for Water and Sewerage Administrations

Cansu Bozkurt, Mahmut Fırat, Abdullah Ateş 167 - 178

Türkiye, Covid-19 Kapanma ve Kısmi Kapanma Dönemlerinde Hava Kirliliğinde Azalmalar Yaşadı mı?

Did Turkey Experience Reductions in Air Pollution During The Covid-19 Lockdown and Partial Lockdown?

İsmet Yener, Kazım Onur Demirarslan..... 179 - 191

Meteorolojik Kuraklık İndeksleri Kullanarak Kuraklık Değerlendirmesi: Alanya (Türkiye) Vaka Çalışması

Evaluation of Drought Using Meteorological Drought Indices, a Case Study: Alanya (Türkiye)

Redvan Ghasemlounia, Mustafa Utlu 192 - 210

DERLEME REVIEW

Su Kaynakları Yönetiminin Geleceği, Su Güvenliği ve Ortaya Çıkan Sorunlar

The Future of Water Resources Management, Water Security and Emerging Problems

Cengiz Koç 211 - 223

İstanbul İçin CBS Tabanlı Makine Öğrenmesi İle Sel Duyarlılık Haritasının Oluşturulması

Zehra Koyuncu^{1,*}, Ömer Ekmekcioğlu²

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İstanbul Medipol Üniversitesi, İstanbul.

²Afet ve Acil Durum Yönetimi Ana Bilim Dalı, Afet Yönetim Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Özet

Bu çalışma kapsamında meydana gelebilecek olası bir sel olayının gerçekleşebileceği yerin önceden tahmini ve tespiti için makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı bir sel duyarlılık haritalama modeli oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında incelen bölge olarak ise Türkiye'nin metropol kenti olan İstanbul ili seçilmiştir. Literatürden elde edilen sel envanteriyle oluşturulan örneklem kümesi önce sel olmayan noktaların rastgele oluşturulması ile genişletilmiş olup, ardından sınıf dengesizliği rastgele alt örnekleme (RUS) tekniği ile giderilmiştir. Bu yaklaşım Türkiye'de gerçekleştirilen sel duyarlılık haritalamaları çalışmaları için ilk kez uygulanmıştır. Rastgele orman (RF), stokastik gradyan artırma (SGB) ve XGBoost algoritmaları olmak üzere üç farklı makine öğrenmesi algoritmasının performans karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir. En yüksek model performansının XGBoost ile elde edildiği, bu metodu ise sırasıyla SGB ve RF'nin takip ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, RF ve SGB modellerinin sel olmayan noktaların neredeyse tamamını doğru olarak bulduğu, sel olan noktalarda ise %90.67'lik bir başarı sergilediği görülmüştür. Fakat, çalışmanın esas amacını kapsayan sel gerçekleşen noktaların belirlenmesinde XGBoost modeli %92.00'lik bir başarı ile diğer iki metoda üstünlük sergilediği tespit edilmiştir. Sel olayını etkileyen parametreler incelendiğinde ise İstanbul için seli en önemli parametrenin yağış olduğu sonucuna ulaşılmış olup, yağışı sırasıyla drenaj ağına uzaklık ve eğri numarası takip etmiştir. Sonuç olarak çalışma kapsamında İstanbul'da gerçekleştirilen sel duyarlılık haritalamaları çalışmaları için ilk kez uygulanan bu çerçevenin kullanımının sayısı ve etkileri giderek artırılarak sel olaylarına karşı daha yaygın alanlara uygulanması gelecek vadeci bir yaklaşım olacaktır.

Anahtar Sözcükler

Coğrafi Bilgi Sistemleri, İstanbul, Makine Öğrenmesi, Risk Yönetimi, Sel Duyarlılık Haritalaması, Uzaktan Algılama

Generating the Flood Susceptibility Map for Istanbul with GIS-Based Machine Learning Algorithms

Abstract

The main objective of the current study is to generate a flood hazard map by using the machine learning algorithms hybridized with the geographic information systems (GIS). In this regard, the province of Istanbul, which is the metropolitan city of Turkey, was selected as the focal region within the scope of the study. The class imbalance was tackled through the commonly used random under sampling (RUS) technique in order to create a fair comparison datum line. It is worth mentioning that this is the first time this approach has been used for flood hazard mapping studies in Turkey. Random forest (RF), stochastic gradient boosting (SGB), and XGBoost algorithms were used. The best predictive performance was obtained with the XGBoost algorithm, followed by SGB and RF, respectively. The RF and SGB models showed a 90.67% success rate in determining the inundation points, while the XGBoost model outperformed its counterparts with a 92.00% success rate in determining the inundation points. In this research, the importance levels of the flood triggering variables were further investigated in order to enliven the comprehensibility of the obtained results. Thus, the most important variable was the precipitation, followed by the distance to the drainage network and the number of curves, respectively. Finally, it is suggested that flood vulnerability mapping attempts can be considered as promising approaches against increasing flood incidents over the years.

Keywords

Geographical Information Systems, Istanbul, Machine Learning, Risk Management, Flood Hazard Mapping, Remote Sensing

1. Giriş

Canlı ve cansız bütün ekosistemler için çok önemli bir madde olan suyun faydaları yanında zararlı etkileri de bulunmaktadır. Bu zararlara doğa kaynaklı afetler olarak da ifade edilen fakat insan etkisinin de ciddi derecede olduğu seller örnek olarak verilebilmektedir. Sel afeti geçmişten günümüze kadar özellikle iklim değişikliğinin de etkileri ile hem sayısal hem de şiddet açısından artış göstermekte olan, etkisi uzun süreler devam eden ve zararlı etkisi oldukça fazla olan

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (212) 4448544 Faks: +90 (212) 5212377

E-posta: zehra.akti@std.medipol.edu.tr (Zehra K), omer.ekmekcioglu@itu.edu.tr (Ömer E)

Gönderim Tarihi / Received : 22/02/2023

Kabul Tarihi / Accepted : 04/09/2023

hidro-meteorolojik karakterli bir doğal afettir (Chakraborty vd., 2021). Sel afeti geçmişte ve günümüzde sadece can ve mal kaybına zarar vermek ile kalmayarak insan yaşamını da olumsuz yönde etkileyerek sosyal yaşamda aksamalara sebep olmuştur. Zira, Anılan vd. (2021) Trabzon'un Beşikdüzü ilçesinde meydana gelen taşkın afetinin hidrolojik ve sosyal yönden etkileri taşkın frekans analizi, anketler ve çok kriterli karar destek sistemleri ile incelenerek, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi için çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Bu çalışma, sel afetinin zararlı etkilerini en az seviyeye indirerek, meydana gelebilecek maddi ve manevi hasarların da önüne geçilebileceğini öne sürmektedir. Bunu desteklemek adına, sel sonrası yaşanabilecek ekonomik kayıpların ön görülebilmesini sağlayan çalışmalar da etkililiğini sürdürmektedir. Örneğin, Demir ve Keskin (2022a), Orta Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Mert Irmağı Havzası için iki boyutlu bir taşkın modellemesi gerçekleştirerek havza geneli için olası bir sel durumunda yaşanabilecek ekonomik kayıpları öngörmüşlerdir. Günümüz dünyasının güncel problemlerinden olan yoğun nüfus artışı, aşırı kentleşme ve yanlış arazi kullanımı, atmosfere sera gazı salınımını artırmış ve iklim değişimini tetikleyecek mertebede atmosferin kimyasal yapısının bozulmasına ve kentlerde ısı adası etkisinin artmasına neden olmuştur. Teknolojik gelişmelerin ve bilgisayar kapasitelerinin artışı, sel duyarlılık haritalarının ve sel modellerinin hazırlanmasında uzaktan algılama verileri ve coğrafi bilgi sistemlerinden (CBS) daha çok yararlanılmasına katkı sağlamıştır (Güvel vd., 2023). Bu tekniklerden yararlanarak sel duyarlılık haritalama çalışmaları başta meteorolojik ve hidrolojik gözlemlere (Demir & Keskin, 2022b), çalışma sahasına ait topoğrafik ve arazi kullanımı verilerine gereksinim vardır (Şen, 2009). Sel oluşumunu etkileyen bu faktörler ile geçmişte taşkın olaylarının gözlemlendiği noktalar bir arada ele alınarak herhangi bir çalışma bölgesinin taşkın haritasının CBS teknikleri ile üretilmesi olanaklıdır. Sel duyarlılık haritalarının üretiminde çeşitli teknikler kullanılmıştır. Bu tekniklere örnek olarak istatistiksel yöntemler (frekans oranı, kanıt ağırlıkları vb.), çok kriterli karar destek sistemleri (analitik hiyerarşi süreci vb.) ve makine öğrenmesi yöntemleri verilebilir (Özcan, 2017; Demir & Keskin, 2022c).

Sel duyarlılık haritalaması çalışmalarında son yıllarda makine öğrenmesi yöntemleri oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, Lojistik Regresyon (LR), Destek Vektör Makineleri (SVM), Yapay Sinir Ağları (ANN) gibi makine öğrenmesi yaklaşımları sıklıkla kullanılmıştır (Tona vd., 2022). Tehrany vd. (2014) Malezya'nın Terengganu kenti için kanıt ağırlığı yöntemine ek olarak SVM algoritmasını da kullanarak sel duyarlılık haritası üretmişlerdir. SVM algoritmasının farklı çekirdek türleri ile eğitildiği bu çalışma ile taşkın duyarlılık haritalarında test seti için %88.64 doğruluk elde edilmiştir. Ghosh vd. (2022), Ganj Nehri Havzası için 128 sel kaydını kullanarak bir sel duyarlılık haritası hazırlamışlardır. Bu çalışmada frekans oranı yöntemi ile LR algoritmasının performansları denetlenmiş olup, sırasıyla %78 ve %80 oranında doğruluk elde edilmiştir. Bu sayede, makine öğrenmesi algoritmalarının istatistiksel yaklaşımlara göre daha yüksek doğruluk sunabildiği gösterilmiştir.

Son yıllarda, tekil makine öğrenmesi yöntemlerinin yanı sıra karar ağacı tabanlı topluluk (İng. ensemble) algoritmaları sel duyarlılık haritalarının üretilmesi için sıklıkla kullanılmaktadır. Topluluk algoritması, eğitim örnekleri üzerinde bir dizi karar ağacı üretilir ve bir önceki karar ağacına göre performansını ardışık bir şekilde yükseltiyorsa, buna 'gradyan artırma' yöntemi (İng. boosting) denir. Gradyan artırma yöntemlerinin çeşitli varyasyonları bulunmaktadır. Topluluk algoritması, eğitim örnekleri üzerinde aynı anda birden fazla karar ağacı üretilir, bu karar ağaçlarının bir topluluğunu (orman) oluşturarak en iyi performans gösteren karar ağacını tespit etmek üzerine de çalışabilmektedir. Bu yöntem ise 'torbalama' adı verilir ve Rastgele Orman (RF) algoritması en yaygın torbalama algoritmasıdır. Towfiqul Islam vd. (2021) Bangladeş'in kuzey bölgesindeki Teesta Nehri Havzasında sel duyarlılık haritasını modellemek için dagging topluluk modeli, rastgele alt uzay metodu, ANN, RF ve SVM algoritmalarını bir arada kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre dagging topluluk modeli 0.873 AUC değeri ile doğrulama setinde en iyi sonucu verirken, onu 0.865, 0.839, 0.835 ve 0.811 ile sırasıyla SVM, rastgele alt uzay, ANN ve RF algoritmaları takip etmiştir. Deroliya vd. (2022) Hindistan'ın alt Mahanadi Nehri havzasında yer alan Jagatsinghpur'da sel duyarlılığını belirlemek için tekil karar ağacını, RF ve gradyan artırma algoritmalarını kullanmışlardır. Analizler neticesinde, RF algoritmasının diğer iki yöntemle göre daha iyi performans gösterdiğine işaret etmişlerdir.

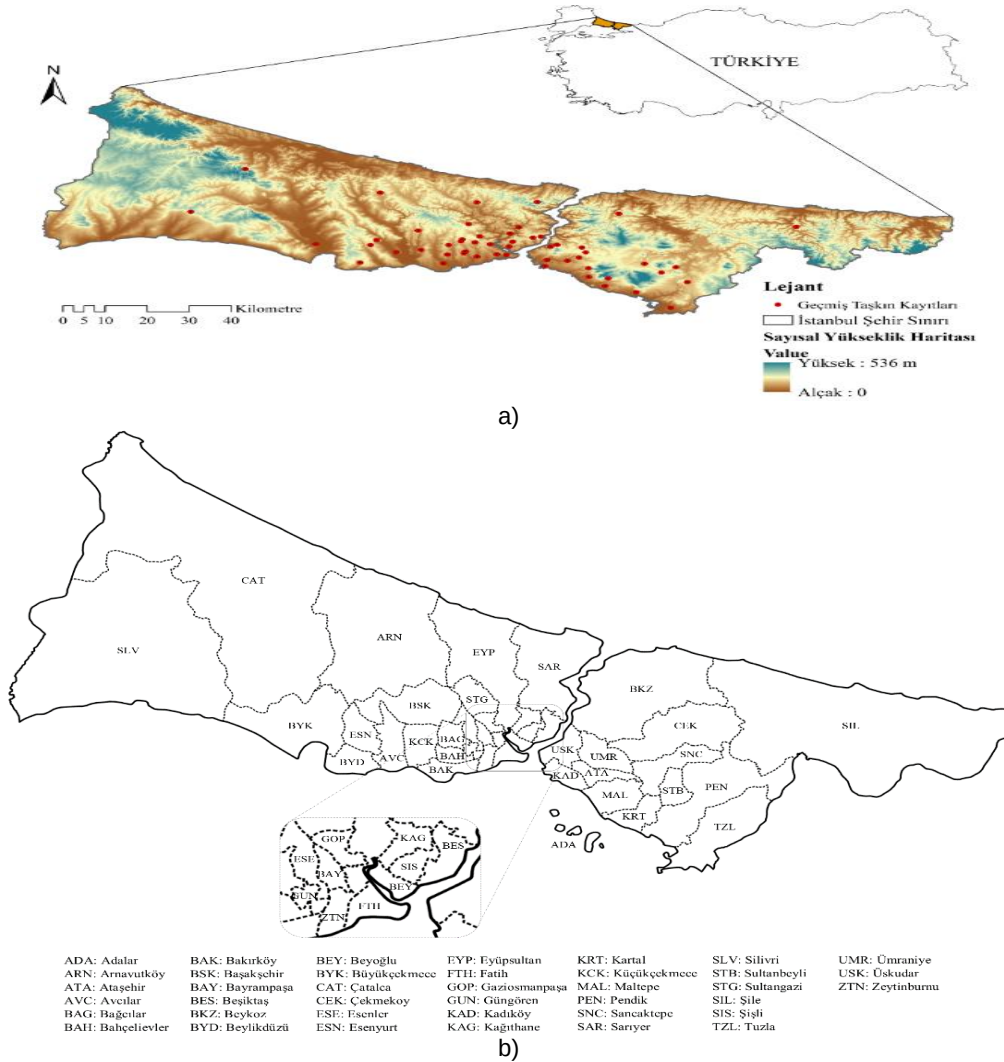
Ülkemizde ise benzer çalışmalar araştırmacılar tarafından gerçekleştirilse de sel duyarlılık haritalamalarında makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımı oldukça sınırlıdır. Fakat, Aydın vd. (2022) bu konu üzerinde durarak Türkiye'nin Akdeniz kıyısındaki Adana ili için sel duyarlılık haritalamalarının geliştirilmesi amacıyla makine öğrenmesi algoritmalarını kullanmıştır. İncelenen bu çalışma kapsamında beş kategori altında toplam on dört taşkın koşullandırma parametresi kullanılmış, AdaBoost ve LightGBM modelleri test doğruluğu açısından en yüksek başarıyı sağlamış olup (0.8978), onu sırasıyla GB ve NGBoost (0.8832), XGBoost (0.8759), RF (0.8613) ve CatBoost (0.8102) takip etmiştir.

Öte yandan, bazı bölgelerde sel olaylarının önlenmesi için sel risk yönetimi çalışmaları yapılarak çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) yardımıyla bu çalışmanın da odak noktasını teşkil eden İstanbul ili için sel risk haritaları oluşturulmuştur. Örneğin, Ekmekcioğlu vd. (2022a) İstanbul'un ilçelerini sel riski açısından önceliklendirmek için çok adımlı bir ÇKKV metodolojisi sunmuş ve böylece sel riskinin azaltılmasına yönelik karar verme sürecine katkıda bulunmak için kapsamlı bir sel risk haritası oluşturmuştur. Bu kapsamda, tehlike kriterlerini değerlendirmek için analitik hiyerarşi süreci (AHP) yöntemi benimsenirken, kırılganlık kümesi DEMATEL-ANP yöntemine tabi tutulmuştur. VIKOR analizini gerçekleştirmek için her bir ilçeye her bir kritere göre atfedilen veriler bu yöntemlerle hesaplanan kriter ağırlıkları ile birleştirilmiştir. Benimsenen metodolojinin sağlamlığını ve araştırma bulgularının istikrarını sağlamak için ilçe bazlı sel risk analizi yapılmıştır. İstanbul'un sel risk haritası on kritere göre oluşturulmuş ve sonuçlar İstanbul'un en yoğun nüfuslu ve kentleşmiş bölgelerinin önemli ölçüde sel riski altında olduğunu göstermiştir.

Bu çalışma kapsamında ise uzaktan algılama yöntemleri ve CBS tabanlı makine öğrenmesi yöntemi kullanılarak İstanbul bölgesi için sel duyarlılık haritalarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Literatür incelendiğinde daha önceden İstanbul bölgesi için yapılmış makine öğrenmesine dayalı sel duyarlılığı çalışmalarının olmadığı, diğer alanlar için ise sel duyarlılığı özelinde yapılan çalışmaların havza bazlı yapıldığı için literatürde bu konu özelinde eksikliklerin olduğu, bu çalışma kapsamında ise şehir özelinde çalışılarak yenilikçi bir konu olarak literatüre katkısı olacağı ifade edilebilmektedir.

2. Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında İstanbul ili çalışma alanı olarak seçilmiştir. İstanbul, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan ve 5461 km² yüzölçümüne sahip metropol bir şehirdir. Şehrin kuzeyinde Karadeniz'e ve güneyinde ise Marmara Denizi'ne kıyıları mevcuttur. Ayrıca şehir, İstanbul Boğazı tarafından ikiye ayrılan Avrupa ve Asya yakaları olmak üzere iki kıtadan oluşmaktadır (Şekil 1). İstanbul, 14'ü Asya'da, 25'i Avrupa'da olmak üzere 39 ilçeden oluşmaktadır. Ayrıca, şehir popülasyonunun %65'i Avrupa yakasında bulunurken, geri kalan %35'i Asya yakasında yer almaktadır. Şehrin en yüksek noktası Asya yakasında yer alan 537 m yüksekliğindeki Aydos Tepesi'dir. İstanbul'daki orman arazilerinin yüzölçümü 535.250 hektardır. Ancak şehir metropoliten bir alan özelliği taşıdığı için ormanların şehir içindeki dağılımı düzensizdir. İstanbul'un iklim özellikleri Karadeniz ve Akdeniz iklimleri arasındaki geçiş özelliği gösterdiğinden dolayı ılıman iklim özelliği taşımaktadır. İstanbul yazları sıcak ve nemli iken, kışları genellikle soğuk, yağışlı ve bazen de karlı olmaktadır (Nefeslioglu vd., 2010). Kış aylarında aylık ortalama sıcaklıklar 6 ile 9 °C civarındayken, yaz aylarında sıcaklık değerleri yaklaşık 22 °C ve 24 °C civarını bulmaktadır. En sıcak aylar ortalama 29.5 °C ile Temmuz ve Ağustos ayları iken en soğuk aylar 4 °C ile Ocak ve Şubat aylarıdır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023). Ayrıca İstanbul'un yıllık toplam yağış miktarı 843.9 mm'dir ve bu yağışlar yıl boyunca meydana gelmektedir. İstanbul'da yağışların %38'i kış mevsiminde, %18'i ilkbahar mevsiminde, %13'i yaz mevsiminde ve %31'i sonbahar mevsiminde gerçekleşmektedir.



Şekil 1: Çalışma alanı: a) sayısal yükseklik haritası, b) ilçeler

3. Materyal

Bu çalışma kapsamında meydana gelebilecek olası bir sel olayının gerçekleşebileceği yerin önceden tahmini ve tespiti için makine öğrenmesi yöntemleri ve sel envanterleri kullanılarak İstanbul ili için makine öğrenmesine dayalı coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı bir sel duyarlılık haritalama modeli oluşturulması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, üç farklı makine öğrenmesi metodu bir dizi ön işleme adımından geçirilen ham veri setine uygulanarak tahmin modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Sellerin oluşumunu tetikleyen faktörlere ait geçmiş literatürden elde edilen veriler rastgele alt ölçeklemeye tabi tutularak gerçek dünya koşullarının analizlere yansıtılması sağlanmıştır. Verinin eğitim ve test setlerine ayrılmasında ise literatürde sıklıkla kullanılan 70/30 stratejisi benimsenmiştir. İstanbul'a ait topoğrafya verisi elde edilerek, bu topoğrafya verisine dayanan ve sel görüngüsünün oluşumuna doğrudan etki eden parametreler belirlenmek suretiyle bu parametrelere ait haritalar çıkartılmıştır.

3.1. Sellerin Oluşumunu Tetikleyen Faktörler

Bu çalışma kapsamında İstanbul İli sel duyarlılık haritalamasının makine öğrenmesi yöntemleri ile gerçekleştirilmesi adına sel fenomenini oluşmasında etkili olan 11 farklı parametre kullanılmıştır. Bu parametreler (1) yükseklik, (2) bakı, (3) plan eğriliği, (4) profil eğriliği, (5) drenaj yoğunluğu, (6) drenaj ağına uzaklık, (7) eğri numarası, (8) yağış, (9) topoğrafik ıslaklık indeksi (TWI), (10) topoğrafik pürüzlülük indeksi (TRI) ve (11) akış gücü indeksi (SPI). *Sayısal yükseklik* haritaları, çalışılan bölgede yağış sonrasında ortaya çıkan akış ve sellerin belirlenmesinde önemli bir role sahiptir. Literatür incelendiğinde akarsu akımını etkileyen fizyografik bir değişken olan yüksekliğin fazla olduğu bölgelerde sel doğal afetinin meydana gelme sıklığının düşük rakımlı bölgelere göre daha fazla olduğu söylenebilmektedir ([Ekmekcioğlu vd., 2022b](#)). *Bakı* faktörü, güneşten alınan ısı enerjisi miktarına etki ettiği için terleme ve buharlaşma ile su kaybını etkilemektedir. Bölgesel olarak farklılık gösterebilmekle birlikte, bakı genel olarak sel riski ile ters orantılı bir özelliğe sahip parametredir. Zira, eğim yönü güneş radyasyonunun dağılımını ve böylece buharlaşma oranını etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, taşkın duyarlılığı üzerinde önemli etkisi olan sızmayı da etkileyebilmektedir. Güneye bakan yamaçların daha fazla güneş ışınına maruz kalmasından dolayı buharlaşmalar artacak ve bu gibi bölgelerde yağış miktarı fazla olsa bile sel riskleri azalabilmektedir ([Abedi vd., 2021](#)). Suyun hangi yöne doğru akış göstereceğini belirleyen eğrilik parametresi de seli tetikleyen diğer önemli parametrelerden bir tanesidir. Bu çalışma kapsamında hem akışın hızlanmasını ve yavaşlamasını kontrol etmek suretiyle erozyon ve çökelmeyi etkileyen *profil eğriliği* hem de akışın yakınsamasını ve sapmasını kontrol eden *plan eğriliği* girdiler arasında değerlendirilmiştir. *Drenaj yoğunluğu*, birim alana düşen akarsu uzunluğu olarak ifade edilmektedir. Drenaj yoğunluğu, havzadaki bütün derelerin uzunlukları toplamının havza alanına oranıyla hesaplanmaktadır. Havzanın drenaj yoğunluğu ne kadar fazla ise, o havzadaki drenaj ağının yağış sularının çevreye zarar vermeden akıtma yeteneğinin de o ölçüde fazla olduğu söylenebilmektedir ([Hitouri vd., 2022](#)). Selleri tetikleyen parametrelerden bir tanesi olan *drenaj ağına uzaklık* faktörü incelendiğinde akarsuya uzaklığın fazla olduğu bölgelerde sel tehlikesinin akarsuya yakın olan bölgelere göre daha az olduğu öngörülebilmektedir. Sellerin oluşmasını etkileyen diğer bir parametre de eğri numarasıdır. 0 ile 100 arasında değişen *eğri numarası* arttıkça geçirimsizlik de doğru orantılı bir şekilde artar ve sel olaylarının görülme olasılığı artış göstermektedir ([Costache vd., 2020](#)). *Yağış* parametresi de sel duyarlılığı açısından büyük önem teşkil etmektedir. Özellikle son yıllarda ülkemizde yağış miktarının fazla olduğu bölgelerde sel doğal afetinin meydana gelme sıklığında önemli ölçüde artış yaşanmıştır. Bu çalışma kapsamında İstanbul İline ait yağış değerleri (günlük maksimum) MGM'nden elde edilmiş olup, her bir istasyona ait verilerde frekans analizi gerçekleştirilmiştir. Frekans analizleri neticesinde 100 yıllık tekrür periyoduna sahip değerler hesaplanarak Kriging interpolasyon yöntemi esas alınarak nihai yağış haritası elde edilmiştir. *Topoğrafik ıslaklık indeksi* ve *topoğrafik pürüzlülük indeksi* parametreleri ise topoğrafik özelliklere bağlı olarak bölgelere göre farklılık göstermektedir. ıslaklık indeksi büyük olan bir topoğrafyada zemin neme doymuş bir durumda olduğu için sızma miktarı azalış göstermekte ve sel riski artmaktadır. Topoğrafik pürüzlülük indeksi düşük olan bir bölge için ise su akışı hızlanacağı için sel tehlikesinin azalacağı öngörülmektedir. Çalışma kapsamında incelenen *akış gücü indeksi*ne bakıldığında zaman sel tehlikesinin akış gücü indeksi büyük olan bölgelerde fazla olacağı söylenebilmektedir. Bu çalışmada genellikle elde edilmesi kolay olan verilere odaklanılmıştır. Bunun nedeni ise benzer analizlerin veri ihtiyacının karşılanamadığı bölgelerde de uygulanabilmesinin mümkün kılınmaya çalışılmasıdır. Böylelikle, hemen her bölgede ölçümü gerçekleştirilebilen yağış parametresine, uzaktan algılama teknikleri ile elde edilebilen eğri numarası parametresine ve topoğrafya ve topoğrafyaya bağlı olarak CBS teknikleri ile elde edilebilen diğer parametrelere yer verilmiştir. Bu durum her ne kadar analizlerin kapsamını kısıtlasa da benzer tahmin çerçevesinin veri kısıtı ile karşılaşan bölgelerde kullanılarak başarılı modellemeler gerçekleştirilmesinin önü açılması amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan sellerin oluşumunda etkili faktörlere karşılık gelen istatistiksel bilgiler Tablo 1'de verilirken, Şekil 2 ilgili faktörlere ait haritaları sunmaktadır. Ayrıca belirtilmesi gereken önemli husus ise makine öğrenmesi uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan çoklu bağlantım (*İng. multicollinearity*) problemlidir. Bu problem çoğunlukla bir regresyon modelindeki iki veya daha fazla bağımsız değişken yüksek oranda ilişkili olduğunda ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar bu çalışma kapsamında regresyon modeli yerine bir sınıflandırma analizi yapılmış olsa ve söz konusu problem birincil olarak sürekli bir değişkeni tahmin etmeye yarayan lineer regresyon modelinde aransa da, bu çalışmada da çoklu bağlantımı kontrol etme noktasında en yaygın olarak kullanılan yöntem varyans büyütme faktörü (VIF) değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler de ayrıca Tablo 1'de sunulmuştur.

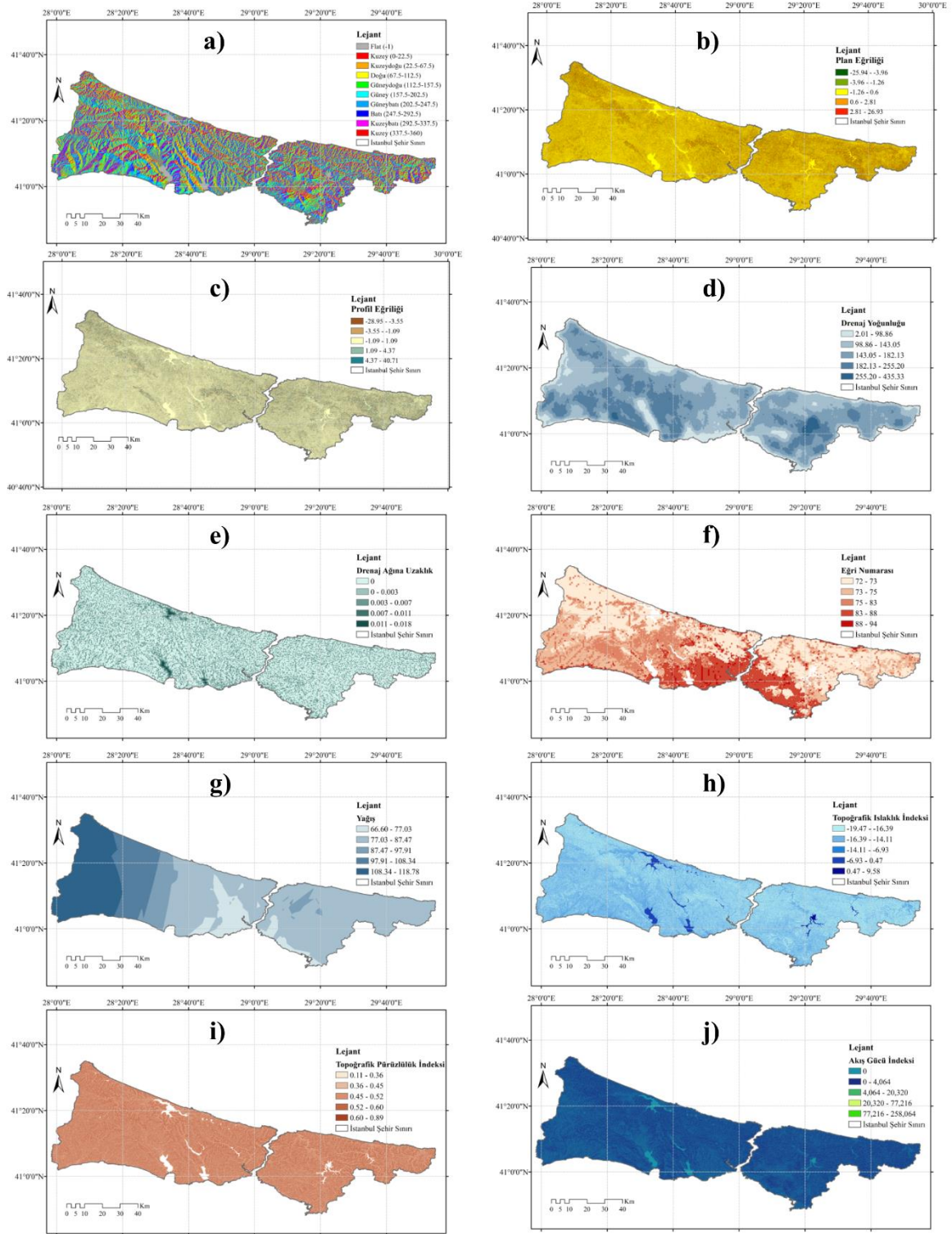
Tablo 1: Sellerin oluşumunu tetikleyici faktörlere ait verilerin istatistiksel özeti

Değişken/İstatistik	Minimum	Ortalama	Maksimum	Standart Sapma	Çarpıklık	Kurtosis	VIF
Yükseklik	0.000	118.157	480.000	71.071	0.766	0.769	1.243
Bakı	-1.000	176.993	359.284	102.963	0.012	-1.115	1.001
Plan Eğriliği	-1.27E+10	4.35E+07	1.24E+10	2.35E+09	-0.088	1.741	1.688
Profil Eğriliği	-2.10E+10	6.18E+07	1.53E+10	2.60E+09	0.078	2.503	1.958
Drenaj Yoğunluğu	2.006	149.315	410.735	39.978	0.044	1.307	1.065
Drenaj Ağına Uzaklık	0.000	0.001	0.007	0.001	0.828	-1.221	1.052
Eğri Numarası	0.000	77.066	94.000	6.223	0.761	4.083	1.252
Yağış	66.740	91.199	118.692	14.343	0.576	-1.138	1.250
TWI	-18.822	-15.965	3.575	1.643	2.503	15.359	1.645
TRI	0.000	0.497	0.889	0.089	-0.028	0.507	1.540
SPI	0.000	25.873	3342.784	100.549	12.877	279.396	1.304

Tablo 1’den de görüleceği üzere tetikleyici parametreler arasında kurulan modelin stabilitesine veya doğruluk oranını tehlikeye atacak herhangi ciddi bir ilişki yoktur. Bu çıkarım VIF değerlerinin 5’ in altında olduğundan ve 1’ e doğru gidildikçe çoklu bağlanım problemi riskinin azaldığı gerçeğinden hareketle yapılabilmektedir. Zira, VIF değerlerinin çok düşük olması (1’e yakın veya 2’nin altında), girdi özelliklerinin nispeten birbirinden bağımsız olduğunu ve aralarında önemli bir korelasyon olmadığını göstermektedir. Bu, modelin her bir özelliğın bireysel katkılarına dayalı olarak güvenilir ve istikrarlı tahminler yapmasına izin verdiği için arzu edilen bir sonuçtur.

3.2. Sel Envanteri

Sel envanterleri ile bir bölgenin tarihsel süreç içerisinde maruz kaldığı sel afeti eğilimi tespit edilerek gelecek yıllar için güvenli sel analizleri ve/veya tahminleri yapılabilmektedir. Türkiye’de sellerin kayıtları Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından tutulmaktadır. Ayrıca, ilgili literatür incelendiğinde ise Türkiye özelinde gerçekleştirilmiş birçok farklı havza, bölge ve şehre odaklanmış çalışmalar olduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında ise [Haltas vd. \(2021\)](#)’ın gerçekleştirdiği çalışmadan faydalanılarak İstanbul bölgesi için sel envanter verileri temin edilmiştir. Bu çalışmada araştırmacılar mevcut küresel ve ulusal veri havuzlarını kapsamlı bir şekilde gözden geçirerek Türkiye geneli bir sel envanteri oluşturmuşlardır. Mevcut ulusal veriler kullanılarak 1930 ve 2020 yılları arasında Türkiye genelinde meydana gelen sel olayı envanterinin derlemesi yapılmış olup, sayısallaştırılmış medya arşivleri de dahil olmak üzere birçok veri kaynağı incelemesi neticesinde toplamda 2101 sel olayına ait veriler elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında ise söz konusu çalışmada sunulan veri tabanında İstanbul sınırları içerisinde kayıt altına alınan veriler kullanılmış ve çeşitli veri-tabanlı metotlar kullanılarak sel duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Tarihsel veri kayıtlarına ait sel noktaları, Google Earth ve ArcGIS 10.3 ([ESRI, 2016](#)) yazılımları aracılığı ile incelenmiştir. Sel olmayan noktaların belirlenmesinde ise literatürdeki genel yaklaşım olan eşit sayıda rastgele sel olmayan nokta oluşturulması mantığı yerine, gerçek dünya koşullarını daha doğru bir şekilde temsil edecek şekilde sel olaylarından çok daha fazla sel olmayan nokta oluşturulmuştur ([Ekmekcioğlu vd., 2022b](#); [Pham vd., 2023](#)). Dolayısıyla, sel gerçekleşen (1) ve gerçekleşmeyen (0) noktaların sayılarında bir sınıf dengesizliği oluşturulmuştur. Bu sınıf dengesizliği de ayrıca makine öğrenmesi yöntemlerinin güvenilirliğinin artırılması bakımından ön işleme adımları ile eğitim setinde ortada kaldırılmıştır. Bu işlemlere ait detaylar aşağıdaki alt başlıklarda detaylı olarak ifade edilmiştir.



Şekil 2: Tetikleyici faktörlere ait haritalar: a) bakı, b) plan eğriliği, c) profil eğriliği, d) drenaj yoğunluğu, e) drenaj ağına uzaklık, f) eğri numarası, g) yağış, h) TWI, i) TRI, j) SPI

4. Metodoloji

4.1. Ön İşleme Uygulamaları

4.1.1. Ölçekleme

Çoğu makine öğrenmesi yöntemi, tahminlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan özniteliklerin sayısal olarak farklı aralıklarda olmasından ötürü yüksek performans gösteremeyebilmektedir (Koc vd., 2021). Bu sorunu çözmek için yaygın olarak kullanılan iki çözüm vardır: 1) Min-Maks ölçekleyici ve 2) Standart ölçekleyici (Bhattacharya vd., 2020). Min-Maks ölçekleyici 0 ile 1 arasında bir aralık oluşturarak sayısal öznitelik değerlerini belirli bir aralığa indirmektedir. Öte yandan, Standart ölçekleyici ise, sayısal özellikleri, sırasıyla 0 ve 1 ortalama değerine ve standart sapmasına sahip bir dağılımla sonuçlanacak şekilde dönüştürmektedir. İlgili literatüre göre karar ağacı temelli makine öğrenmesi algoritmalarının ölçekleme ve normalizasyona ihtiyaç duymadığına dair birçok çalışma bulunsada (Kumar vd., 2022), bazı çalışmalar ise her ne kadar farklı sayı uzaylarına duyarlılık göstermeyen ağaç tabanlı algoritmalarının ölçeklemeye tabi tutulmasının performans iyileştirmeleri yapacağına işaret etmiştir (Izonin vd., 2022). Bu çalışmada, literatürde sıklıkla kullanılması (Sarker vd., 2020) ve model performanslarını artırmadaki etkinliği (Thippa Reddy vd., 2020) nedeniyle Standart ölçekleyici tekniği uygulanmıştır. Bu işlem, Denklem 1’de gösterildiği üzere örneklem x ’in normal değeri, her bir örneklem değerinden ortalama değer çıkarılarak ve ardından standart sapmaya bölünerek gerçekleştirilmektedir.

$$z = \frac{x-u}{s} \quad (1)$$

Burada u örneklemde yer alan değişkenlerin ortalamasını ve s ise standart sapmalarını ifade etmektedir.

4.1.2. Sınıf Dengesizliği

Hedef değişkenler arasında yer alan sınıf dengesizliği gerçek dünya problemlerinin belirsiz doğası göz önüne alındığında, sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak karşılaşılan zorluklardan biridir. Bu nedenle, çözümler çoğu durumda çoğunluk sınıfları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Örneğin, bir yağış olayı sonucu oluşacak sel olayının geniş bir alanda önemli etkileri olabilirken, seller odaklanılan bölgenin sadece bazı belirli yerlerinde meydana gelmektedir. Öncelikli amacın sel olayı meydana gelen yerleri tespit etmek olduğu düşünülürse, yağış olayından etkilenen ancak sel olayının ortaya çıkmadığı diğer noktalar da dikkate alınmalıdır. Benzer problemlerle başa çıkmak için mevcut literatür, tahminlere yönelik önyargıyı kesin olarak ortadan kaldıran sınıf dengesizliği işleme tekniklerinin uygulanabilirliğine işaret etmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada gerçekleşen sellerin lokasyonlarının belirlenmesinde yeniden örnekleme yöntemlerinin etkinliğini ve uygunluğunu göze almıştır. Bu doğrultuda, literatürde sıklıkla kullanılan rastgele alt örnekleme (random under-sampling-RUS) algoritmasından yararlanılmıştır. RUS algoritması ile çoğunluk sınıfındaki ögeler rastgele silinerek sınıf dağılımı dengelenmektedir (Kang & Ryu, 2019). Bu algoritmanın ana dezavantajı, eğitim verilerinde bilgi kaybı riski olsa da, örneklem boyutunun küçültülmesi ile hesaplama süresinde kazanç sağlanmasıdır (Liang vd., 2020). İlgili literatür incelendiğinde, özellikle büyük veri kümesine odaklanıldığı durumlarda RUS’un uygun bir alternatif olabileceğine işaret edilmektedir (Provost, 2000).

4.2. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Bu çalışma kapsamında İstanbul ili sel duyarlılık haritalamasının yapılabilmesi için CBS-tabanlı makine öğrenmesi algoritmalarından yararlanılmıştır. Bu bağlamda, Aşırı gradyan artırma (XGBoost) algoritması sel duyarlılık sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Ayrıca, bu yöntemin karşılaştırılmalı değerlendirilmesi için (İng. benchmarking) iki ayrı ağaç tabanlı algoritması (rastgele orman ve stokastik gradyan artırma) da CBS tabanlı tahmin çerçevesine entegre edilmiştir. Aşağıda yer alan alt başlıklarda kullanılan üç algoritmanın çalışma prensipleri özetle ifade edilmiştir.

4.2.1. Rastgele Orman (RF)

Rastgele orman (RF), bir topluluk öğrenme algoritması olarak tanımlanabilmektedir (Breiman, 2001). Bu algoritmada, karar ağacının her düğümündeki en iyi dallanmış eleman, tüm eleman kümeleri arasından gelişigüzel olarak belirlenen elemanlar arasından seçilir. Oluşan düğümler boyunca en iyi dallanmanın sağlanabilmesi için ise Gini indeksi kullanılır. N sınıftan örneklem içeren bir veri seti için Gini indeksi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Denklem 2):

$$Gini(t) = 1 - \sum_j [p(j|t)]^2 \quad (2)$$

Formülasyondaki j ve t sırasıyla sınıfı ve düğümü temsil etmektedir. Ayrıca $p(j|t)$, t düğümündeki j sınıfının göreceli olasılığını ifade etmektedir.

Gini indeksi ayrıca değişkenlerin homojenliği hususunda da önemli bilgilere erişilmesine imkân tanımaktadır. Sıfıra yakın Gini indeksi, artan homojenliği gösterirken, daha yüksek değer ise heterojene doğru eğilimi ifade etmektedir (Ekmekcioğlu vd., 2020).

RF algoritması, kullanılacak örneklem sayısı ve ağaç sayısı gibi hiperparametreleri içermektedir. Kullanıcı, karar ormanını N sayıda ağaçla oluşturur. Böylece her bir sınıflandırma işlemi için veri seti N sayıda karar ağacından geçer. Ayrıca eğitim setinin ve test setinin belirlenmesi RF yöntemi için kritik öneme sahiptir (Yu & Abdel-Aty, 2014). Bir RF modelinin ortalama hata oranı elde edilir ve hata oranı en düşük olan ağaç en yüksek ağırlıkla değerlendirilir. En düşük ağırlıklar ise, hata oranı en yüksek olan ağaca atanır. Genel olarak, her ağacın bir oyu olduğu göz önünde bulundurularak, nihai tahmini elde etmek için yani en uygun sınıflandırıcıyı bulmak için çoğunluğun oylaması (İng. majority voting) gerçekleştirilir.

4.2.2. Stokastik gradyan artırma

Friedman (2002), stokastik gradyan artırma (SGB) algoritmasını hem hesaplama verimliliğini hem de tahmin başarılarını artırmak için geleneksel gradyan artırmadan (İng. gradient boosting) türetmiştir. Birkaç zayıf sınıflandırıcıdan topluluk modelleri oluşturmaya dayanan gradyan artırma hem regresyon hem de sınıflandırma amaçları için kullanılabilir. Gradyan artırma temel olarak diğer artırma tekniklerine benzer şekilde adım adım oluşturulsa da, gradyan yükseltmede keyfi türevlenebilir kayıp fonksiyonunun optimizasyonuna içerdiği daha genellenebilir modellerin oluşturulması sağlanmaktadır (Devi ve Kumar, 2022). Yine de yinelemeli süreç düzgün bir şekilde düzenlenmezse, gradyan artırma aşırı uyumdan zarar görme eğilimindedir (Bentéjac vd., 2021). SGB’de sınıflandırma ağaçları, önceki ağacın kayıp fonksiyonunun gradyanı olarak adlandırılan "sözde" hatalardan temel öğrencileri sırayla uydurarak oluşturulur (Moisen vd., 2006). SGB, model performansında bir artış sağlamak için eğitim örneklerine rastgeleleştirme olgusunu dahil eder. Model oluşturmak için tüm örnekleri dikkate almanın hem hesaplama verimliliği hem de fazla uydurma riski açısından zor olabileceği göz önüne alındığında, eğitim verilerinin yalnızca rastgele seçilmiş bir kısmını kullanmak, algoritmanın bu sorunları aşmasına ve algoritmayı daha az hassas hale getirmesine yardımcı olur. SGB’nin matematiksel hesaplama prosedürleriyle ilgili daha fazla ayrıntı bilgi Friedman (2002) ve Devi ve Kumar (2022)’in çalışmalarında yer almaktadır.

4.2.3. Aşırı gradyan artırma

Aşırı gradyan artırma (XGBoost), gradyan artırma karar ağacının (GBDT) performansını iyileştirmek için önerilen bir algoritmadır. XGBoost algoritması algoritmanın belirli kısımlarını birden fazla işlemci üzerinde aynı anda yürütme tekniği olarak adlandırılan paralelleştirme özelliğine de sahiptir (Chen & Guestrin, 2016). Bu özellik ile hesaplama verimliliği önemli ölçüde artırılır ve eğitim süresini azaltılarak yüksek boyutlu verilerde kısa sürede doğruluk oranı yüksek sonuçlar elde edilebilmektedir. Dış döngüler ağaç yapraklarını oluştururken, iç döngüler özniteliklerin elde edilmesinde rol oynamaktadır. İç döngüler sonlandırılmadan dış döngüler sonlandırılmadığından, yani öznitelikler hesaplanmadan ağacın yaprakları oluşturulmadığından dolayı paralelleştirme de sınırlıdır. XGBoost algoritmasında işlem süresini azaltmak için, tüm örnekler toplu olarak dikkate alınır ve algoritmaya giren döngü adımlarının sayısı belirlenir. Algoritmanın diğer bir avantajı ise XGBoost’un ağaç yapılarında kullanılan arama algoritması olan derinlemesine aramayı (DSF) gerçekleştirebilmesidir (Başakın vd., 2022). Bu algoritma, rastgele başlayan düğümden ulaşılacak en derin düğüme kadar arama yapılmasına izin verir. Hesaba katılacak daha derin düğüm kalmadığında, algoritma geri sarar ve derin düğümlere öncelik vererek aramaya devam eder ve en uygun sınıflandırıcının elde edilmesini sağlamaktadır.

4.3. Performans Değerlendirme Kriterleri

Sel duyarlılığı tahmininin önemli bir parçası doğrulama sürecidir. Elde edilen sonuçların bilimsel değeri sınırlı olduğu için çalışmalar hızlı bir şekilde kontrol edilerek doğrulama yapılmalıdır. Analiz sonuçlarını doğrulamak için birçok performans değerlendirme göstergesi vardır. Doğrulama sürecinde dört temel istatistiksel önlem kullanılır. Bu önlemler sırasıyla gerçek pozitif (TP), gerçek negatif (TN), yanlış pozitif (FP) ve yanlış negatif (FN) önlemleridir. Burada TP, doğru sınıflandırılan sel olayı sayısını, TN doğru sınıflandırılan sel olmayan olayların sayısını, FP yanlış sınıflandırılan sel olayları sayısını, FN ise yanlış sınıflandırılmış sel olmayan olayların sayısını temsil etmektedir. Bu dört ölçüte göre, hassasiyet (İng. precision) ve duyarlılık (İng. recall) değerleri hesaplanmıştır. Fakat özellikle sınıf dengesizliğinin olduğu durumlarda bu iki performans göstergesinin model başarı değerlendirmesi için kullanılmalarının sonuçların yorumlanmasında hatalara sebep olacağından, bunların harmonik ortalaması ile elde edilen F-1 skoru değerleri hesaplanmıştır (Denklem 3). Ayrıca, sınıf dengesizliğinin olduğu durumlarda oldukça güvenilir bir değerlendirme kriteri olan alıcı işletim karakteristiği altındaki alan (AUROC) da kullanılmıştır.

$$F - 1 \text{ skoru} = \frac{2 \times \text{precision} \times \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \quad (3)$$

AUC’un 0.5 değeri yetersiz performanstaki tahminleri temsil ederken, 1 mükemmel uyumlu modeli ifade etmektedir. AUC aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır (Feng vd., 2020):

$$AUC = \int_0^1 TPR(FPR)dFPR \quad (4)$$

Formülde yer alan TRP gerçek pozitif oranı (TP/(FN+TP)) temsil ederken, FPR ise yanlış pozitif oranı (FP/(TN+FP)) temsil etmektedir. Dolayısıyla, TPR (FPR) terimi gerçek pozitif oranının yanlış pozitif oranının fonksiyonu ile bulunduğunu göstermektedir.

Tablo 2: Sınıflandırma problemlerinde performans değerlendirmesindeki olası senaryolar

Gözlenen Durum	Tahmin Edilen Durum		
	Evet		Hayır
	Evet Hayır	Gerçek Pozitif (TP) Yanlış Pozitif (FP)	Yanlış Negatif (FN) Gerçek Negatif (TN)

Tablo 3: Performans metriklerinin sınır değerleri

Metrik	En Başarısız Durum	En Başarılı Durum	Eşik Değeri
Hassasiyet	0	1	N/A
Duyarlılık	0	1	N/A
F1-skoru	0	1	0.8*
AUROC	0.5	1	0.7*

N/A: Sınıf dengesizliği durumunda kullanılması önerilmemektedir; * Başarılı sonuçları ifade eden eşik değerini temsil etmektedir.

5. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmanın amacı makine öğrenmesi ve farklı yöntemleri kullanılarak İstanbul iline ait sel duyarlılık haritasının elde edilmesidir. Ayrıca, sel fenomeninin doğası gereği birçok yağış olayı meydana geldiğinde aynı bölgede bir kısım yerler sel ile karşılaşırken bir kısım yerlerde ise seller meydana gelmediğinden dolayı sınıf dengesizliği oluşmaktadır (Ekmekcioğlu vd., 2022b). Bu sınıf dengesizliği ise makine öğrenmesi yöntemlerine tanıtılmak suretiyle analizler gerçekleştirilmiştir. Sınıf dengesizliği problemindeki dengesizlik oranının belirlenmesinde ise Ekmekcioğlu vd. (2022) çalışması esas alınmıştır. İlgili çalışmada Alabama Nehri Havzası için yapılan analizlerde gerçeği en doğru şekilde yansıtan dengesizliğinin, sel olaylarının meydana gelme sayısının 50 ile çarpılarak sel meydana gelmeyen noktaların belirlenmesine göre ele alınmasına işaret edilmiştir. Bu doğrultuda, bu çalışma kapsamında da İstanbul ili için elde edilen sel envanterinde yer alan sel gerçekleşen noktaların sayısı 50 ile çarpılarak sel meydana gelmeyen nokta sayısı belirlenmiştir. Bu noktaların belirlenmesi ise ArcGIS 10.3 yazılımı yardımıyla rastgele noktaların oluşturulması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Tüm bu veri seti elde edildikten sonra ise, eğitim ve test setleri olmak üzere iki eşit parçaya ayrılmıştır. Eğitim seti kullanılarak model kalibrasyonu gerçekleştirilmiş ve test setinden yararlanılarak ise modelin performans değerlendirmesi yapılmıştır. Fakat, model tahminlerinde yanlışlığın asgariye indirilmesi adına eğitim setinde meydana gelen sınıf dengesizliği RUS yöntemi kullanılarak çıktı değişkenleri arasında sayısal dengenin oluşturulması suretiyle elimine edilmiştir. Aksi takdirde, makine öğrenmesi modeli sayıca üstün olan sel meydana gelmez sonucuna yakınsama potansiyeli göstermektedir (Koc vd., 2022). Böylelikle tüm eğitimin sel meydana gelmez yaklaşımı ile yapılması ve test setine göre değerlendirmelerde ise modelin hemen hemen tüm örneklerde sel meydana gelmez sonucuna eğilim göstereceği öngörüldüğünden bu ön-işleme adımı sınıf dengesizliği yer alan makine öğrenmesi problemlerinde oldukça önem arz etmektedir.

Modelin eğitim setine göre kalibrasyonunun yapılmasında ise uygulanan üç makine öğrenmesi yöntemi (RF, SGB ve XGBoost) için de deneme yanılma tekniği kullanılmıştır. Bu teknik esnek, pratik ve çoğu zaman içsel parametrelerin düşük hesaplama maliyetlerine imkân sağladığından tercih edilmektedir (Guo vd., 2019). Her bir makine öğrenmesi yöntemine ait içsel parametrelerin elde edilen optimum değerlerine ise Tablo 4'te yer verilmiştir. Bu aşamadan sonra ise ilgili parametreler kullanılarak kurulan modeller bağımsız ve daha önce modele tanıtılmayan test setine tabi tutulmuştur. Böylelikle, daha güvenilir ve adil bir model performans karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

Test setine uygulanan modeller ise birçok farklı performans değerlendirme kriteri baz alınarak kapsamlı bir biçimde incelenmiştir. Bu performans metrikleri literatürde ikili sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılan Hassasiyet, Duyarlılık, F1-skoru ve AUROC olarak belirlenmiştir (Ekmekcioğlu & Koc, 2022). Her ne kadar Hassasiyet ve Duyarlılık özellikle sınıf dengesizliğinin olduğu problemlerde dikkatli yaklaşılması gereken metrikler olsa da (Kamalov, 2020; Kim & Byun, 2022) bu çalışmada literatürde yaygın olarak kullanıldığından dolayı yer verilmiştir.

Tablo 4: Çalışma kapsamında kullanılan yöntemlere ait içsel parametreler ve karşılık gelen optimize edilmiş değerler

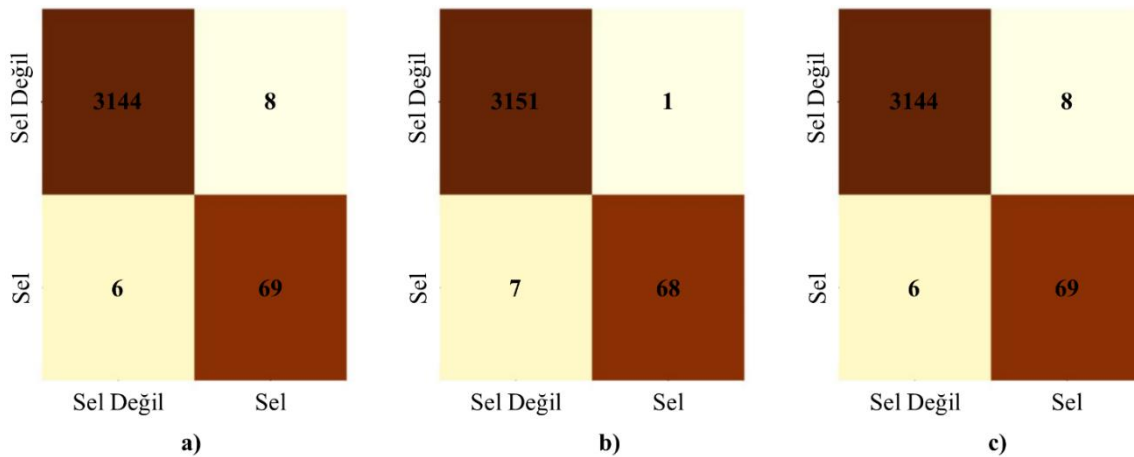
Hiperparametre /Yöntem	Maksimum ağaç derinliği	Ağaç sayısı	Minimum örneklem ayırması	Öğrenme oranı	Minimum yaprak sayısı	Alt örneklem oranı
RF	150	50	5	-	-	-
SGB	50	250	5	0.05	4	0.4
XGBoost	250	50	-	0.1	-	-

Fakat esas performans değerlendirmeleri sınıf dengesizliğinden görece en az etkilendiği literatürde vurgulanan F-1 skoru ve AUROC' a göre gerçekleştirilmiştir. İlgili sonuçlar ise Tablo 5'de sunulmuştur. Tüm sonuçlar incelendiğinde hemen her makine öğrenmesi modelinin yüksek performans gösterdikleri görülmektedir. Bu durum her modelin hem F-1 skoru için hem de AUROC için 0.9'dan yüksek sonuçlar elde edilmesi ile açıklanabilmektedir (Choi vd., 2020). Modellerin ayrı ayrı karşılaştırılmasında ise, en yüksek model performansının XGBoost ile elde edildiği, bu metodu ise sırasıyla SGB ve RF' nin takip ettiği görülmektedir. Zira XGBoost metodu ile F-1 skoru 0.9957 ve AUROC değeri 0.9840 olarak bulunmuştur. Öte yandan, SGB yöntemi ile ise F-1 skoru 0.9975 ve AUROC değeri 0.9803 olarak elde edilmiştir. Bu noktada, SGB ile elde edilen F-1 skoru değerinin XGBoost ile elde edilen değerden yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Fakat aradaki farkın oldukça az olması ve XGBoost için elde edilen AUROC değerinin SGB için elde edilen değerden önemli ölçüde fazla olması genel değerlendirmelerde XGBoost modelini ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca, benzer durum RF modeli için de geçerlidir. RF modeli kullanılarak elde edilen test setine göre sonuçlarda da SGB modeli ile aynı olacak şekilde F-1 skoru 0.9978 olarak elde edilmiştir. Fakat AUROC performans kriterine göre yapılan hesaplamalarda ise RF modeli 0.9742 sonucunu vermiştir. Bu değer de benzer şekilde XGBoost ile elde edilen değerden önemli ölçüde düşük olarak göze çarpmaktadır.

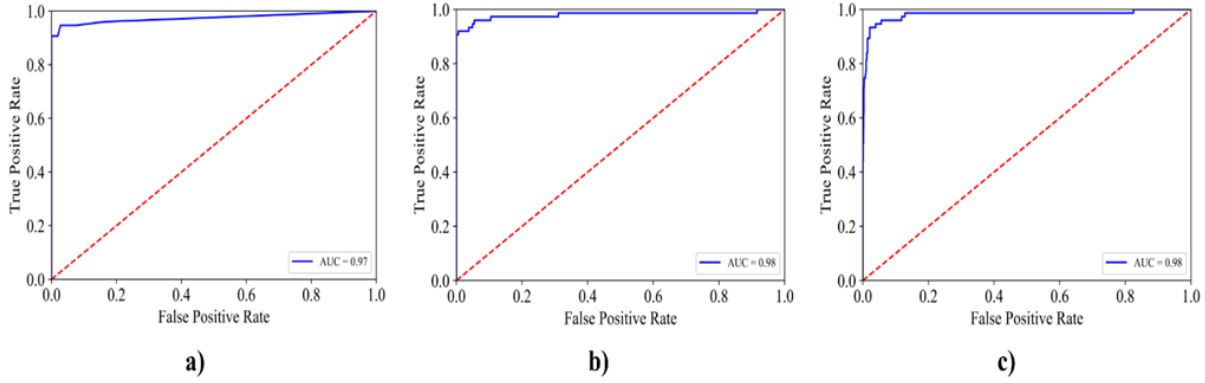
Tablo 5: Test setine göre elde edilen performanslar

Yöntem	Hassasiyet	Duyarlılık	F1-skoru	AUROC
RF	0.9978	0.9978	0.9978	0.9742
SGB	0.9975	0.9975	0.9975	0.9803
XGBoost	0.9957	0.9957	0.9957	0.9840

Performans kıyaslarının daha kapsamlı değerlendirilmesi adına hata matrisleri Şekil 3'de sunulmuştur. Hata matrisleri incelendiğinde ise RF modelinin sel olmayan noktaların tamamını doğru olarak bulduğu (%100), sel olan noktalarda ise %90.67'lik bir başarı sergilediği görülmektedir. Benzer şekilde, SGB modeli ile de sel olmayan noktaların belirlenmesinde %99.97'lik bir başarı sergilenirken, sel olan noktalarda ise %90.67'lik bir tahmin başarısı elde edilmiştir. Fakat, çalışmanın esas amacını kapsayan sel gerçekleşen noktaların belirlenmesinde XGBoost modeli %92.00' lik bir başarı ile diğer iki metoda üstünlük sergilemiştir. Ayrıca, XGBoost modeli sel olmayan yerlerin tahmininde de oldukça yüksek bir performans olan %99.75 başarı etkisi göstermiştir. Tüm bu sonuçlar da değerlendirildiğinde kullanılan üç modelin karşılaştırılmasında XGBoost modeli bir adım öne çıkmaktadır. Bu çalışmada ayrıca, tahmin modellerinin gösterdiği performanslar AUC grafikleri de sunulmuştur (Şekil 4).

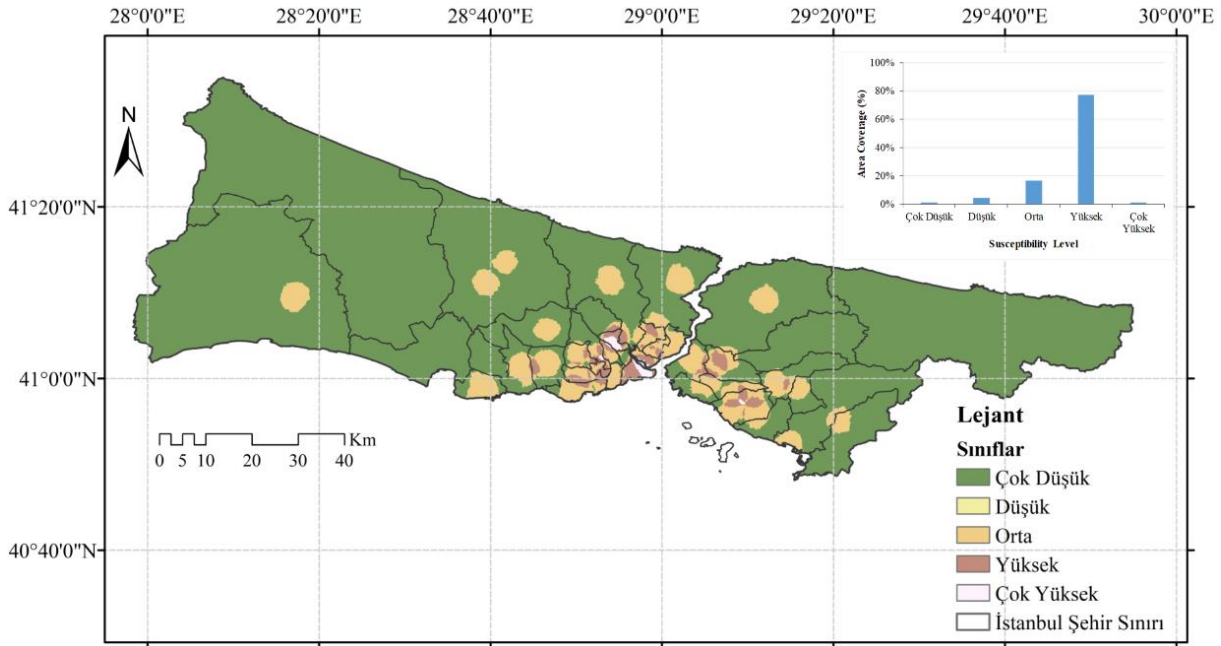


Şekil 3: Hata matrisleri: a) RF, b) SGB, c) XGBoost



Şekil 4: AUC-ROC grafikleri: a) RF, b) SGB, c) XGBoost

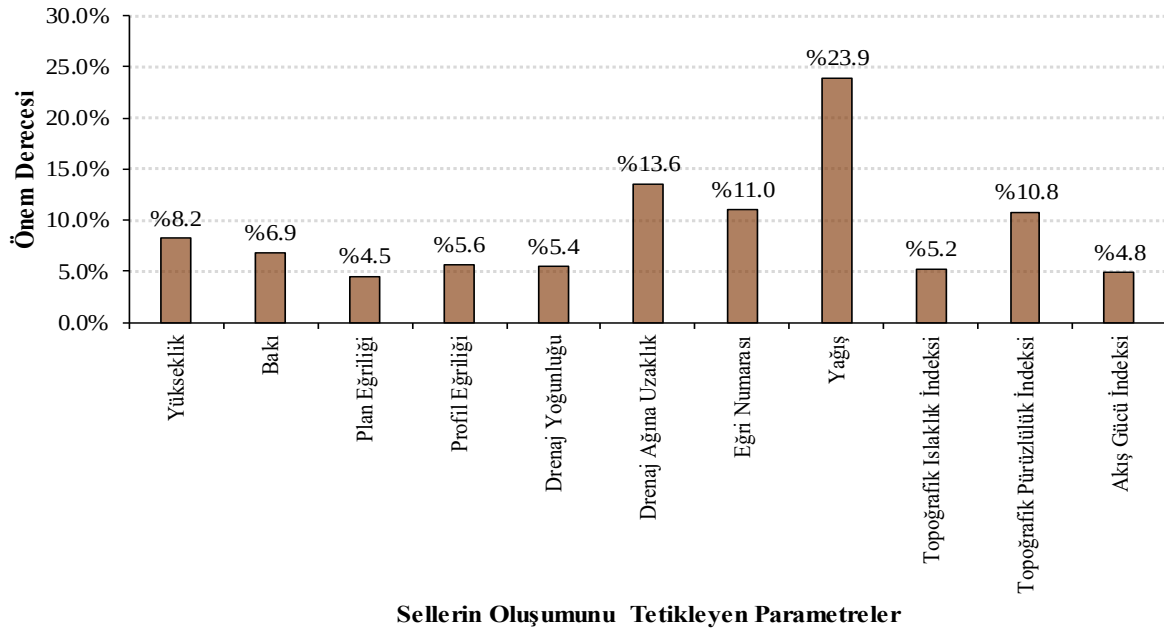
Bu çalışma kapsamında, İstanbul iline ait sel duyarlılık haritasının elde edilmesinde XGBoost yöntemine ait sonuçlar kullanılmıştır. Dolayısıyla, XGBoost metodu ile ulaşılan test seti sonuçlarına göre sel meydana gelen ve sel meydana gelmeyen bölgeler ikili sınıflandırma mantığı gereği sırasıyla 1 ve 0 olarak noktasal bazda (koordinatları ile) elde edilmiştir. Daha sonra ise, literatürde yaygın olarak kullanılan metotlardan biri olan Kriging yöntemi ile 1 ve 0 noktaları interpolate edilmek suretiyle İstanbul sınırları esas alınarak sel duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 5). Elde edilen haritanın farklı sınıflara bölünmesinde ise daha önce birçok çalışmada seli tetikleyen parametrelerin haritalanmasında kullanılan ve farklı veri tiplerine uygunluk, sınıf heterojenliğine daha düşük hassasiyet gösterme, anlaşılması kolay sonuçlar verme gibi avantajları nedeniyle Jenks Natural Break metodundan (Ekmekcioğlu vd., 2022b; Pham vd., 2023) yararlanılmıştır (Şekil 5). Harita incelendiğinde Avrupa yakasının tarihi yarımada kısımlarında sel duyarlılığının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Asya yakasında ise Marmara kıyısına yakın olan Maltepe, Kadıköy ve Ümraniye bölgelerinde sel duyarlılığının diğer bölgelere göre daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 5: İstanbul ili sel duyarlılık haritası

Makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanılmasında literatür tarafından en çok eleştirilen hususlardan biri de bu modellerin kara kutu modeller olarak çalıştığı, yani model yorumlanabilirliğinin oldukça kısıtlı olmasıdır (Zhang vd., 2018). Bu nedenle, bu çalışma kapsamında tahmin sonuçlarını etkileyen faktörlerin önem dereceleri Gini impurity kriteri yardımıyla elde edilerek yüzdelik cinsten sıralanmıştır (Şekil 6). Şekil incelendiğinde sel duyarlılık haritalamasına en fazla etkisi olan değişkenin %23,9 önem derecesi ile yağış parametresinin olduğu görülmektedir. Literatür incelendiğinde yağışın selleri etkilediği ve birçok çalışmada en önemli değişkenlerden biri olduğu yükselti farkının fazla olduğu dağlık bölgelerde yağışın daha fazla olduğu (Norallahi & Seyed Kaboli, 2021; Tien Bui vd., 2019), yağış ile doğru orantılı olarak artış gösteren sel afetinin de yağış miktarına bağlı olarak artmakta olduğu tespit edilmiştir.

Ek olarak, bu çalışma neticesinde elde edilen ikinci önemli değişken ise %13,6 önem derecesi ile drenaj ağına olan uzaklık parametresidir. Drenaj ağına olan uzaklığın az olduğu bölgelerde geçmişten günümüze kadar sel olaylarının etkisinin daha fazla meydana geldiği görülmektedir (Avand vd., 2021; Fiori & Volpi, 2020). Hatta, ekstrem yağış olaylarının neden olduğu sel olaylarında akarsuların kapasitesinin yetmediği durumlarda kesitten taşan suyun civar bölgelerde sellere sebebiyet verdiği de bilinmektedir. Üçüncü olarak ise %11 önem derecesi ile eğri numarası en önemli değişkenlerden biri olarak elde edilmiştir. Eğri numarası bir bölgedeki geçirimsizlik durumunu temsil etmektedir. Eğri numarasının yüksek olduğu bölgeler daha geçirimsiz bölgelere işaret ederken, düşük olduğu bölgeler geçirimsiz alanların görece daha yaygın olduğunu ifade etmektedir (Jaafar vd., 2019). Bu nedenle, ekstrem ve ani yağışlarda özellikle geçirimsizlikten kaynaklanan yağışın doğrudan veya kısa bir sürede akışa geçmesi sel olaylarının sayısında da artışa neden olmaktadır. Diğer değişkenler ile kıyaslandığında plan eğriliği, akış gücü indeksi ve topoğrafik ıslaklık indeksi parametreleri de tahmin performanslarına katkı bakımından en düşük değişkenler arasında bulunduğu görülmektedir. Literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların oldukça tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Halihazırda, yüksek tahmin başarısına sahip olan modelin model performans değerlendirme kriterlerinin yüksek olmasının yanı sıra, sonuçların literatür ile de doğrulandığı ifade edilebilmektedir. Bu sonuçlar ile de yapılan analizlerin doğruluk oranına ilaveten fiziksel olarak da anlamlı bir biçimde açıklanabildiği gösterilmektedir.



Şekil 6: Sellerin oluşumunu tetikleyen faktörlerin önem dereceleri ve karşılık gelen sıralamaları

6. Sonuçlar

Günümüzde küresel ısınma ve iklim değişikliği ile birlikte formasyonlarında da değişimler gerçekleşen sel olayları can kayıpları başta olmak üzere birçok kayıplara neden olmaktadır. Özellikle atmosferik ve meteorolojik faktörlere insan kaynaklı etkiler de eklendiğinde, doğa kaynaklı tehlike olarak ifade edilebilen seller afete dönüşmektedir. Dünyanın her bölgesi olduğu gibi İstanbul da bu afetlerden etkilenmeye devam etmektedir. Sellerin önlenmesi veya etkilerinin azaltılabilmesi için yapılabilecek ilk adım bu olayların gerçekleştiği bölgelerin tespit edilebilmesidir. Bu bağlamda, bu çalışmada İstanbul iline ait geçmişte yaşanan sel olaylarının lokasyonları literatürde yer alan bir çalışmadan elde edilmiş olup, makine öğrenmesi yöntemleri ile sel duyarlılık haritası oluşturulması amaçlanmıştır. Ayrıca, bölgelerin karakteristiklerine göre aynı yağış olayı neticesinde birtakım bölgelerde sel olurken diğer bölgelerde sel olayı meydana gelmeyebilmektedir. Dolayısıyla, bu durumun da hesaba katılabilmesi adına bu çalışmada literatüre de dayandırılmak suretiyle x kadar sel (ikili sınıflandırma terminolojisinde “1”) olmuşsa $50x$ kadar sel gerçekleşmeyen nokta (ikili sınıflandırma terminolojisinde “0”) rastgele olarak belirlenmiştir. Fakat bu işlemin gerçekleştirilmesinden sonra “1” ve “0” sayıları arasında model performanslarını yanı sıra bir hale getirecek sınıf dengesizliği ortaya çıkmıştır. Bunun üstesinden gelmek adına ise literatürde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden rastgele alt ölçekleme algoritması sadece eğitim setine uygulanmıştır. Çalışma kapsamında öne sürülen XGBoost algoritması ayrıca aynı ağaç tabanlı makine öğrenmesi ailesinden gelen RF ve SGB algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, makine öğrenmesi algoritmaları farklı performans metrikleri ile hem “1” hem de “0” olaylarını tahmin etme başarısı bakımından ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Buna göre, uygulanan tüm makine öğrenmesi yöntemleri sel olmayan bölgelerin neredeyse tamamını doğru tahmin etmiştir.

Fakat her ne kadar üç yöntem sel gerçekleşen noktaları da birbirine yakın performans ile belirlese de, çalışmanın ana amacı olan sel noktalarını belirleme hususunda XGBoost algoritması % 92'lik bir başarı ile ön plana çıkmıştır. Farklı performans indikatörlerine göre gerçekleştirilen genel değerlendirmelerde de XGBoost, özellikle sınıf dengesizliğinin olduğu problemlerde karşılaştırmaların yapılmasının en doğru olduğu AUROC metriğine göre 0.9840 değeri ile en iyi sonucu veren algoritma olmuştur.

Bu çalışma ayrıca, makine öğrenmesi algoritmalarının sonuçlarını CBS ortamında inceleyerek sel duyarlılık haritasını da İstanbul için oluşturmuştur. Elde edilen verilerin kısıtlı olması ve bu haritaların kısıtlı miktarının sadece test kısmına ayrılanları ile oluşturulduğu düşünüldüğünde, il sınırları içerisinde sel duyarlılığının olduğu bölgelerde belirli noktalarda yoğunlaşmıştır. Bu bağlamda, Avrupa yakasının tarihi yarımada kısımlarında sel duyarlılığının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Asya yakasında ise Marmara kıyısına yakın olan Maltepe, Kadıköy ve Ümraniye bölgelerinde sel duyarlılığının diğer bölgelere göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Makine öğrenmesi algoritmaları kısıtlı yorumlanabilir özellikleri ile literatür tarafından fiziksel dinamikleri yansıtmamalarından dolayı eleştirilmektedir. Bu çalışmada ayrıca, sel olayını etkileyen faktörlerin önem derecelerinin ortaya koyulması bu nedenle gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre ise, beklendiği gibi yağış faktörü sel duyarlılık haritalamasında en önemli değişken olarak bulunurken, bu faktörü sırasıyla drenaj ağına uzaklık, eğri numarası ve topoğrafik pürüzlülük katsayısı takip etmiştir. Öyle ki, şehrin özellikle kentsel bir karakteristikte olması ve arazi kullanım yapısı ile geçirimsizliği birlikte temsil eden eğri numarası ve topoğrafik pürüzlülük katsayısı faktörlerinin sel gerçekleşen veya gerçekleşmeyen noktalardaki özellikleri oldukça başarılı bir biçimde temsil edilmiştir.

Literatürde yer alan hemen her çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da her ne kadar yenilikçi bir yaklaşım kapsamlı analizler ile adapte edilse de birtakım kısıtlar hem kavramsal hem de metodolojik açıdan mevcuttur. Örneğin, sel olaylarının gerçekleştiği noktalara dair bilginin kısıtlı sayıda olması bu eksikliklerden en önemlisidir. Ayrıca kavramsal açıdan, daha fazla girdi değişkeninin model tahminlerine dahil edilmesi (model karmaşıklığını yönetilebilir seviyede tutmak suretiyle) sonraki çalışmalarda farklı perspektifler ortaya koyacaktır. Bu bağlamda sadece yağış, eğri numarası, topoğrafya ve topoğrafyaya bağlı diğer parametrelere ilaveten sonuçlar üzerinde etkisi olabilecek farklı parametrelerin de sel duyarlılık haritalaması işlemlerine dahil edilmesi faydalı olacaktır. Öte yandan, sel olaylarının sadece duyarlılık veya meydana gelebilirlik boyutlarından değil, aynı zamanda maruziyet seviyelerinin de ortaya koyularak risk boyutunda incelenmesi ilerleyen çalışmalar için önemli gelişmeler kaydedilmesini sağlayabilecektir. Böylelikle, ani sel olaylarının sonuçlarının sosyal ve ekonomik boyutlardan da incelenmesine ve alınabilecek tedbirlerin bu çıktılarına göre belirlenebilmesi de sağlanabilecektir. Metodolojik açıdan değerlendirildiğinde ise yine bu çalışma birtakım sınırlamalara sahiptir. Öyle ki, çalışma kapsamında sadece rastgele alt örnekleme sınıf dengesizliği ile baş etme adına uygulanmıştır. İleride gerçekleştirilecek çalışmalarda ise, farklı sınıf dengesizliği etkisini minimize etmek adına başka örnekleme teknikleri de adapte edilebilecektir. Bu noktada, sadece bu tekniklerin performanslara etkisinin değerlendirilmesi dahi önemli bir araştırma konusudur. Öte yandan, çalışma kapsamında sadece ağaç tabanlı makine öğrenmesi algoritmalarından yararlanılmıştır. Kapsamlı bir analizde bu yöntemlere ilaveten başka makine öğrenmesi ailelerinden de algoritmaların (olasılık tabanlı, uzaklık tabanlı, sinir ağları tabanlı vb.) entegre edilmesi oldukça önemli bulgular elde edilmesini potansiyeline sahiptir. Farklı makine öğrenmesi tekniklerine ilaveten, bünyesinde birçok içsel parametre barındıran bu tekniklerin güncel koşulları daha iyi modellenmesine olanak sağlayabilecek optimizasyon tekniklerinin de ani sel haritalamalarına katkı sağlayabileceğine inanılmaktadır. Ek olarak, değişken sayılarının hassasiyet analizleri ile düşürülerek daha az girdi değişkeni ile etkin sonuçlar alınıp alınamayacağının araştırılması da incelenilecek önemli hususlardandır. Gelecek çalışmalarda ayrıca, sel olaylarının verisel bazda sayılarının artırılması ile etkin rol oynayabilecek derin öğrenme algoritmalarının uygulamada performans değerlendirmesine tabi tutulması da ilgili literatüre ışık tutucu olacaktır. Sonuçların yorumlanabilirliği adına her ne kadar önemli bir adım atılsa da değişken önemlerini daha detaylı sunan ve değişkenlerin kendi değerlerinde meydana gelen değişimlerin sel olaylarında ne gibi varyasyonlara neden olduğunu daha derinden incelemek için SHAP algoritması gibi adapte edilen makine öğrenmesi algoritmasından bağımsız çalışan ve gelişmiş yöntemlerin uygulanması da önemlidir. Fakat, çalışmanın ifade edilen tüm bu kısıtlarına rağmen, bu çalışmanın özellikle karar vericilere ve politika yapıcılara İstanbul ili özelinde sel tehlikesinin etkilerinin azaltılabilmesi adına ilk olarak odaklanılması gereken bölgeleri sunması adına yol gösterici nitelikte olduğuna inanılmaktadır. Ayrıca, sel olaylara dair kayıtların titizlikle tutularak koordinat bazında tüm bu verilerin envanterlere dahil edilmesi bu ve benzeri çalışmaların doğruluk oranının artırılmasına ve daha etkin sel duyarlılık, tehlike, hasar görülebilirlik ve risk yönetimine katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Abedi, R., Costache, R., Shafizadeh-Moghadam, H., & Pham, Q. B. (2021). Flash-flood susceptibility mapping based on XGBoost, random forest and boosted regression trees. *Geocarto International*, 37(19), 5479–5496. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1920636>
- Anılan, T., Durmuş, H., Akçalı, E., & Yüksek, M. (2021). Taşkın farkındalık ve erken uyarı sistemleri değerlendirmesi: Trabzon Beşikdüzü örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 110–123. <https://doi.org/10.21324/dacd.722798>
- Avand, M., Khiavi, A. N., Khazaei, M., & Tiefenbacher, J. P. (2021). Determination of flood probability and prioritization of sub-watersheds: A comparison of game theory to machine learning. *Journal of Environmental Management*, 295, Article 113040. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113040>

- Aydin, H. E., & Iban, M. C. (2022). Predicting and analyzing flood susceptibility using boosting-based ensemble machine learning algorithms with SHapley Additive exPlanations. *Natural Hazards*, 116(3), 2957–2991. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05793-y>
- Başakın, E. E., Ekmekcioğlu, M., Çıtakoğlu, H., & Özger, M. (2021). A new insight to the wind speed forecasting: robust multi-stage ensemble soft computing approach based on pre-processing uncertainty assessment. *Neural Computing and Applications*, 34(1), 783–812. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06424-6>
- Bentéjac, C., Csörgő, A., & Martínez-Muñoz, G. (2020). A comparative analysis of gradient boosting algorithms. *Artificial Intelligence Review*, 54(3), 1937–1967. <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09896-5>
- Bhattacharya, S., S. S. R. K., Maddikunta, P. K. R., Kaluri, R., Singh, S., Gadekallu, T. R., Alazab, M., & Tariq, U. (2020). A Novel PCA-Firefly Based XGBoost Classification Model for Intrusion Detection in Networks Using GPU. *Electronics*, 9(2), Article 219. <https://doi.org/10.3390/electronics9020219>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5–32.
- Chakraborty, R., Chandra Pal, S., Rezaie, F., Arabameri, A., Lee, S., Roy, P., Saha, A., Chowdhuri, I., & Moayedi, H. (2021). Flash-flood hazard susceptibility mapping in Kangsabati River Basin, India. *Geocarto International*, 37(23), 6713–6735. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1953618>
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: a scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Choi, J., Gu, B., Chin, S., & Lee, J. S. (2020). Machine learning predictive model based on national data for fatal accidents of construction workers. *Automation in Construction*, 110, Article 102974. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102974>
- Costache, R., Pham, Q. B., Avand, M., Thuy Linh, N. T., Vojtek, M., Vojteková, J., Lee, S., Khoi, D. N., Thao Nhi, P. T., & Dung, T. D. (2020). Novel hybrid models between bivariate statistics, artificial neural networks and boosting algorithms for flood susceptibility assessment. *Journal of Environmental Management*, 265, Article 110485. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110485>
- Demir, V., & Ülke Keskin, A. (2022a). Taşkınların ekonomik zararlarının değerlendirilmesi (Samsun-Mert Irmağı havzası). *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(2), 663–678. <https://doi.org/10.29137/umagd.1090447>
- Demir, V., & Ülke Keskin, A. (2022b). Taşkın tehlike haritalarının oluşturulması (Samsun, Mert Irmağı örneği). *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(1), 47–54. <https://doi.org/10.56130/tucbis.1120501>
- Demir, V., & Ülke Keskin, A. (2022c). Yeterince akım ölçümü olmayan nehirlerde taşkın debisinin hesaplanması ve taşkın modellemesi (Samsun, Mert Irmağı örneği). *Geomatik*, 7(2), 149–162. <https://doi.org/10.29128/geomatik.918502>
- Deroliya, P., Ghosh, M., Mohanty, M. P., Ghosh, S., Rao, K. D., & Karmakar, S. (2022). A novel flood risk mapping approach with machine learning considering geomorphic and socio-economic vulnerability dimensions. *Science of the Total Environment*, 851, Article 158002. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158002>
- Devi, K. K., & Kumar, G. A. S. (2022). Stochastic gradient boosting model for twitter spam detection. *Computer Systems Science and Engineering*, 41 (2), 849–859. <https://doi.org/10.32604/csse.2022.020836>
- Ekmekcioğlu, M., Başakın, E. E., & Özger, M. (2020). Tree-based nonlinear ensemble technique to predict energy dissipation in stepped spillways. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 26(8), 3547–3565. <https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1805024>
- Ekmekcioğlu, M., & Koc, K. (2022a). Explainable step-wise binary classification for the susceptibility assessment of geo-hydrological hazards. *Catena*, 216, Article 106379. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106379>
- Ekmekcioğlu, M., Koc, K., & Özger, M. (2022b). Towards flood risk mapping based on multi-tiered decision making in a densely urbanized metropolitan city of Istanbul. *Sustainable Cities and Society*, 80, Article 103759. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103759>
- Ekmekcioğlu, M., Koc, K., Özger, M., & Işık, Z. (2022c). Exploring the additional value of class imbalance distributions on interpretable flash flood susceptibility prediction in the Black Warrior River basin, Alabama, United States. *Journal of Hydrology*, 610, Article 127877. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127877>
- ESRI. (2016, Haziran 30). *What's new in ArcGIS 10.3.1 for Desktop*. 30 Haziran 2016'da <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/get-started/whats-new-in-arcgis-1031.htm> adresinden alındı.
- Feng, Y., Wang, D., Yin, Y., Li, Z., & Hu, Z. (2020). An XGBoost-based casualty prediction method for terrorist attacks. *Complex & Intelligent Systems*, 6(3), 721–740. <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00173-0>
- Fiori, A., & Volpi, E. (2020). On the Effectiveness of LID Infrastructures for the attenuation of urban flooding at the catchment scale. *Water Resources Research*, 56(5), Article e2020WR027121. <https://doi.org/10.1029/2020wr027121>
- Friedman, J. H. (2002). Stochastic gradient boosting. *Computational Statistics & Data Analysis*, 38(4), 367–378. [https://doi.org/10.1016/s0167-9473\(01\)00065-2](https://doi.org/10.1016/s0167-9473(01)00065-2)
- Thippa Reddy G., Swarna Priya R.M., Parimala M., Chowdhary, C. L., M., P. K. R., Hakak, S., & Khan, W. Z. (2020). A deep neural networks based model for uninterrupted marine environment monitoring. *Computer Communications*, 157, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.04.004>
- Ghosh, A., Dey, P., & Ghosh, T. (2022). Integration of RS-GIS with Frequency Ratio, Fuzzy Logic, Logistic Regression and Decision Tree Models for Flood Susceptibility Prediction in Lower Gangetic Plain: A Study on Malda District of West Bengal, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50(9), 1725–1745. <https://doi.org/10.1007/s12524-022-01560-5>
- Guo, F., Zhou, X., Liu, J., Zhang, Y., Li, D., & Zhou, H. (2019). A reinforcement learning decision model for online process parameters optimization from offline data in injection molding. *Applied Soft Computing*, 85, Article 105828. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105828>
- Güvel, Ş. P., Akgül, M. A., & Akkoyunlu, M. F. (2023). Taşkın Riski Değerlendirmesi Kapsamında Landsat-8 Uydu Verileri ile 2015 Yılı Devrek Zonguldak Heyelanının İzlenmesi ve Değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(1), 81–89. <https://doi.org/10.21324/dacd.1152670>
- Haltas, I., Yildirim, E., Oztas, F., & Demir, I. (2021). A comprehensive flood event specification and inventory: 1930–2020 Turkey case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56, Article 102086. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102086>

- Hitouri, S., Varasano, A., Mohajane, M., Ijlil, S., Essahlaoui, N., Ali, S. A., Essahlaoui, A., Pham, Q. B., Waleed, M., Palateerdham, S. K., & Teodoro, A. C. (2022). Hybrid machine learning approach for gully erosion mapping susceptibility at a watershed scale. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(7), Article 401. <https://doi.org/10.3390/ijgi11070401>
- Izonin, I., Tkachenko, R., Shakhovska, N., Ilchyshyn, B., & Singh, K. K. (2022). A two-step data normalization approach for improving classification accuracy in the medical diagnosis domain. *Mathematics*, 10(11), Article 1942. <https://doi.org/10.3390/math10111942>
- Jaafar, H. H., Ahmad, F. A., & El Beyrouthy, N. (2019). GCN250, new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design. *Scientific Data*, 6(1), Article 145. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0155-x>
- Kamalov, F. (2020). Kernel density estimation based sampling for imbalanced class distribution. *Information Sciences*, 512, 1192–1201. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.10.017>
- Kang, K., & Ryu, H. (2019). Predicting types of occupational accidents at construction sites in Korea using random forest model. *Safety Science*, 120, 226–236. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.06.034>
- Kim, D., & Byun, J. (2022). Selection of augmented data for overcoming the imbalance problem in facies classification. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19, 1–5. <https://doi.org/10.1109/lgrs.2021.3103997>
- Koc, K., Ekmekcioğlu, M., & Gurgun, A. P. (2021). Integrating feature engineering, genetic algorithm and tree-based machine learning methods to predict the post-accident disability status of construction workers. *Automation in Construction*, 131, Article 103896. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103896>
- Koc, K., Ekmekcioğlu, M., & Gurgun, A. P. (2022). Prediction of construction accident outcomes based on an imbalanced dataset through integrated resampling techniques and machine learning methods. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(9), 4486–4517. <https://doi.org/10.1108/ecam-04-2022-0305>
- Kumar, S., Gupta, S., & Arora, S. (2022). A comparative simulation of normalization methods for machine learning-based intrusion detection systems using KDD Cup'99 dataset. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 42(3), 1749–1766. <https://doi.org/10.3233/jifs-211191>
- Liang, X., Jiang, A., Li, T., Xue, Y., & Wang, G. (2020). LR-SMOTE — An improved unbalanced data set oversampling based on K-means and SVM. *Knowledge-Based Systems*, 196, Article 105845. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.105845>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2023, Ocak 2023). Resmi İstatistikler. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. 23 Ocak 2023'de <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H> adresinden alındı.
- Moisen, G. G., Freeman, E. A., Blackard, J. A., Frescino, T. S., Zimmermann, N. E., & Edwards, T. C. (2006). Predicting tree species presence and basal area in Utah: A comparison of stochastic gradient boosting, generalized additive models, and tree-based methods. *Ecological Modelling*, 199(2), 176–187. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.021>
- Nefeslioglu, H. A., Sezer, E., Gokceoglu, C., Bozkir, A. S., & Duman, T. Y. (2010). Assessment of landslide susceptibility by decision trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010, Article 901095. <https://doi.org/10.1155/2010/901095>
- Norallahi, M., & Seyed Kaboli, H. (2021). Urban flood hazard mapping using machine learning models: GARP, RF, MaxEnt and NB. *Natural Hazards*, 106(1), 119–137. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04453-3>
- Özcan, O. (2017). Taşkın tespitinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi: Ayamama deresi örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(1), 9–27. <https://doi.org/10.21324/dacd.267200>
- Pham, Q. B., Ekmekcioğlu, M., Ali, S. A., Koc, K., & Parvin, F. (2023). Examining the role of class imbalance handling strategies in predicting earthquake-induced landslide-prone regions. *Applied Soft Computing*, 143, Article 110429. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110429>
- Provost, F. (2000). *Machine learning from imbalanced data sets 101* [Invited paper]. AAAI'2000 Workshop on Imbalanced Data Sets, Menlo Park, CA.
- Sarker, I. H., Alqahtani, H., Alsolami, F., Khan, A. I., Abushark, Y. B., & Siddiqui, M. K. (2020). Context pre-modeling: an empirical analysis for classification based user-centric context-aware predictive modeling. *Journal of Big Data*, 7(1), Article 51. <https://doi.org/10.1186/s40537-020-00328-3>
- Şen, Z. (2009). *İklim değişikliği içerikli taşkın afet ve modern hesaplama yöntemleri*. Su Vakfı Yayınları.
- Tehrany, M. S., Lee, M. J., Pradhan, B., Jebur, M. N., & Lee, S. (2014). Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. *Environmental Earth Sciences*, 72(10), 4001–4015. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3289-3>
- Tien Bui, D., Hoang, N. D., Pham, T. D., Ngo, P. T. T., Hoa, P. V., Minh, N. Q., Tran, X. T., & Samui, P. (2019). A new intelligence approach based on GIS-based multivariate adaptive regression splines and metaheuristic optimization for predicting flash flood susceptible areas at high-frequency tropical typhoon area. *Journal of Hydrology*, 575, 314–326. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.046>
- Tona, A. U., Demir, V., Kuşak, L., & Yakar, M. (2022). Su kaynakları mühendisliğinde CBS'nin kullanımı. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(1), 23–33. <https://doi.org/10.56130/tucbis.993807>
- Towfiqul Islam, A. R. M., Talukdar, S., Mahato, S., Kundu, S., Eibek, K. U., Pham, Q. B., Kuriqi, A., & Linh, N. T. T. (2021). Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models. *Geoscience Frontiers*, 12(3), Article 101075. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.006>
- Yu, R., & Abdel-Aty, M. (2014). Analyzing crash injury severity for a mountainous freeway incorporating real-time traffic and weather data. *Safety Science*, 63, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.10.012>
- Zhang, Z., Beck, M. W., Winkler, D. A., Huang, B., Sibanda, W., & Goyal, H. (2018). Opening the black box of neural networks: methods for interpreting neural network models in clinical applications. *Annals of Translational Medicine*, 6(11), 216–216. <https://doi.org/10.21037/atm.2018.05.32>

Devegeçidi Baraj Gölü Meteorolojik-Hidrolojik-Tarımsal Kuraklık Analizi

Nermin Şarlak^{1,*}, Abdullah Muratoğlu², Şahnaz Tığrek³

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya.

²Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 72000, Batman.

³İskenderun Teknik Üniversitesi, Barbaros Hayrettin Denizcilik ve Gemi Müh. Fak., Gemi İnşaatı ve Gemi Mühendisliği Bölümü, 31200, İskenderun, Hatay.

Özet

Devegeçidi barajı, Diyarbakır bölgesinde 1972 yılında ilk olarak 5800 ha araziye sulama amacıyla işletmeye açılmıştır. Baraj gölü, uzun yıllar boyunca göçmen kuşlar ve diğer bazı canlı ekosistemlerin beslenme ve üretim yeri olmuştur. Ancak baraj gölünde zaman zaman su hacminde sulama suyu ihtiyacını karşılayamayacak oranda düşüşler yaşanmış ve Dicle nehri üzerindeki diğer barajlardan su takviyesi yapılmak zorunda kalınmıştır. Bu çalışmada, Devegeçidi baraj gölündeki su seviyesinin düşme nedenleri meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kullanım açısından incelenmiştir. Bunun için barajı besleyen su kaynakları ve sulama alanının özellikleri dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında Devegeçidi barajının aylık işletim verileri istatistiksel metotlarla analiz edilmiştir. 2008-2021 yılları arasındaki aylık ortalama rezervuar hacmi, aylık toplam gelen su miktarı ve aylık toplam su sarfiyatı verileri önce Mann-Kendall trend analizi metodu ve sonrasında Bölgesel Ağırlıklı Dağılım Düzleştirme algoritması ile analiz edilmiştir. Hidrolojik kuraklık probleminin yağış verileri ile ilişkisinin ortaya çıkarılması için Standart Yağış İndisi (SPI), Palmer (PDSI) ve kendinden kalibreli Palmer (sc-PDSI) Kuraklık İndisleri uygulanmıştır. Tarımsal ürünlerin ekim alanları ve verim miktarları ise yerel TÜİK verileri ve GIS tabanlı CORINE arazi örtüsü haritaları kullanılarak incelenmiştir. Böylece baraj gölünde yaşanan kuraklık ve su sıkıntısı problemlerinin arka planındaki meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal sebepler ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler

Doğal Afetler, Kuraklık, Diyarbakır, Devegeçidi, Baraj

Meteorological-Hydrological-Agricultural Drought Analysis of Devegeçidi Reservoir

Abstract

The Devegeçidi Dam was first opened in 1972 to irrigate 5800 hectares of land in the Diyarbakır region. The reservoir has been a feeding and breeding ground for migratory birds and some other living ecosystems for many years. However, from time to time, the water volume in the reservoir decreased to a level that could not meet the irrigation water demand and water had to be supplemented from other dams on the Tigris River. In this study, the reasons for the decrease of the water level in the Devegeçidi reservoir were analyzed in terms of meteorological, hydrological and agricultural use. For this purpose, the water resources feeding the dam and the characteristics of the irrigation area were taken into consideration. Within the framework of the study, the monthly operating data of the Devegeçidi Dam were analyzed using statistical methods. The monthly average reservoir volume, monthly total water inflow and monthly total water consumption data for the years 2008-2021 were first analyzed by Mann-Kendall trend analysis method and then by Locally Weighted Scatterplot Smoothing algorithm. Standard Precipitation Index (SPI), Palmer (PDSI) and self-calibrated Palmer (sc-PDSI) drought indices were applied to reveal the relationship between hydrological drought problem and precipitation data. Areas and yields of agricultural crops were analyzed using local TurkStat data and GIS-based CORINE land cover maps. Thus, the meteorological, hydrological and agricultural causes of the drought and water shortage problems in the reservoir were revealed.

Keywords

Natural Disasters, Drought, Diyarbakır, Devegeçidi, Reservoir

1. Giriş

Doğal veya yapay göllerdeki su seviyesinin azalması veya tamamen kuruması dünyada tarih boyunca gözlemlenen bir durumdur (Alborzi vd., 2018). Göllerdeki seviye değişiminin ardında; göl havzasında yerleşim yerlerinin artması, gölü besleyen su kaynaklarının başka amaçlar için kullanılması, yağışın azalması, aşırı su kullanımı gibi sebepler bulunmaktadır. Barajların planlaması esnasında yağış verileri, su ihtiyacı (içme suyu, sanayi suyu ve tarımsal sulama) ve nüfus parametreleri 30 yıldan az olmamak kaydıyla dikkate alınarak hazne hacmine karar verilir. Barajlarda fayda-zarar analizi ise barajın ekonomik ömrünün 50 ile 75 yıl arasında değiştiği kabul edilerek yapılır. Ancak barajlar gerekli bakım onarım yapıldığı takdirde çok daha uzun yıllar kullanılabilirler (Tığrek & Aras, 2011).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (332) 2051660 Faks: +90 (332) 2410635

Gönderim Tarihi / Received : 10/04/2023

E-posta: nsarlak@ktun.edu.tr (Şarlak N), abdullah.muratoğlu@batman.edu.tr (Muratoğlu A), sahnaz.tigrek@iste.edu.tr (Tığrek Ş)

Kabul Tarihi / Accepted : 27/11/2023

Havzadaki doğal ve/veya insan kaynaklı değişimler sonucunda baraj gölünde su hacminin azalması veya talebin planlanan ötesinde artması sebepleriyle depolanan suyun yetmemesi gibi sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Öte yandan güvenli ve yeterli su arzının cazibe merkezi oluşturması planlama çalışmalarının öngördüğünden daha fazla nüfus hareketliliğinin gerçekleşmesi sonucunda talebi artırabilmektedir (Di Baldassera vd., 2018). Bu artış içme ve kullanma suyunda yerleşim yerindeki nüfusun ve ticaret-sanayi gibi diğer aktivitelerin artması sebebiyle olurken, sulama suyuna duyulan ihtiyacın artması hem nüfus hareketliliği hem de sulanan alanların zamanla artması veya bitki desenindeki değişimlerden dolayı olabilmektedir. Ancak zaman zaman sanayi bölgelerine doğru olan göçler sebebiyle kırsal bölgelerin ıssızlaşması ve sulama sistemlerinin sahipsiz kaldığı durumlar da vardır (Swendsen & Nott, 1999).

Ülkemizde Cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren su kaynaklarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmış ve tarım ürünlerinin çeşitlendirilmesi, verimliliğin ve tarıma dayalı sanayinin artırılması sebepleriyle küçük, orta ve büyük ölçekli sulama projelerine önem verilmiş ve bunlar geliştirilmiştir (Tigrek & Kibaroglu, 2011). Sulama projeleri kırsalda gelir düzeyinin artmasını sağlarken ülke ekonomisine de katkıda bulunurlar. Gıda güvenliğinin sağlanmasının yanında endüstriyel ürünler sanayiye de desteklemektedir. Ancak büyük yatırımların gerektirdiği bu sistemlerin uzun yıllar kullanılabilmesinin koşullarını sağlayabilmek hem öngörülen hedeflerden sapmamayı hem beklentileri boşa çıkarmamayı hem de paranın israf edilmemesini sağlayacaktır. Sulama projeleri statik kabul edebileceğimiz depolama tesisi, kanallar, su alma yapıları gibi yapı elemanlarının yanında ana girdisi çok farklı değişkene bağlı olan su olması sebebiyle dinamik sistemlerdir. Bir sulama sisteminde bulunan baraj ve barajların yeterli suyu toplayamamasının sebepleri planlama veya işletme kaynaklı olabileceği gibi iklimsel değişimlerden dolayı da olabilmektedir. Sıcaklık, yağış ve evapotranspirasyon gibi sulama açısından önemli parametreler zaman içinde değişmekte ve bunların su kaynaklarını olumsuz yönde etkileyeceği bilinmektedir (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023). Her ne kadar iklim değişikliğinin tarım, su, toprak kaynakları ve gıda pazarları gibi sistemler üzerindeki etkileri karmaşık olsa bile gıda ve su güvenliği ile iklim değişikliği arasındaki yakın bir ilişki olduğu bilinen bir gerçektir (Türkeş, 2020). Sulu tarım gerek ülkemizde gerekse dünyada gıda kaynaklarının üretilmesinde önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple sürdürülebilir sulamanın (Velasco-Munoz vd., 2019) yolları ve metotları tartışılırken su kaynağının ve yapıların sürdürülebilirliği (Tigrek vd., 2009) ana etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan çok amaçlı yapılan ve enerji üreten barajlarda da su kullanımının her yıl yağış tahminlerine göre planlanması gerekmektedir (Yalçın & Tigrek, 2019).

Bu çalışma kapsamında, bir sulama barajı olan Devegeçidi baraj gölünde yaşanan kuraklık ve su problemlerinin arka planındaki meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal sebepler analiz edilmiştir. Sulama amacıyla yapılan bir baraj olan Devegeçidi Barajı son yıllarda zaman zaman sulama mevsimi başında yeterli suyu rezerv etmemesi sebebiyle gündeme gelmiş ve baraj gölünün kurumaması ve faaliyetlerine kısmen de olsa devam etmesi amacı ile Dicle nehir sistemi üzerindeki diğer sulama sistemlerinden su aktarımı gibi tedbirler hayata geçirilmiştir. En son DSİ yetkililerinin basına yaptıkları açıklamalarda 2022 yılında ve geçmiş yıllarda yaşanan yağış azlığı sebebiyle gerçekleşen kuraklıktan ötürü Devegeçidi Barajı'nda tarımsal sulama ihtiyacını karşılayacak kadar su depolanmadığını ve bu sebeple Devegeçidi Barajı sulaması için ihtiyaç olan suyun, Dicle Barajı'ndan takviye amacı ile pompaj yöntemiyle aktarıldığını belirtmişlerdir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2022).

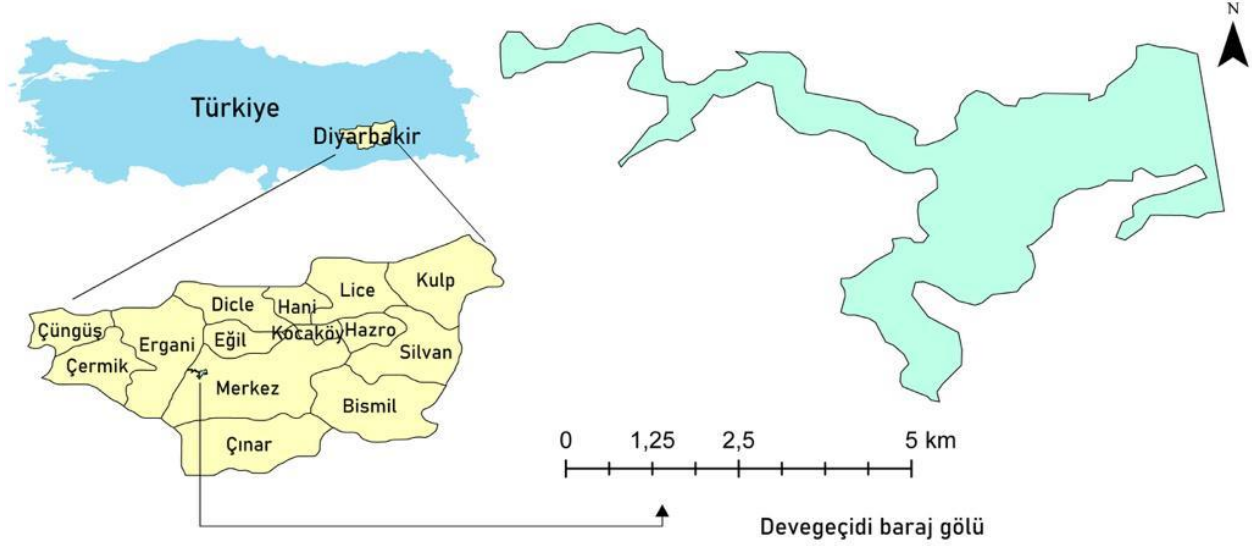
Devegeçidi barajı ile ilgili literatürde su kalitesi, balık üretimi ve sulama sistemlerini kapsayan çalışmalar (Güzel, 2005; Demir, 2008; Kaya, 2010) olmakla beraber iklim parametreleri ve bunların baraj su seviyeleri üzerindeki etkileri daha kısıtlı bir şekilde incelenmiştir (Tigrek vd., 2022). Kuraklık analizleri bazen dar bölge bazen de geniş ölçekli olarak hem ülkemizde hem de dünyada yaygın olarak çalışılmaktadır (Sırdaş & Şen, 2003; Türkeş, 2012; Turan, 2018). Öte yandan doğal göllerdeki su çekilmesi problemleri de çalışılmaktadır (Aktaş vd., 2018). Baraj göllerindeki su noksanlığı konusunda çalışmalar ise (Aktürk & Yıldız, 2018; Özalkan & Karaman, 2018; Özgün vd., 2020; Özdemir, 2021) sınırlı kalmıştır. Ancak kuraklığın gerek sulama suyu gerekse içme ve kullanma suyuna etkileri üzerinde havza bazında yapılmış çalışmalar son yıllarda artmaktadır (Yıldırım, 2002; Akçay vd., 2007; Özfidaner vd., 2018; Özfidaner & Gönen, 2021; Koç vd., 2009; Önoç & Oğuz, 1996).

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Materyal

Devegeçidi barajı, Dicle havzasına bağlı Devegeçidi akarsuyu tali havzası içerisinde yer alıp, Diyarbakır ili merkez sınırları içerisinde (Şekil 1, Şekil 2). Baraj sulama amaçlı olarak kaya topuklu toprak dolgu tipinde inşa edilmiş ve 1972 yılında işletmeye açılmıştır. Barajın aktif hacmi 211,80 hm³, maksimum işletme kodu 757 m ve minimum işletme kodu 739,50 m'dir. Baraj 12.080 ha alanın sulanması planlanarak tasarlanmıştır (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2012) halen 10.600 hektarlık alanda sulama sistemleri işletmededir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2019; GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, 2022). Sulama sistemi beton ana kanal ve kanaletlerden oluşmaktadır. Demir (2008), Devegeçidi sulama sistemini incelediği çalışmada ana kanal galeri, tünel ve açık kanal olarak toplamda 47.153 metre, yedek kanallar 12.890 m ve tersiyer kanalların uzunluğu 125.890 metre olduğunu rapor etmiştir (Demir, 2008). Baraj kıyısında sazlık ve kamışlar bulunmakta ve baraj yapımı sırasında açılan taş ocaklarının oluşturduğu oyuklarda su birikmesi sebebiyle oluşmuş küçük gölcüklerde de sazlık ve kamışların yetişmesi sebebiyle oluşan yapay sulak alanlarında su kuşları ve bazı diğer canlılar yaşamaktadır (Kılıç, 2013).

Bu çalışmada Devlet Su İşleri (DSİ) Diyarbakır şubesinden temin edilen 2008-2021 baraj aylık işletim tablo verileri ve Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Diyarbakır ve Ergani meteoroloji gözlem istasyonlarına ait 1965-2021 aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Aylık işletme tablosunda, baraja gelen su hacmi depolama hacminden toplam su sarfiyat hacimleri (sulama ve taşkın sebebiyle rezervuardan bırakılan ve buharlaşma ile kayıp olan su) çıkarılarak hesaplanmaktadır. DSİ'nin yaptığı bu hesaplama şekli ile işletme tablosunda yaz aylarında negatif su hacimleri mevcuttur. Çalışmamızda negatif değerler sıfır olarak alınmıştır.



Şekil 1: Devegeçidi barajı ve konumu



Hidrolojik kuraklık probleminin yağış verileri ile ilişkisinin ortaya çıkarılması için Standart Yağış İndisi (SPI), Palmer Kuraklık İndisi (PDSI) ve kendinden kalibreli Palmer Kuraklık İndisi (sc-PDSI) uygulanmıştır. Tarımsal ürünlerin ekim alanları ve verim miktarları ise yerel Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri ve Coğrafi bilgi sistemi (GIS) tabanlı Çevresel bilginin koordinasyonu (European Environmental Agency, 2020) arazi örtüsü haritaları kullanılarak incelenmiştir. CORINE, geniş bir alanda Avrupa ve yakın bölgelerdeki arazi örtüsü ve arazi kullanım envanteri sunmaktadır. Ürün, her altı yılda bir güncellenen yeni durum ve değişim katmanlarıyla çevresel izleme, arazi kullanım planlaması, iklim değişikliği değerlendirmeleri ve acil durum yönetimi dahil olmak üzere birçok kullanıcıya hizmet vermektedir (European Environmental Agency, 2020).

Mann-Kendall Test: Mann-Kendall parametrik olmayan bir test olup verilerin ait olduğu dağılımlardan etkilenmemesi sebebiyle çarpık dağılımlara da uygulanabildiğinden dolayı sıklıkla tercih edilmektedir (Kendall, 1975). Test, veri değerlerinin kendilerinden ziyade verilerin nispi büyüklüklerini kıyaslar. Bulunan eğilimi istatistiksel olarak belirlemek için z ve p istatistik değerleri hesaplanmaktadır. İstatistik bir değer olan z için gerekli olan S değeri başlangıçta sıfır kabul edilir (eğilim yok). Göz önüne alınan veri değeri bir sonraki veri değerinden küçük ise S bir artırılır, değilse bir azaltılır. Tüm bu artış ve azalışların toplamı net S değerini verir. S değerinin pozitif değer alması artış yönünde eğilimi, negatif değer alması ise azalış yönünde eğilimi gösterir. Diğer istatistik değer olan p ise z test istatistiği ile ilişkilendirilmiş olasılık değeridir ki normal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu ile belirlenir. Eğer z negatif ve olasılık önem seviyesinden (genellikle %95) büyükse azalış yönünde eğilim mevcuttur. Eğer z pozitif ve olasılık önem seviyesinden büyükse artış yönünde eğilim olduğu kabul edilir. z değeri, olasılık önem seviyesinden küçükse istatistiksel olarak anlamlı bir eğilimden bahsedilmez (U.S. Army Corps of Engineers, 2004).

Bölgesel Ağırlıklı Dağılım Düzleştirme (LOWESS) Algoritması: LOWES algoritması bölgesel ağırlıklı polinom regresyonuna dayalı olarak verileri düzeltmek için Cleveland tarafından geliştirilmiştir (Cleveland, 1979). Algoritma, en küçük eğilimi dahi tespit etme özelliğine sahip olması bakımından önemlidir. Algoritmanın amacı, göz önüne alınan değişkenin ampirik dağılımının ortasını tanımlayan değerleri hesaplamaktır. Ancak çoğu veri setinde birbirini tekrar eden gözlemler bulunmadığından dağılımın orta değerlerinin iyi bir tahminini sağlamak her zaman kolay olmamaktadır. LOWESS söz konusu tahmini veri setine uyarlanmış ağırlıklı en küçük kareler regresyon çizgisinin denkleminde elde etmektedir. Algoritmanın eldeki veri sayısının az olması durumunda da sağlıklı bir şekilde kullanılabileceği belirtilmektedir (Moran, 1984).

Standart Yağış İndisi (SPI): Aylık yağış verilerinin standartlaştırılması şeklinde tanımlanan kuraklık indisi Mckee vd. (1993) tarafından önerilmiştir. İndisler yağış gözlemlerinin uzun dönem ortalamalarından olan farklarının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilmektedir (Mckee vd., 1993):

$$SYI = \frac{P_i - P_{ort}}{\sigma} \quad (1)$$

eşitlikteki P_i her bir ay için toplam aylık yağış derinliği (mm); P_{ort} ilgili ayın ortalama yağış derinliği (mm); σ ilgili aya ait standart sapma değerini (mm) ifade eder. Negatif değerler kurak, pozitif değerler nemli olmak üzere indisler iki ana sınıfta değerlendirilmektedir. Mckee vd., (1993) aylık yağış verilerinin Normal dağılıma uymayacağı gerçeğini göz önünde bulundurarak en uygun dağılımın Gamma dağılımı olabileceğini öne sürmüşlerdir. Aylık yağışların aşılma olasılıkları Gamma toplam olasılık yoğunluk fonksiyonundan elde edildikten sonra belirlenen aşılma olasılıklarına standart normal dağılım olasılık fonksiyonundan karşılık gelen değerler standart yağış indisleri olarak bulunmaktadır.

Standart yağış indisi 1, 3, 6, 9, 12, 24, 48 ay gibi farklı zaman ölçeklerinde, uygulanabilmesi sebebiyle kuraklığın kısa ve uzun dönemde izlenebilmesine imkân vermekte ve bu nedenle zamansal ve mekânsal oluşumun sınıflandırılmasında Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'nün kabul ettiği ve önerdiği bir indis olma özelliği taşımaktadır (Mckee vd., 1993; Edwards & McKee, 1997; World Meteorological Organization, 2012). Üç aylık analiz kısa dönem meteorolojik, 12 aylık analiz ise yağış eksikliğinin akış, depolama haznelerindeki ve yer altı su seviyelerine etkisi nedeniyle oluşacak hidrolojik ve tarımsal kuraklık durumlarını ortaya koymak amacı ile kullanılmaktadır. SPI önerilen ve pek çok çalışmada kullanılan bir indis olmasına rağmen kuraklığın tanımlanmasında sadece yağış eksikliğinin göz önüne alınması ve analizlerde kullanılan gözlem sürelerinin değişmesi durumunda farklı sonuçlar elde edilmesi nedenleri ile sonuçların yorumlanmasında temkinli yaklaşılması gereken bir indistir. Sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi için istatistiksel analizlerde olduğu gibi en az 20-30 yıllık veri kullanılması önerilmektedir (World Meteorological Organization, 2012).

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI): Palmer, kuraklığın uzun dönem su dengesi metodu ile gözlemlenmiş nemde oluşabilecek anormal açık ile başladığını varsaymıştır. Önerdiği indis hesabında ilk kabul, toprak neminin üst bölüm ve alt bölüm olarak ikiye ayrılmış toprak grupları için hesaplanmasıdır. Tüm toprak neminin 25,4 mm'sinin (1 inç) toprağın üst kısmında bulunduğu kabul edilir. Bu durum tarla kapasitesi ile bitki solma noktası su seviyeleri arasındaki fark olarak tanımlanan ve 1(bir) m toprak derinliğinde bulunan faydalı toprak su içeriği (AWHC, Available Water Holding Capacity) değerinin yüzey tabakada 1 inç olmak üzere iki toprak tabakası tarafından paylaşılmasını gerektirir. Toplamda tutulabilecek maksimum toprak nemi 254 mm'dir (10 inç). Yüzey tabakadaki maksimum nem kaybı toprak üstünden olan potansiyel evapotranspirasyon kadar gerçekleşebilmektedir. Toprağın alt tabakasından olan nem kaybı başlangıçta toprakta bulunan nem içeriğine yani AWHC'e bağlı olarak gerçekleşebilmektedir. Yüzey akımı bu iki toprak tabakasının tarla kapasitesine ulaşmasından sonra başlayabilmektedir. Belirtilen tüm varsayımlar altında indis hesabı nem sapması indisinin (d) elde edilmesi ile başlamaktadır (Palmer, 1965; Tatlı & Türkeş, 2011):

$$d_j = P_j - \hat{P}_j \quad (2)$$

eşitlikteki P_j j'inci ayın toplam yağış ve $\hat{P}_j$ j'inci ayın klimatolojik koşulların oluşturduğu uygun yağış derinlikleridir. $\hat{P}_j$ evapotranspirasyon, toprağın teorik beslenmesi, akış ve topraktaki teorik nem kayıplarının potansiyel miktarları göz önüne alınarak türetilen eşitlikten hesaplanabilmektedir. Palmer potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin belirlenmesinde sadece aylık ortalama sıcaklık verilerine ihtiyaç duyan Thornthwaite yöntemini kullandığından ölçülen meteorolojik değişkenlerden aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık verilerine gereksinim vardır. Sonuç olarak, Palmer kuraklık şiddeti indisleri (PDSI), birbirini takip eden ayların kuraklığa verdikleri katkılar da göz önüne alınarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilmektedir (Palmer, 1965):

$$PDSI_j = \frac{1}{3} Z_j + 0,897 PDSI_{j-1}, \quad PDSI_{j-1} = 0 \quad (3)$$

eşitlikteki Z_j Palmer nem anomalisi indisi (Z-indis) olup nem sapmasının (d_j) ampirik bir katsayı olan ağırlık faktörü (K_j) ile çarpılmasından elde edilir. Elde edilen PDSI değerleri Palmer tarafından Amerika Birleşik Devletleri Iowa merkezinde ve Kansas'ın batısında yapılan uygulamalar neticesinde belirlenen kuraklık sınıflarına dönüştürülür. PDSI değerleri normal, kurak ve nemli olmak üzere üç farklı ana sınıfta değerlendirilmektedirler.

Kendinden kalibreli Palmer kuraklık şiddeti indisi (scPDSI): Wells vd. (2004) tarafından önerilen kendinden kalibreli Palmer kuraklık şiddeti indisinde (scPDSI), Palmer Z-indisi hesabındaki K_j ağırlık faktörü PDSI'nin %2'lik ekstrem dilimlerine göre yeniden tanımlanmış ve [-4 ve 4] aralığını aşmayan PDSI değerleri kullanılmıştır. Önerilen K_j ağırlık faktörü (Wells vd., 2004):

$$K_j = \begin{cases} \text{eğer } d < 0 & \Rightarrow K' \left(\frac{-4}{2^{ncl} \text{ yüzdelik dilim}} \right) \\ \text{eğer } d \geq 0 & \Rightarrow K' \left(\frac{4}{98^{lnc} \text{ yüzdelik dilim}} \right) \end{cases} \quad (4)$$

Önerilen K_j ağırlık faktörü ile belirlenen Z-indisi ile scPDSI değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunabilmektedir:

$$scPDSI_j = p (scPDSI_{j-1}) + q Z_j \quad (5)$$

eşitlikteki p ve q süre faktörleridir. Palmer süre faktörleri için belirlediği sabitleri önerirken scPDS indisinde süre faktörleri Palmer'in belirlediği sınıfların her biri için ayrı ayrı hesaba katılarak en küçük kareler metodu ile hesaplanmaktadır. Başka bir ifade ile scPDSI metodunda kuraklığın süre faktörü parametreleri hesap edilirken kümülatif Z değerlerinin zamana karşı davranışı PDSI metodundan farklı olarak lineer olmayan bir fonksiyonla ifade edilmiştir (Lanier, 2015).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Hidrolojik Verilerin Analizi

Çalışmada Devegeçidi barajı işletim tablosunda yer alan aylık ortalama rezervuar hacmi (ORH), aylık toplam gelen su (TGS) miktarı ve aylık toplam su sarfiyatı (TSS) verileri kullanılmıştır. 2008-2021 arası aylık verilerin eğilim karakteristikleri Mann-Kendall yöntemi ile belirlenmiş ve istatistiksel sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. Veriler yıllara göre aylık olarak incelendiğinde, ayların çoğunda Mann-Kendall testi ile istatistiksel olarak anlamlı eğilimler tespit edilememiştir. z değerinin sıfır olduğu durumlarda eğilimin yönünü belirlemek için S değerlerine bakılmıştır. ORH göz önüne alındığında ocak- haziran aylarında istatistiksel olarak çoğunda anlamlı olmasa da artış yönünde eğilimler; temmuz- aralık aylarında istatistiksel olarak çoğunlukla anlamlı olmasa da azalış yönünde eğilimler tespit edilmiştir. TSS veri setinde yıllar içinde ağustos- aralık aylarında eğilim istatistiksel olarak anlamlı olmasa da azalma yönündedir.

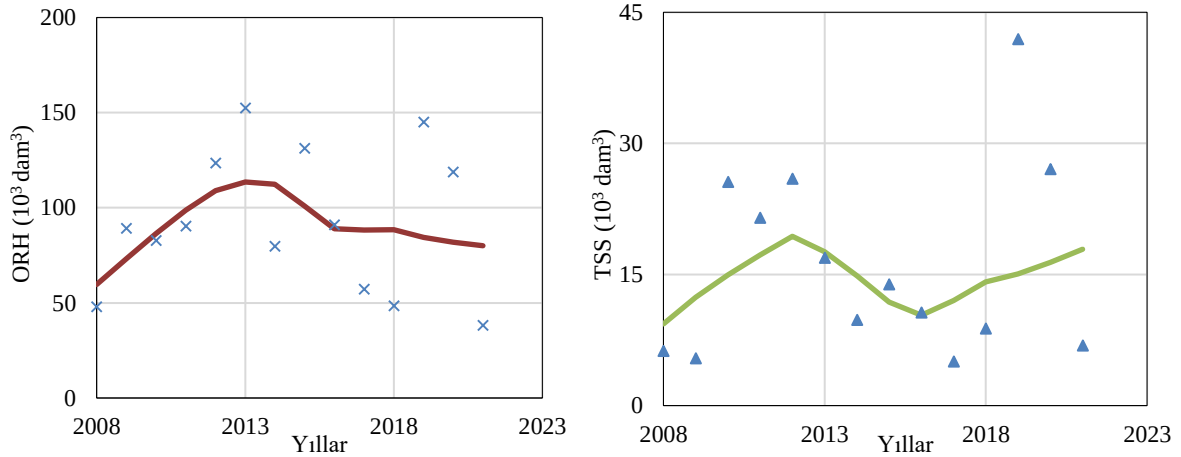
Tablo 1'e bakıldığında haziran-ağustos-eylül-ekim-kasım aylarında bazı uyumsuzluklar olduğu görülmektedir. Haziran ayında gelen su azalış yönündeyken sarf edilen su artış yönünde bulunmuş buna mukabil istatistiksel olarak anlamlı olmasa da ortalama rezervuar hacminde artış yönünde eğilim tespit edilmiştir. Ağustos-eylül aylarında gelen ve sarf edilen su azalış eğilimden ortalama rezervuar hacmi de azalış eğiliminde olarak tespit edilmiştir. Ekim-kasım aylarında ise gelen su artış buna karşılık sarf edilen su azalırken ortalama rezervuar hacminde ise istatistiksel olarak anlamlı olmasa da azalış yönünde eğilim tespit edilmiştir. Bu durum farklı şekillerde açıklanabilir. Öncelikle trend analizi ile veriler bir önceki değer ile kıyaslanarak farkların toplamının işaretine göre eğilim yönüne karar verilir.

Tablo 1: 2008-2021 Mann-Kendall yöntemi istatistiksel sonuçları

	ORH			TGS			TSS		
	z	p	Eğilim	z	p	Eğilim	z	p	Eğilim
Ocak	0,06	0,96	+	-0,4	0,7	yok	-0,3	0,78	yok
Şubat	0,88	0,38	yok	0	1	+	0,33	0,74	yok
Mart	0,55	0,58	yok	0,44	0,66	yok	0,44	0,66	yok
Nisan	0,22	0,83	yok	0,66	0,51	yok	1	0,27	yok
Mayıs	0,22	0,83	yok	1	0,23	yok	0,33	0,74	yok
Haziran	0,33	0,74	yok	-2	0,07	yok	2	0,06	yok
Temmuz	0,00	1,00	-	-0,9	0,38	yok	1	0,19	yok
Ağustos	-0,55	0,58	yok	-0,5	0,62	yok	-0,9	0,38	yok
Eylül	-0,55	0,58	yok	-1	0,27	yok	-0,7	0,51	yok
Ekim	-0,38	0,70	yok	0,55	0,58	yok	-0,2	0,83	yok
Kasım	-0,77	0,44	yok	0,33	0,74	yok	-0,1	0,91	yok
Aralık	-0,33	0,74	yok	-0,4	0,66	yok	-0,3	0,74	yok

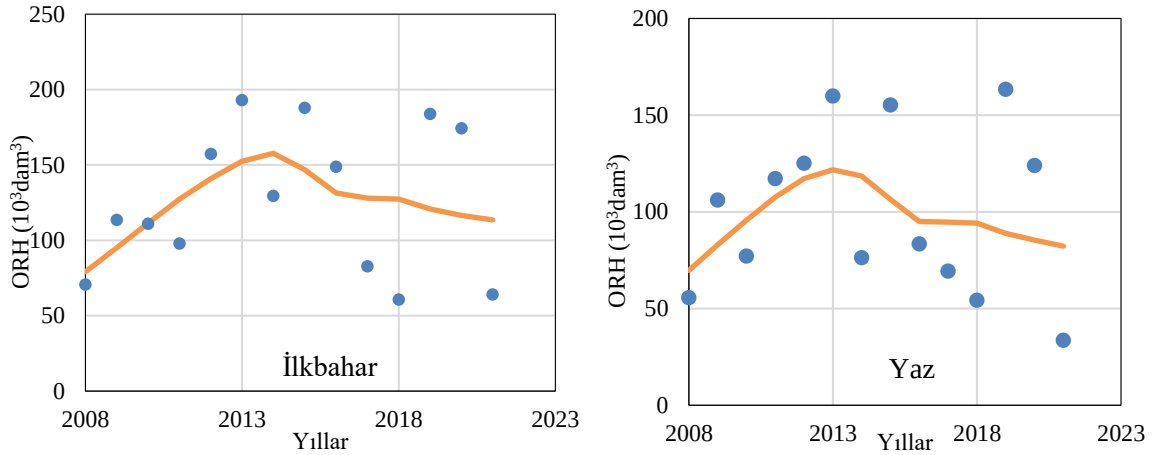
Bu açıdan bakılınca rezervuar hacminde bir birikim söz konusu olduğundan ayların yıllar bazındaki değerlendirilmesinde aylık gelen ve giden su değişimlerine hemen cevap vermesi beklenmemelidir. Öte yandan bu yıllar arasında baraj haznesine en az iki kere besleme yapılmış olması ve besleme yapılan yıllardaki rezervuar hacmindeki yükselmenin analiz sonuçlarını etkilemesidir. Bir diğer husus ise buharlaşma kayıplarının doğru tespit edilememiş olma durumudur.

Sonuç olarak Mann-Kendall yöntemiyle istatistiksel olarak anlamlı eğilimler tespit edilemediğinden z değerleri eğilim yönlerine karar vermek için kullanılmıştır. LOWESS eğrileri ise hidrolojik veri setleri eğilimlerinin görsel olarak sunulabilmesi için elde edilmiştir. ORH ve TSS bulguları Şekil 3’de sunulmuştur.



Şekil 3: ORH ve TSS yıllık veri setleri için LOWESS eğrileri

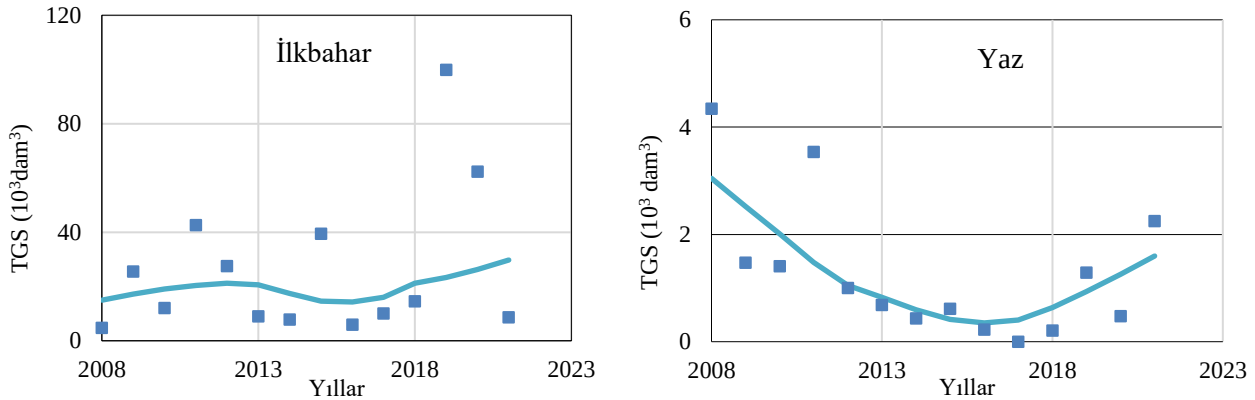
LOWESS eğrileri ile 2012-2016 yılları arası TSS hacminde azalma yönünde eğilim tespit edilmesine rağmen bu durum 2013-2016 yılları arası ORH değerlerinde artma veya değişiklik olmama yönünde değil azalma yönünde eğilim görülmesine sebep olmuştur. DSİ yetkililerinin Devegeçidi barajının beslendiğine yönelik açıklamalarının basında yer aldığı 2008 ve 2018 yıllarında aylık ortalama rezervuar hacmi verilerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. En düşük ORH değeri 2021 yılında gözlemlenmiş olup 2013-2021 ORH değerlerinde azalma yönündeki eğilim barizdir. Sıcaklığa bağlı olarak bölgedeki sulama talebi artsa da barajdan verilecek su sarfiyatı rezervuardaki su hacmine göre belirlendiği Şekil 2 LOWESS eğrilerinden görülebilmektedir. Tarımsal sulama mevsimi olarak bilinen ilkbahar ve yaz ayları mevsimsel ORH verilerindeki eğilimlerin durumu ayrıca araştırılmıştır (bkz. Şekil 4).



Şekil 4: ORH ilkbahar ve yaz mevsimsel veri setleri için LOWESS eğrileri

Şekil 4 incelendiğinde hem yaz hem de ilkbahar mevsimleri veri setinin 2014 yılında bariz bir şekilde azaldığı görülmektedir. Bu durum kış ve sonbahar mevsimlerinde de gözlenmiş ancak barajın sulama amaçlı olması sebebiyle ilkbahar ve yaz mevsimleri grafikleri verilmiştir.

Ortalama rezervuar hacminde görülen azalışın nedenlerinin tespit edilebilmesi için rezervuara gelen su miktarlarındaki durum incelenmek istenmiştir. Ancak Devegeçidi baraj gölünün memba tarafına yakın akım gözlem istasyonu verilerine ulaşılamadığından aylık işletme çizelgesinde bulunan toplam gelen su (TGS) hacim verileri için LOWESS eğrileri elde edilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde TGS ilkbahar mevsimi veri setinde neredeyse bir eğilimden bahsedilemezken, yaz mevsiminde azalış yönündeki eğilim barizdir.



Şekil 5: TGS ilkbahar ve yaz mevsimsel veri setleri için LOWESS eğrileri

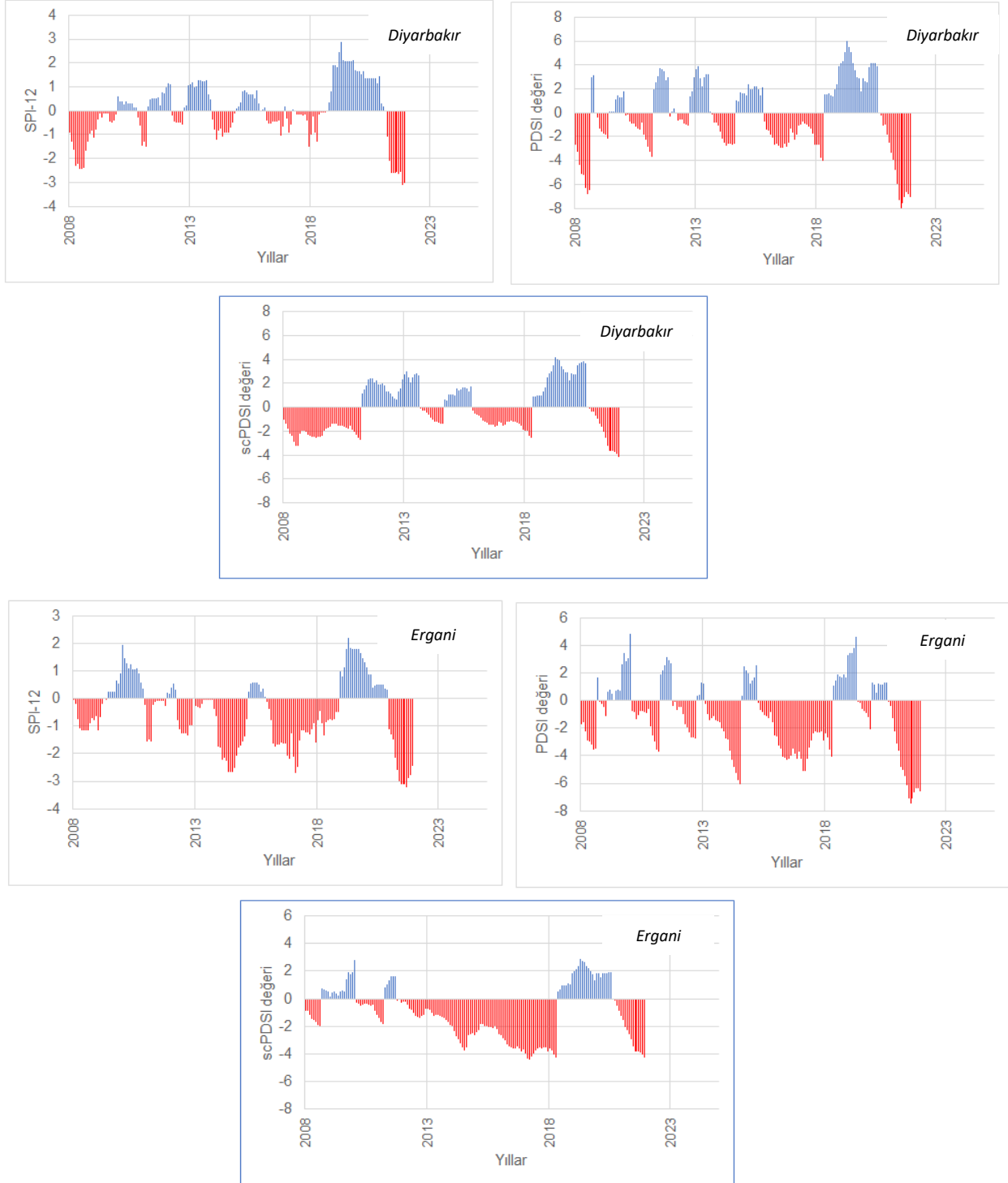
3.2 Meteorolojik Verilerin Analizi

Hidrolojik kuraklık probleminin yağış verileri ile ilişkisinin ortaya çıkarılması için Diyarbakır ve Ergani meteoroloji gözlem istasyonlarının 1965-2021 verilerine Standart Yağış İndisi (SPI), Palmer Kuraklık İndisi (PDSI) ve kendinden kalibreli Palmer Kuraklık İndisi (sc-PDSI) uygulanmıştır. Baraj işletme verilerine uyumlu olması açısından 2008-2021 değerleri Şekil 6’te sunulmuştur. [Gümüş vd. \(2021\)](#), Diyarbakır istasyonu için 1929-2016 yılları için SPI ile kuraklık analizi yaparak tarihsel kuraklığı araştırmışlardır. Söz konusu çalışmanın sonuçları ile bu çalışmanın sonuçları karşılaştırıldığında örtüşen yıllarda SPI-12 değerleri uyumlu çıkmıştır. [Gümüş vd. \(2021\)](#), en yüksek kuraklık şiddetini 3.09 ile Şubat-1970 tarihinde tespit ederken, bu çalışmada en yüksek şiddet Aralık-2021 tarihinde 4,14 olarak bulunmuştur.

Şekil 3’de sunulan ORH yıllık veri setinde göreceli su azlığı tespit edilen 2008, 2017, 2018 ve 2021 yıllarında her üç kuraklık indisinin her iki istasyonda da negatif olduğu tespit edilmiştir. Bu durum barajdaki su hacminin yağıştan çok fazla etkilendiği ve meteorolojik kuraklığın çok hızlı bir şekilde hidrolojik kuraklığa sebep olabileceğinin bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

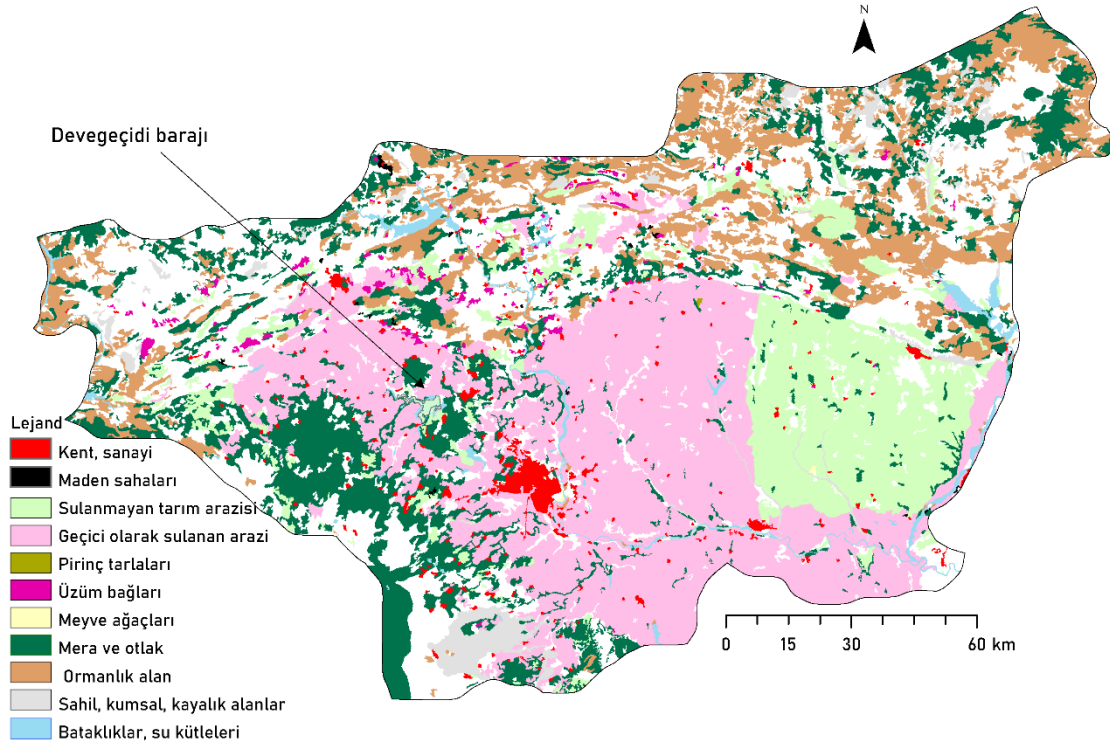
3.4 Tarımsal Verilerin Analizi

Devegeçidi planlama aşamasında bitki deseni hububat (%44,4), pancar (%6,7), pamuk (%13,3), çeltik (%22,2), sebze (%9) ve yonca (%4,4) olarak öngörülmüştür. İşletmeye açıldığı ilk yıllarda dahi bitki deseni bu öngöründen farklı gerçekleşmiştir. 1973 yılında hububat (%0,5), pamuk (%29), çeltik (%62,5), sebze (%4,5), bostan (%3,5), susam (%0,5) olmak kaydıyla 3.905 ha alan ekilmiştir.



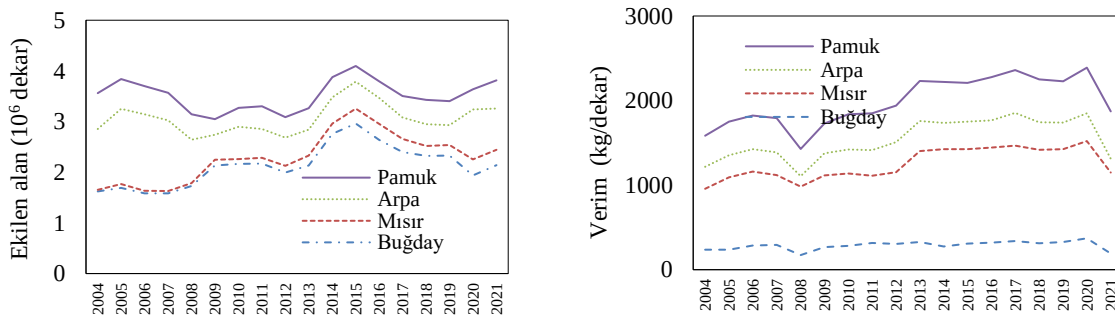
Şekil 6: 2008-2021 Diyarbakır ve Ergani meteoroloji gözlem istasyonları SPI-12, PDSI ve sc-PDSI değerleri

Pamuk ekimi ve ekili alan miktarı zaman içinde artmış, çeltik ekimi azalmıştır. 2006 yılında hububat (%13,3), pamuk (%85,9) ve sebze (%0,8) olmak üzere 5.800 ha alanda ekim yapılmıştır (Demir, 2008). Diyarbakır ili arazi örtüsü haritası Şekil 7’de verilmiştir. CORINE 2018 arazi örtüsü verilerine göre barajın memba ve mansap bölgesinde yoğun sulama bölgeleri mevcuttur. Bölgede genel olarak pamuk, arpa, mısır ve buğday ürünlerinin ekimi oldukça yoğundur.



Şekil 7: Diyarbakır ili CORINE 2018 arazi örtüsü haritası (European Environmental Agency, 2020)

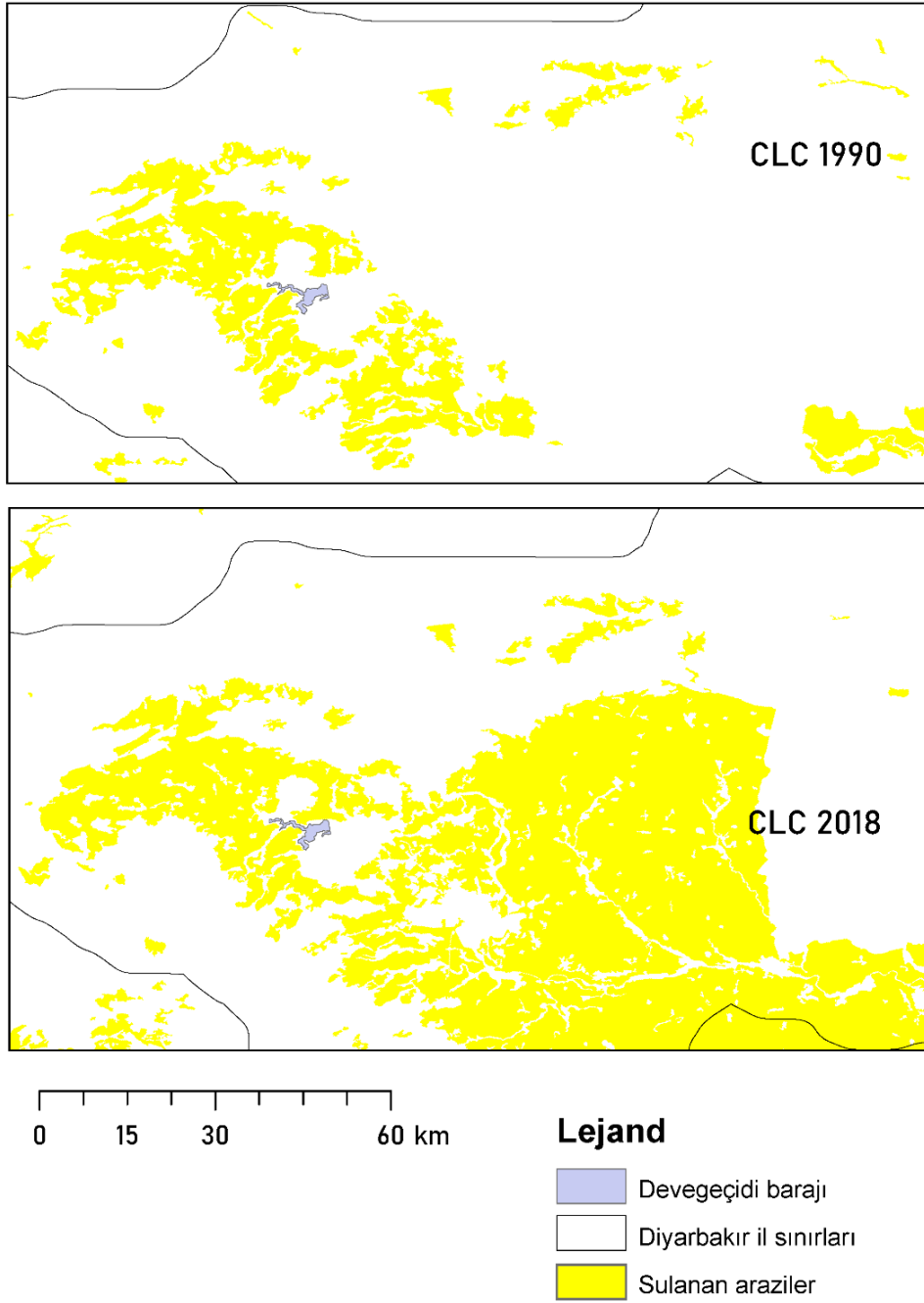
Bahsedilen tarımsal ürünlerin ekim miktarları incelendiğinde (bkz. Şekil 8) 2004 yılından 2015 yılına kadar kayda değer bir artış görülmekte, 2015’ten sonra ise bu ürünlerin ekim miktarları azalmaktadır. 2004 yılı ile kıyaslandığında özellikle mısır ve buğday ekiminde %50’ye yaklaşan bir artış söz konusudur. Şekil 2’de sunulan ORH yıllık veri setinde göreceli su azlığı tespit edilen 2008, 2017, 2018 ve 2021 yıllarında ürün ekim alanlarındaki ve verimlerdeki (2017 hariç) azalış çalışma alanı için meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklığın hissedilmesinde zaman farkının neredeyse olmadığını göstermektedir. Çiftçinin ve dolayısı ile canlıların kuraklıktan etkilenmemesi için barajda su depolanmasının ve doğru işletilmesinin ne kadar önemli olduğu bir kez daha karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 8: Diyarbakır ilinde ekimi yapılan pamuk, arpa, mısır ve buğday ürünlerinin ekim alanı ve verim miktarları (Türkiye İstatistik Kurumu, 2022)

Ayrıca, GAP projesi kapsamında yapılan sulama kanalları ile bölgenin mısır üretim kapasitesinin yükselmesi dikkat çekicidir. Mısır ürünü sulama suyu gereksinimi oldukça yüksek bir ürün olarak bilinmektedir. Bu bitkinin planlama aşamasında öngörülen bitki deseninde bulunmadığına dikkat edilmelidir. Söz konusu tarımsal ürünlerin verim miktarlarının ise gerek ülkemizde gerekse dünyada tarımdaki mekanizasyon ve gübre kullanımına paralel bir şekilde arttığı görülmektedir. Şekil 8’de görselleştirilen tarımsal veriler, 2004 yılından sonrasını kapsamaktadır. Bu bağlamda Diyarbakır ilinin zemin örtüsü haritası 1990 ve 2018 yılları için Şekil 9’da karşılaştırılmıştır.

Buna göre, 1990 yılından 2018 yılına gelindiğinde sürekli sulanan tarım alanlarının kayda değer bir miktarda arttığı ve barajın mansap bölümünde sulamaya açılan alanların sıklığı açıkta görülmektedir.



Şekil 9: Devegeçidi barajı bölgesinde sulanan alanların 1990'dan 2018 yılına değişimi (European Environmental Agency, 2020)

Tarımsal sulamada verimliliği artırmadaki ana hedef daha az su ile daha fazla ürün üretmek ve birim sudan maksimum fayda elde edebilmektir. Barajlardan fazla su çekilmesinde seçilen bitki desenleri ve sulama alanlarındaki artış etkili olsa da sulama yöntemlerinin de azımsanmayacak etkileri vardır. Ülkemizde yalnızca içme sularında değil tarımsal sulamada da önemli ölçüde kayıp ve kaçaklar mevcuttur. Türkiye genelinde sulama alanlarında kullanılan sudan alınan verimin %48 olduğunu belirten çalışmalar vardır. Bu duruma gerekçe olarak ülkemizde “salma” veya “vahşi sulama” olarak ifade edilen yüzeysel sulama yöntemlerinin yaygın kullanılması gösterilmektedir. Türkiye’de kapalı sulama sistemlerinin kullanım oranı tam olarak bilinmemekle birlikte DSİ tarafından iyileştirme yapılan sulama alanlarında sulama verimliliğinin 2020 yılı itibarı ile %48,4 olduğu belirtilmektedir (STM ThinkTech Teknoloji Düşünce Merkezi, 2021). Devegeçidi barajı sulama sistemlerinin yaşlanma ve yanlış kullanım sebepleriyle hem ana kanalda hem de yedek kanallarda tahrip olduğu belirtilmiştir (Demir, 2008).

4. Sonuç

Devegeçidi barajı Diyarbakır il sınırları içinde bulunmakta olup tarımsal sulama amacı için inşa edilmiştir. Ancak, son yıllarda, baraj ciddi su tedarik problemleri ile karşılaşmış ve göl hacmi gerilemiştir. Bu çalışmada Devegeçidi baraj gölünün maruz kaldığı kuraklık problemlerinin arka planında bulunan hidrolojik, meteorolojik ve tarımsal etmenler analiz edilmiştir. 2008-2021 yılları için baraj işletim verileri Mann-Kendall testi ile analiz edilmiş ancak istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar bulunamamıştır. Bunun üzerine LOWESS eğrileri elde edilmiş ve 2012-2016 yılları arası toplam su sarfiyatı hacminde ve 2013-2021 yılları arasında ortalama rezervuar hacminde (ORH) azalma eğilimi tespit edilmiştir. Aynı zamanda toplam gelen su (TGS) değerleri yaz ve ilkbahar mevsimleri için analiz edilmiş ve veri setinde 2014 yılından itibaren azalma tespit edilmiştir. Ortalama rezervuar hacmindeki (ORH) yıllara göre değişim göz önüne alındığında 2008, 2017, 2018 ve 2021 yıllarında tespit edilen azalmalar tüm kuraklık indisleri ile uyumlu çıkmıştır.

Bölgede üretimi yapılan pamuk, arpa, mısır ve buğday gibi tarımsal ürünlerinin ekim alanı ve verim miktarlarında 2004 yılından bu yana artışların kaydedildiği gözlemlenmiştir. Bu durum, tarıma ve sulamaya açılan alanların artırıldığı anlamına gelmektedir. CORINE arazi örtüsü haritaları bu sonucu desteklemektedir. Haritalar, 1990 yılından itibaren Diyarbakır bölgesinde sulamaya açılan tarımsal alan miktarlarındaki artış gözler önüne sermektedir.

Yapılan analizler baraj gölü seviyesindeki azalmanın meteorolojik olduğu kadar tarım politikalarının bir sonucu olduğunu göstermektedir. Devegeçidi baraj örneğinde yaşanan sorun, tarımsal planlama ile su yapılarının planlanmasının birlikte yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Söz konusu durum, orta veya uzun vadeli tarımsal planlamaların hem bölgenin kendi su kaynakları hem de yakındaki diğer su yapıları gözetilerek hayata geçirilmesi anlamına gelmektedir. Bütüncül yaklaşımın ihmal edilmesi, havza bazında sürdürülebilirlik problemlerini beraberinde getireceği aşikardır. Bu durum Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Nihai raporunda da belirtilmiştir. Raporda Fırat-Dicle havzasında sıcaklık parametresinde artışlar ve toplam yağış parametresinde referans dönemine göre azalışlar saptandığı belirtilmiştir. Su kaynakları için yapılan çalışmada tüm senaryolar ve projeksiyon dönemlerinde en kayda değer su açığının gözlemlendiği havzalar arasında Fırat-Dicle havzası yer almaktadır. Raporda, mansaba bırakılması gereken su itibarıyla 2015'ten itibaren göz önüne alınan projeksiyon dönemi sonuna kadar su ihtiyacının havzada hiçbir şekilde sağlanamadığı ve su açığının tüm dönemler boyunca ve tüm senaryo sonuçlarına göre hissedilir bir şekilde devam ettiği sonucuna ulaşılmıştır (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2016).

Sonuç olarak, 2014 yılından itibaren hissedilen kuraklığın zaman zaman düşen yağışlar ve taşınan su ile etkisi nispeten azalsa da iklim senaryoları sonuçları durumun pozitif yönde değil negatif yönde seyredeceğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma gibi durum tespitlerinin kuraklık eylem planlarının gerek hazırlanma gerekse uygulanma aşamalarında katkı sunacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Akçay, S., Ul, M. A., & Gürgülü, H. (2007). Aydın yöresinde sulama yönünden kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 44(1), 137–147.
- Aktaş, S., Kalyoncuoğlu, M. Y., & Anadolu Kılıç, N. C. (2018). Eğirdir göl havzasının de martonne yöntemi ile kuraklık analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 229–238. <https://doi.org/10.21923/jesd.398521>
- Aktürk, G., & Yıldız, O. (2018). The effect of precipitation deficits on hydrological systems in the Çatalan dam basin, Turkey. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 10(2), 10–28. <https://doi.org/10.29137/umagd.441389>
- Alborzi, A., Mirchi, A., Moftakhari, H., Mallakpour, I., Alian, S., Nazemi, A., Hassanzadeh, E., Mazdiasni, O., Ashraf, S., Madani, K., Norouzi, H., Azarderakhsh, M., Mehran, A., Sadegh, M., Castelletti, A., & AghaKouchak, A. (2018). Climate-informed environmental inflows to revive a drying lake facing meteorological and anthropogenic droughts. *Environmental Research Letters*, 13(8), Article 084010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad246>
- Cleveland, W. S. (1979). Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, 74(368), 829–836. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10481038>
- Demir, N. (2006). *Diyarbakır Devegeçidi sulama şebekesinde sulama sorunları* [Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Di Baldassarre, G., Wanders, N., AghaKouchak, A., Kuil, L., Rangelcroft, S., Veldkamp, T. I. E., Garcia, M., van Oel, P. R., Breinl, K., & Van Loon, A. F. (2018). Water shortages worsened by reservoir effects. *Nature Sustainability*, 1(11), 617–622. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0159-0>
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2012). *DSİ Genel Müdürlüğü 2011 yılı faaliyet raporu*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. <https://cdnys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/KonuIcerik/759/1107/DosyaGaleri/dsi-2011-faal%C4%B1yet-raporu.pdf>
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2019). *DSİ 2018 yılı faaliyet raporu*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. <https://cdnys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/KonuIcerik/759/1107/DosyaGaleri/dsi-2018-faaliyet-raporu>
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2022, 1 Temmuz). *Dicle'den Devegeçidi'ne*. 15 Kasım 2023'de <https://dsi.gov.tr/Haber/Detay/6395> adresinden alındı.
- Edwards, D. C., & McKee, T. B. (1997). *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales* (Climatology Report No. 97-2). Colorado State University. <https://mountainscholar.org/bitstreams/66dc1ef7-ed74-4ee4-bd3b-64a1c57183f1/download>

- European Environmental Agency. (2020). *CORINE Land Cover* [Data set]. Copernicus Land Monitoring Service. <https://doi.org/10.2909/71c95a07-e296-44fc-b22b-415f42acdf0>
- GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı. (2022). *Güneydoğu Anadolu Projesi Son Durum*. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Güneydoğu Anadolu Projesi, Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı. 15 Kasım 2023’de http://www.gap.gov.tr/upload/dosyalar/pdfler/2022_GAP_SON_DURUM.pdf adresinden alındı.
- Gümüş, V., Dinsever, L. D., & Şimşek, O. (2021). Diyarbakır İstasyonunda 1929–2016 boyunca tarihsel kuraklığın yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 362–373. <https://doi.org/10.21324/dacd.884682>
- Güznel, V. (2005). *UV/VIS spektrometresi ile Devegeçidi baraj suyunun analizi* [Yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Harita Genel Müdürlüğü. (2022). *Diyarbakır Fiziki İl Haritası*. 15 Kasım 2023’de <https://www.harita.gov.tr/urun/diyarbakir-fiziki-il-haritasi/420> adresinden alındı.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Kaya, N. (2010). *Devegeçidi (Diyarbakır) baraj gölü'nde yaşayan Kefalin (Liza abu Heckel, 1846) bazı biyolojik özellikleri üzerine bir araştırma* [Yüksek lisans tezi, Van Yüzüncüyıl Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods* (4th ed.). Charles Griffin.
- Kılıç, A., (2013). Diyarbakır-Devegeçidi barajı kuşları. Y.K. Haspolat, N. Tekel, O. Kavak, N. Hamidi, R. Demirel, D. Şentürk Demirel, A. Akaydın, M. Tomar (Eds.), *Diyarbakır yerüstü kaynakları 2* (pp. 5–15). Uzman Matbaacılık ve Ciltleme.
- Koç, C., Dağdelen, N., Yılmaz, E., & Akçay, S. (2009). Su eksikliği çekilen havzalarda sulama suyu yönetimi üzerine bir çalışma. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(1), 9–20.
- Lanier, R. L. (2015). *An integrated drought index (IDI) incorporating physical and social aspects* [MSc thesis, The University of Southern Mississippi]. The Aquila Digital Community. https://aquila.usm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1160&context=masters_theses
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January 17-22). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California.
- Moran, G. W., (1984). *Locally weighted regression scatter plot smoothing (LOWESS): A graphical exploratory data analysis technique* [MSc thesis, Naval Postgraduate School]. Dudley Knox Library. <https://core.ac.uk/download/pdf/36712654.pdf>
- Önöz, B., & Öguz, B. (1996). İstanbul su temini sistemi ve kuraklık analizi. *Teknik Dergi*, 7(31), 1083–1096.
- Özdemir, A. (2021). İklim değişikliğinin havza ölçeğinde akım ve sediman miktarına etkilerinin değerlendirilmesi: Yuvacık baraj gölü havzası. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 45(1), 129–154. <https://doi.org/10.24232/jmd.941528>
- Özelkan, E., & Karaman, M. (2018). Baraj Göllerindeki Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklığın Etkisinin Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri İle Analizi: Atıkhisar Barajı (Çanakale) Örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 1023–1037. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.443230>
- Özfidaner, M., & Gönen, E. (2021). Drought analysis for Adana province in terms of irrigation scheduling. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 34(1), 79–85. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.775891>
- Özfidaner, M., Şapolyo, D., & Topaloğlu, F. (2018). Seyhan havzası akım verilerinin hidrolojik kuraklık analizi. *Toprak Su Dergisi*, 7(1), 57–64. <https://doi.org/10.21657/topraksu.410140>
- Özgün, G., Vaheddost, B., & Aras, E. (2020). Standart yağış indeksi (SPI) metodu kullanılarak kuraklık analizi ve Bursa Doğancı Barajı ile ilişkilendirilmesi. *Academic Perspective Procedia*, 3(2), 876–885. <https://doi.org/10.33793/acperpro.03.02.23>
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological Drought* (Research Paper No. 45). U.S. Department of Commerce. https://www.droughtmanagement.info/literature/USWB_Meteorological_Drought_1965.pdf
- Sırdaş, S., & Şen, Z. (2003). Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması. *İTÜ Dergisi*, 2(2), 95–103.
- STM ThinkTech Teknoloji Düşünce Merkezi. (2021). *Su Güvenliği II: Sürdürülebilirlik ve İklim Değişikliği Bağlamında Türkiye'deki Mevcut Durum*. 15 Aralık 2023’de <https://thinktech.stm.com.tr/tr/su-guvenligi-ii-surdurulebilirlik-ve-iklim-degisikligi-baglaminda-turkiyedeki-mevcut-durum> adresinden alındı.
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi*. 15 Kasım 2023’t e https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%C4%9Ffi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf adresinden alındı.
- Svendsen, M., & Nott, G. (1999). *Irrigation management transfer in Turkey: process and outcomes*. EDI Participatory Irrigation Management Case Studies Series. World Bank.
- Tatlı, H., & Türkeş, M. (2011, 27-29 Nisan). Palmer kuraklık şiddeti ve standartlaştırılmış yağış indislerinin Türkiye üzerinde karşılaştırılması. 5th Atmospheric Science Symposium, İstanbul, Turkey.
- Tigrek, S., & Aras, T. (2011). *Reservoir sediment management* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11615>
- Tigrek, S., & Kibaroglu, A. (2011). Strategic role of water resources for Turkey. In A. Kibaroglu, W. Scheumann & A. Kramer (Eds.), *Turkey's Water Policy* (pp. 27–42). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19636-2_2
- Tigrek, Ş., Göbelez, Ö., & Aras, T., (2009). Sustainable management of reservoirs and preservation of water quality. 15 Kasım 2023’de <https://www.idaea.csic.es/meliaproject/sites/default/files/517612-MELIA-Sustainable-management-of-reservoirs-and-preservation-of-water-quality.pdf> adresinden alındı.
- Tigrek, Ş., Şarlak, N., & Muratoğlu, A. (2022, 13-14 Ekim). *Devegeçidi baraj gölü kuraklık analizi* [Bildiri Sunumu]. 11. Ulusal Hidroloji Kongresi, Gaziantep, Türkiye.
- Turan, E. S. (2018). Turkey’s drought status associated with climate change. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 63–69. <https://doi.org/10.21324/dacd.357384>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). *Merkezi Dağıtım Sistemi, Biruni Veritabanı*. 15 Kasım 2023’t e <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/> adresinden alındı.
- Türkes, M. (2012). Türkiye’de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 4(2), 1–32. <https://doi.org/10.1501/csaum.0000000063>

- Türkeş, M. (2020). İklim değişikliğinin tarımsal üretim ve gıda güvenliğine etkileri: bilimsel bir değerlendirme. *Ege Coğrafya Dergisi*, 29(1), 125–149.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2004). *Appendix D: Mann-Kendall analysis*. <https://www.statisticshowto.com/wp-content/uploads/2016/08/Mann-Kendall-Analysis-1.pdf>
- Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., Batlles-de-laFuente, A., & Fidelibus, M. D. (2019). Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. *Water*, 11(9), Article 1758. <https://doi.org/10.3390/w11091758>
- Wells, N., Goddard, S., & Hayes, M. J. (2004). A self-calibrating palmer drought severity index. *Journal of Climate*, 17(12), 2335–2351.
- World Meteorological Organization. (2012). *Standardized precipitation index user guide*. <https://library.wmo.int/records/item/39629-standardized-precipitation-index-user-guide>
- Yalcin, E., & Tigrek, S. (2017, October 11). The Tigris hydropower system operations: the need for an integrated approach. *International Journal of Water Resources Development*, 35(1), 110–125. <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1369867>
- Yıldırım, Y. E. (2002). Salıhlı yöresinde sulama açısından kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 39(3), 113–120.

Afet Yönetiminde İnsani Yardım Lojistiğinin Kritik Başarı Faktörlerinin Belirlenmesi

Makber Tekin^{1*}, Fahriye Merdivenci¹

¹Akdeniz Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik, 7070, Antalya.

Özet

Son zamanlarda yaşanan büyük krizlerin (yangın, deprem, salgın vb.) ardından insani yardım lojistiğinin önemi daha çok anlaşılmıştır. İnsani yardım lojistiğinin başarılı olabilmesi, mağdurların acil ihtiyaçlarının en kısa sürede ve en az kaynakla karşılanabilmesi ile bağlantılıdır. İnsani yardım lojistiğini etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve etkilerinin anlaşılması sürecin başarısı açısından önemlidir. Çalışmanın amacı Türkiye’de yaşanan afetlerde kayıpları en aza indirmek için gerçekleştirilen kurtarma müdahalelerinde ve yardım malzemelerin dağıtılmasında yardım operasyonları maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturan insani yardım lojistiğinin performansını etkileyen kritik başarı faktörlerinin belirlenmesidir. Yöntem kısmında faktörlerin birbirini etkileme durumu ve birbirlerinden etkilenme derecelerini belirleyerek neden sonuç ilişkilerini açıklayan bulanık DEMATEL kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda literatür yardımıyla oluşturulan 16 kritik başarı faktöründen 8 tanesinin neden grubunda yer alarak afet yönetiminde insani yardım lojistiği sisteminin başarısı üzerinde önemli bir etki gücü olduğu sonucuna varılmıştır. Bu faktörlerden koordinasyon ve iş birliği, organizasyon ve sorumluluk bilinci ve raporlama ve bilgi göndermede netliğin en yüksek toplam etkiye ve diğer faktörlerle yüksek derecede ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlar, hükümet, yardım kuruluşları ve ilgili STK’lar için lojistik yönetimde politika ve stratejilerin oluşturulmasında faydalı olabilir.

Anahtar Sözcükler

Afet Yönetimi, İnsani Yardım Lojistiği, Kritik Başarı Faktörleri, Bulanık-DEMATEL

Identifying Critical Success Factors of Humanitarian Aid Logistics in Disaster Management

Abstract

After recent major crises (fire, earthquake, epidemic, etc.), the importance of humanitarian aid logistics has been better understood. The success of the humanitarian aid logistics (HAL) depends on meeting the urgent needs of the victims in the shortest time and with the least amount of resources. Identifying the factors that affecting HAL and understanding their impact is essential to the success of the process. The study aims to determine the critical success factors that affect the performance of the humanitarian aid logistics, which represents a large part of the cost of aid operations in rescue interventions and distribution of aid materials to minimize losses in disasters in Türkiye. In the methodological part, fuzzy DEMATEL was used, which explains the cause-effect relationships by determining the factors that influence each other and the degree to which they are influenced by each other. As a result of the study, it was concluded that 8 of the 16 critical success factors created with the help of the literature were included in the cause group and significantly impacted the success of the humanitarian aid logistics system in disaster management. Among these factors, it was concluded that coordination and cooperation, organizational structure and distribution of responsibilities, and clarity in reporting and sending information were highly correlated with the highest overall impact and other factors. The results obtained can be helpful for the government, charities, and related NGOs in formulating policies and strategies in logistics management.

Keywords

Disaster Management, Humanitarian Aid Logistics, Critical Success Factors, Fuzzy-DEMATEL

1. Giriş

Doğal ve insan kaynaklı afetler yıllar içerisinde artış göstermekte ve ciddi oranda can ve mal kaybına neden olmaktadır. 2019’da insani yardım raporları, dünya çapında 100 milyondan fazla insanın yardıma ihtiyacı olduğunu açıklamış ve bu sayı 2020’de yaklaşık 120 milyona yükselmiştir (Development Initiatives, 2020). Uluslararası veri tabanlarından olan EM-DAT’a (The Emergency Events Database- Acil Durum Veri tabanı) göre 2022 yılında dünya genelinde 387 afet olayı meydana gelmiş ve 30.704 can kaybı yaşanmış ve 185 milyon kişi etkilenmiştir. Bu afetler nedeniyle dünya genelinde yaklaşık 223,8 milyar dolar ekonomik kayıp ortaya çıkmıştır (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2023a).

Yaşanan bu felaketler ve artan kayıplar nedeniyle afet yönetiminin önemi ortaya çıkmıştır. Afet yönetimi karmaşık tedarik zinciri faaliyetler içermekte ve bu faaliyetlerin iyileştirilmesi, afet operasyonlarının başarısını etkilemektedir (Yadav & Barve, 2015).

İnsani yardım lojistiğinin, ticari tedarik zincirinden temel farkı savunmasız insanların acılarını hafifletme amacıdır ve insani yardım lojistiğinin incelediği bağlam afet yönetimidir (Liberatore vd., 2013). İnsani yardım lojistiği, tıbbi yardım, yiyecek, barınma ve içme suyu açısından en kısa sürede mümkün olduğunca çok sayıda afet mağduruna yardım etmeyi amaçlar. Verimli ve etkili bir insani yardım lojistiği için performansı ölçmek, yönetmek ve kritik faktörleri belirlemek çok önemlidir (Abidi vd., 2014). İnsani yardım lojistiğinin başarısı için hangi faktörlerin kritik olduğu ve tüm krizlerde aynı faktörlerin ortaya çıkıp çıkmadığı konusunda bir anlayışın geliştirilmesi gerekmektedir (Pettit & Beresford, 2009). Literatürde ticari tedarik zincirlerinde olduğu gibi, insani yardım dağıtımının nihai başarısını belirleyecek bazı kilit faktörlerin olduğu belirtilmiştir (Zhou vd., 2011; Yadav & Barve, 2015; Li vd., 2014; Fulzele vd., 2016; Behl vd., 2019; Damoah, 2021).

Deprem, afetler arasında çok ciddi etkisi olan ve toplumda büyük kayıplara neden olan bir felakettir. Türkiye konum olarak deprem bölgesindedir ve tektonik özellikleri nedeniyle topraklarının %98'i deprem riski altında bulunan bir ülkedir (Özkul & Karaman, 2007). Bu yüzden ülkede çok sık deprem yaşanmakta ve ciddi oranda zararlara neden olmaktadır. Bu çalışma Türkiye'de 6 Şubat 2023 tarihinde çok sayıda can ve mal kaybına neden olan ve ciddi bir tehlike unsuru olan deprem felaketinde önemli role sahip insani yardım lojistiğine odaklanmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın problemi afet yönetiminde afet operasyonlarının başarısını etkileyen insani yardım lojistiğinin kritik başarı faktörlerinin belirlenmemesi ortaya çıkacak can ve mal kayıplarının artışına neden olabilir şeklindedir.

Çalışmanın amacı ise afet yönetiminde insani yardım lojistiğinin kavramsal çerçevesini oluşturmak ve kritik başarı faktörlerini belirlemektir. Bu çalışma, insani yardım lojistiğinin kritik başarı faktörlerini vurgulayarak afet yönetimi bağlamında afetlere karşı hazırlıklı olunmasına, insanların üzerindeki etkilerin azaltılmasına ve operasyonlarının ve uygulamalarının iyileştirilmesine katkıda bulunabilir. Araştırmanın sonuçları hükümetler, yardım kuruluşları ve STK'lar tarafından afet yönetiminde insani yardım lojistiğinin etkili sonuçlar elde edebilmesi için kılavuz olarak kullanılabilir. Bu doğrultuda ilk olarak teorik çerçeve oluşturulmuş ve literatür taramasında afet yönetimi, insani yardım lojistiği ve afet yönetimi başlıkları ele alınmış ve kavramsal çerçeve oluşturulmuştur. Daha sonra kritik başarı faktörlerini oluşturmak için insani yardım lojistiği kapsamında yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Oluşturulan kritik başarı faktörlerinin önceliklerinin belirlenmesi bir karar verme problemi olduğu için Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak faktörlerin birbirini etkileme durumu ve birbirlerinden etkilenme dereceleri belirlenerek neden sonuç ilişkileri açıklanmaya çalışılmıştır. Uygulanan yöntem sonucunda elde edilen verilere bulgular kısmında yer verilmiş ve sonuç kısmında pratik ve teorik öneriler sunulmuştur.

2. Teorik Çerçeve

Damoah (2022), insani tedarik zincirinin kritik başarı faktörlerini belirlemek için kullanılan teorilerin; kaynak tabanlı görüş, kaynak bağımlılığı teorisi ve paydaş teorisi olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada da insani yardım lojistiğinin kritik başarı faktörlerini belirlemek için kaynak tabanlı görüş, kaynak bağımlılığı teorisi ve paydaş teorisi kullanılmıştır. Kaynak tabanlı görüşe göre sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmek için firmalar iç kaynaklarını kullanmalı ve geliştirmelidir (Kraaijenbrink vd., 2010; Güleş & Özlhan, 2010). Ayrıca sürekli değişen pazar şartlarına cevap verebilmek amacıyla yeni kaynak ve yetenekler yaratmalıdır (Acar & Zehir, 2008). Bu teori, tedarik zinciri performansına etki eden kaynakların ve yeteneklerin araştırılmasında ve kritik başarı faktörlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır (Wu vd., 2006; Chae vd., 2014; Chiappetta Jabbour vd., 2017; Yu vd., 2018; Yuen vd., 2019). Kaynak bağımlılığı teorisi ise firmaların varlıklarının devamlılığını sağlayabilmeleri için ihtiyaç duydukları kaynağın istikrarlı ve güvenli bir şekilde temini ile ilgilidir (Doğan, 2008). Kaynak bağımlılığı teorisi kuruluşların gerçekleştirmesi gereken faaliyetlerde ihtiyaç duyduğu kaynaklara bağlılık derecesi olarak tanımlanmaktadır (Pfeffer & Salancik, 2003).

Afet müdahalesinde yapılan lojistik süreçler tipik olarak reaktif ve belirli işlevsel unsurlar göz önünde bulundurulduğundan geçici olarak kurulurlar (Jahre vd., 2009). Bu doğrultuda afet operasyonlarında geçici olarak kurulan insani yardım lojistiğinin başarılı bir sonuç elde edebilmesi kaynaklarına bağlı olabilmektedir. Ayrıca bu süreçte insani yardım kuruluşlarının diğer aktörlerden ve kurumlardan kaynak talep etme yeteneği operasyonlarının başarısını etkileyebilir (Damoah, 2022).

Son olarak paydaş teorisine göre ise kuruluşların iç ve dış paydaşlarının beklentilerini ve ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılaması, ilgi ve taleplerinin anlaşılması, örgütsel faaliyetlere dahil edilmesi gerektiğini ileri sürmektedir (Becan, 2011; Langrafe vd., 2020). Teori, paydaşların, kuruluşun ulaşmak istediği amaçlarını ve faaliyetlerini etkilediğini ve bu nedenle işletmenin çevresiyle ve paydaşlarıyla iyi ilişkiler kurması gerektiğini savunmaktadır (Freeman & McVea, 2001). İnsani yardım kuruluşlarının yardım zincirleri süreçlerinde gerçekleştirdikleri faaliyetler paydaş temelli olduğu için etkili paydaş katılımı ve desteği sürecin başarısı açısından çok önemli olabileceği belirtilmektedir (Damoah, 2022). İnsani yardım kuruluşları yardım zincirlerinde yer alan paydaşları ile süreç boyunca güçlü bir ilişkide bulunması ortaya çıkacak zayıflatları azaltacak ve zincirin performansı açısından fayda sağlayacaktır.

3. Literatür Taraması

3.1. Afet Yönetimi

Afet, doğal veya insan yapımı olabilen, genellikle aniden meydana gelen, etkilenen topluluğun yalnızca kendi kaynaklarını kullanarak baş etme kabiliyetini aşan ve olağanüstü önlemler olarak yanıt vermek zorunda kalacağı şiddetli olay şeklinde tanımlanmaktadır (Department of Humanitarian Affairs, 1992; Carter, 2008). Afetler, kaynağına göre doğal ya da insan kaynaklı, uyarı süresine göre ani başlangıçlı veya yavaş gelişen şeklinde sınıflandırılabilir (Van Wassenhove, 2006). Damoah (2022), çoğu afet vakasının hem insan kaynaklı hem de doğal olayların bir kombinasyonu olduğunu belirtmiştir.

Dünya çapında yılda ortalama 400-500 doğal afet meydana gelmekte ve her yıl milyarlarca insan bu afetlerden etkilenmektedir ve bu afetlerin sayısı olarak arttığına dair önemli kanıtlar mevcuttur (United Nations, 2007; Maon vd., 2009; Ghasemian Sahebi vd., 2017). Örneğin; 2022 yılında dünya genelinde 387 afet olayı meydana gelmiş ve 30.704 can kaybı yaşanmış ve 185 milyon kişi etkilenmiştir. Bu afetler nedeniyle dünya genelinde yaklaşık 223,8 milyar dolar ekonomik kayıp ortaya çıkmıştır (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2023a). Ayrıca 2019 yılı itibarıyla tüm dünyayı etkisi altına alan ve 2020 yılında Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından acil durum olarak ilan edilen Covid-19 nedeniyle gerçekleşen ölüm sayısı ise DSÖ raporlarına göre 6.897.025'tir (World Health Organization, 2023). Türkiye'yi derinden etkileyen 6 Şubat 2023 tarihli Kahramanmaraş merkezinde meydana gelen ve 11 çevre ili etkileyen deprem kaynaklı ölüm sayısı ise 50.783 olarak belirlenmiştir (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2023b).

Afetler sonucunda insani yardım kuruluşları tarafından gerçekleştirilen yardım operasyonları maliyetlerinin %80'ini tedarik zinciri ve lojistik oluşturmaktadır (Van Wassenhove, 2006). Afet yönetiminin önemi gün geçtikçe artmakta, akademisyenler ve sektör uzmanları tarafından insani yardım lojistiğinin önemine dikkat çekilmekte ve bu yönde önemli çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

3.2. İnsani Yardım Lojistiği

Dünya genelinde son yıllarda yaşanan büyük krizlerin ardından yardım dağıtım sistemlerinde başarısızlıklar algılanmıştır. Bu durum insani yardım dağıtımını iyileştirme gerekliliğini doğurmuş ve son zamanlarda artan bir ilgi görmesini sağlamıştır (Fritz Institute, 2005). Yardım dağıtım faaliyetlerini gerçekleştirdikleri insani yardım lojistiği, acil durum ve afetlerden etkilenen mağdurlara tıbbi yardım, yiyecek, barınma ve içme suyu açısından maksimum fayda sağlamayı ve ihtiyaç duyulan doğru miktarda malzemeyi kısa bir süre içinde doğru talep noktalarına tahsis etmeyi ve dağıtmayı amaçlamaktadır (Tomasini & Wassenhove, 2009; Dubey & Gunasekaran, 2016; Özdemir vd., 2021).

Sosyo-ekonomik bağlamın sınırlı bir şekilde dikkate alınmasıyla, en kısa sürede mümkün olduğunca çok sayıda mağdura yardım etmeyi amaçlayan (Kunz & Gold, 2017) insani yardım kuruluşları, çeşitli derecelerde kaynak kısıtlamaları ve karmaşıklıkları altında hayat kurtarma konusunda önemli bir yere sahiptir (Gupta vd., 2019). Bu kuruluşların dağıtım faaliyetlerini gerçekleştirdikleri insani yardım lojistiğinde etkili ve başarılı olabilmesi her zaman belirsizliklerle ve değişikliklerle karşılaşmasına rağmen çoklu müdahalelere mümkün olduğunca çabuk yanıt verebilmesine ve mağdurların acil ihtiyaçlarını en kısa sürede ve en az miktarda kaynakla sürdürülebilir şekilde karşılamasıyla bağlantılıdır (Tomasini & Van Wassenhove, 2004; Van Wassenhove 2006). Bu doğrultuda insani yardım kuruluşları insani yardım lojistiğinde başarı sağlamak için bilgi (Bag vd., 2020), iş birliği, yardımlaşma (Beamon, 2008), çeviklik, uyarlanabilirlik ve uyumluluk (Van Wassenhove, 2006) gibi kritik başarı faktörlerine ihtiyaç duymaktadırlar.

İnsani yardım lojistiğinde yer alan aktörler, geleneksel tedarik zincirindeki aktörlerden farklılık göstermektedir. İnsani yardım lojistiğinde yer alan çoğu aktör talebi karşılamamanın faydalarıyla bağlantısı bulunmamaktadır (Kovacs & Spens, 2007). İnsani yardım lojistiğine dahil olan aktörler bağışçılar, yardım kuruluşları, STK'lar, hükümetler, ordu ve özel kuruluşlar olarak Şekil 1'de gösterilmiştir (Kovacs & Spens, 2007; Dubey & Gunasekaran, 2016; Li vd., 2019).



Şekil 1: İnsani yardım lojistiğinin paydaşları (Kovacs & Spens, 2007).

Hükümetler, operasyonları yetkilendirme ve kaynakları harekete geçirme gücüne sahip olduğu için insani lojistik akışı sürecinde katalizör görevindedirler. Ordu, yüksek planlama ve yetkin lojistik yetenekleri sayesinde yardım lojistiğinde önemli bir faktördür (Dubey & Gunasekaran, 2016). İnsani yardım lojistiğinin temel bir paydaşı olarak yardım kuruluşları diğer aktörlerin farklı çıkarlarını/beklentilerini iyi anlayarak onlarla koordinasyon içinde olmalıdır (Bealt vd., 2016).

Bağışçılar, afetzedeler için finansman kısmını sağlarken, STK'lar gerekli kaynakları bir araya getirerek, ihtiyaçları belirleyip gerekli insani hizmetleri sunmak için uygun altyapıyı sağlar (Prasad vd., 2016). Son olarak özel kuruluşlar ise genel olarak insani yardım durumunda STK'lar ile iş birliği sağlayarak lojistik hizmet sağlar ve sürecin hızını ve verimliliğini artırırlar (Dubey ve Gunasekaran, 2016).

3.3. İnsani Yardım Lojistiği ve Afet Yönetimi

Genel olarak afet yönetiminde dört aşama bulunmaktadır. İlk aşama afetin potansiyelini hafifletme aşaması, ikinci aşama afet durumunda müdahaleyi iyileştirmek için hazırlıklı olma aşamasıdır. Daha sonra afetin hemen ardından mağdura ulaşma ve yardım etme aşaması olan müdahale aşamasıdır. Son olarak dördüncü aşama ise toplumu istikrara kavuşturmak ve bir miktar normalliği yeniden sağlamak için uzun vadede gerçekleştirilen eylemler ve yeniden inşa olan rehabilitasyon/iyileştirme aşamasıdır (Van Wassenhove, 2006; Altay & Green, 2006).

Akdur (2000), afetlerin kendine özgü bir süreçleri olduğunu ve bu nedenle tüm afet türlerinin, afet yönetimi açısından bazı farklılıklar gösterdiğini belirtmiştir. Afetlerin sırasıyla; sessiz dönem, alarm dönemi, izolasyon dönemi, dış yardım dönemi ve rehabilitasyon dönemi olmak üzere beş dönem şeklinde cereyan ettiği kabul edilmektedir. Deprem yönetiminde de benzer dönemler olmakla beraber depreme karşı alınması gereken tedbirler deprem sırasında ve sonrasında yapılması gerekenler bu süreçlere göre sınıflanmakta ve düzenlenmektedir (Akdur, 2000).

Türkiye’de afet öncesi ve afet sırasında yapılacak olan uygulamalar 18.12.2013 tarihinde yürürlüğe giren Afet ve Acil Durum Müdahale Hizmetleri Yönetmeliği (AADMHY) hükümlerine göre yürütülmektedir. AADMHY doğrultusunda gerçekleştirilen çalışmalar Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP) ve Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planına (UDSEP) göre yürütülmektedir ve AFAD bünyesinde oluşturulan “Afet ve Acil Durum Danışma Kurulu” afetlere yönelik tedbir almadan sorumludur (Şahin, 2019).

Karaman (2016), Türkiye’deki afet yönetiminin, merkeziyetçi ve afet sonrasında ortaya çıkan durumlara yönelik bir örgütsel yapı geliştirilerek sorun çözmeye odaklı, etki-tepki ilişkisine dayandırılan bir süreç yönetimi içinde geliştirildiğini belirtmiştir. Ülkenin beş yıllık kalkınma planlarında afet yönetimi ile ilgili çalışmalara yer verilmiş olsa da ilk olarak Altıncı Beş Yıllık Kalkınma planından itibaren doğrudan politika ve düzenlemeler yer almaktadır (Karaman, 2016). Son olarak hazırlanan On Birinci Kalkınma Planı’nda “Politika ve Tedbirler” başlığı altında afet zararlarının en aza indirilmesine yönelik çalışmalar belirtilmiştir. Bu çalışmalarda temel amaç, afetlere karşı toplumsal bilincin artırılması, afetlere dayanıklı ve güvenli yerleşim yerlerinin oluşturulması ve risk azaltma çalışmaları yapılarak afetlerin neden olabileceği can ve mal kaybının asgari düzeye indirilmesidir (Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019).

Doğal afetleri önlemek pek mümkün olmamakla beraber coğrafik olarak bazı bölgeler çeşitli afetlere daha çok maruz kalmaktadır. Bu doğrultuda ülkelerin potansiyel olarak yaşanabilecek afetlere karşı hazırlıklı olması ortaya çıkacak kayıpların ve riskin azaltılmasını sağlayabilir. Türkiye’de çoğu şehrin ve bölgenin doğal kaynaklı afetlere maruz kalma oranı çok yüksektir. Genel olarak ülkede en çok etkili olan ve can kaybı ve mal kaybının yaşanmasına sebep olan doğa kaynaklı afetler; depremler, heyelanlar, seller, kaya düşmesi, çığ düşmesi ve orman yangını olarak belirtilmiştir (Avdar & Avdar, 2022). AFAD’ın 1990-2018 yılları arasında meydana gelen önemli afetler sonucunda etkilenen bölgelerin ve ortaya çıkan can kayıplarının ele alındığı afet istatistikleri verileri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo1: 1990-2018 yılları arasında meydana gelen önemli afetler (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018)

Olay Türü	İl/Bölge	Tarih	Can Kaybı	Yaralanma
Çığ Düşmesi	Güneydoğu Anadolu	1992	328	53
Çığ Düşmesi	Doğu ve Güneydoğu Anadolu	1993	135	95
Deprem	Erzincan	13 Mart 1992	653	3.850
Çamur Akması	Isparta (Senirkent)	13 Temmuz 1995	74	46
Deprem	Afyon (Dinar)	1 Ekim 1995	94	240
Su Baskını	İzmir	4 Kasım 1995	62	117
Deprem	Çorum/Amasya	14 Ağustos 1996	0	6
Su Baskını	Batı Karadeniz	21 Mayıs 1998	10	47
Deprem	Adana (Ceyhan)	27 Haziran 1998	145	1.600
Deprem	İzmir Körfezi- Bay	17 Ağustos 1999	17.480	43.953
Deprem	Düzce	12 Kasım 1999	763	4.948
Deprem	Afyon(Sultandağı)	3 Şubat 2002	42	327
Deprem	Bingöl	1 Mayıs 2003	177	520
Su Baskını/Heyelan	Rize	26 Ağustos 2010	14	-
Deprem	Van (Erciş ve Edremit)	23 Ekim 2011	644	1.966
Su Baskını	Samsun (Canik)	3 Temmuz 2012	13	21
Heyelan	Siirt (Şirvan)	17 Kasım 2016	16	-

Ayrıca 2019 -2023 yılları arasında deprem nedeniyle toplam 50.272, sel ve heyelan nedeniyle 178 ve yangınlar nedeniyle 9 can kaybı yaşanmıştır. Yukarıda yer alan veriler Türkiye’nin afetlerden ciddi oranda etkilenen ve afet riski yüksek olan bir ülke olduğunu göstermektedir. Bununla beraber Türkiye konum olarak deprem bölgesindedir ve tektonik özellikleri nedeniyle topraklarının %98’i deprem riski altında bulunan bir ülkedir (Özkul & Karaman, 2007).

Bu nedenle afetlerin risklerini azaltabilmek ve afet sırasında ve sonrasında doğru müdahaleleri gerçekleştirmek ve gerekli önlemleri alabilmek can ve mal kaybını azaltacaktır. Afet yönetimine benzer şekilde deprem yönetiminde de insani yardım lojistiğinde yer alan aktörlere, başta hükümet ve yardım kuruluşlarına büyük sorumluluklar düşmektedir. Bu doğrultuda afet yönetim süreçlerinde yer alan yardım kuruluşları her aşamada can ve mal kayıplarını azaltmak, acıları hafifletmek ve doğru müdahaleleri sağlamak adına yardım lojistiğinin performansını iyileştirmeli ve bu yönde çalışmalar gerçekleştirmelidir. Lojistik, afete hazırlık ve müdahale arasında bir köprü görevi görmektedir (Thomas, 2003). En kısa sürede ihtiyaç duyulan doğru miktardaki malzemeyi doğru talep noktalarına tahsis etmeyi ve dağıtmayı amaçlayan insani lojistik, afet yönetiminde önemli bir konudur (Özdemir vd., 2020). İnsani yardım lojistiği, acil durumlarda etkilenen nüfusun acil ihtiyaçlarına cevap vermek için mal, bilgi ve hizmet akışlarının verimli yönetimine odaklandığından, başarılı bir yardım operasyonunun kritik bir unsurudur (Sheu, 2007). Bu kadar öneme haiz olan insani yardım lojistiğinin performansının iyileştirilmesi ve başarı faktörlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

3.4. İnsani Yardım Lojistiğinin Kritik Başarı Faktörleri

Rockart tarafından 1979 yılında tanımlanan kritik başarı faktörleri (Yadav & Barve, 2018), farklı sonuçlar elde edilen çeşitli yönetim amaçlarına uygulanmıştır. İlk olarak proje yönetimi çalışmalarında kullanılan kritik başarı faktörleri, genellikle organizasyonel yönetim, operasyonel yönetim, insan kaynakları yönetimi, işletme yönetimi, toplam kalite yönetimi ve tedarik zinciri yönetimi gibi çeşitli bağlamlara yaygın olarak uygulanmaktadır (Li vd., 2011; Yadav & Barve, 2015).

İnsani yardım lojistiği için performans göstergelerini ilk olarak Davidson (2006) ele almıştır. Yazar askeri ve ticari kuruluşlardaki lojistik fonksiyonlarında yer alan en iyi uygulamaları incelemiş ve insani yardım lojistiğinde dört performans göstergesi belirlemiştir. Pettit ve Beresford (2009), insani yardım tedarik zincirlerinin başarısı için hangi faktörlerin kritik olduğu ve tüm krizlerde aynı faktörlerin ortaya çıkıp çıkmadığı konusunda bir anlayış geliştirmenin önemli olduğunu belirtmiştir. Ticari tedarik zincirlerine benzer şekilde, insani yardım dağıtımının nihai başarısını belirleyecek bazı kilit faktörlerin gerekliliği ifade edilmiş ve yapılan kapsamlı literatür taraması sonucunda ticari tedarik zinciri kritik başarı faktörlerinden uyarlanmış 9 adet başarı faktörü ele alınmıştır. Oloruntoba (2009), acil yardım zincirinin kritik başarı faktörlerini belge analizine ve afet yöneticileriyle yarı yapılandırılmış görüşmelere dayanarak analiz etmiş ve afet operasyonu faaliyetlerinden hazırlık, planlama ve müdahale aşamasında yer alan kritik başarı faktörlerini tanımlamıştır.

Zhou vd. (2011), kapsamlı literatür taraması sonucunda acil durum yönetiminde etkili olabilecek 20 kritik başarı faktörü oluşturmuş ve aralarındaki ilişkiyi analiz etmek ve faktörleri bir neden-sonuç diyagramında düzenlemek için bulanık DEMATEL yöntemi kullanmıştır. Benzer şekilde Li vd. (2014), acil durumun yönetiminin verimliliğini arttırmak ve iyileştirilmesini sağlamak açısından 10 kritik başarı faktörü ele almış ve DEMATEL yöntemi kullanmıştır. Çalışmanın sonucunda performansı en çok etkileyen 5 kritik başarı faktörü (Organizasyon yapısı ve sorumluluk bilinci, raporlama ve bilgi göndermede netlik, koordinasyon ve iş birliği, güçlü bilgi ve iletişim teknolojisi ve simüle edilmiş afet tatbikatının düzenli organizasyonu) belirlenmiştir.

İnsani yardımdaki kritik başarı faktörleri, afet etkisinden önce yapılan stratejik planlamanın yürütülmesi için hayati önem taşımaktadır. Yadav ve Barve (2015; 2018), kritik başarı faktörlerinin bir organizasyonun misyonunu gerçekleştirmesinde ve yardım zincirlerinin başarısını belirlemede etkili olduğunu belirtmiştir. Yapılan çalışmalarda ilk olarak yorumlayıcı yapısal modelleme ile 12 kritik başarı faktörü daha sonra ise bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak 16 kritik başarı faktörü ele alınmıştır. Fulzele vd. (2016) afet durumunda bir yardım operasyonunda yer alan tedarik zincirlerinin genel başarısına katkıda bulunacak 11 kritik başarı faktörü belirlemiş ve dikkate alınması ve uygulanması gerekliliğini ifade etmiştir. Behl vd. (2019), Scopus veri tabanından yapılan literatür taraması sonucunda konularıyla bağlantılı olabilecek 12 makale ele alıp incelemiştir. İncelenen bu makaleler sonucunda insani tedarik zincirini etkileyebilecek 20 kritik başarı faktörü belirlenmiştir. Damoah (2021) ise Gana'daki sel felaketi yönetimine odaklanarak insani tedarik zinciri yönetiminde kritik başarı faktörlerini araştırmıştır. Yarı yapılandırılmış görüşme ve anket verileri ile açıklayıcı faktör analizi, doğrulayıcı faktör analizi ve yapısal eşitlik modelleme teknikleri kullanılarak 9 ana kriterle beraber 41 tane alt kritik başarı faktörü belirlemiştir. Bu çalışmada kapsamlı literatür taraması yapıldıktan sonra insani yardım lojistiğini etkileyen kritik başarı faktörleri bir araya getirilmiş ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: İnsani yardım lojistiğinde kritik başarı faktörleri

Kritik Başarı Faktörleri	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1.Koordinasyon ve iş birliği	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.Stratejik planlama	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.Güçlü bilgi ve iletişim teknolojisi	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
4.Sürekli iyileştirme	✓	✓	✓	✓	✓					
5.Raporlama ve bilgi göndermede netlik				✓	✓		✓	✓	✓	
6.Organizasyon yapısı ve sorumluluk bilinci		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7.Risk, ihtiyaç ve afet değerlendirmesi		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
8.Erken uyarı sistemi		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
9.Ulaştırma ve kapasite planlaması	✓		✓	✓			✓	✓	✓	✓
10.Kaynakların etkin kullanımı, malzemelerin güvenliği ve etkin konumlandırılması			✓	✓				✓	✓	✓
11.Sıfır zayıat yaklaşımı			✓	✓						
12.Afet önleme ve müdahale konusunda eğitim					✓		✓	✓	✓	✓
13.Simüle edilmiş afet tatbikatının düzenli organizasyonu					✓		✓	✓	✓	
14.Uygulanabilir acil durum müdahale planı ve yönetmelikleri		✓		✓	✓		✓	✓	✓	
15.Envanter yönetimi	✓	✓								✓
16.Tedarik zinciri stratejileri	✓	✓								

(1) Pettit & Beresford (2009); (2) Yadav & Barve (2015); (3) Fulzele vd. (2016); (4) Yadav & Barve (2018); (5) Behl vd. (2019); (6) Davidson (2006); (7) Olorunoba (2010); (8) Zhou vd. (2011); (9) Li vd. (2014); (10) Damoah (2021).

Kritik başarı faktörleri, başarılı bir yardım faaliyeti için önemli olmakla beraber başarının elde edilmesinde doğrudan katkısı bulunmaktadır. Belirli bir yönetim faaliyetinin başarısının veya başarısızlığının temel belirleyicileri olan kritik başarı faktörleri, afet yönetiminde yeterli düzeyde değilse yardım yanıtı, ihtiyacı olanlara ulaşamayacak veya gerekli yardımlar uygun yerlere uygun zamanda teslim edilemeyecektir (Zhou vd., 2011). Bu durumda koordinasyon ve iş birliğinin sağlanmasına, uzun vadeli kalkınmayı sağlayacak yaklaşımları benimseyen stratejik planlamanın yapılmasına, güçlü bilgi ve iletişim teknolojinin benimsenmesine, sürekli iyileştirmenin yapılmasını gerektiren ve bu durumların pratikte uygulanmasına olanak sağlayan kritik başarı faktörlerin belirlenmesi ve uygulanması oldukça önemlidir.

Literatürde afet yönetiminde insani yardım lojistiğinin kritik başarı faktörlerini ele alan kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle ilgili çalışmalar incelendikten sonra çalışmada insani yardım lojistiği için 16 kritik başarı faktörü oluşturulmuş ve bu faktörlerin neden ve etkileri arasındaki ilişkileri yapısal bir modelle incelemek ve nedensellik ilişkilerini bir diyagram yardımı ile gösterebilmek için Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmıştır.

4. Çalışma Yöntemi

4.1. Bulanık DEMATEL

Grafiksel temelli olan DEMATEL, 1970'li yıllarda karmaşık değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri değerlendirmek amacıyla geliştirilmiştir (Khan vd., 2022). DEMATEL yönetiminin önemli yönlerinden biri ilgili değişkenleri sebep ve sonuç gruplarına bölerek problemleri çözme imkânı tanınmasıdır. Sorunları görselleştirme yöntemiyle analiz eden DEMATEL, kriterler arasındaki birbirlerini etkileme durumu ve birbirlerinden etkilenme derecelerini belirleyerek ilişkileri açıklayıcı bir model ortaya koyabilmektedir (Ayçin, 2020).

Geleneksel sayısal yöntemler kesin çözüm sunmasına rağmen insan faktörüyle artan karmaşıklık nedeniyle, insan merkezli problemlerin çözümleri için uygun değildir (Merdivenci, 2021). Karar vericilerin algılarını ve tercihlerini ifade etmede belirsizlik yaşamaları, nesnelerin gruplanmasını zorlaştırabilmekte ve karar verme sonucunu kesin olmayan yargılardan etkilenmesine neden olmaktadır (Ömürgönülşen vd., 2019). Zadeh (1965) bu belirsizliği ortadan kaldırmak için bulanık küme teorisini ortaya koymuştur. Bulanık küme teorisi karar verme sürecinde kullanılan dilsel değişkenleri ifade etmek için geliştirilmiştir. Dilsel ifade yaklaşımı, uzmanların değerlendirmelerini yönlendirmeleri için etkili ve doğal bir yoldur ve pratikte dilsel değerler uygun bulanık sayılarla temsil edilebilir (Zhou vd., 2011). Belirsiz yargıları için kullanılması önerilen bulanık dilsel ifadeler ölçeği Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3: Bulanık dilsel ölçek ve karşılık gelen üçgen bulanık sayılar

Dilsel İfadeler	Üçgen Bulanık Sayılar
Etki yok	(0; 0; 0.25)
Düşük Derecede Etki	(0; 0.25; 0.50)
Orta Derecede Etki	(0.25; 0.50; 0.75)
Yüksek Derecede Etki	(0.50; 0.75; 1)
Çok Yüksek Derecede Etki	(0.75; 1; 1)

İnsani yardım lojistiğinde çok sayıda birbirini etkileyen faktörleri barındırmaktadır. Bu nedenle Bulanık DEMATEL, insani yardım lojistiğini etkileyen faktörleri sıralamak ve performansını iyileştirmek amacıyla kritik başarı faktörlerin belirlenebilmesi için tercih edilebilmektedir (Li vd., 2014). Literatürde insani yardım lojistiği ve afet yönetiminde kritik başarı faktörlerini belirlemek amacıyla DEMATEL ve bulanık DEMATEL kullanılmıştır (Zhou vd., 2011; Li vd., 2014; Yadav & Barve, 2015). Çalışmada kapsamlı ve güncel literatür sonucunda oluşturulmuş 16 kritik başarı faktörü bulunmaktadır. Bu faktörler Türkiye’de insani yardım lojistiği konusunda çalışan uzman ve tecrübeli olan 5 kişi tarafından değerlendirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında Bulanık DEMATEL yöntemiyle insani yardım lojistiğinde kritik başarı faktörlerin arasındaki etkileşim düzeyi belirlenecek ve faktörlerin önem derecesi tespit edilecektir. Yöntemin uygulama adımları ise aşağıda sıralanmıştır (Wu & Lee, 2007; Zhou vd., 2011; Organ, 2013; Ömürgönülşen vd., 2019).

1. *Adım: Karar probleminin tanımlanması ve bulanık skalanın oluşturulması:* Bu adımda karar problemi tanımlanır ve daha sonra etkileyen ve etkilenen faktörler belirlenir. Bu faktörlerin belirlenebilmesi için faktörler arasındaki ilişkiler, uzmanlardan oluşan bir grup tarafından ikili karşılaştırılmalarla değerlendirilmelidir. Bir faktörün diğer bir faktörü ne derece etkilediğini saptamak zor olduğu için Tablo 3’te önerilen dilsel değişken ölçeğinden faydalanılır. Dilsel terimlerde üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmiştir.

2. *Adım: Bulanık Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması:* Faktörler arasındaki ilişki düzeyinin belirlenmesi için p adet uzmandan oluşan karar verici grup, dilsel ifadeler ile ikili karşılaştırma matrisi oluşturur. Tablo 3’ten yararlanılarak oluşturulan matris, dilsel ifadelere karşılık gelen üçgen bulanık sayılara göre $\tilde{z}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ şeklinde yeniden düzenlenmekte ve elde edilen matrislerdeki değerlerin ortalamaları alınarak her bir uzmana denk gelecek p tane bulanık karar matrisi elde edilir. Bulanık direkt ilişki matrisi $\tilde{Z}$ şeklinde gösterilir.

3. *Adım: Normalize Edilmiş Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması:* Bulanık Direkt İlişki Matrisinde yer alan tüm sütunlar ayrı ayrı toplanarak l, m ve u değerlerinin en yüksek olanları belirlenir. Eşitlik (1) ve (2) den faydalanılarak Bulanık Direkt İlişki Matrisinde yer alan tüm değerler kendi grubu içerisinde yer alan en yüksek değere bölünerek normalize edilir. Daha sonra Normalize Edilmiş Bulanık Direkt İlişki Matrisi $(\tilde{X})$ elde edilir (bu matrisin bütün elemanları 0-1 aralığındadır).

$$\tilde{X}_{ij}^{(k)} = \frac{\tilde{z}_{ij}^{(k)}}{r^{(k)}} = \left(\frac{l_{ij}^{(k)}}{r^{(k)}}, \frac{m_{ij}^{(k)}}{r^{(k)}}, \frac{u_{ij}^{(k)}}{r^{(k)}} \right) \quad (1)$$

$$r^{(k)} = 1 < i < n \left(\sum_{j=1}^n (l, m, u)_{ij}^k \right) \quad (2)$$

4. *Adım Bulanık Toplam Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması:* Normalize edilmiş Bulanık Direkt İlişki Matrisinden yola çıkarak eşitlik (3) yardımıyla, Bulanık Toplam Direkt İlişki matrisi oluşturulur. Toplam İlişki Matrisi $\tilde{T}$ şeklinde gösterilir. Eşitlikte I, birim matrisi göstermektedir.

$$T^* = X \cdot (I - X)^{-1} \quad (3)$$

5. *Adım Etkileyen ve Etkilenen Faktörlerin Belirlenmesi:* 4.Adımda elde edilen Bulanık Toplam İlişki Matrisinden sonra satır (D) ve sütun (R) değerlerinin toplamı hesaplanır. Hesaplanan değerlerden sonra her bir faktör için (D+R) ve (D-R) hesaplamaları yapılır. D-R ve D+R değerleri kullanılarak, her bir kriterin diğerlerine olan etki seviyesi ve diğerleriyle ilişki seviyesi belirlenir. (D-R) değeri pozitif olan faktörler diğer kriterler üzerinde daha yüksek etkiye sahiptir ve etkileyen olarak adlandırılırlar. (D-R) değeri negatif olan faktörler ise diğer kriterlerden daha fazla etkilenirler ve etkilenen olarak adlandırılırlar.

6. *Adım Durulaştırma İşlemi ve Ağırlıkların Hesaplanması:* Üçgensel bulanık sayılardan türetilen D-R ve D+R değerleri üç tane değer içermektedir. Bu değerleri tek hale getirebilmek için eşitlik (4) ve (5) kullanılarak durulaştırma yöntemi uygulanır. Daha sonra faktörlerin karar problemi açısından önem ağırlıklarını hesaplamak amacıyla eşitlik (6) ve eşitlik (7) kullanılmaktadır.

$$D_i + R_i = \frac{1}{4} (l + 2m + u) \quad (4)$$

$$D_i - R_i = \frac{1}{4}(l + 2m + u) \quad (5)$$

$$W_i = \{(D_i + R_i)^2 + (D_i - R_i)^2\}^{1/2} \quad (6)$$

$$W_i = \frac{w_1}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (7)$$

5. Bulgular

Bu çalışma, bulanık DEMATEL yöntemiyle afet yönetiminde insani yardım lojistiğinin kritik başarı faktörlerinin önem derecelerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Aynı zamanda kritik başarı faktörlerinin boyutunu belirleyerek etkileyen ve etkilenen kriterleri saptamaktadır. Buna yönelik olarak detaylı literatür taraması sonucunda 16 tane insani yardım lojistiğinin kritik başarı faktörü belirlenmiştir. Uygulama sırasında insani yardım lojistiği konusunda çalışan akademik ve sektör çalışanlarının oluşturduğu uzman bir grup karar verici olarak alınmıştır.

1. Adım: Çalışmanın karar problemi, afet yönetiminde insani yardım lojistiği için belirlenen kritik başarı faktörlerinin etkileşim düzeyinin belirlenmesi ve faktörlerin önem derecesine göre değerlendirilmesidir. Kritik başarı faktörlerin önem derecelerinin belirlenebilmesi için karar vericinin o konu hakkında uzman bir kişi olması ya da yeterli bilgiye sahip olması gerekmektedir (Organ, 2013). Çalışmada insani yardım kuruluşunda çalışan 3 sektör çalışan ve bu alanda çalışmalar yapan 2 akademisyenin görüşleri alınmıştır. Bu doğrultuda belirlenen uzmanlar tarafından kriterler arasındaki ilişkiler dilsel ifadeler kullanılarak bulanık skala oluşturulmuştur. Uzmanlar tarafından sözel ifadelerle karşılaştırılan kriterler Tablo 4'te yer almaktadır. Literatür araştırması sonucuyla elde edilen kritik başarı faktörleri açıklamalarıyla aşağıda yer almaktadır.

Kritik Başarı Faktörleri

F1. Stratejik planlama: Stratejik planlama, kurumsal stratejiyi, dağıtım merkezlerinin yerini, temel olmayan faaliyetlerin dış kaynak kullanımını, işin ve bütçelerin boyutunu, sermaye edinmeyi, kaynakların dağıtımını ve organizasyon becerilerinin etkin kullanımını içermektedir. Planlamada varlıkları tanımlanır ve olası senaryoların güçlü ve zayıf yönleri değerlendirilir. Bu doğrultuda bir tedarik zincirinin başarılı olması için uzun vadeli karar vermeyi hedefleyen stratejik planlama önem arz etmektedir (Long, 1997; Pettit & Beresford, 2009). İnsani yardım lojistiğinde afetlere etkili müdahalelerin gerçekleştirilebilmesi ve hazırlıklı olunabilmesi için uzun vadeli yaklaşımları benimseyen planlamaların yapılması gerekmektedir.

F2. Afet önleme ve müdahale konusunda eğitim: Bu başarı faktörü hem müdahale personeli hem de ilgili vatandaşlar için afet önleme ve müdahale etme konusunda eğitim verilmesi durumunu tanımlamaktadır. Yerel kuruluşlar ve yardım kuruluşları tarafından yerel halkın ilk yardım konusunda bilinçlendirilmesi mağduriyetin azaltılması açısından önemli bir unsurdur.

F3. Sıfır zayıyat yaklaşımı: İnsani yardım sektörlerinin genel amacı, hayat kurtarmak ve afetten etkilenen mağdur insanlara temel ihtiyaçlarını ulaştırmaktır (Roy vd., 2012). Sıfır zayıyat yaklaşımı doğrultusunda yardım kuruluşları maksimum düzeyde mağdurlara yardım etmeyi ve can ve mal kaybını minimum düzeyde tutmaya çalışırlar.

F4. Ulaştırma ve kapasite planlaması: Afet durumlarında malzeme taşınması ticari organizasyonlardan farklılık göstermektedir. Ayrıca ulaşım modları örgütlenmemiştir ve altyapı sorunları söz konusudur. Ulaşımın planlanmaması durumunda ise malzemeler uygun bir şekilde taşınmaz ve süreçte aksaklıklar yaşanır. İnsan hayatının söz konusu olduğu afet durumlarında bu tarz aksaklıkların yaşanmaması açısından planlamaların önceden yapılması gerekmektedir (Fulzele vd., 2016; Pettit & Beresford, 2009). Kapasite planlaması, depo ve dağıtım merkezlerinin sayısı ile bunların kapasitesi, araçları ve diğer ekipman ve çalışan sayılarına ilişkin kararları etkiler. Kapasiteyi etkileyen dört temel alan depolama, nakliye, malzeme taşıma cihazları ve insan kaynaklarıdır (Gunasekaran & Ngai, 2003).

F5. Tedarik zinciri stratejileri: Just-in-time, çeviklik ve yalın tedarik gibi tedarik zinciri stratejileri insani yardım lojistiğinde yer alan riskleri yönetebilmek ve performansın artışı sağlamak açısından önemli bir faktördür (Görener, 2013).

F6. Organizasyon yapısı ve sorumluluk bilinci: Afet düzeylerine bağlı olarak her düzeye uygun koordinasyon ve yönerge gereklidir ve afet operasyonları faaliyetlerinden hazırlık ve müdahale aşamasında sorumluluk bilinci doğrultusunda bilgi ve yönerge akışı sağlanmalıdır. İnsani yardım lojistiğinin etkinliğini artırmak ve ilgili her bir departmanın görev ve sorumluluklarını açıkça anlamasını sağlamak amacıyla organizasyon yapısı ve yönetim biçimi dikkatli bir şekilde tasarlanmalıdır (Oloruntoba, 2010; Pettit & Beresford, 2009).

F7. Raporlama ve bilgi göndermede netlik: Afet sırasında ve sonrasında talep ve arz verileri hakkında bilginin zamanında ve anlaşılır bir şekilde gönderilmesi yardım zincirindeki iş birliğinin ve koordinasyonun sağlanması ve doğru müdahalenin yapılabilmesi açısından önemlidir. Ayrıca afet sahasında elde edilen bilgilerin ve verilerin raporlanması insani yardım lojistiğinde yer alan paydaşlar için bilgi niteliğindedir (Yadav & Barve, 2018).

F8. Risk, ihtiyaç ve afet değerlendirmesi: Risk değerlendirmesi, potansiyel tehlikeleri analiz eder ve insanlara, mülklere, geçim kaynaklarına ve çevreye potansiyel bir tehdit veya zarar oluşturabilecek mevcut kırılganlık koşullarını değerlendirerek riskin niteliğini ve kapsamını belirlemeye yönelik bir yaklaşımdır. Risk değerlendirmesi, bir tehlikenin temel nedenlerinin ele alınmasına yardımcı olur ve aynı zamanda can ve mal kayıplarını azaltır.

Doğal ve insan kaynaklı afetlerden sonra hangi mal ve hizmetlerin gerekli olduğunu belirlemek için bir ihtiyaç değerlendirmesi yapılmalıdır (Du & Lin, 2012). Öte yandan afetlerin ve risklerin değerlendirilmesi insani yardım lojistiğinde stratejik planlama yapılabilmesini sağlar.

F9. Erken uyarı sistemi: Ön uyarı sistemi, insan hayatını ve altyapıyı da etkileyebilecek afetlerin hacmi ve yoğunluğu hakkında bilgi verilmesine yardımcı olur ve erken uyarı sayesinde insani yardım lojistiği bir bütün olarak kontrol altına alınabilir (Fulzele vd., 2016). Erken uyarı sistemi sayesinde yaşanabilecek meteoroloji kaynaklı afet olaylarının önceden haber verilmesi insanların bulundukları yeri terk etmeleri, güvenli yerlere taşınabilmeleri gibi hazırlıklı olmalarını sağlayabilir.

F10. Simüle edilmiş afet tatbikatının düzenli organizasyonu: Tüm afetlere hazırlık ve müdahale hedeflerine hizmet için kaynakların birleştirilmesi, yeterliliğin en üst düzeye çıkarılması, tüm ilgililere sürdürülebilir tatbikat ve eğitim desteği verilmesi için gelişmiş bir organizasyon yapısının olması afet ve acil durum yönetimi tarafından yararlı olarak görülmektedir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2014).

F11. Envanter yönetimi: Malzeme akışlarını, hacimlerini, zamanlamaları ve konsolidasyonu planlama ve koordine etme açısından envanter yönetimi yararlı olarak görülmektedir (Pettit & Beresford, 2009). İnsani acil durumlar, öngörülemeyen talep kalıpları ve uzun süreli nedenlerle benzersizdir (Yadav & Barve, 2015). 2012 yılında Holguín-Veras vd. (2012) tarafından yapılan bir araştırma sonucunda, etkin bir insani yardım envanter kontrol modelinin olmaması afet mağdurları için büyük olumsuz sonuçlara yol açtığı belirtilmiştir.

F12. Sürekli iyileştirme: İnsani yardım lojistiğinin operasyonel sisteminde sürekli iyileştirme, kritik bir başarı faktörü olarak kabul edilmektedir. Sürdürülebilir iyileştirmeye ulaşmak için kıyaslama, performans ölçümü, bilgi yönetimi ve iş birliği gibi önemli parametreler benimsenmelidir. İnsani yardım lojistiğinde verimliliği ve etkinliği sağlamak ve bu durumu sürdürebilmek için tüm sistemin sürekli iyileştirilmesi gerekmektedir (Yadav & Barve, 2015).

F13. Koordinasyon ve iş birliği: İnsani yardım lojistiğinde ordu, hükümet, STK'lar, bağışçılar, özel kuruluşlar ve yardım kuruluşları gibi her biri farklı ilgi alanlarına, yetkilere, kapasiteye ve lojistik uzmanlığa sahip olabilecek paydaşları yer almaktadır (Van Wassenhove, 2006). Bu paydaşların kendi aralarında gerçekleştireceği iş birliği yardım sürecinde koordinasyon açısından önemlidir. Çoğu akademisyen, insani yardım lojistiğinin çeşitli aktörleri arasındaki koordinasyonun, ilk müdahale çabalarının etkinliğini artırabileceği konusunda hemfikir (Balçık vd., 2010). Ayrıca son yıllarda afetlerin sıklığı ve şiddeti arttıkça iş birliği ve risk paylaşımına duyulan ihtiyaç büyük ölçüde artmıştır (Kunz & Gold, 2017).

F14. Uygulanabilir acil durum müdahale planı ve yönetmelikleri: Afet yönetiminde insani yardım lojistiğindeki tüm aşamaları içeren uygulama düzenlemeleri ve yönetmelikleri mevcuttur. Bu düzenleme ve yönetmelikler arasında afet aşamalarını kapsayacak kısa vadede uygulanabilecek acil müdahale ve plan yönetmeliklerinin olması süreç açısından faydalı olarak görülmektedir. Tüm afetler için anlaşılır, inandırıcı ve uygulanabilir uyarılar sadece resmi kurum veya kuruluş tarafından ve zamanında yapılmalı ve mevcut olan uygulama düzenlemeler ve yönetmelikler kısa sürede faaliyete geçirilmelidir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2014).

F15. Kaynakların etkin kullanımı, malzemelerin güvenliği ve etkin konumlandırılması: Afet anında fonlar, bağışlar, nitelikli insan kaynakları, yardım malzemeleri ve diğer varlıklar gibi kaynaklar çok önemlidir ve bunların etkin ve optimize bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. İnsani yardım lojistiğinde birçok aktör yer aldığı için, kaynak kullanımının optimizasyonu ile yardım operasyonlarının düzgün işleyişini sağlayacak uygun bir planlamanın yapılması ve uygulanması gerekliliği söz konusudur (Ewins, 2006; Fulzele vd., 2016). Doğru aracın konuşlandırılması, korunmasız kişilerin yanı sıra yardım kaynaklarının taşınması (Yadav & Barve, 2018) ve dağıtım için getirilen malzemelerin güvenliği önemli bir husustur.

F16. Güçlü bilgi ve iletişim teknolojisi: İnsani yardım lojistiğinde bilgi önemli bir rol oynamaktadır ve bilginin yönetimi kullanım hızı, müdahalenin etkinliği üzerinde kritik bir etkiye sahiptir (Howden, 2009; Bag, 2020). İnsani lojistik bilgi sistemleri, afet yönetimi döngüsü boyunca lojistik birimlerin etkinliğini iyileştirir ve aşamalar boyunca süreklilik sağlayabilir (Howden, 2009). İletişim teknolojisi, herhangi bir yardım operasyonunun önemli bir yönüdür ve mevcut telekomünikasyon altyapısının kullanılması diğer iletişim yöntemleri kadar elzemdir. Ayrıca insani yardım lojistiğinde etkili koordinasyonun sağlanması için iletişimin sağlanması ve modern iletişim teknolojilerinin kullanılması gerekmektedir (Pettit & Beresford, 2009).

Tablo 4: Grup karar vericinin sözel ifadeler ile kriterleri karşılaştırması

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
F1	0	2	4	4	4	4	4	4	4	2	4	3	4	4	4	4
F2	2	0	2	3	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2
F3	3	3	0	3	2	3	3	2	2	2	2	3	2	1	2	3
F4	3	4	4	0	4	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4
F5	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	2
F6	5	4	3	4	4	0	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4
F7	4	4	4	4	4	4	0	4	3	4	3	4	4	4	3	4
F8	1	1	1	1	1	2	1	0	1	2	1	1	1	2	1	1
F9	1	1	2	2	1	2	2	2	0	1	1	1	1	1	1	1
F10	2	2	2	1	1	1	2	2	2	0	1	2	1	2	2	2
F11	3	3	3	3	2	2	3	3	2	2	0	3	3	2	3	3
F12	4	4	4	5	4	5	4	3	4	5	4	0	4	4	4	3
F13	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	0	5	4	5
F14	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	0	1	1
F15	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2	0	1
F16	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	4	4	4	4	0

2.Adım: Kriterlerin ayrı ayrı olarak ikili karşılaştırılması sonucu oluşan matrisler, bu adımda üçgen bulanık sayılarla yeniden düzenlenmiştir. Üçgensel bulanık sayı değerlerinden yararlanılarak oluşturulan direkt ilişki matrisi Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5: Direkt ilişki matrisi

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
F1	0,0,0	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0.75,1.00,1.00	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25
F2	0.0,0.25,0.50	0,0,0	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25
F3	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50	0,0,0	0.50,0.75,1.00	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25
F4	0.50,0.75,1.00	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0,0,0	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25
F5	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50	0.00,0.25,0.50	0.50,0.75,1.00	0,0,0	0.50,0.75,1.00	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25
F6	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.25,0.50,0.75	0,0,0	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50
F7	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0.75,1.00,1.00	0,0,0	0.00,0.00,0.25
F8	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50	0.00,0.25,0.50	0.50,0.75,1.00	0.25,0.50,0.75	0.75,1.00,1.00	0.50,0.75,1.00	0,0,0
F9	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0.75,1.00,1.00	0.25,0.50,0.75	0.00,0.00,0.25
F10	0.00,0.25,0.50	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0.75,1.00,1.00	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50
F11	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0.75,1.00,1.00	0.25,0.50,0.75	0.00,0.00,0.25
F12	0.25,0.50,0.75	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50	0.50,0.75,1.00	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25
F13	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.00,0.25,0.50	0.75,1.00,1.00	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25
F14	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50	0.00,0.00,0.25	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50
F15	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0.75,1.00,1.00	0.25,0.50,0.75	0.00,0.00,0.25
F16	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.00,0.25,0.50	0.50,0.75,1.00	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25
	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
F1	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.75,1.00,1.00	0.00,0.00,0.25	0.00,0.00,0.25	0.75,1.00,1.00
F2	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.75,1.00,1.00	0.00,0.00,0.25	0.00,0.00,0.25	0.75,1.00,1.00
F3	0.00,0.25,0.50	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.75,1.00,1.00	0.00,0.25,0.50	0.00,0.00,0.25	0.50,0.75,1.00
F4	0.00,0.25,0.50	0.00,0.00,0.25	0.25,0.50,0.75	0.75,1.00,1.00	0.75,1.00,1.00	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.75,1.00,1.00
F5	0.00,0.00,0.25	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.50,0.75,1.00	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.75,1.00,1.00
F6	0.00,0.25,0.50	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.75,1.00,1.00	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25	0.00,0.00,0.25	0.50,0.75,1.00
F7	0.00,0.25,0.50	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.75,1.00,1.00	0.00,0.25,0.50	0.00,0.25,0.50	0.75,1.00,1.00
F8	0.00,0.25,0.50	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0.75,1.00,1.00	0.00,0.25,0.50	0.00,0.00,0.25	0.75,1.00,1.00
F9	0,0,0	0.00,0.25,0.50	0.00,0.25,0.50	0.50,0.75,1.00	0.75,1.00,1.00	0.00,0.00,0.25	0.00,0.00,0.25	0.75,1.00,1.00
F10	0.00,0.00,0.25	0,0,0	0.00,0.25,0.50	0.75,1.00,1.00	0.75,1.00,1.00	0.00,0.00,0.25	0.00,0.00,0.25	0.75,1.00,1.00
F11	0.00,0.00,0.25	0.00,0.00,0.25	0,0,0	0.50,0.75,1.00	0.75,1.00,1.00	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.75,1.00,1.00
F12	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0,0,0	0.75,1.00,1.00	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.50,0.75,1.00
F13	0.00,0.00,0.25	0.00,0.00,0.25	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0,0,0	0.00,0.00,0.25	0.00,0.00,0.25	0.50,0.75,1.00
F14	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.00,0.25,0.50	0.50,0.75,1.00	0.75,1.00,1.00	0,0,0	0.00,0.25,0.50	0.50,0.75,1.00
F15	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.50,0.75,1.00	0.50,0.75,1.00	0.00,0.00,0.25	0,0,0	0.50,0.75,1.00
F16	0.00,0.00,0.25	0.00,0.25,0.50	0.25,0.50,0.75	0.25,0.50,0.75	0.75,1.00,1.00	0.00,0.00,0.25	0.00,0.00,0.25	0,0,0

3.Adım: Eşitlik 1 ve 2'den yararlanılarak normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi oluşturulmuştur. Veriler matris olarak Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6: Normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
F1	0;0;0	0;0,02;0,04	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09
F2	0;0,02;0,04	0;0;0	0;0,02;0,04	0,02;0,04;0,07	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04
F3	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0;0;0	0,02;0,04;0,07	0;0,02;0,04	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0;0,02;0,04
F4	0,02;0,04;0,07	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0;0;0	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0;0,022;0,044	0,04;0,07;0,09
F5	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0;0;0	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07
F6	0,07;0,09;0,09	0,04;0,07;0,09	0,02;0,04;0,07	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0;0;0	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09
F7	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0;0;0	0,04;0,07;0,09
F8	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0;0,022	0;0;0
F9	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04
F10	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04
F11	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0,04;0,07;0,09	0;0,02;0,04	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07
F12	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,07;0,09;0,09	0,04;0,07;0,09	0,07;0,09;0,09	0,04;0,07;0,09	0;0;0,022
F13	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09
F14	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04
F15	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0;0,022
F16	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09	0,04;0,07;0,09	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09	0;0;0,022	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09
	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
F1	0,04;0,07;0,09	0;0,02;0,04	0,04;0,07;0,09	0,02;0,04;0,07	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09
F2	0;0,02;0,04	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04
F3	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0,02;0,04;0,07	0;0,02;0,04	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0,02;0,04;0,07
F4	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0,04;0,07;0,09	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0,04;0,07;0,09
F5	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0;0,02;0,04
F6	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09	0,04;0,07;0,09	0,07;0,09;0,09	0,04;0,07;0,09	0,07;0,09;0,09	0,04;0,07;0,09
F7	0,02;0,04;0,07	0,04;0,07;0,09	0,02;0,04;0,07	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,02;0,04;0,07	0,04;0,07;0,09
F8	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022	0,04;0,07;0,09	0;0;0,022	0;0;0,022
F9	0;0;0	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022
F10	0;0,02;0,04	0;0;0	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0;0,022	0,02;0,04;0,07	0;0;0,022	0;0,02;0,04
F11	0,04;0,07;0,09	0;0,02;0,04	0;0;0	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07	0;0,022;0,044	0,02;0,04;0,07	0,02;0,04;0,07
F12	0,04;0,07;0,09	0,07;0,09;0,09	0,04;0,07;0,09	0;0;0	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,02;0,04;0,07
F13	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09	0;0;0	0,07;0,09;0,09	0,04;0,07;0,09	0,07;0,09;0,09
F14	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0;0	0;0;0,022	0;0;0,022
F15	0;0;0,022	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0,02;0,04	0;0;0,022	0;0,02;0,04	0;0;0	0;0;0,022
F16	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09	0,07;0,09;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0,04;0,07;0,09	0;0;0

4.Adım: Eşitlik 3 yardımıyla Tablo 7’de yer alan toplam ilişki matrisi elde edilmiştir.

Tablo 7: Toplam ilişki matrisi

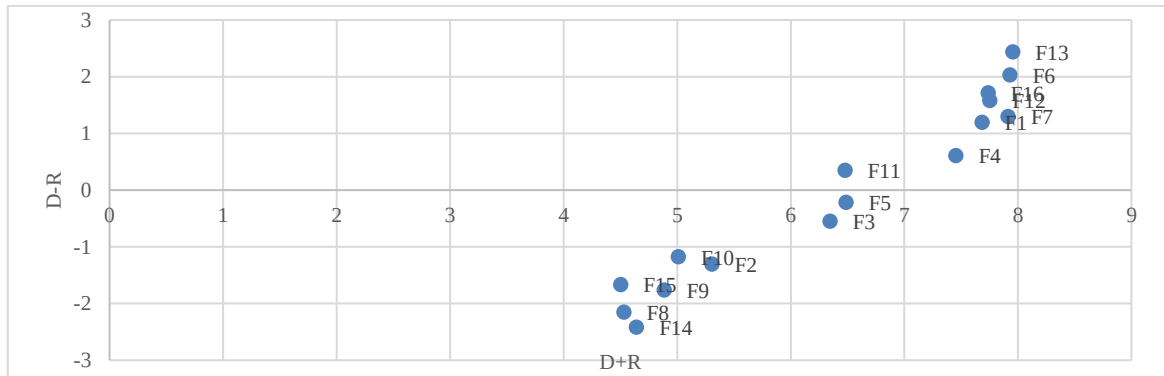
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
F1	0,02;0,09;0,7	0,02;0,11;0,76	0,06;0,16;0,83	0,07;0,16;0,82	0,07;0,16;0,82	0,06;0,14;0,74	0,06;0,16;0,80	0,07;0,16;0,80
F2	0,00;0,05;0,4	0,00;0,03;0,38	0,00;0,05;0,44	0,02;0,07;0,45	0,00;0,05;0,43	0,00;0,05;0,39	0,00;0,05;0,42	0,00;0,05;0,42
F3	0,03;0,09;0,10	0,03;0,10;0,56	0,01;0,06;0,53	0,03;0,10;0,58	0,01;0,08;0,56	0,03;0,09;0,53	0,03;0,10;0,57	0,01;0,08;0,55
F4	0,04;0,12;0,13	0,04;0,12;0,71	0,06;0,15;0,77	0,02;0,09;0,68	0,06;0,14;0,76	0,06;0,13;0,69	0,02;0,11;0,70	0,06;0,15;0,74
F5	0,02;0,09;0,59	0,03;0,10;0,59	0,03;0,10;0,63	0,03;0,10;0,61	0,01;0,06;0,55	0,03;0,09;0,56	0,03;0,10;0,60	0,03;0,10;0,60
F6	0,09;0,20;0,82	0,09;0,20;0,82	0,05;0,16;0,86	0,07;0,18;0,86	0,07;0,18;0,85	0,02;0,10;0,69	0,09;0,20;0,84	0,09;0,20;0,84
F7	0,07;0,16;0,81	0,07;0,16;0,81	0,07;0,16;0,86	0,07;0,17;0,84	0,07;0,16;0,84	0,06;0,14;0,76	0,02;0,10;0,74	0,07;0,16;0,83
F8	0,00;0,01;0,26	0,00;0,01;0,26	0,00;0,01;0,28	0,00;0,01;0,28	0,00;0,00;0,28	0,00;0,03;0,27	0,00;0,01;0,27	0,00;0,01;0,25
F9	0,00;0,02;0,33	0,00;0,02;0,33	0,00;0,04;0,37	0,00;0,04;0,36	0,00;0,04;0,36	0,00;0,04;0,33	0,00;0,04;0,35	0,00;0,04;0,35
F10	0,02;0,07;0,41	0,02;0,07;0,41	0,02;0,07;0,44	0,00;0,03;0,39	0,00;0,03;0,39	0,00;0,02;0,35	0,00;0,05;0,40	0,00;0,05;0,40
F11	0,03;0,11;0,62	0,03;0,11;0,62	0,03;0,11;0,67	0,03;0,11;0,65	0,05;0,13;0,67	0,01;0,08;0,57	0,03;0,11;0,64	0,03;0,11;0,64
F12	0,07;0,17;0,80	0,07;0,17;0,80	0,07;0,17;0,85	0,09;0,19;0,83	0,07;0,17;0,83	0,08;0,17;0,76	0,07;0,17;0,82	0,03;0,11;0,76
F13	0,10;0,21;0,83	0,10;0,21;0,83	0,10;0,21;0,89	0,10;0,21;0,87	0,08;0,19;0,87	0,07;0,17;0,79	0,09;0,21;0,85	0,10;0,21;0,85
F14	0,00;0,01;0,26	0,00;0,01;0,26	0,00;0,03;0,29	0,00;0,01;0,27	0,00;0,01;0,27	0,00;0,01;0,24	0,00;0,03;0,28	0,00;0,03;0,28
F15	0,00;0,01;0,30	0,00;0,01;0,30	0,00;0,02;0,32	0,00;0,04;0,34	0,00;0,04;0,34	0,00;0,01;0,29	0,00;0,04;0,33	0,00;0,01;0,31
F16	0,09;0,19;0,78	0,09;0,19;0,78	0,07;0,17;0,83	0,09;0,19;0,82	0,09;0,19;0,81	0,02;0,09;0,68	0,09;0,19;0,80	0,09;0,19;0,80
	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
F1	0,07;0,16;0,80	0,02;0,11;0,71	0,06;0,15;0,75	0,04;0,13;0,75	0,06;0,13;0,70	0,07;0,16;0,85	0,06;0,15;0,77	0,06;0,14;0,75
F2	0,00;0,05;0,42	0,00;0,03;0,37	0,00;0,03;0,37	0,00;0,05;0,40	0,00;0,02;0,35	0,00;0,05;0,44	0,00;0,05;0,40	0,00;0,05;0,39
F3	0,01;0,08;0,55	0,01;0,08;0,51	0,01;0,07;0,51	0,03;0,09;0,55	0,01;0,07;0,48	0,01;0,06;0,56	0,01;0,07;0,52	0,03;0,09;0,53
F4	0,04;0,13;0,72	0,04;0,12;0,68	0,04;0,12;0,68	0,06;0,14;0,71	0,03;0,11;0,63	0,04;0,13;0,77	0,04;0,12;0,69	0,06;0,13;0,70
F5	0,03;0,10;0,60	0,03;0,10;0,56	0,03;0,09;0,56	0,01;0,07;0,56	0,01;0,07;0,51	0,03;0,10;0,64	0,03;0,09;0,57	0,01;0,07;0,54
F6	0,09;0,20;0,84	0,09;0,19;0,79	0,09;0,19;0,79	0,07;0,16;0,80	0,09;0,17;0,74	0,07;0,19;0,89	0,09;0,18;0,80	0,07;0,16;0,79
F7	0,05;0,14;0,80	0,06;0,16;0,77	0,04;0,13;0,75	0,06;0,15;0,79	0,06;0,14;0,72	0,07;0,17;0,88	0,04;0,13;0,77	0,06;0,15;0,77
F8	0,00;0,01;0,27	0,00;0,03;0,27	0,00;0,00;0,25	0,00;0,01;0,26	0,00;0,00;0,24	0,04;0,07;0,35	0,00;0,00;0,26	0,00;0,00;0,25
F9	0,00;0,02;0,31	0,00;0,04;0,33	0,00;0,04;0,33	0,00;0,02;0,32	0,00;0,01;0,29	0,00;0,02;0,35	0,00;0,02;0,36	0,00;0,02;0,31
F10	0,00;0,05;0,40	0,00;0,02;0,33	0,00;0,02;0,36	0,00;0,04;0,38	0,00;0,02;0,33	0,02;0,07;0,45	0,00;0,02;0,36	0,00;0,04;0,38
F11	0,06;0,13;0,66	0,01;0,09;0,58	0,01;0,06;0,54	0,03;0,10;0,61	0,03;0,09;0,56	0,01;0,09;0,66	0,03;0,10;0,61	0,03;0,10;0,60
F12	0,07;0,17;0,81	0,09;0,18;0,76	0,07;0,16;0,77	0,02;0,09;0,70	0,06;0,14;0,72	0,07;0,17;0,86	0,07;0,16;0,78	0,04;0,13;0,75
F13	0,10;0,21;0,85	0,09;0,20;0,80	0,09;0,20;0,80	0,09;0,19;0,81	0,03;0,10;0,66	0,10;0,22;0,90	0,07;0,17;0,81	0,09;0,19;0,80
F14	0,00;0,01;0,26	0,00;0,01;0,25	0,00;0,00;0,24	0,00;0,01;0,25	0,00;0,00;0,23	0,00;0,01;0,26	0,00;0,00;0,25	0,00;0,01;0,25
F15	0,00;0,01;0,31	0,00;0,01;0,29	0,00;0,03;0,31	0,00;0,03;0,32	0,00;0,01;0,27	0,00;0,04;0,35	0,00;0,01;0,27	0,00;0,01;0,29
F16	0,09;0,19;0,80	0,09;0,18;0,75	0,09;0,18;0,75	0,06;0,16;0,77	0,06;0,14;0,70	0,07;0,18;0,85	0,06;0,15;0,76	0,02;0,09;0,67

5. ve 6. Adım: Etkileyen ve etkilenen grubu oluşturmak üzere, matriste satır elemanlarının toplamı D ve sütun elemanlarının toplamı R değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler hesaplandıktan sonra her bir faktör için (D+R) ve (D-R) hesaplanmıştır. Üçgensel bulanık sayılardan türetilen D-R ve D+R değerleri üç tane değer içermektedir. Bu değerleri tek hale getirebilmek için eşitlik (4) ve (5) kullanılarak durulaştırma yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 8’de yer almaktadır. (D+R) değeri yüksek olan faktörlerin diğer faktörlerle ilişkisi daha kuvvetlidir. (D-R) değeri pozitif olan faktörler ise diğer faktörler üzerinde daha fazla etkiye sahiptir (Ömürgönülşen vd., 2019).

Tablo 8: Durulaştırılmış kriter değerleri

	Kriterler	D+R	D-R
F1	Stratejik planlama	7,684	1,196
F2	Afet önleme ve müdahale konusunda eğitim	5,305	-1,304
F3	Sıfır zayıat yaklaşımı	6,345	-0,545
F4	Ulaştırma ve kapasite planlaması	7,453	0,611
F5	Tedarik zinciri stratejileri	6,485	-0,214
F6	Organizasyon yapısı ve sorumluluk bilinci	7,931	2,032
F7	Raporlama ve bilgi göndermede netlik	7,917	1,297
F8	Risk, ihtiyaç ve afet değerlendirmesi	4,530	-2,149
F9	Erken uyarı sistemi	4,883	-1,759
F10	Simüle edilmiş afet tatbikatının düzenli organizasyonu	5,009	-1,175
F11	Envanter yönetimi	6,478	0,352
F12	Sürekli iyileştirme	7,753	1,584
F13	Koordinasyon ve iş birliği	7,955	2,439
F14	Uygulanabilir acil durum müdahale planı ve yönetmelik	4,640	-2,414
F15	Kaynakların etkin kullanımı, malzemelerin güvenliği ve etkin konumlandırması	4,502	-1,664
F16	Güçlü bilgi ve iletişim teknolojisi	7,738	1,714

Kriterler arasındaki öncelik ve toplam etkiyi ifade eden ve faktörlerin ilişki düzeylerini belirleyen D+R değerlerine göre ilk üç sırada yer alan sırasıyla F13 (Koordinasyon ve iş birliği), F6 (Organizasyon yapısı ve sorumluluk bilinci) ve F7 (Raporlama ve bilgi göndermede netlik) faktörleridir. Bu faktörlerin diğer faktörlerle yüksek derecede ilişkili olmasından dolayı önemli oldukları söylenebilir. Benzer şekilde D-R değeri sırasıyla en yüksek olan F13, F6 ve F16 faktörlerinin diğer başarı faktörleri üzerinde en fazla etkisi olan faktörler olduğu görülmektedir. Bu adımda ayrıca D+R ve D-R değerleri grafik olarak gösterilerek kriterler arasındaki etkileşim ve ilişkiler daha net görülmektedir (bkz. Şekil 2).



Şekil 2: Neden-sonuç ilişkisi diyagramı

Şekil 2'deki grafik incelendiğinde x ekseninin (D+R) en sağında yer alan *koordinasyon ve iş birliği* (F13) faktörünün önem derecesinin yüksek olduğu görülmektedir. Pozitif D-R değerlerine sahip kriterler nedensel/etkileyen kriterler olarak sınıflandırılmakta ve negatif D-R değerlerine sahip sonuç/etkilenen kriterler olarak sınıflandırılan grup üzerinde etkiye sahiptirler. Bu durumda D-R değerleri pozitif olan ve etkileyen olarak sınıflandırılan kriterler F13, F6, F16, F12, F7, F1, F4 ve F11'dir. D-R değeri negatif olan ve etkilenen olarak sınıflandırılan kriterler ise F14, F8, F9, F15, F2, F10, F3 ve F5'tir. Faktörlerin karar problemi açısından önem ağırlıklarını hesaplamak amacıyla eşitlik (6) ve eşitlik (7)'den yararlanılmış ve Tablo 9'da yer alan veriler elde edilmiştir.

Tablo 9: Kriter ağırlıkları

	Kriterler	w	W
F1	Stratejik planlama	7,77661	0,0735
F2	Afet önleme ve müdahale konusunda eğitim	5,46383	0,0516
F3	Sıfır zayıat yaklaşımı	6,36873	0,0602
F4	Ulaştırma ve kapasite planlaması	7,47839	0,0707
F5	Tedarik zinciri stratejileri	6,48901	0,0613
F6	Organizasyon yapısı ve sorumluluk bilinci	8,18764	0,0774
F7	Raporlama ve bilgi göndermede netlik	8,02279	0,0758
F8	Risk, ihtiyaç ve afet değerlendirme	5,01409	0,0474
F9	Erken uyarı sistemi	5,19101	0,0491
F10	Simüle edilmiş afet tatbikatının düzenli organizasyonu	5,1456	0,0486
F11	Envanter yönetimi	6,48786	0,0613
F12	Sürekli iyileştirme	7,91332	0,0748
F13	Koordinasyon ve iş birliği	8,32126	0,0786
F14	Uygulanabilir acil durum müdahale planı ve yönetmelik	5,23155	0,0494
F15	Kaynakların etkin kullanımı, malzemelerin güvenliği ve etkin konumlandırması	4,80038	0,0454
F16	Güçlü bilgi ve iletişim teknolojisi	7,92585	0,0749

Tablo 9 incelendiğinde afet yönetiminde insani yardım lojistiğinin kritik başarı faktörlerinden en belirleyici ilk üç kriteri; F13, F6 ve F7 olduğu görülmektedir. Bu sıralamayı F16, F12, F1, F4, F5, F11, F3, F2, F14, F9, F10, F8 ve F15 takip etmektedir.

5.1 Kritik Başarı Faktörlerinin Analizi

İnsani yardım lojistiği, afetlerden zarar gören mağdurlara doğru zamanda, doğru ve hızlı müdahalede bulunmayı amaçlar. Afet yönetimi operasyonlarında yaşanacak olumsuzluklar sonucunda ortaya çıkacak can ve mal kaybını önlemek ve riskleri azaltmak insani yardım lojistiğinin performansı ile bağlantılıdır. Bu doğrultuda performansın iyileştirilmesi ve kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi ve uygulanması operasyonun başarısı açısından önemlidir. Bulanık DEMATEL yöntemiyle literatür araştırması sonucunda oluşturulan 16 kritik başarı faktörünün birbirini etkileme durumu ve birbirlerinden etkilenme dereceleri belirlenerek neden-sonuç ilişkileri açıklanmaya çalışılmıştır.

Zhou vd. (2011), nedensel/etkileyen olarak sınıflandırılan kriterlerin performansının bütün yardım sürecinin hedefini etkileyebileceğini ve daha fazla dikkat gerektiğini belirtmiştir. Bu doğrultuda çalışmada etkileyen kritik başarı faktörleri arasında ilk sırada olan *koordinasyon ve iş birliğinin* afet yönetim sürecinde insani yardım lojistiğinin başarısı açısından diğer faktörlerden daha çok etki yarattığı söylenebilir. Kahramanmaraş merkezli depremde insani yardım süreçlerinde insani yardım lojistiği aktörleri arasında yer alan ve operasyonları yetkilendirme ve kaynakları harekete geçirme gücüne sahip olduğu için katalizör görevi gören hükümetin (Dubey & Gunasekaran, 2016) diğer paydaşlarla gerçekleştireceği iş birliğinin önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca bu süreçte insani yardım lojistiğinin çeşitli aktörleri arasındaki koordinasyonun, ilk müdahale çabalarının etkinliğini artırabileceği (Balcık vd., 2010; Yadav & Barve, 2015) ve bu durumun ortaya çıkacak can ve mal kayıplarında azalmalar sağlayacağı söylenebilir.

Etkileyen olarak ikinci en yüksek pozitif D-R değerine sahip faktör *organizasyon yapısı ve sorumluluk bilincidir*. İnsani yardım lojistiğinin etkinliğini artırmak ve ilgili her bir departmanın görev ve sorumluluklarını açıkça anlaşılmasını sağlayan organizasyon yapısı ve yönetim biçimi oluşturulmalıdır (Oloruntoba, 2010; Pettit & Beresford, 2009). Benzer şekilde Zhou vd. (2011) ve Yadav & Barve (2018)'de acil durum yönetiminde organizasyon yapısı ve sorumluluk bilincinin iyileştirilmesinin sistemin iyileştirilmesi açısından önemli olduğunu ve etki gücünün yüksek bir faktör olduğunu belirtmiştir. Üçüncü sırada ise güçlü bilgi ve iletişim teknolojisi yer almaktadır. Bilgi, insani yardım lojistiğinde önemli bir etkiye sahiptir ve bilginin yönetimi ve kullanım hızı gerçekleştirilen müdahalelerin etkinliğinde kritik bir rol oynamaktadır (Howden, 2009; Bag, 2020). İnsani yardım lojistiğinde kullanılacak bilişim ve iletişim teknolojileri bilgi akışını hızlandırabilir ve afetler sürecinde çok önemli olan zaman kullanımında avantaj sağlayabilir. Ayrıca insani yardım lojistiğinde başarı faktörleri arasında önemli bir etkiye sahip olan koordinasyonun etkili bir şekilde sağlanması için modern iletişim teknolojilerinin kullanılması gerekmektedir (Pettit & Beresford, 2009). Deprem sürecinde afetzedeler yerlerini sosyal ağ ve afetler için geliştirilmiş uygulamalar sayesinde bildirmiş ve bu şekilde yardım ekipleri müdahale gerçekleştirebilmiştir. Sürekli iyileştirme en yüksek pozitif D-R değerine sahip dördüncü faktördür. İnsani yardım lojistiğinde verimliliği ve etkinliği sağlamak ve bu durumu sürdürebilmek için tüm sistemin sürekli iyileştirilmesi gerekmektedir (Yadav & Barve, 2015). Etkileyen kriterler arasında son olarak raporlama ve bilgi göndermede netlik, stratejik planlama, ulaştırma ve kapasite planlaması ve envanter yönetimi faktörleri bulunmaktadır.

Raporlama ve bilgi göndermede netlik D+R değerleri arasında en yüksek ilk üç faktör arasında yer almaktadır. Bu durum raporlama ve bilgi göndermede netlik faktörünün önem derecesini göstermektedir. Afet sırasında ve sonrasında talep ve arz verileri hakkında bilginin zamanında ve anlaşılır bir şekilde gönderilmesi yardım zincirindeki iş birliğinin ve koordinasyonun sağlanması ve doğru müdahalenin yapılabilmesi açısından önemlidir (Yadav & Barve, 2018). Stratejik planlama insani yardım lojistiğinde uzun vadeli planlamaların yapılması açısından önemli olmakla beraber afet yönetimi aşamalarının özellikle iyileştirme aşamasında yardımların sürdürülebilirliğini sağlayabilir. Ulaştırma ve kapasite planlaması ve envanter yönetimi faktörlerinin D-R değerleri düşük olmasına rağmen D+R değerlerinin yüksek olması kurtarma operasyonlarının başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesinde bu faktörlerin öneme sahip olduğunu göstermektedir (Yadav & Barve 2018).

Her bir faktörün ayrı bir önemi olmasına rağmen kurumların hepsine aynı anda öncelik verebilme durumu söz konusu olmadığı için neden ve sonuç olarak gruplandırmanın gerekli olduğu belirtilmiştir (Yadav & Barve 2018). Çalışmada etkilenen/sonuç kriterleri arasında ilk sırada *uygulanabilir acil durum müdahale planı ve yönetmeliği yer almaktadır*. Afet aşamalarını kapsayacak şekilde oluşturulan kısa vadede uygulanabilecek acil müdahale ve plan yönetmeliklerinin olması insani yardım lojistiğinde yapılan faaliyetlerin başarısı açısından fayda sağlamaktadır. D+R değeri önem sıralaması açısından düşük olmasına rağmen D-R değeri- 2,414'tür ve bütün faktörlerden etkilenen olarak ilk sırada yer almaktadır.

İkinci sırada *risk, ihtiyaç ve afet değerlendirmesi* yer almaktadır. Bir tehlikenin temel nedenlerini ele almak açısından risk değerlendirmesi ve doğal ve insan kaynaklı afetlerden sonra hangi mal ve hizmetlerin gerekli olduğunu belirlemek için bir ihtiyaç değerlendirmesi (Du & Lin, 2012) süreçte tüm faktörlerden en çok etkilenen faktörler arasındadır. Afet öncesi ve sonrası süreç açısından önemli olduğu düşünülen bu faktörün çalışma sonucuna göre diğer faktörler arasında önem sıralamasını gösteren D+R değeri (4,530) nispeten düşüktür. Zhou vd. (2011)'de *zamanında ve doğru yardım ihtiyaçları değerlendirmesi* olarak ele aldığı kriterin önem değerini düşük bulmuştur. Etkilenen grubunda üçüncü sırada *erken uyarı sistemi* yer almaktadır. Afetlerin hacmi ve yoğunluğu hakkında bilgi verilmesi ve insani yardım lojistiğinin bir bütün olarak kontrol altına alınabilmesi (Fulzele vd., 2016) olarak ele alınan erken uyarı sistemleri; risk bilgisi, teknik gözetleme ve uyarı hizmeti, iletişim ve uyarının yaygınlaştırılması ve toplumun uyarılara cevap verme kapasitesi olarak dört önemli unsuru içermektedir (Karaman, 2016). Memiş & Babaoğlu (2020), ülkemizde yaygın olmamakla birlikte erken uyarı sistemlerinin uygulanmaya çalışıldığını ve yeni olarak nitelendirilen teknolojilerin Türkiye'nin afet yönetim sürecine çok fazla entegre edilmediğini belirtmiştir.

Çalışmada *kaynakların etkin kullanımı, malzemelerin güvenliği ve etkin konumlandırılması, afet önleme ve müdahale konusunda eğitim ve simüle edilmiş afet tatbikatının düzenli organizasyonu* kriterleri diğer kriterlerden etkilendiği sonucu elde edilmiştir. Sistem üzerinde düşük etkilerinin olduğu ve D-R değerlerinin negatif olması nedeniyle etkileyen kriterlerin iyileştirilmesi sonucunda bu kriterlerin de düzeleceği söylenebilir. Son olarak *sıfır zayıat yaklaşımı ve tedarik zinciri stratejileri* kriterlerinin önem derecelerini gösteren D+R değerleri yüksektir ama D-R değerlerinin negatif olması nedeniyle afet yönetiminde insani yardım lojistiği sisteminin başarısı üzerinde etki güçlerinin düşük olduğu sonucu elde edilmiştir. Ayrıca D-R değerleri diğer etkilenen faktörlere göre düşük olması genel olarak etkileyen faktörlerin iyileştirilmesiyle beraber kolayca etki güçlerinin artacağını göstermektedir.

6. Sonuç ve Tartışma

Son yıllarda dünya genelinde afet sayılarının artış göstermesi ve bu afetler nedeniyle çok sayıda can ve mal kaybının yaşanması yardım kuruluşlarının bu süreçte yönettikleri insani yardım lojistiğinin ve performansının önemini ortaya çıkarmaktadır. 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli 7.7 ve 7.6 şiddetinde olan ve 11 ili etkileyen deprem nedeniyle 50 binden fazla can kaybı yaşanmıştır (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2023b). Birleşmiş Milletler'in yaptığı hesaplamalara göre bu depremde yaşanan hasarın 100 milyar dolar olacağı bildirilmiştir (Reuters, 2023). Yaşanan deprem sürecinde en üst düzey olan 4.seviye alarm verilmiş ve uluslararası desteğe ihtiyaç doğrultusunda birçok ülke ve uluslararası kuruluş afete müdahale için Türkiye'ye yardım göndermiştir. Yardım kuruluşları, STK'lar ve hükümet kayıpları en aza indirmek ve yardım faaliyetlerine etkili bir şekilde müdahale etmek için çalışmalar gerçekleştirmiştir. Afet operasyonlarında geçici olarak kurulan insani yardım lojistiği sadece acil durumda müdahale ile sınırlı kalmamalı ve gelecekte ortaya çıkacak bu tür riskleri azaltmak ve önlemler almak için çalışmalar gerçekleştirmelidir (Yadav & Barve 2018).

Bu çalışmada Türkiye'de yaşanan afetlerde kayıpları en aza indirmek için gerçekleştirilen kurtarma müdahalelerinde ve yardım malzemelerin dağıtılmasında yardım operasyonları maliyetlerinin %80'ini oluşturan insani yardım lojistiğinin (Van Wassenhove, 2006) performansını etkileyen kritik başarı faktörleri belirlenmeye çalışılmıştır. Literatür yardımıyla oluşturulan insani yardım lojistiğinin 16 kritik başarı faktörü 5 uzman tarafından değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeler bulanık DEMATEL yöntemiyle analiz edilmiştir. Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak kritik başarı faktörlerinin birbirini etkileme durumu ve birbirlerinden etkilenme dereceleri belirlenerek neden-sonuç ilişkileri açıklanmıştır. Çalışmada 16 kritik başarı faktöründen 8 tanesi neden grubunda yer alarak afet yönetiminde insani yardım lojistiği sisteminin başarısı üzerinde önemli bir etki gücü olduğu sonucuna varılmıştır. Bu faktörler arasında bütün yardım sürecinin hedefini etkileyebilecek ve daha fazla dikkat edilmesi gereken ilk üç kriter; koordinasyon ve iş birliği, organizasyon yapısı ve sorumluluk bilinci, güçlü bilgi ve iletişim teknolojisi.

Bu faktörleri sürekli iyileştirme, raporlama ve bilgi göndermede netlik, stratejik planlama, ulaştırma ve kapasite planlaması ve envanter yönetimi takip etmektedir. Sıfır zayıt yaklaşımı ve tedarik zinciri stratejileri faktörleri ise önem değerleri yüksek olmakla beraber etkilenen grubunda yer almıştır. Bu iki faktörün, etkileyen sınıflandırılmasında bulunan kritik başarı faktörlerin iyileştirilmesi sonucunda hızlı bir şekilde ve kolayca etki güçlerinin artacağı sonucu elde edilmiştir.

Demirbilek (2023), Türkiye’de afetlere müdahale için hazırlanan en kapsamlı plan TAMP (Türkiye Afet Müdahale Planı)’ta AFAD’ın birden fazla hizmet grubunda ana çözüm ortağı ve destek çözüm ortağı olarak sorumlu olduğunu belirtmiştir. Bu durumun personel, araç, gereç ve ekipman açısından yeterli kaynağa sahip olmayan AFAD için koordinasyon sorunu yaratacağını böylelikle gerçekleştirilmesi gereken işlerin yetiştiremeyeceğini ifade etmiştir. 6 Şubat 2023 tarihinde yaşanan Kahramanmaraş merkezli depremde de koordinasyonun ve insani yardım lojistiğinde yer alan aktörlerin ve Türkiye Afet Müdahale Planında Ana çözüm ortağı olarak belirtilen İçişleri Bakanlığı, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Maliye Bakanlığı ve Türk Kızılay’ı (Demirbilek, 2023) ile işbirliğinin önemli olduğu görülmüştür. Çalışmada da koordinasyon ve işbirliğinin insani yardım lojistiği sisteminin başarısı üzerinde önemli bir etki gücü olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Türkiye Afet Müdahale Planının (TAMP) amacı; “afet ve acil durumlara ilişkin müdahale çalışmalarında görev alacak hizmet grupları ve koordinasyon birimlerine ait rolleri ve sorumlulukları tanımlamak, afet öncesi, sırası ve sonrasındaki müdahale planlamasının temel prensiplerini belirlemektir” şeklinde tanımlanmıştır. AFAD tarafından hazırlanan TAMP’ta sorumluluklar ve organizasyon yapısı açık bir şekilde ele alınmıştır (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2022). TAMP’ta ele alınan bu bilgiler uzmanlar tarafından değerlendirilen insani yardım lojistiğinin kritik başarı faktörleri arasında yardım lojistiği sistemi üzerinde önemli bir etki gücü olan organizasyon yapısı ve sorumluluk bilincinin işaret ettiği konudur. Yaşanan deprem felaketinin birden fazla yerde etkili olması, ciddi bir etkisinin olması ve iller düzeyinde sorumluluk kısmında görevleri olan kurum ve kuruluşların zarar görmesi afet yönetim sürecinde insani yardım lojistiğinin performansını etkilediği düşünülmektedir.

Bilgi, insani yardım lojistiğinde önemli bir etkiye sahiptir ve bilginin yönetimi ve kullanım hızı gerçekleştirilen müdahalelerin etkinliğinde kritik bir rol oynamaktadır (Howden, 2009; Bag,2020). Güçlü bilgi ve iletişim teknolojisi insani yardım lojistiğinin başarı üzerinde etki gücü yüksek olan ilk üç kriterden biridir. Deprem bölgelerinde kamu ve kuruluşların zarar görmesi ve iletişim ağlarında tahribatların olması nedeniyle sahadan gerçekleştirilecek bilgi akışları zorlaşmış ve böylelikle gerekli müdahaleler için zaman kayıpları yaşanmıştır (Özçelik & Özçelik, 2023). Salam ve Khan (2020)’da Haiti deprem vakasını ele aldıkları çalışmada insani yardım lojistiğinin etkinliği açısından iletişimin ve iletişim altyapısının önemini vurgulamıştır.

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular, insani yardım kuruluşları, ilgili kamu kurumları ve STK’lar tarafından dikkate alınması doğrultusunda yardım lojistiğinin performansı açısından faydalı olabileceği söylenebilir. Neden grubunda yer alan ve önem dereceleri yüksek olan kriterlere ağırlık vermek ve sonuç grubunda yer alan kriterleri de iyileştirmeye ve geliştirmeye odaklanmak insani yardım lojistiğinin başarısını olumlu yönde etkileyebilir. Literatürde bu alanda kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca çalışmada ele alınmış kritik başarı faktörleri literatür taraması ve doküman analizi yapılarak ve Türkiye’de yaşanan deprem felaketi göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı ve çalışma sonuçlarının afet operasyonları sürecinde insani yardım kuruluşlara yol haritası olabileceği düşünülmektedir.

Çalışma kısıtları; belirlenen faktörlerin sayısının artırılabilmesi ve daha fazla uzman tarafından değerlendirilebileceği şeklindedir. Ayrıca çalışmada kullanılan yöntem farklılaştırılarak belirlenen başarı faktörleri daha ayrıntılı analiz edilebilir.

Kaynaklar

- Abidi, H., de Leeuw, S., & Klumpp, M. (2014). Humanitarian supply chain performance management: a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(5/6), 592–608. <https://doi.org/10.1108/scm-09-2013-0349>
- Acar, A. Z., & Zehir, C. (2008). Kaynak tabanlı işletme yetenekleri ölçeği geliştirilmesi ve doğrulanması. *İşletme Fakültesi Dergisi*, 8(1), 103–131.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2018). *Türkiye’de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri*. 3 Haziran 2023’de https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/35429/xfiles/turkiye_de_afetler.pdf adresinden alındı.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2022). *TAMP Türkiye Afet Müdahale Planı*. 3 Haziran 2023’de https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Planlar/TAMP.pdf adresinden alındı.
- Akdur, R. (2000). Deprem yönetimi ve depremde sağlık konu ve amaçları. *Sağlık ve Toplum*, 10, 25–38.
- Altay, N., & Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475–493. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.016>
- Avdar, R., & Avdar, R. (2022). Türkiye’de yaşanan doğa kaynaklı afetlerin sosyo-ekonomik etkileri. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.35341/afet.1032084>
- Ayçin, E. (2023). *Çok Kriterli Karar Verme - Bilgisayar Uygulamalı Çözümler* (3rd ed.). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Bag, S., Gupta, S., & Wood, L. (2020). Big data analytics in sustainable humanitarian supply chain: barriers and their interactions. *Annals of Operations Research*, 319(1), 721–760. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03790-7>

- Balcik, B., Beamon, B. M., Krejci, C. C., Muramatsu, K. M., & Ramirez, M. (2010). Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 22–34. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.09.008>
- Bealt, J., Fernández Barrera, J. C., & Mansouri, S. A. (2016). Collaborative relationships between logistics service providers and humanitarian organizations during disaster relief operations. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 6(2), 118–144. <https://doi.org/10.1108/jhlscm-02-2015-0008>
- Beamon, B. (2014). Sustainability and the future of supply chain management. *Operations and Supply Chain Management*, 1(1), 4–18. <https://doi.org/10.31387/oscm010003>
- Becan, C. (2011). Kurumsal sosyal sorumluluk kavramının paydaş teorisi ve iletişim yaklaşımı açısından değerlendirilmesi: bankaların basın bültenlerine yönelik bir içerik analizi. *Selçuk İletişim*, 7(1), 16–35.
- Behl, A., Dutta, P., & Gupta, S. (2019). Critical success factors for humanitarian supply chain management: a grey DEMATEL approach. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.169>
- Carter, W. N. (2008). *Disaster Management: A Disaster Manager's Handbook*. Asian Development Bank.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (2023a). *Disasters Year in Review 2022*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). <https://cred.be/sites/default/files/CredCrunch70.pdf>
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (2023b). *Earthquakes in Türkiye: A Review from 1900 to Today*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). <https://files.emdat.be/2023/09/CredCrunch72.pdf>
- Chae, B. K., Olson, D., & Sheu, C. (2013). The impact of supply chain analytics on operational performance: a resource-based view. *International Journal of Production Research*, 52(16), 4695–4710. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.861616>
- Chiappetta Jabbour, C. J., Mauricio, A. L., & Jabbour, A. B. L. D. S. (2017). Critical success factors and green supply chain management proactivity: shedding light on the human aspects of this relationship based on cases from the Brazilian industry. *Production Planning & Control*, 28(6–8), 671–683. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1309705>
- Damoah, I. S. (2021). Exploring critical success factors (CSFs) of humanitarian supply chain management (HSCM) in flood disaster management (FDM). *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 12(1), 129–153. <https://doi.org/10.1108/jhlscm-01-2021-0003>
- Davidson, A. L. (2006). *Key performance indicators in humanitarian logistics*. 3 Haziran 2023'de https://ctl.mit.edu/sites/ctl.mit.edu/files/library/public/theses_2006_Davidson_execsumm.pdf adresinden alındı.
- Demirbilek, Ö. (2023). İnsani yardım lojistiği sisteminin başarısı üzerinde önemli bir etki gücü. M. Öztürk & M. Kırca (Eds.), *Kahramanmaraş Merkezli Depremler Sonrası İçin Akademik Öneriler* (pp. 183-193). Özgür Yayınları.
- Department of Humanitarian Affairs. (1992). *Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management* (DHA/93/36). United Nations Department of Humanitarian Affairs. <https://reliefweb.int/attachments/757fd191-1f7a-3ce6-a258-7dc135f35be6/004DFD3E15B69A67C1256C4C006225C2-dha-glossary-1992.pdf>
- Development Initiatives. (2020). *Global humanitarian assistance report 2020*. Development Initiatives. <https://devinit-prod-static.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com/media/documents/Global-Humanitarian-Assistance-Report-2020.pdf>
- Doğan, H., Uysal, G., & İpçioğlu, İ. (2008). Kaynak bağımlılığı teorisi'nin kritik bir unsuru olarak kaynak belirsizliği ve müşteri-tedarikçi arasındaki ilişkisel değişime etkisi. *Journal of Management and Economics*, 15(2), 49–60.
- Du, X., & Lin, X. (2012). Conceptual model on regional natural disaster risk assessment. *Procedia Engineering*, 45, 96–100. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.127>
- Dubey, R., & Gunasekaran, A. (2015). The sustainable humanitarian supply chain design: agility, adaptability and alignment. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(1), 62–82. <https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1015511>
- Ewins, P., Harvey, P., Savage, K., & Jacobs, A. (2006). *Mapping the Risks of Corruption in Humanitarian Action*. Overseas Development Institute and Management Accounting for NGOs (MANGO). https://www.transparency.org/files/content/publication/Mapping_Risks_of_Corruption_in_Humanitarian_Action.pdf
- Freeman, R. E. E., & McVea, J. (2001). A stakeholder approach to strategic management. *Social Science Research Network Electronic Paper Collection*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.263511>
- Fritz Institute. (2005). *Logistics and the effective delivery of humanitarian relief*. Fritz Institute. <https://reliefweb.int/attachments/7b94d31b-43cd-3ebf-b443-894548110180/4833D116248742C1C12570300052AE64-fritz-tsunami-20jun.pdf>
- Fulzele, V., Gupta, R., & Shankar, R. (2016). Identification and modelling of critical success factors of a humanitarian supply chain. In B. S. Sahay, S. Gupta & V. C. Menon (Eds.), *Managing Humanitarian Logistics* (pp. 33–50). Springer. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2416-7_3
- Ghasemian Sahebi, I., Arab, A., & Sadeghi Moghadam, M. R. (2017). Analyzing the barriers to humanitarian supply chain management: A case study of the Tehran Red Crescent Societies. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.05.017>
- Görener, A. (2013). Tedarik zinciri stratejisi seçimi: bulanık VIKOR yöntemiyle imalat sektöründe bir uygulama. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 5(3), 47–62.
- Gupta, S., Altay, N., & Luo, Z. (2017). Big data in humanitarian supply chain management: a review and further research directions. *Annals of Operations Research*, 283(1–2), 1153–1173. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2671-4>
- Güleş, H. K., & Özilhan, D. (2010). Kaynak temelli teori bağlamında üretim ve pazarlama stratejilerinin işletme performansı üzerine etkisinin incelenmesi. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 10(19), 477–490.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., Pérez, N., & Wachtendorf, T. (2012). On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management*, 30(7–8), 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.08.003>
- Howden, M. (2009, May 10-13). *How humanitarian logistics information systems can improve humanitarian supply chains: a view from the field*. 6th International ISCRAM Conference, Gothenburg, Sweden.
- Jahre, M., Jensen, L., & Listou, T. (2009). Theory development in humanitarian logistics: a framework and three cases. *Management Research News*, 32(11), 1008–1023. <https://doi.org/10.1108/01409170910998255>
- Karaman, Z. T. (2016). Afet Yönetimine Giriş ve Türkiye'de Örgütlenme. Z. Toprak Karaman & A. Altay (Eds.), *Bütünleşik Afet Yönetimi Kitabı*, (Vol:1, pp. 1-36). İzmir: İlkem Yayınları.

- Khan, S., Singh, R., Haleem, A., Dsilva, J., & Ali, S. S. (2022). Exploration of Critical Success Factors of Logistics 4.0: A DEMATEL Approach. *Logistics*, 6(1), Article 13. <https://doi.org/10.3390/logistics6010013>
- Kovács, G., & Spens, K. M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(2), 99–114. <https://doi.org/10.1108/09600030710734820>
- Kraaijenbrink, J., Spender, J. C., & Groen, A. J. (2009). The resource-based view: a review and assessment of its critiques. *Journal of Management*, 36(1), 349–372. <https://doi.org/10.1177/0149206309350775>
- Kunz, N., & Gold, S. (2015). Sustainable humanitarian supply chain management – exploring new theory. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(2), 85–104. <https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1103845>
- Langrafe, T. D. F., Barakat, S. R., Stocker, F., & Boaventura, J. M. G. (2020). A stakeholder theory approach to creating value in higher education institutions. *The Bottom Line*, 33(4), 297–313. <https://doi.org/10.1108/bl-03-2020-0021>
- Li, Y., Hu, Y., Zhang, X., Deng, Y., & Mahadevan, S. (2014). An evidential DEMATEL method to identify critical success factors in emergency management. *Applied Soft Computing*, 22, 504–510. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.03.042>
- Liberatore, F., Pizarro, C., de Blas, C. S., Ortuño, M. T., & Vitoriano, B. (2013). Uncertainty in humanitarian logistics for disaster management. A review. In B. Vitoriano, J. Montero & D. Ruan (Eds.), *Decision Aid Models for Disaster Management and Emergencies*, (pp. 45–74). Atlantis Press.
- Liu, H., Long, H., & Li, X. (2020). Identification of critical factors in construction and demolition waste recycling by the grey-DEMATEL approach: a Chinese perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(8), 8507–8525. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07498-5>
- Long, D. (1997). Logistics for disaster relief: engineering on the run. *IIE Solutions*, 29(6), 26–29. <https://link.gale.com/apps/doc/A57796505/AONE?u=googlescholar&sid=bookmark-AONE&xid=5731ad8d>
- Maon, F., Lindgreen, A., & Vanhamme, J. (2009). Developing supply chains in disaster relief operations through cross-sector socially oriented collaborations: a theoretical model. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14(2), 149–164. <https://doi.org/10.1108/13598540910942019>
- Memiş, L., & Babaoğlu, C. (2020). Acil durum ve afet yönetiminde süreç yaklaşımı ve teknoloji. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(4), 776–791.
- Merdivenci, F. (2021). Tersine lojistik risk yönetimini etkileyen faktörlerin çok kriterli karar verme yöntemi ile analizi. Ş. Akdemir (Ed.), *İşletme ve Sosyal Politikalar Bilimsel Araştırma ve Değerlendirmeler*. LAMBERT Academic Publishing.
- Oloruntoba, R. (2010). An analysis of the Cyclone Larry emergency relief chain: Some key success factors. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 85–101. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.013>
- Organ, A. (2013). Bulanık dematel yöntemiyle makine seçimini etkileyen kriterlerin değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 157–172.
- Ozdemir, A. I., Erol, I., Ar, I. M., Peker, I., Asgary, A., Medeni, T. D., & Medeni, I. T. (2020). The role of blockchain in reducing the impact of barriers to humanitarian supply chain management. *The International Journal of Logistics Management*, 32(2), 454–478. <https://doi.org/10.1108/ijlm-01-2020-0058>
- Ömürgönülşen, M., Çekiç, B., & Ar, L. M. (2020). The evaluation of the factors in Industry 4.0 adaptation process for logistic firms with fuzzy Dematel method. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 167–184. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.581659>
- Özçelik, E., & Özçelik, M. (2023). Afet lojistiği üzerine kavramsal bir inceleme. *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 11–27.
- Özkul, B., & Karaman, E., (2007, Aralık 5-7). *Doğal afetler için risk yönetimi*. TMMOB Afet Sempozyumu, Ankara.
- Pettit, S., & Beresford, A. (2009). Critical success factors in the context of humanitarian aid supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39(6), 450–468. <https://doi.org/10.1108/09600030910985811>
- Pfeffer, J., & Salancik, G. R. (2003). *The external control of organisations: a resource dependence perspective*. Stanford University Press.
- Prasad, S., Zakaria, R., & Altay, N. (2016). Big data in humanitarian supply chain networks: a resource dependence perspective. *Annals of Operations Research*, 270(1–2), 383–413. <https://doi.org/10.1007/s10479-016-2280-7>
- Roy, P., Albores, P., & Brewster, C. (2012, September 11-13). *Logistical framework for last mile relief distribution in humanitarian supply chains: consideration from the field*. International Conference on Manufacturing Research, Birmingham, UK.
- Reuters. (2023). *Turkey earthquake damage set to exceed \$100 bln: UN agency*. 13 Mart 2023'de <https://www.reuters.com/world/middle-east/turkey-earthquake-damage-set-exceed-100-bln-un-agency-2023-03-07/> adresinden alındı.
- Sahin, S. (2019). The disaster management in Turkey and Goals of 2023. *Turkish Journal of Earthquake Research*, 1(2), 180–196.
- Salam, M. A., & Khan, S. A. (2020). Lessons from the humanitarian disaster logistics management. *Benchmarking: An International Journal*, 27(4), 1455–1473. <https://doi.org/10.1108/bij-04-2019-0165>
- Sheu, J.-B. (2007). Challenges of emergency logistics management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 655–659. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2007.01.001>
- Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2019). *On birinci kalkınma planı (2019-2023)*. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Plani-2019-2023.pdf
- T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2014). *Afet Yönetiminde Etkinlik Özel İhtisas Komisyonu Raporu*. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Onuncu-Kalkinma-Plani-Afet-Yonetiminde-Etkinlik-Ozel-Ihtisas-Komisyonu-Raporu.pdf>
- Thomas, A. (2023). *Why logistics?* FMR Online. 16 Kasım 2023'de <https://www.fmreview.org/sites/default/files/FMRdownloads/en/logistics/thomas.pdf> adresinden alındı.
- Tomasini, R. M., & Van Wassenhove, L. N. (2004). *A framework to unravel, prioritize and coordinate vulnerability and complexity factors affecting a humanitarian response operation*. Working Paper No.2004/41/TM. INSEAD, Fontainebleau, France.
- Tomasini, R. M., & Van Wassenhove, L. N. (2009). From preparedness to partnerships: case study research on humanitarian logistics. *International Transactions in Operational Research*, 16(5), 549–559. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2009.00697.x>
- United Nations. (2007). *Disaster Risk Reduction: 2007 Global Review*. UNISDR. https://www.preventionweb.net/globalplatform/2007/first-session/docs/session_docs/ISDR_GP_2007_3.pdf

- Van Wassenhove, L. N. (2006, May). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 475–489. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602125>
- World Health Organization. (2023). *WHO COVID-19 dashboard*. 21 Haziran 2023'de <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?n=c> adresinden alındı.
- Wu, F., Yenyurt, S., Kim, D., & Cavusgil, S. T. (2006). The impact of information technology on supply chain capabilities and firm performance: A resource-based view. *Industrial Marketing Management*, 35(4), 493–504. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2005.05.003>
- Wu, W. W., & Lee, Y. T. (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert Systems with Applications*, 32(2), 499–507. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.12.005>
- Yadav, D. K., & Barve, A. (2015). Analysis of critical success factors of humanitarian supply chain: An application of Interpretive Structural Modeling. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 12, 213–225. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.01.008>
- Yadav, D. K., & Barve, A. (2018). Segmenting critical success factors of humanitarian supply chains using fuzzy DEMATEL. *Benchmarking: An International Journal*, 25(2), 400–425. <https://doi.org/10.1108/bij-10-2016-0154>
- Yu, W., Chavez, R., Jacobs, M. A., & Feng, M. (2018). Data-driven supply chain capabilities and performance: A resource-based view. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 114, 371–385. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.04.002>
- Yuen, K. F., Wang, X., Ma, F., Lee, G., & Li, X. (2019). Critical success factors of supply chain integration in container shipping: an application of resource-based view theory. *Maritime Policy & Management*, 46(6), 653–668. <https://doi.org/10.1080/03088839.2019.1597289>
- Zadeh, L. (1965, June). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/s0019-9958\(65\)90241-x](https://doi.org/10.1016/s0019-9958(65)90241-x)
- Zhou, Q., Huang, W., & Zhang, Y. (2011). Identifying critical success factors in emergency management using a fuzzy DEMATEL method. *Safety Science*, 49(2), 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.08.005>

Baraj Yıkılması Sonucu Oluşan Taşkının İncelenmesi: Darlık Barajı Örneği

Ezgi Selen Tilav¹ , Sezar Gülbaz^{1,*}

¹İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul.

Özet

Barajlar ihtiyacımız olan içme ve kullanma sularının düzenli olarak karşılanmasında, enerji ihtiyacının sağlanmasında, yerleşim alanlarının sel baskınlarına karşı korunmasında, rekreasyon alanlarının oluşturulmasında büyük öneme sahip mühendislik yapılarıdır. Sağladığı birçok fayda olmasına rağmen bu yapılarda oluşan hasarların, mansabında yer alan yerleşim alanları için ciddi afet riski oluşturduğu bilinmektedir. Ayrıca, eskimekte olan mevcut barajlarımız ve bunlara ek olarak her geçen gün artan barajlarımız, özellikle mansabında yerleşim alanları artan bölgelerde afet riskini daha da artırmaktadır. Bu çalışma kapsamında çalışma alanı olarak, İstanbul'da yer alan ve mansabında yoğun yerleşim alanı bulunan Darlık Barajı seçilmiştir. Darlık Barajı mansabında baraj yıkılma simülasyonu yapılmış ve taşkın dalgasının etkiyeceği alanlar belirlenmiştir. Bu kapsamda, yetkili kurumlar tarafından önlem alınması gereken alanların tespit edilmesine, baraj yıkılması sonucu oluşacak felaketlerin önlenmesine veya azaltılmasına katkı sağlanması amaçlanmıştır. Darlık Barajına ait yıkılma analizleri HEC-RAS programı kullanılarak oluşturulmuştur. Baraj gediklenme senaryosuna uygun olarak gediklenme parametreleri HEC-RAS programına tanımlanmış ve baraj yıkılması taşkın analizi 2 boyutlu olarak modellenmiştir. Çalışma kapsamında olası baraj yıkılması durumunda meydana gelecek taşkın debisi, su hızı ve su derinliği hesaplanmıştır. Taşkın yayılım, derinlik ve hız haritaları elde edilmiştir. Taşkın yayılım alanları incelenerek taşkın tehlike haritaları çıkarılmış ve oluşması muhtemel taşkın dalgasının tehlike boyutu belirlenmiştir. Son olarak ise taşkın yayılım alanında kalan binalarda zarar hesabı yapılmış, zarar yüzdesi ve risk haritaları elde edilmiştir. Zarar hesabı sonuçlarına göre yaklaşık 3043 binanın hasar gördüğü gözlenmiştir. Zarar yüzdeleri taşkın yayılım alanı üzerinde gösterilmiştir. Taşkından etkilenen tüm binaların %80.05'inin çok yüksek riskli sınıfta olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Daha sonraki aşamada taşkın yayılım alanında kalan her bir bina risk sınıfına göre işaretlenmiş, risk haritalarında gösterilmiş ve çalışma kapsamında sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler

Baraj Yıkılması, HEC-RAS, Darlık Barajı, Taşkın Yayılım Haritası ve Taşkın Risk Haritası

Investigation of Flooding due to Dam Failure: A Case Study of Darlık Dam

Abstract

Dams are engineering structures that are of great importance in regularly meeting the drinking and utility water that we need, providing electrical energy needs, protecting residential areas against floods, and creating recreation areas. Although dams have many benefits, it is known that the damages in these structures poses serious disaster risk for the settlement areas located downstream. In addition, our existing dams, which are aging, and in addition to these, our dams that are increasing day by day, increase the disaster risk even more, especially in areas with increasing residential areas downstream. In this study, Darlık Dam, which is located in Istanbul and has a dense residential area on its downstream, was selected as the study area. Dam failure simulation was developed at the downstream of Darlık Dam and the areas that would be affected by the flood wave were observed. In this context, it is aimed to contribute to the determination of the areas where measures should be taken by the authorized institutions and to the prevention or reduction of the disasters that will occur due to dam failure. Failure analyzes of Darlık dam were generated by using HEC-RAS program. In accordance with the dam breach scenario, the breach parameters were defined into the HEC-RAS program and the dam failure flood analysis was modelled in two dimensions. Within the scope of the study, flood flow, water velocity and water depth were calculated in case of possible dam failure. Flood inundation, depth and velocity maps were obtained. Flood hazard areas was created and possible flood wave's hazard ratio was determined by observing flood inundation areas. Finally, damage of buildings in flood wave areas was calculated and damage ratio and risk maps were obtained. According to the result of damage calculation, it was observed that approximately 3043 buildings were damaged. The damage ratio was shown on the flood inundation areas. It was concluded that %80.05 of all buildings affected by the flood are in the very high risk class. In the next stage, each building in the flood inundation areas was marked according to its risk class, shown in risk maps and presented within the scope of the study.

Keywords

Dam Failure, HEC-RAS, Darlık Dam, Flood Inundation Map and Flood Risk Map

1. Giriş

Barajlar akarsular üzerine inşa edilen, arkasında bulunan su kütlelerini gövdeleriyle tutarak kısmen ya da tamamen kapatan, yapım amacına hizmet eden büyük mühendislik yapılarıdır. Sulama, elektrik üretimi, evsel ve endüstriyel su temini için oluşturulan, memba rezervuarında su ve sediment tutmak için inşa edilen hidrolik yapılarıdır (Hurdowar-Castro, 2007). Ayrıca, barajlar taşkın kontrolü ve yönetimi, balık yetiştiriciliği, su ürünleri yetiştiriciliği, rekreasyon ve hatta atık endüstrisi ile ekolojik yönetim amaçlı da kullanılmakta ve topluma muazzam faydalar sağlamaktadırlar (Urzica vd., 2020). Mühendislik alanında yaşanan gelişmeler baraj gibi devasa yapıların çok daha büyük, çok daha fayda sağlanabilecek düzeyde inşa edilebilmesine olanak sağlamıştır. Ancak bu büyük yapılar büyük riskleri de beraberinde getirmiştir (Alppay, 2019). Sağladığı tüm faydaların yanı sıra bazı olası durumların baraj güvenliğini tehdit etme seviyesine ulaşmasıyla birlikte baraj yıkılması riski oluşmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Mühendisler Birliği (United State Army Corps of Engineers (USACE)) Hidroloji Mühendisliği Merkezi araştırma belgesinde baraj yıkılma nedenlerini 8 tane olacak şekilde listelemişlerdir (U.S. Army Corps of Engineers). Bu nedenler; deprem, heyelan, şiddetli fırtına, gövde içinde borulanma, malzeme hatası, yapısal hasarlar, temel hatası ve sabotaj olarak sıralanmaktadır.

Küresel iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinin etkisi ile ciddi can kayıplarına ve ekonomik zararlara sebebiyet veren taşkın felaketlerinin sıklığı artmıştır (Takeuchi, 2018; Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2018). Nüfus artışı ve kentleşme seviyesi yüksek olan hassas bölgelerde yapılmış çalışmalar literatür için ve gelecekte olası taşkınların etkilerini azaltmak için gerekli önlemlerin alınması açısından önem arz etmektedir (Dikici vd., 2022; Gülbaz & Kazezyılmaz-Alhan, 2013; Gülbaz & Kazezyılmaz-Alhan, 2012; Kelesoglu vd., 2023). Ayrıca taşkın yayılım haritalarının oluşturulması ve risk altında olan alanların belirlenmesi adına çalışmalar da mevcuttur (Gülbaz, 2019; Cosgun vd., 2022). Yüksek şiddetli yağışlar sonucu oluşan taşkınların yanında baraj yıkılması sonucu taşkınlar meydana gelmektedir. Baraj yıkılmaları sonucu oluşan taşkın dalgaları doğal taşkınlardan çok daha yıkıcı sonuçlara sebebiyet verebilmektedir (Chen vd., 2019; Zhang vd., 2016). Baraj yıkılmasıyla meydana gelen, mansap yönünde hızla yayılan taşkın dalgası büyük miktarda suyun salınmasına, ciddi maddi zararlara ve can kayıplarına neden olabilmektedir (Galoie vd., 2012). Genellikle baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgasının büyüklüğü normal taşkına göre daha fazladır, pik akım süresine erişme zamanı daha kısadır ve baraj mansabında bulunan yerleşim alanlarında yaşayan insanların uyarılması ve tahliye edilmesi için gereken süre oldukça azdır (Kocaman, 2007). Hatta taşkınlar ve seller o kadar üzerine düşülmesi ve gerekli tüm önlemlerin alınması gereken bir konudur ki 2019 yılında afet olaylarının % 49'unu ve ölümlerin %44'ünü oluşturan en yaygın ve en ölümcül doğal afet türü olarak kayıtlara geçmiştir (Wang vd., 2021). Tabi ki bu etkilerin derecesi ülkelerin ve taşkın civarının nüfusuna, arazi durumuna, kentleşme oranına ve orman alanlarına göre değişiklik gösterebilmektedir (Li, 2016; Hu, 2018).

Barajlar yakınlardaki yerleşim yerlerine çok sayıda fayda sağlamasına rağmen, baraj yıkılması ihtimali ile bu yapıların mansabında bulunan yerleşik nüfus üzerinde potansiyel risk oluşturmaktadır (Hariri-Ardebili, 2018; You, 2012; Wang vd., 2021). Bugüne kadar toplum üzerinde olumsuz etkiler yaratan 2000'den fazla baraj yıkılması vakası kaydedilmiş ve bu tür olayların çoğunluğu, barajların inşasının hızlandığı 1900 ile 2000 yılları arasında kayıt altına alınmıştır (Singh, 1996; Zhang vd., 2016). Baraj yıkılması riski, baraj gövdesinde gediklenme veya borulanma sonucu oluşan yıkılma olasılığı nedeniyle ortaya çıkmaktadır (Zhang vd., 2016; Zhang vd., 2009). Temel olarak gedik, baraj gövdesinde oluşan ve barajın yıkılmasına neden olan açıklık olarak tanımlanır ve bu olay, barajın arkasındaki suyun mansap bölgelerine doğru yayılmasına neden olur (Dinçergök, 2007). Geçmişte yapılan çalışmalarda gedik oluşum süresi, rezervuar hacim oranı gibi kriterler dikkate alınarak taşkın pik derinliği, maksimum debi, maksimum debiye ulaşma süresi gibi bulgular elde edilmiş ve taşkın tehlike haritalarında hasar görece alanlar üzerinde bu kriterlerin etkisi net bir şekilde gözlemlenebilmiştir (Pasa vd., 2023). Baraj yıkılması sonucu meydana gelecek felaketlerin önlenmesi veya etkisinin azaltılması için çalışmaların yapılması büyük önem arz etmektedir. Acil durum planlarının hazırlanmasında kullanılmak üzere taşkın yayılım, zarar ve risk haritalarının oluşturulması, yerleşim bölgelerine taşkın dalgalarının ulaşacağı sürenin hesaplanması ve bu veriler ışığında erken uyarı sistemlerinin kurulması gerekmektedir (Palamut, 2014). Baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkın önceden tahmin edilmesi için çeşitli deneysel ve modelleme çalışmaları yapılmıştır (Xiong, 2011).

Günümüzde, DAMBRK'88, BREACH 7/88, DWOPER 8/89, SMPDMK 9/91, MIKE SHE, CCHE2D, TUFLOW, Infoworks-2D, MIKE21, FLO-2D, TELEMAR-2D, SOBEK, ISIS-2D, NWS FLDWAV HEC-RAS gibi birçok bilgisayar programı ile analizler gerçekleştirilebilmektedir (Singh, 1996; George & Nair, 2015; Razad vd., 2013; Nayak vd., 2000; Mahnamfar vd., 2020). Geliştirilen hidrolik modelleme yazılım programlarından biri olan HEC-RAS literatürde kabul gören ve sıklıkla kullanılan güvenilir bir programdır (Brunner, 2014; Cai vd., 2019). HEC-RAS programı baraj yıkılması ile taşkın hesaplarını da yapabilmektedir (Froehlich, 1995; Froehlich, 2008). Hem baraj üzerinden aşma hem de borulanma gediklenme şeklinin seçilebilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca çalışma alanında bulunan çeşitli yapılar da programa tanımlanabilmektedir (Tuncer, 2011). Bununla birlikte, HEC-RAS programı ücretsiz bir bilgisayar programıdır. Literatürde HEC-RAS yazılımını kullanarak taşkın yayılımını modelleyen birçok çalışma bulunmaktadır (Quiroga, 2016; Haltaş vd., 2016; Liviu-Marian vd., 2018; Papaioannou vd., 2018; Azeez vd., 2020; Lima vd., 2020; Urzica vd., 2020; Aribawa vd., 2021; Xiong, 2011; Yıldız, 2021).

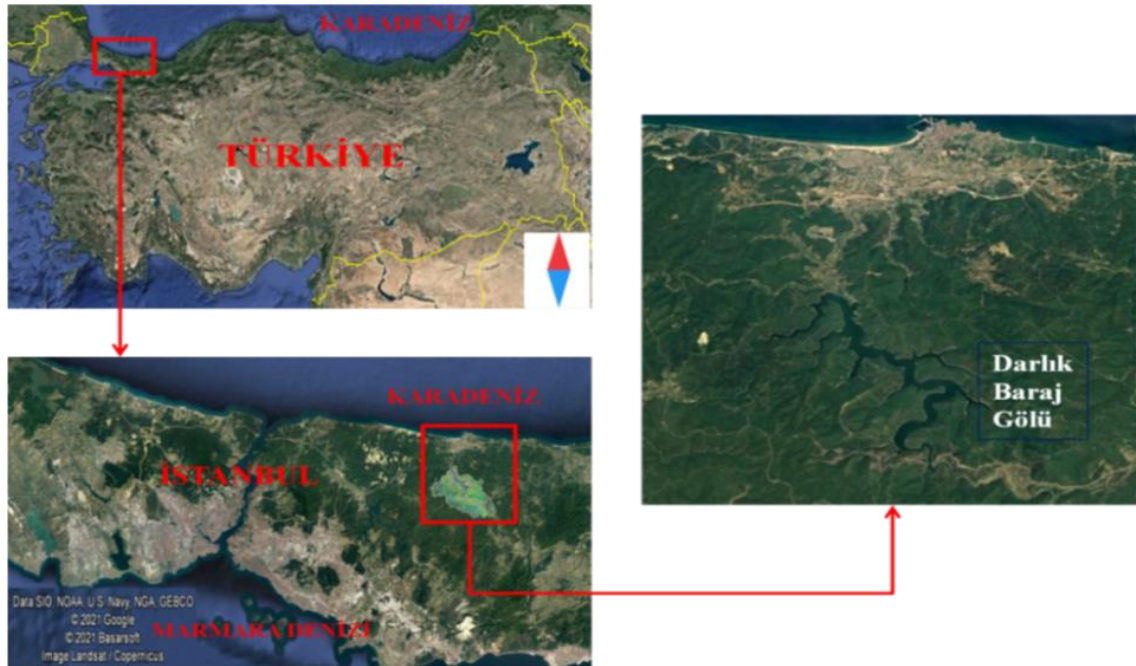
Bu çalışmanın temel amacı, İstanbul'da yer alan ve önemli su kaynaklarından biri olan Darlık Barajı'nda olası baraj yıkılma simülasyonlarının gerçekleştirilmesi, yıkılmada etkili olan gediklenme süresi ve gedik genişliğinin analiz edilmesi, taşkın dalgasının etkiyeceği alanların belirlenmesi, taşkın yayılım, derinlik ve risk haritalarının oluşturulmasıdır. Bununla birlikte, çalışma kapsamında muhtemel bir baraj yıkılması sonucu tehlike arz eden alanların belirlenmesi ve yetkili kurumların önlem alabileceği bir çalışma oluşturulması hedeflenmiştir. Ayrıca, muhtemel baraj yıkılması sonucunda meydana gelecek taşkın öncesinde insanların zamanında uyarılması, tahliye edilmesi ve feci sonuçların önlenmesi veya azaltılabilmesi için bir kaynak elde edilmesi amaçlanmıştır.

Bu kapsamda T.C. Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü'nden Darlık Barajı memba ve mansap bölgesine ait sayısal yükseklik modeli temin edilmiştir. Ayrıca baraj gövdesine ait bilgiler Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığı tarafından temin edilmiştir. Baraj gediklenme senaryosuna uygun baraj gediklenme parametreleri HEC-RAS 5.0.7 programında işlenerek BYT analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada HEC-RAS'ta 1 boyutlu analiz yöntemiyle çok yönlü taşkın dalgası yayılımının hesaplanamaması sebebiyle (Mihu-Pintilie vd., 2019; Apel vd., 2009; Dasallas vd., 2019; Dimitriadis vd., 2016) 2 boyutlu analiz tercih edilmiştir. Ayrıca 2 boyutlu hidrolik modellemelerin taşkın dalgası yanal difüzyonunu simüle etmek için en uygun çözüm olduğu savunulmaktadır (Manfreda vd., 2015; Leandro vd., 2009; Horritt & Batesi, 2002; Alho & Aaltonen, 2008; Kadir, 2019; Urzica vd., 2020). Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu'na (ICOLD) göre baraj yıkılmalarının %38'i yetersiz dolusavak tasarımıyla kaynaklanırken %33'ü çok önemli sorunlar olan sızıntı ve borulardan kaynaklanmaktadır. Bu sebeple literatürde çok önemli bir yer kaplayan borulanma tipi gediklenme seçilerek kararsız akım analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, olası baraj yıkılması durumunda meydana gelecek taşkın debisi hesaplanmış, oluşacak taşkın hidrografi belirlenmiş, BYT dalgası yayılım haritaları derinlik, hız ve taşkın yayılım alanı bakımından incelenerek taşkın tehlike haritaları çıkarılmış, oluşması muhtemel taşkın dalgasının tehlike boyutu belirlenmiş ve mansapta ilerlemesine yönelik bir çalışma sunulmuştur. Çalışmanın son aşamasında binalar üzerinde zarar ve risk hesabı gerçekleştirilmiştir. Olası baraj yıkılması durumunda karşılaşılabilecek yaklaşık maliyet hesaplanmış, zarar yüzdeleri ve risk haritaları elde edilmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı: Darlık Barajı ve Havzası

Darlık Barajı 1985-1989 yılları arasında Darlık Deresi üzerinde inşa edilmiştir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2016). Hem içme hem de kullanma suyu teminini sağlayan bu baraj İstanbul'un en önemli su kaynaklarından biridir. Darlık Baraj Gölü İstanbul'un en büyük 5. baraj gölüdür (Cüceloğlu, 2013). Darlık Barajına toplanan sular 207 km²'lik havza alanından toplanmakta olup baraj gölü yüzey alanı 6 km² alana sahiptir. Darlık Baraj Gölü 41°08' ile 40°50' kuzey enlemleri ile 29°30' ile 29°42' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Şekil 1'de coğrafi konumu görülmektedir. Baraj gövdesi ve rezervuarına ait Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığı'ndan alınan bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Darlık Barajı su toplama havzası ve Darlık Baraj Gölü

Tablo 1: Darlık Barajı bilgileri

Tipi	Kil çekirdekli kaya dolgu
Kret Kotu (m)	57.50
Talveg Kotu (m)	10.00
Temel Kotu (m)	-20.00 m
Talvegden Yükseklik (m)	47.50
Temelden Yükseklik (m)	77.50
Kret Uzunluğu ve Genişliği (m)	308.00 m; 10.00
Baraj Maksimum Su Seviyesi (m)	55.42
Baraj Normal Su Seviyesi (NSS) (m)	52
Ölü Hacim m ³	5.5x10 ⁶
Toplam Depolama Hacmi (Aktif) m ³	113x10 ⁶
Göl Alanı (Normal Su Seviyesi) m ²	5.8x10 ⁶
Göl Alanı (Minimum Su Seviyesi) m ²	1x10 ⁶
Dolusavak Yeri	Sol Sahil
Dolusavak Tipi Katastrofal Taşkın Debisi m ³ /sn	Karşıdan alışı serbest 893
Dolusavak Kret Kotu (m)	52
Dolusavak Kret Genişliği (m)	30
Boşaltım Kanalı Uzunluğu m	67.43
Boşaltım Kanalı Genişliği m	30.00

2.2. HEC-RAS 5.0.7. Programı

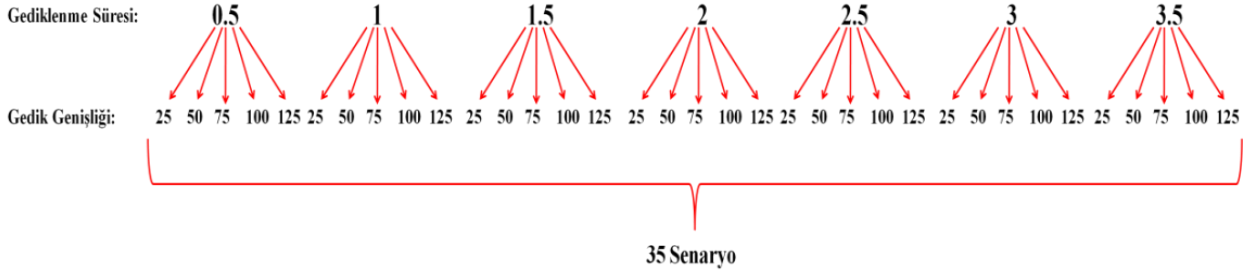
Bu çalışma kapsamında baraj yıkılması modelinin oluşturulması için Hydrologic Engineering Center River Analysis System (HEC-RAS) adlı bilgisayar programı kullanılmıştır. HEC-RAS programı Amerika Birleşik Devletleri Askeri Mühendislik Birimi-Su Kaynakları Enstitüsü'nün (US Army Corps of Engineers Institute of Water Resource (IWR)) bir bölümü olan Hidroloji Mühendislik Merkezi (Hydrologic Engineering Center (HEC)) tarafından geliştirilmiş bir yazılım programıdır (Tuncer, 2011). HEC-RAS, akarsuların bir veya iki boyutlu hidrolik hesaplarını yaparak, akarsuyun modellenmesi amacıyla tasarlanmış bir programdır. Program dört ayrı hidrolik analiz bileşenini içermektedir (U.S. Army Corps of Engineers, 2016). Bu bileşenler; (1) zamandan bağımsız akım koşullarında su yüzü profilinin hesaplanması, (2) zamana bağlı akım koşullarında su yüzü profilinin hesaplanması, (3) sediment taşınımının hesaplanması, (4) su kalitesi analizleri ile ilgili bileşenlerdir. Programda bu bileşenler ile geometrik veriler tanımlanarak, geometrik ve hidrolik hesaplar yapılmaktadır. Nehir rejimi, sel rejimi ya da karışık rejim durumlarında hesap yapabilmektedir. Program ayrıca baraj yıkılması ile taşkın hesaplarını da yapabilmektedir. Analizin gerçekleştirileceği çalışma alanında bulunan köprü, menfez gibi sanat yapıları ve dolu savak gibi çeşitli yapılar göz önüne alınarak analizler gerçekleştirilebilmektedir (Tuncer, 2011). Program bunlara ek olarak su yüzeyi profili hesapları, üniform akım hesapları, üniform kanal tasarımı ve sediment taşınım kapasitesi gibi tasarım bileşenlerini içermektedir. Program ile dolgu barajlarda hem baraj üzerinden aşma hem de borulanma gediklenme şekli ile yıkılmanın modellenmesi yapılabilmektedir.

2.3. Baraj Yıkılma Senaryoları ve HEC-RAS ile Yıkılma Analizi

Çalışma kapsamında, ilk olarak Harita Genel Müdürlüğü'nden, tiff formatında 5 m çözünürlükte temin edilen Darlık Barajı havzası memba ve mansabına ait sayısal yükseklik haritası sisteme tanımlanmıştır. Baraj göleti geometrisi arazi modeline uygun olacak şekilde belirlenmiş ve poligon biçiminde oluşturulmuştur. Daha sonraki aşamada baraj yıkılması neticesinde taşkın sularının ulaşması öngörülen taşkın yayılım alanı oluşturulmuştur. Bu alan perimetre aracılığıyla poligon olarak çizilirken küçük bir alan seçilmesinin taşkın yayılım analizinin gerçekleştirilmesi esnasında yeterince doğru sonuçları vermeyeceği bilindiğinden olası en muhtemel, arazi yapısıyla uyumlu ve geniş alan oluşturulmuştur. Bu alanın sınırlarına alan üzerinde yapılan deneme yanılma çalışmaları neticesinde karar verilmiştir. Oluşturulan taşkın alanı poligonu üzerinde 2 boyutlu alan ızgara aralığı oluşturulmuştur. Bu ızgara hücre aralıkları 10 x 10 m boyutunda olacak şekilde bölünmüş ve literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak manning katsayısı programa 0.025 olarak tanımlanmıştır. Böylelikle ızgara alanı ile birlikte 2 boyutlu bir çalışma alanı elde edilmiştir. Başlangıç koşulu olarak mevcut rezervuar alanı sisteme tanımlanmış ve hazne hacminin tamamının dolu olduğu kabulü ile buna karşılık gelen su kotu 55.42 m olacak şekilde programa tanımlanmıştır. Sınır koşulu olarak ise baraj yıkılması neticesinde taşkın sularının mansap boyunca ilerleyerek denize ulaşacağı bölgelerde akış alanı oluşturulmuştur. Sınır koşulu olarak programda normal derinlik opsiyonu kullanılmıştır. HEC-RAS programı bu opsiyonu bir aşağı akış sınır koşulu olarak kullanmaya olanak sağlamaktadır. Bu seçenek, hesaplanan her akış için bir aşamayı tahmin etmek için Manning denklemini kullanmaktadır. Bu yöntemi kullanmak için bir sürtünme eğimi (enerji eğimi çizgisinin eğimi) girilmesi gerekmektedir. Sürtünme eğimi literatüre uygun olacak şekilde 0.01 olarak tanımlanmıştır.

Bir sonraki aşamada baraj gövdesi Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığı tarafından temin edilen bilgiler kullanılarak modele tanımlanmıştır. Daha sonra baraj gövdesi üzerine planlanan senaryo ve yıkılma türü ile ilgili bilgiler işlenmiştir. Denklem seti olarak HEC-RAS modelinde difüzyon dalga denklemi seçilmiş ve kararsız akım analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, analiz hesap ayarlarında ‘‘Hesap Aralığı’’ 1 saniye olarak ayarlanmıştır.

Çalışma kapsamında, yıkılma senaryolarında yıkılma modu olarak borulanma gediklenme şekli seçilmiştir. Senaryolar kapsamında baraj yıkılması gediklenme süresi ve gedik taban genişliği dikkate alınarak oluşturulmuştur. Senaryoların oluşturulmasında literatüre dayanarak 25, 50, 75, 100 ve 125 m gedik taban genişlikleri kullanılmıştır (Kocaman, 2002). Her bir gedik genişliği yine literatüre dayanarak seçilen 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 ve 3.5 saat gediklenme süreleriyle analiz yapılmıştır. Literatüre ek olarak HEC-RAS yazılımının içinde mevcut olarak bulunan ve otomatik olarak seçilebilen denklemler göz önünde bulundurularak bu parametreler seçilmiştir. 35 adet yıkılma senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryoların çizelgesi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Gediklenme senaryoları çizelgesi

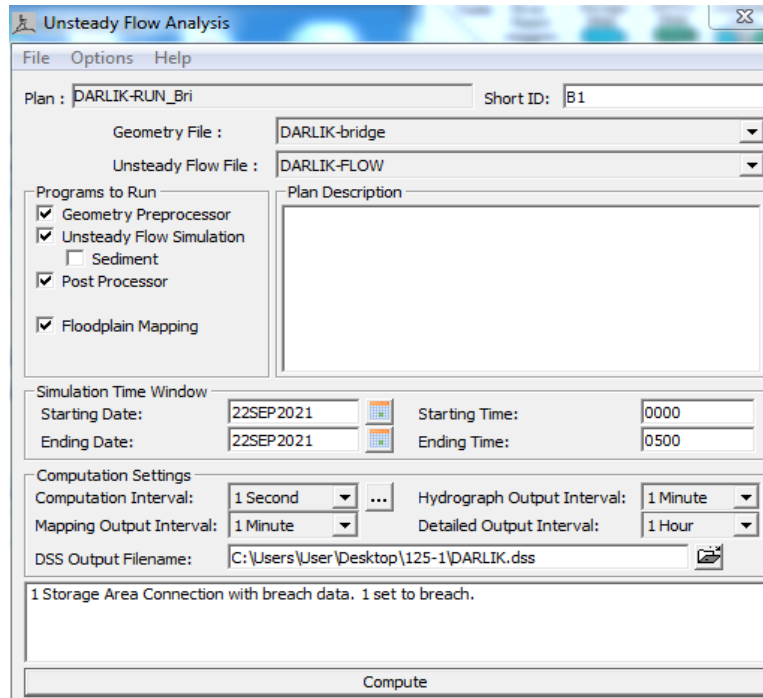
Yıkılma senaryolarının oluşturulabilmesi amacıyla programa baraja ait veriler tanımlanmıştır. Bu kapsamda ilk gediklenme senaryosunda haznenin tamamen dolu olduğu kabulüyle maksimum su kotu esas alınmıştır. Minimum gedik taban genişliği olan 25 m ile minimum gediklenme süresi olan 0.5 saat seçilmiştir. Maksimum su kotu 55.42 m ye karşılık gelen maksimum depolama hacmi 130.5 milyon m³ değeri hacim-satış eğrisinden okunmuştur. Hacim-Satış eğrisi DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığı’ndan alınmış ve hacim-satış eğrisinde yer alan bilgiler programa tanımlanmıştır. Böylelikle ilk gediklenme senaryosu için maksimum su kotu 55.42 m olarak programa girilmiştir. İlk gediklenme senaryosu için baraj yüksekliği talveg kotu 10 m ve baraj kret kotu 57.5 m alınarak programa tanımlanmıştır. Bir diğer parametre olan gediklenme taban yüksekliği minimum su kotuna eşit olacak şekilde yine DSİ’den alınan bilgiler göz önüne alınarak 21.5 m olarak girilmiştir. Gediklenme süresi ve gedik taban genişliği dışında kalan gediklenme parametreleri Xu ve Zhang (2009) parametrelerine göre seçilmiştir. İlk senaryoya ait gediklenme parametrelerinin girildiği HEC-RAS ekranı Şekil 3’te verilmiştir.

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	201	0.5	2.24	Select
Frøehlich (1995)	108	0.9	2.02	Select
Frøehlich (2008)	98	0.7	1.78	Select
Von Thun & Gillette	122	0.5	0.93	Select
Xu & Zhang	81	0.66	3.48 *	Select

* Note: the breach development time from the Xu Zhang equation includes more of the initial erosion period and post erosion than what is used in the HEC-RAS breach formation time.

Şekil 3: HEC-RAS gediklenme verileri ekranı ve Senaryo 1 için tanımlanan gediklenme parametreleri

HEC-RAS 5.0.7. programında baraj gölünün, baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkın yayılım alanının, baraj gövdesinin, başlangıç ve sınır koşullarının ve son olarak gediklenme parametrelerinin tanımlanmasından sonra analiz aşamasına geçilmiştir. Analiz süresi olarak 22 Eylül 2021 saat 00:00'da başlayıp 22 Eylül 2021 saat 05:00'da biten bir aralık seçilmiştir. Baraj yıkılma analizi süresi seçilirken gediklenmenin başlaması ve gelişmesi, baraj yıkılmasının gerçekleşmesi ve taşkın oluşması, taşkın yayılması ve süzülmenin gerçekleşmesi gibi tüm aşamaların yeterince gözlemlenebilmesi dikkate alınmıştır. Bu sebeple yeterli bir süre seçilmiştir. Baraj yıkılması taşkını kararsız akım analizinin hesap girdilerinin tanımlandığı ekran Şekil 4'te verilmiştir. Analiz hesap ayarlarında programın sık sürelerle hesap yapabilmesi ve hidrografların yükselişini ve alçalışını doğru bir şekilde tanımlayacak kadar küçük olması amacıyla "Hesap Aralığı" 1 saniye olarak ayarlanmıştır. Hesaplama aralığı kararsız akım hesaplamalarında kullanılmaktadır. HEC-RAS eşleştiricisi içinde harita çıktısının görselleştirilebileceği aralığı girmek için kullanılan "Harita Çıktı Aralığı" 1 dakika olarak ayarlanmıştır. Hesaplanan seviye ve akış hidrograflarının hangi aralıkta yazılacağını tanımlamak için kullanılan "Hidrograf Çıktı Aralığı" programda 1 dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu aralık seçilen hesaplama aralığına eşit veya ondan daha büyük olması gerektiği göz önüne alınarak seçilmiştir. Ayrıca bu aralığın hesaplanan hidrografların şeklini hidrografın tepesi ya da hacmi hakkında bilgi kaybetmeden en doğru şekilde tanımlamak için yeterli sayıda nokta verecek şekilde seçilmesi gerektiği bilinmektedir. Simülasyon esnasında kullanıcı tarafından belirlenen bir aralıkta su yüzey kotu ve akışı profillerinin yazılmasını sağlayan "Ayrıntılı Çıktı Aralığı" da 1 saat olarak girilmiştir. Akış profillerinin tüm bilgilerinin depolanması için çok fazla alan gerekeceğinden, her zaman aralığının seçilememesi ayrıntılı çıkış aralığı seçilirken dikkate alınmıştır. Analiz için gerekli tüm girdiler programa tanımlandıktan sonra analiz gerçekleştirilmiştir.



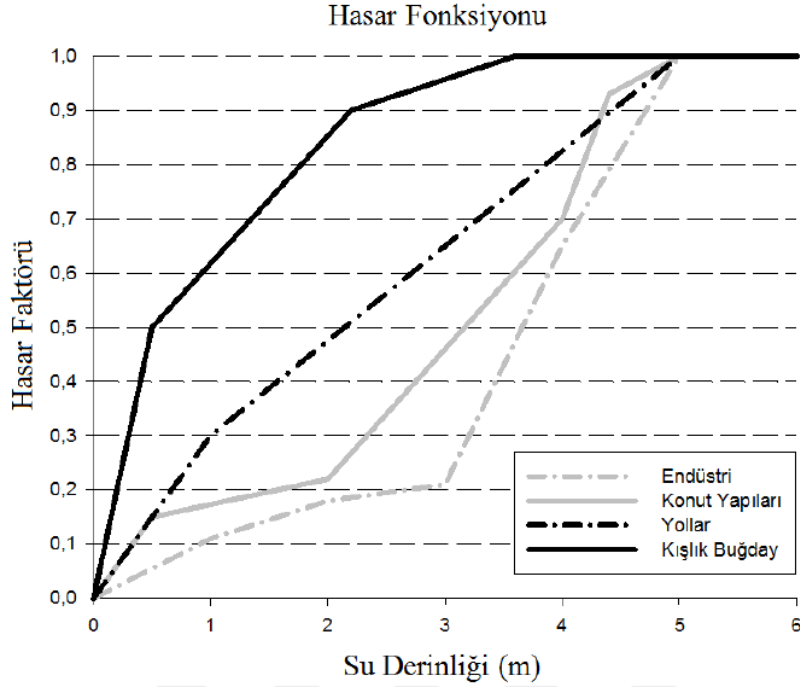
Şekil 4: HEC-RAS kararsız akım analizi hesap ekranı

2.4. Yapılar Üzerinde Zarar Hesabı

Literatürde Huntington İnşaat Mühendisleri Birliği tarafından önerilen zarar yüzdelere göre zarar hesabı (Huntington, 1976), van Eck ve Kok derinlik zarar eğrilerine göre zarar hesabı (van Eck & Kok, 2001), Aimilia K. Pistrika ve Sebastiaan N. Jonkman denklemlerine göre zarar hesabı (Pistrika & Jonkman, 2010) gibi birçok yöntem bulunmaktadır (Terzioğlu, 2018). Ayrıca yine Avrupa Birliği Ortak Araştırma Merkezi tarafından (European Commission-Joint Research Centre) taşkın hasar değerlendirmesi üzerine yayınladıkları raporda zarar hesabı hakkında bir takım yöntemlerden bahsedilmiştir (van der Sande, 2001). Literatürde yer alan bu çalışmalar dikkate alınarak bu çalışma kapsamında seçilen çalışma için uygulamalar yapılmıştır.

Zarar hesaplamalarının gerçekleştirilebilmesi için taşkın yayılım haritası ile birlikte taşkın derinlik haritaları incelenmelidir. Bu amaçla taşkın yayılım alanında bulunan yerleşim alanları ve su derinlikleri belirlenmiştir. Zarar hesaplamaları için ilk olarak Google Earth programında taşkına maruz kalan her bir yapının taban alanı hesaplanmıştır. HEC-RAS programında gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen taşkın derinlik haritaları ile binalara karşılık gelen su derinlikleri okunmuştur. Su derinlikleri okunurken HEC-RAS programında analiz anında su derinliğinin maksimum olduğu an yani en kötü senaryo (0.5 sa gediklenme süresi ve 125 m dedik genişliği olan senaryo) kullanılmıştır.

Hasar oranının bulunması için derinlik bulgularının HEC-RAS programında yapılan analizler sonucunda elde edilmiş olması sebebiyle su derinliğine göre zarar miktarını hesaplayabildiğimiz van Eck ve Kok yöntemi kullanılmıştır. van Eck ve Kok tarafından oluşturulan su derinliği hasar faktörü eğrileri Şekil 5’de verilmiştir. Yapılan çalışmada barajın mansabında yer alan yapılar konut/bina olduğundan dolayı konut yapıları için olan hasar fonksiyonu ve buna bağlı hasar faktörleri kullanılmıştır.



Şekil 5: Van Eck ve Kok hasar faktörü eğrileri (Serencam, 2013)

Hasar faktörleri belirlendikten sonra elde edilen zarar yüzdeleri ile taşkına maruz kalan her bir binanın taban alanı çarpılmış ve zarar miktarları hesaplanmıştır. Her bina Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 24 Mart 2021 tarihinde Resmi Gazete’de yayınlanan (Resmi Gazete, 2021) yapı yaklaşık birim fiyat maliyetleri listesine göre 3. sınıf A grubu yapılar (konutlar, ticari amaçlı binalar, okullar, kreşler vb.) olarak kabul edilmiştir. Ve her bina için 02.12.1982 yılında yayınlanan 17886 Sayılı Resmi Gazete’de yıpranma payı binaların genelinin betonarme karkas ve 16-20 yaş arası olması kabulüne göre %20 alınmıştır. Sonuç olarak taşkın yayılım alanında kalan her bina için hesaplanan zarar miktarları birim fiyat ve yıpranma payı ile de çarpılmış ve tahmini zarar maliyeti hesaplanmıştır. Ayrıca taşkın yayılım alanındaki her bir bina için hesaplanan zarar yüzdeleri %0–15, %16–30, %31–45, %46–60, %61–75 ve %76–100 olarak 6 sınıfa ayrılmıştır. Bu yüzde sınıfları zarar yüzdelерinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla taşkın yayılım haritaları üzerinde gösterilmiş ve bulgular kısmında sunulmuştur.

2.5. Yapılar Üzerinde Taşkın Risk Hesabı

Yapılar üzerinde taşkın risk sınıflandırmasının gerçekleştirilmesinde literatürde Taşkın Risk Haritalarının Hazırlanması Kılavuzu’na göre, Dinh vd. (2012) tarafından yapılan çalışma neticesinde oluşturulan sınıflandırmaya göre, Taşkın Risk Analizi ve Haritalandırma Rehberi risk sınıflandırma tablosuna göre yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Terzioğlu, 2018). Bu çalışma kapsamında, Dinh vd. (2012) tarafından oluşturulan sınıflandırmadan yararlanılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre taşkın riskleri taşkın derinliğine bağlı olarak çok düşük riskli, düşük riskli, orta riskli, yüksek riskli ve çok yüksek riskli olarak 5’e ayrılmıştır. Bu sınıflandırma Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2: Taşkın risk sınıflandırması (Dinh vd., 2012)

Taşkın Derinliği (m)	Taşkın Riski
0-0.2	Çok Düşük
0.2-0.5	Düşük
0.5-1.0	Orta
1.0-2.0	Yüksek
>2.0	Çok Yüksek

3. Bulgular

3.1. Baraj Yıkılma Analizi Bulguları

Çalışma kapsamında oluşturulan tüm senaryolara ait maksimum debi ve maksimum debiye ulaşılan zaman Tablo 3'te verilmiştir. Bu bulgulara göre gedik taban genişliği büyüdükçe ve gediklenme süresi küçüldükçe maksimum debinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca gedik taban genişliği değişse dahi gediklenme süresi küçüldükçe maksimum debiye ulaşma süresinin daha erken bir zamanda meydana geldiği görülmüştür. Rezervuardan çıkan su miktarı tüm analizler için maksimum su kotuna karşılık gelen 130.5 milyon m³ hazne hacminden minimum su kotu 21.5 m ye karşılık gelen 5.5 milyon m³ hazne hacmine ulaşacak şekilde azalmıştır. Analiz süresinin uzun tutulması halinde 125 milyon m³ suyun boşaldığı, sürenin 5 saat tutulması halinde boşalan suyun 95 milyon m³ civarında olduğu gözlemlenmiştir. Haznede bulunan ve 55.42 m yüksekliğinde tanımlanan su kotu analiz süresince minimum su seviyesi kotu olan 21.5 m seviyesine doğru inmiştir. Bu minimum su kotuna erişim süresi her bir analizde değişim göstermiştir. Gedik taban genişliği arttıkça bu süreye erişim daha erken bir zamanda meydana gelmiştir. Analiz sonuçlarına göre maksimum çıkan debi, rezervuardan çıkan su miktarı, oluşan su derinliği, su hızı ve oluşan su yüksekliği 25 m gedik taban genişliğinde oluşturulan tüm senaryolar için sonuçlar özet olarak Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3: Farklı gediklenme süresinin ve farklı gedik taban genişliklerinin etkisinin gövde aksında incelenmesi sonucu elde edilen veriler

SENARYOLAR			MAKSİMUM DEBİ (m ³ /sn)	MAKSİMUM DEBİYE ULAŞILAN ZAMAN (sa:dak) 22 EYLÜL 2021
Senaryo No	Gedik Taban Genişliği (m)	Gediklenme Süresi (sa)		
1	25	0.5	11243	00:40
2	25	1	10597	01:10
3	25	1.5	10003	01:40
4	25	2	9396	02:10
5	25	2.5	8839	02:40
6	25	3	8392	03:10
7	25	3.5	7993	03:40
8	50	0.5	17385	00:40
9	50	1	15999	01:10
10	50	1.5	14628	01:40
11	50	2	13542	02:10
12	50	2.5	12627	02:40
13	50	3	11805	03:10
14	50	3.5	11072	03:40
15	75	0.5	22988	00:40
16	75	1	20310	01:10
17	75	1.5	18235	01:40
18	75	2	16536	02:10
19	75	2.5	15081	02:40
20	75	3	13591	03:10
21	75	3.5	12071	03:40
22	100	0.5	28240	00:40
23	100	1	24202	01:10
24	100	1.5	21291	01:40
25	100	2	18893	02:10
26	100	2.5	16270	02:40
27	100	3	14042	03:10
28	100	3.5	12297	03:28
29	125	0.5	33010	00:40
30	125	1	27717	01:10
31	125	1.5	23843	01:40
32	125	2	20016	02:10
33	125	2.5	16707	02:40
34	125	3	14288	02:54
35	125	3.5	12554	03:04

HEC-RAS programında gerçekleştirilen baraj yıkılma analizinde gövde aksı haricinde taşkın yayılım alanı üzerinde 3 adet kesit üzerinde incelemeler yapılmıştır. Bu 3 adet kesitin alındığı bölgeler yerleşim alanlarının sıklığına göre seçilmiştir. Alınan kesitler Şekil 6'da gösterilmiştir.

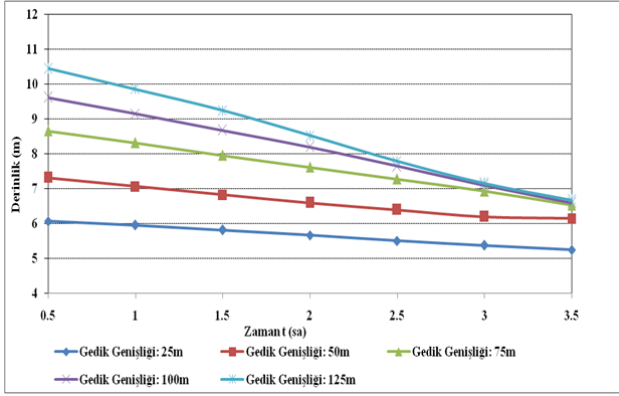


Şekil 6: Taşkın yayılım alanı üzerinde alınan kesitler

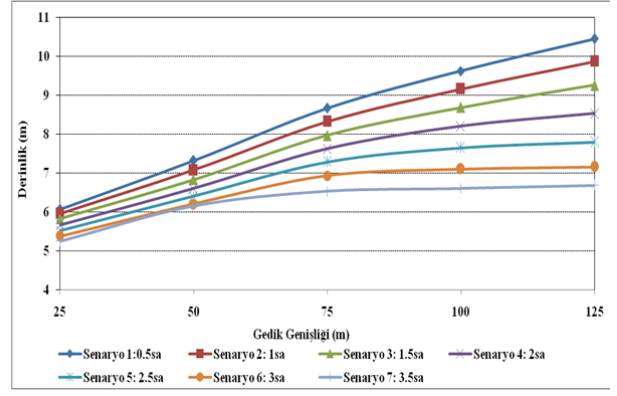
Tablo 4: HEC-RAS analiz sonuçları

Gövde Aksında Oluşan	Senaryo 1 (0.5sa)	Senaryo 2 (1sa)	Senaryo 3 (1.5sa)	Senaryo 4 (2sa)	Senaryo 5 (2.5sa)	Senaryo 6 (3sa)	Senaryo 7 (3.5sa)
Maksimum Debi (m^3/sn)	11243	10597	10003	9396	8839	8392	7993
Maksimum Debiye Ulaşılan Zaman (sa)	00:40	01:10	01:40	02:10	02:40	03:10	03:40
Maksimum Su Derinliği (m)							
Kesit 1	6.07	5.96	5.83	5.67	5.51	5.38	5.25
Kesit 2	13.37	13.28	13.14	12.99	12.84	12.70	12.57
Kesit 3	2.37	2.36	2.35	2.33	2.30	2.27	2.25
Maksimum Su Hızı (m/sn)							
Kesit 1	13.33	12.82	12.41	12.02	11.66	11.38	11.12
Kesit 2	8.18	8.05	7.91	7.77	7.62	7.49	7.37
Kesit 3	7.92	7.89	7.83	7.74	7.63	7.52	7.40
Maksimum Debi (m^3/sn)							
Kesit 1	11211	10580	9993	9389	8834	8388	7991
Kesit 2	9893	9614	9232	8812	8407	8038	7698
Kesit 3	8973	8888	8712	8447	8131	7807	7496

Çalışma sonuçlarına birer örnek olması adına Şekil 7'de Kesit 1'de 7 gediklenme süresine bağlı derinlik bulguları (Şekil 7-a), ve 5 gedik genişliğine bağlı derinlik bulguları (Şekil 7-b), Şekil 8'de Kesit 1'de 7 gediklenme süresine bağlı hız bulguları (Şekil 8-a) ve 5 gedik genişliğine bağlı hız bulguları (Şekil 8-b), Şekil 9'da Kesit 1'de 7 gediklenme süresine bağlı debi bulguları (Şekil 9-a) ve 5 gedik genişliğine bağlı debi bulguları (Şekil 9-b) sunulmuştur. Kesit 2 ve kesit 3 için de benzer sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Grafiklerde 7 gediklenme süresine bağlı derinlik, hız ve debinin pik değerleri ile oluşturulan eğrilerin eğimleri incelendiğinde gedik genişliği arttıkça daha dik bir eğim, gedik genişliği azaldıkça daha yataya yakın bir eğim elde edildiği görülmüştür. Bu da gedik genişliği büyüdükçe gediklenme süresinin derinlik, hız ve debi üzerinde daha etkili olduğunu göstermektedir. 5 gedik genişliğine bağlı bulgulara ait eğriler incelendiğinde ise 75 m gedik genişliğinde bir kırılma noktası gözlemlenmiştir. 75 m gedik genişliğinden önceki senaryolarda daha dik bir eğim elde edilirken bu eğim 75 m kırılma noktasını aştıktan sonra daha yatay bir hale gelmeye başlamıştır. 75 m gedik genişliğinden önce ve sonra elde edilen grafik eğimlerinin değişmesinden dolayı gözlemlenen bu sonuç bize göstermektedir ki 75 m gedik genişliğinden daha büyük genişlikteki senaryoların derinlik, hız ve debi üzerindeki etkileri önceki senaryolara kıyasla azalmaktadır. Ayrıca Kesit 3'te oluşan debi hidrografına göre her bir senaryoda maksimum debiye ulaşma süreleri kıyaslanmış ve gediklenme süresine (Şekil 10-a) ve gedik genişliğine (Şekil 10-b) bağlı olarak Şekil 10'da sunulmuştur. Her bir analiz için pik debiye erişim süreleri kıyaslandığında gedik genişliği arttıkça pik debiye erişim süresinin azaldığı, gedik oluşum süresi arttıkça pik debiye erişim zamanının da arttığı gözlemlenmiştir.

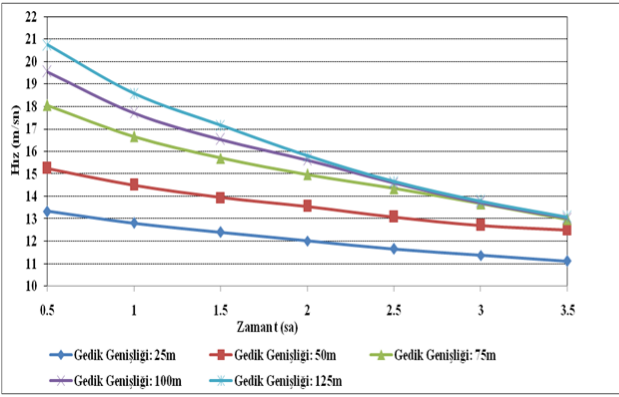


(a)

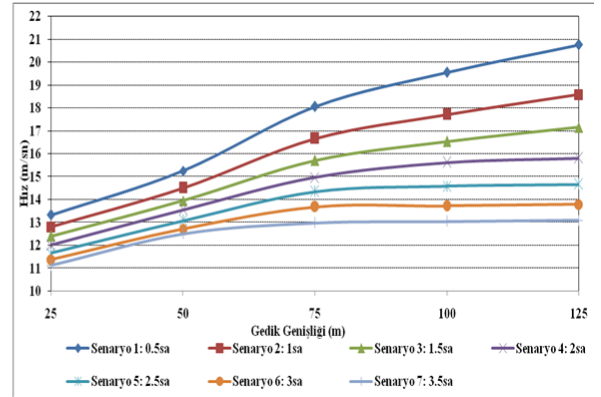


(b)

Şekil 7: Kesit 1'de 7 gediklenme süresine (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5) ve 5 gedik genişliğine (25, 50, 75, 100, 125) bağlı derinlik bulguları

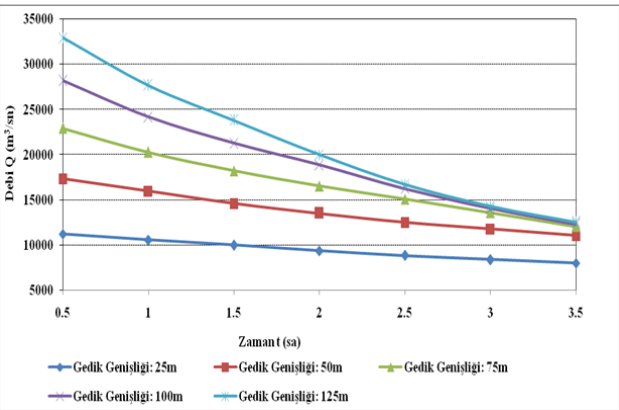


(a)

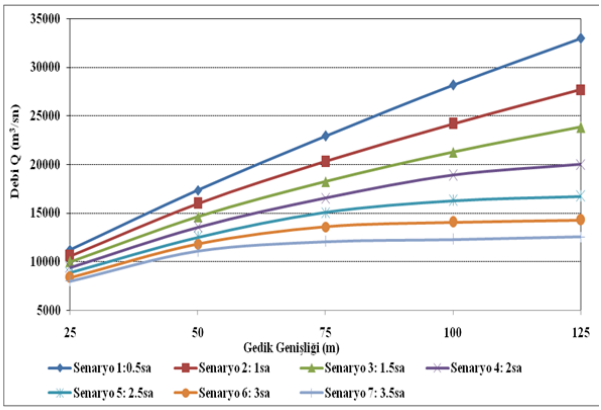


(b)

Şekil 8: Kesit 1'de 7 gediklenme süresine (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5) ve 5 gedik genişliğine (25, 50, 75, 100, 125) bağlı hız bulguları

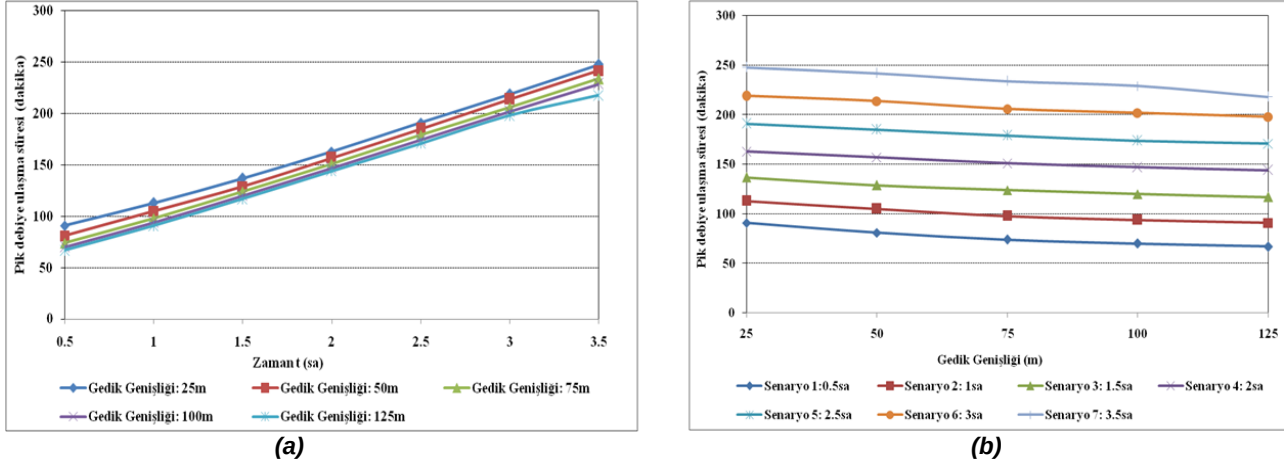


(a)



(b)

Şekil 9: Kesit 1'de 7 gediklenme süresine (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5) ve 5 gedik genişliğine (25, 50, 75, 100, 125) bağlı debi bulguları

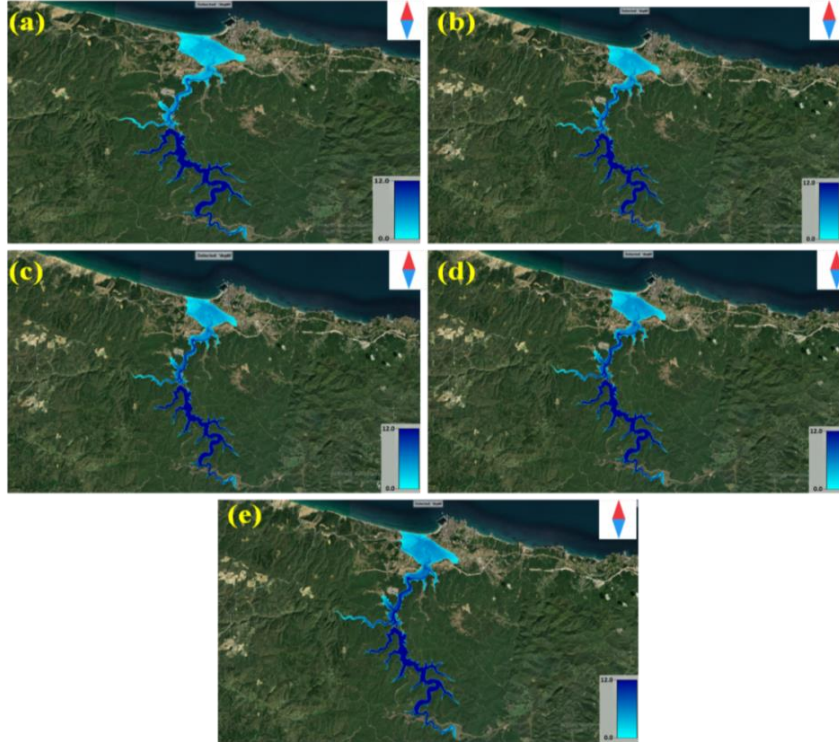


Şekil 10: Kesit 3'te 7 gediklenme süresine (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5) ve 5 gedik genişliğine (25, 50, 75, 100, 125) bağlı pik debiye ulaşma süreleri

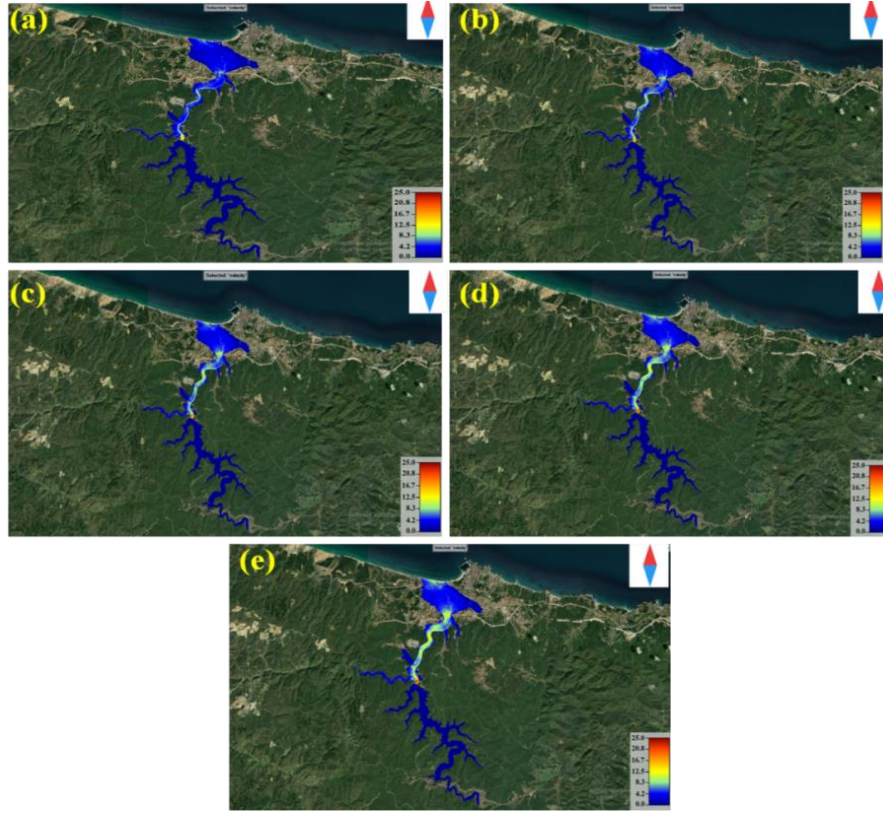
3.2. Taşkın Yayılım Haritalarının Oluşturulması

Gediklenme süresi 0.5 sa için tüm gediklenme genişliklerinde (25, 50, 75, 100 ve 125m) elde edilen maksimum taşkın yayılım-derinlik haritaları Şekil 11'de gösterilmiştir. Bu haritada derinliğin alana göre dağılımı verilmiştir. Elde edilen maksimum taşkın yayılım-hız haritaları Şekil 12'de verilmiştir. Bu haritalarda su hızının alana göre dağılımı verilmiştir. Ayrıca maksimum yayılım-su yüzey kotu haritaları Şekil 13'te verilmiştir. Taşkın yayılım haritalarının su derinliği, su hızı ve su yüzeyi yüksekliğine göre belirlenmiş lejantları baraj gölünü temsil etmemekte olup baraj gövdesinin mansabında yer alan taşkın yayılım alanını temsil etmektedir.

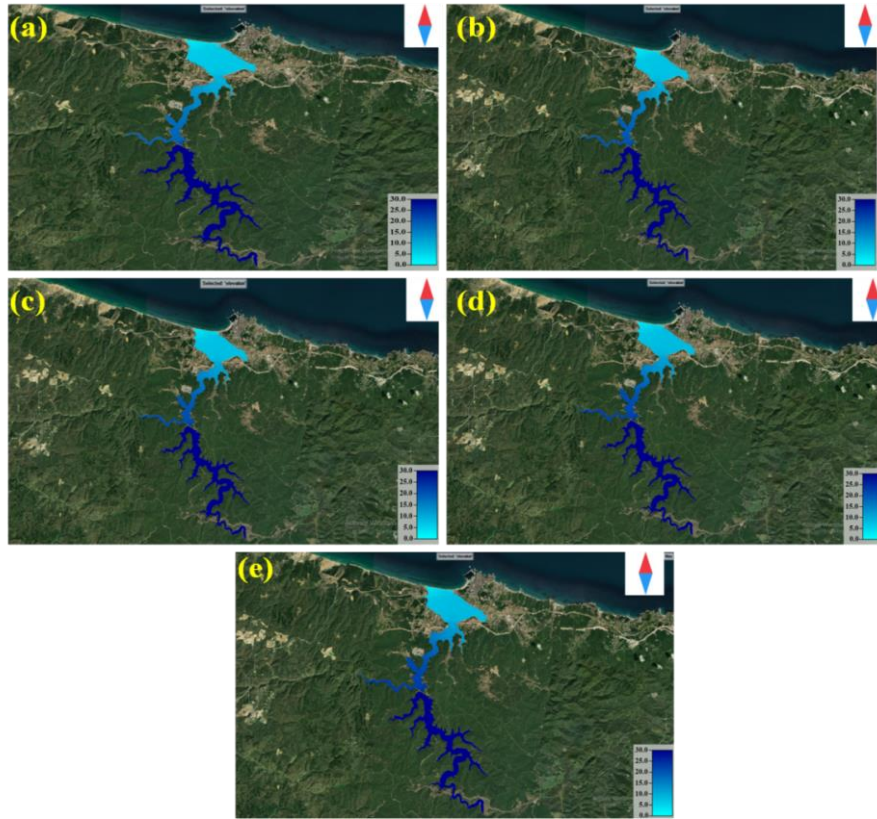
Taşkın yayılım haritaları 35 senaryo için HEC-RAS programında elde edildikten sonra ArcGIS programında her bir senaryonun taşkın yayılım alanı hesaplanmıştır. Elde edilen taşkın yayılım haritaları incelendiğinde 10.266 km² taşkın yayılım alanı ile 0.5 sa gediklenme süresi ve 125 m gedik genişliği kullanılan senaryoda en fazla yayılım gözlemlenmiştir. 8.010 km² taşkın yayılım alanına sahip olan 3.5 sa gediklenme süresi ve 25 m gedik genişliğine ait senaryoda ise en küçük yayılım alanı gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen tüm senaryolara ait taşkın yayılım haritalarının taşkın alanları Tablo 5'de sunulmuştur.



Şekil 11: 0.5 sa gediklenme süresi ve a) 25 m, b) 50 m, c) 75 m, d) 100 m, e) 125 m gedik genişlikleri için taşkın yayılım-derinlik haritaları



Şekil 12: 0.5 sa gediklenme süresi ve a) 25 m, b) 50 m, c) 75 m, d) 100 m, e) 125 m gedik genişlikleri için taşkın yayılım- hız haritaları



Şekil 131: 0.5 sa gediklenme süresi ve a) 25 m, b) 50 m, c) 75 m, d) 100 m, e) 125 m gedik genişlikleri için taşkın yayılım- su yüzey kotu haritaları

Tablo 5: HEC-RAS taşkın yayılım alanları

Senaryo Numarası	Gedik Taban Genişliği (m)	Gediklenme Süresi (sa)	Taşkın Yayılım Alanı (km ²)
Senaryo 1	25	0.5	8.419
Senaryo 2	25	1	8.228
Senaryo 3	25	1.5	8.184
Senaryo 4	25	2	8.149
Senaryo 5	25	2.5	8.113
Senaryo 6	25	3	8.061
Senaryo 7	25	3.5	8.010
Senaryo 8	50	0.5	8.746
Senaryo 9	50	1	8.689
Senaryo 10	50	1.5	8.620
Senaryo 11	50	2	8.522
Senaryo 12	50	2.5	8.429
Senaryo 13	50	3	8.359
Senaryo 14	50	3.5	8.291
Senaryo 15	75	0.5	8.966
Senaryo 16	75	1	8.957
Senaryo 17	75	1.5	8.956
Senaryo 18	75	2	8.843
Senaryo 19	75	2.5	8.727
Senaryo 20	75	3	8.595
Senaryo 21	75	3.5	8.435
Senaryo 22	100	0.5	9.303
Senaryo 23	100	1	9.165
Senaryo 24	100	1.5	9.032
Senaryo 25	100	2	8.885
Senaryo 26	100	2.5	8.834
Senaryo 27	100	3	8.696
Senaryo 28	100	3.5	8.490
Senaryo 29	125	0.5	10.266
Senaryo 30	125	1	9.565
Senaryo 31	125	1.5	9.265
Senaryo 32	125	2	9.011
Senaryo 33	125	2.5	8.953
Senaryo 34	125	3	8.731
Senaryo 35	125	3.5	8.517

3.3. Zarar Hesabı Bulguları

Zarar ve risk hesabının analizinde taşkın en etkili olduğu diğer bir deyişle en kötü senaryo seçilmiştir. Bu çalışmada en kötü senaryo olan 125 m gedik genişliği ve 0.5 saat gediklenme süresi ile elde edilen taşkın yayılım haritaları ve taşkın derinlik haritaları incelenmiştir. Ve buna göre bir taşkın sonucu meydana gelen zarar hesaplanmıştır. Bu amaçla van Eck ve Kok yöntemiyle derinliğe bağlı olarak zarar yüzdeleri (hasar oranı) elde edilmiştir.

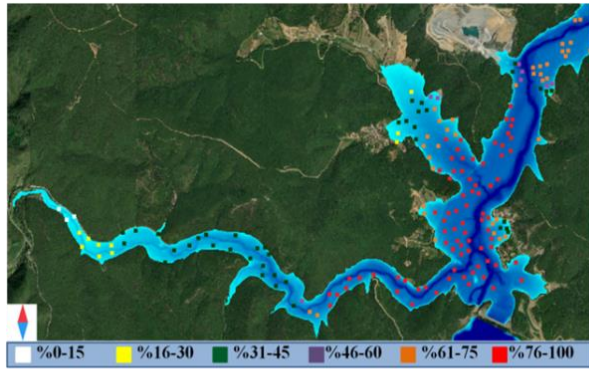
Taşkın yayılım alanının incelenmesi neticesinde 125 m gedik genişliğine ve 0.5 sa gediklenme süresine sahip senaryoda toplam yaklaşık 3043 binanın hasar gördüğü tespit edilmiştir. Bu binaların toplam taban alanları 1,370,017.00 m² olarak hesaplanmıştır. Her bir binaya ait taban alanı HEC RAS programı ile elde edilen taşkın derinlik haritasında kendine denk gelen su derinliği için hesaplanan zarar yüzdesiyle (hasar oranı) çarpılmıştır. Böylelikle zarar miktarları hesaplanmıştır. Her bina Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 24 Mart 2021 tarihinde Resmi Gazete’de yayınlanan (Resmi Gazete, 2021) yapı yaklaşık birim fiyat maliyetleri listesine göre 3. sınıf A grubu yapılar olarak kabul edilmiştir. Ve her bina için birim maliyet 1360 TL olarak alınmıştır. Yıpranma payı ise yine Resmi Gazete’de yayınlanan bilgilere göre binaların genelinin betonarme karkas ve 16-20 yaş arası olması kabulüne göre %20 olarak alınmıştır. Böylelikle zarar miktarları her bir bina için birim maliyet ve yıpranma payı ile çarpılarak toplam zarar miktarı 44,846,805.00 \$ (20 Aralık 2021 Dolar/TL kuruna göre) olarak elde edilmiştir.

Taşkın yayılım alanındaki her bir bina için hesaplanan zarar yüzdeleri %0–15, %16–30, %31–45, %46–60, %61–75 ve %76–100 olarak 6 sınıfa ayrılmıştır (van Eck & Kok, 2001). Bu yüzde sınıfları zarar yüzdelерinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla taşkın yayılım haritaları üzerinde gösterilmiştir. Taşkın yayılım alanında taşkın suları altında kalan binaların daha iyi görüntülenebilmesi için Şekil 14’te görüldüğü üzere 3 bölgeye ayrılmış ve bu şekilde incelenmiştir. Zarar yüzdeleri %0-15 arasında olan binalar beyaz, %16-30 arası sarı, %31-45 arası mor, %46-60 arası yeşil, %61-75 arası turuncu, %76-100 arası kırmızı renkte gösterilmiştir.

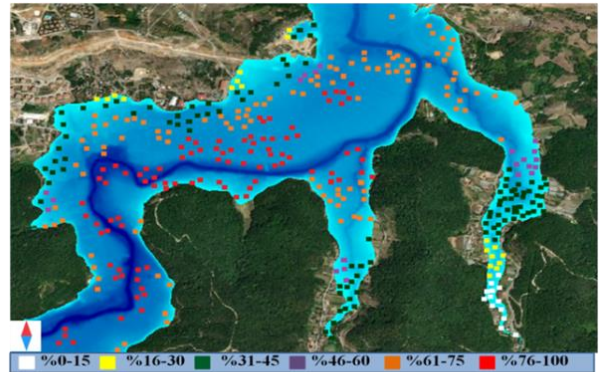
Şekil 15’da taşkın yayılım alanında 1. Bölge olarak adlandırılan alan için (Şekil 15-a), 2. Bölge olarak adlandırılan alan için (Şekil 15-b) ve 3. Bölge olarak adlandırılan alan için (Şekil 15-c) zarar yüzdeleri haritası verilmiştir.



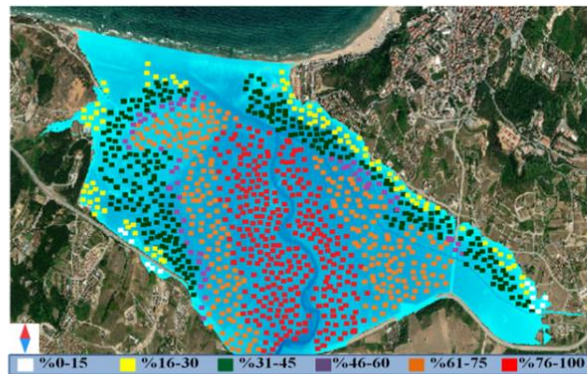
Şekil 14: Taşkın yayılım alanı zarar hesabı inceleme bölgeleri



(a)



(b)



(c)

Şekil 15: Taşkın yayılım alanı: a) 1. bölge, b) 2. Bölge, c) 3. bölge zarar yüzdeleri haritası

Darlık Baraj Gölü mansabındaki taşkın yayılım alanında van Eck ve Kok metoduna göre belirlenen zarar yüzdelerine göre taşkına maruz kalan bina taban alanları ve risk altındaki toplam bina taban alanına göre yüzdeleri Tablo 6’da verilmiştir. Buna göre taşkın yayılım alanı bölgesi incelendiğinde her 3 bölge için de yerleşim alanlarının yoğunluk olarak %61 ile %75 derecesinde zarar görebilecek bölgede bulunduğu anlaşılmaktadır.

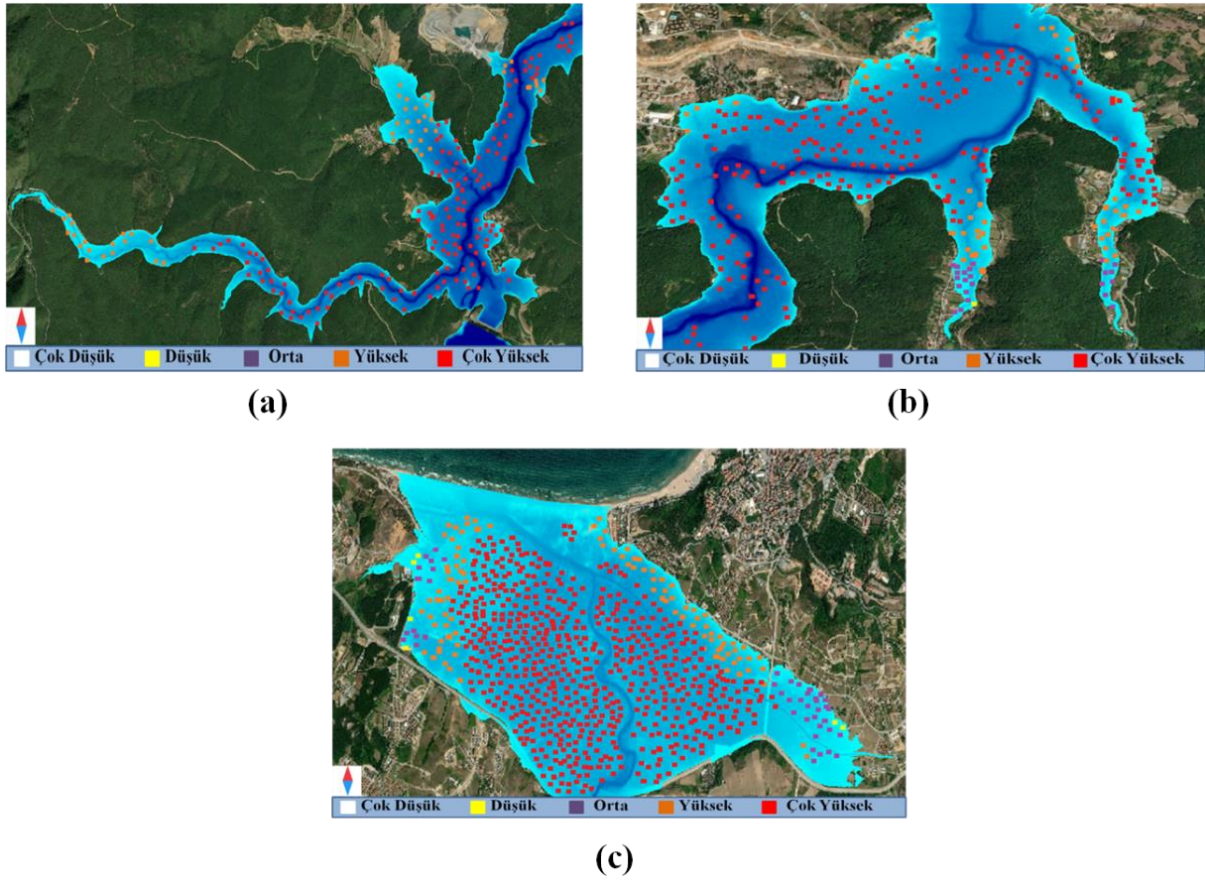
Tablo 6: Zarar yüzdeleri sınıflandırmasına göre taşkına maruz kalan bina taban alanları

Zarar Yüzdesi	% 0-15	% 16-30	% 31-45	% 46-60	% 61-75	% 76-100
Toplam Bina Taban Alanı (m ²)	25,632.00	255,051.00	428,686.00	26,960.00	545,593.00	88,094.00
Bina Taban Alanı Yüzdeleri (%)	1.87	18.62	31.29	1.97	39.82	6.43

3.4. Risk Hesabı Bulguları

Yapılan çalışmada risk hesaplamaları 125 m gedik genişliği ve 0.5 saat gediklenme süresi ile oluşturulan senaryo için gerçekleştirilmiştir. Risk hesaplamalarında [Dinh vd. \(2012\)](#) tarafından yapılan çalışma sonucunda elde edilen derinliğe bağlı taşkın riski tablosu kullanılmıştır. Bu risk tablosu daha önce belirtildiği üzere derinliğe bağlı olarak 5 sınıftan oluşmaktadır. Taşkın derinliklerine göre risk sınıfı çok düşük olan bölgeler beyaz, düşük olanlar sarı, orta olanlar mor, yüksek olanlar turuncu, çok yüksek olan bölgeler ise kırmızı renkle haritalar üzerinde gösterilmiştir.

Darlık Barajı mansap bölgesi için elde edilen taşkın risk sınıflandırma haritası yine taşkın zarar hesabında olduğu gibi 3 bölgeye ayrılarak incelenmiştir. Şekil 16'da taşkın yayılım alanında 1. Bölge olarak adlandırılan alan için (Şekil 16-a), 2. Bölge olarak adlandırılan alan için (Şekil 16-b) ve 3. Bölge olarak adlandırılan alan için (Şekil 16-c) risk derecelerini gösteren risk haritası verilmiştir.



Şekil 16: Taşkın yayılım alanı: a) 1. bölge, b) 2. Bölge, c) 3. bölge risk sınıfları haritası

Darlık Baraj Gölü mansabındaki taşkın yayılım alanında [Dinh vd. \(2012\)](#) metoduna göre belirlenen risk sınıflarına göre taşkına maruz kalan bina taban alanları ve risk altındaki toplam bina taban alanına göre yüzdeleri Tablo 7'de verilmiştir. Buna göre taşkın yayılım alanı bölgesi incelendiğinde her 3 bölge için de yerleşim alanlarının yoğunluk olarak çok yüksek riskli bölgede bulunduğu anlaşılmaktadır. Taşkın yayılım alanında taşkından etkilenen toplam bina taban alanı 1,370,017 m² olduğundan dolayı çok yüksek riskli binalar tüm risk altındaki alanın %80.05'i kadardır. Bunu %10.80 ile yüksek riskli ve %9.05 ile orta riskli binalar izlemektedir. Düşük riskte bulunan binalar çok az miktarda da olsa %0.1 ile taşkın yayılım alanında mevcut olduğu gözlenmiştir. Risk sınıfları Dinh vd. metoduna göre oluşturulan su derinliğine bağlı risk sınıfı çizelgesine göre seçildiğinden ve 0.2 metreden daha az su derinliği gözlemlenmediğinden dolayı çok düşük riskli bölge yüzdesi sıfır olarak hesaplanmıştır, bulgular Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7: Dinh vd. (2012) risk sınıflandırmasına göre taşkına maruz kalan bina taban alanları

Risk Sınıfı	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
Toplam Bina Taban Alanı (m ²)	1,096,821.00	147,899.00	123,958.00	1,337.00	0.00
Bina Taban Alanı Yüzdeleri (%)	80.05	10.80	9.05	0.10	0.00

4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, HEC-RAS 5.0.7 programı kullanılarak Darlık Barajı'nın farklı senaryolar altında baraj yıkılması taşkını analizleri gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan senaryolar ile olası baraj yıkılması sonucunda oluşacak taşkın yayılım alanları belirlenmiş, taşkın derinlik ve hız haritaları oluşturulmuş, taşkın pike ulaşma zamanı belirlenmiş ve taşkın yayılım alanı için zarar ve risk hesapları yapılmıştır.

Çalışma kapsamında oluşturulan farklı yıkılma senaryoları gediklenme süresi ve gediklenme taban genişliği dikkate alınarak yapılmıştır. Dolayısıyla, gediklenme süresi ve gediklenme taban genişliğinin etkisi senaryolar kapsamında incelenmiştir. Gediklenme taban genişliğinin ve gediklenme süresinin gediklenme üzerine etkisinin incelendiği senaryolarda literatüre uygun olacak şekilde 25, 50, 75, 100 ve 125 m gedik taban genişlikleri kullanılmıştır. Yapılan bu analizlerde her bir gedik genişliği için yine literatüre uygun şekilde 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 ve 3.5 saatlik gediklenme süreleri kullanılmıştır. Böylece toplam 35 senaryo kurgulanmıştır. Aynı gedik genişliğine sahip senaryolar tek tek incelendiğinde gediklenme süresi arttıkça maksimum debiye erişim süresinin arttığı ve maksimum debinin de azaldığı görülmüştür. Aynı gediklenme süresi için farklı gedik genişliklerine sahip senaryolar incelendiğinde ise gedik genişliği arttıkça maksimum debiye erişim süresinin azaldığı ve maksimum debinin de arttığı gözlemlenmiştir. Senaryolar birlikte incelendiğinde gedik taban genişliği büyüdükçe ve gediklenme süresi küçüldükçe maksimum debinin arttığı ve maksimum debiye ulaşma süresinin azaldığı gözlemlenmiştir. Senaryo bulgularına göre derinlik bulguları incelendiğinde aynı gediklenme sürelerine sahip senaryolar için gedik genişliği arttıkça derinliğin de arttığı görülmüştür. Aynı gedik genişliğine sahip senaryolar içinse gediklenme süresi arttıkça derinliğin azaldığı görülmüştür. Senaryo sonuçlarında hız bulguları incelendiğinde aynı gediklenme sürelerine fakat farklı gedik genişliklerine sahip senaryolarda gedik genişliği arttıkça hızın da arttığı görülmüştür. Bu bulgulara göre aynı gedik genişliği fakat farklı gediklenme sürelerine sahip senaryolarda ise gediklenme süresinin artması durumunda hızın azaldığı gözlemlenmiştir.

Farklı gediklenme süresine (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5) bağlı derinlik, hız ve debinin pik değerleri ile oluşturulan eğrilerin eğimleri incelendiğinde gedik genişliği arttıkça daha dik bir eğim, gedik genişliği azaldıkça daha yataya yakın bir eğim elde edildiği görülmüştür. Dolayısıyla, gedik genişliği büyüdükçe gediklenme süresinin derinlik, hız ve debi üzerinde daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı gedik genişliğine (25, 50, 75, 100, 125) bağlı bulgulara ait eğriler incelendiğinde ise 75 m gedik genişliğinde bir kırılma noktası gözlemlenmiştir. 75 m gedik genişliğinden önceki senaryolarda daha dik bir eğim elde edilirken bu eğimin 75 m kırılma noktasını aştıktan sonra daha yatay bir hale geldiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, 75 m gedik genişliğinden daha büyük genişlikteki senaryoların derinlik, hız ve debi üzerindeki etkilerinin daha az gedik genişliği olan senaryolara kıyasla azaldığı sonucuna varılmıştır.

Çalışmanın son aşamasında en kötü senaryo olduğu gözlemlenen 125 m gedik genişliği ve 0.5 saat gediklenme süresi senaryosu için zarar ve risk hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 3043 binanın hasar gördüğü gözlenmiş ve toplam 44 846 805 \$ (20 Aralık 2021 Dolar/TL kuruna göre) zarar hesaplanmıştır. Ayrıca her bir bina için hesaplanan zarar yüzdelерinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla taşkın yayılım alanı üzerinde zarar yüzdeleri gösterilmiş ve çalışma kapsamında sunulmuştur. Taşkından etkilenen tüm binaların %80.05'inin çok yüksek riskli sınıfta olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Daha sonraki aşamada taşkın yayılım alanında kalan her bir bina risk sınıfına göre işaretlenmiş ve risk haritalarında gösterilmiştir.

Çalışma bulguları gelecekte Darlık Barajı mansabına inşa edilmesi planlanan ve mevcut bulunan yapılar için bir rehber niteliğindedir. Bu hususta, yüksek riskli olan bölgelerde yapı yapılmaması için gerekli önlemler alınmalıdır. Mevcutta mansapta riskli bölgelerde bulunan yapılardan özellikle hastane, okul, itfaiye gibi kamu hizmeti veren yapıların güvenli bölgelere taşınması gerekmektedir. Riskli bölgelerde bulunan ve kamulaştırma bedelinin yüksek olmasından dolayı taşınması maliyetli diğer yapılar için ise o bölgede yaşayan insanlar taşkın konusunda bilinçlendirilmelidir. Ayrıca, taşkın alanında riskli bölgelerde bulunan insanlar için güvenli bölgelere ulaşmalarına olanak sağlayacak taşkın erken uyarı sistemleri hazırlanmalıdır. Yapılan bu çalışma Darlık Barajı membasında olası afetlere karşı tahliye planlarının hazırlanması gibi önlemlerin gerekli kurumlar tarafından alınabilmesine fayda sağlayacak niteliktedir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında T.C. Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü'ne ve T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığı'na sağladıkları veriler için teşekkür ederiz. Ayrıca, bilgisayar programlarının öğrenilmesinde katkıları olan Dr. Öğr. Üyesi Yasin Paşa'ya, Araş. Gör. İsmail Bilal Peker'e ve Abdülbaki Hacı'ya katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Alho, P., & Aaltonen, J. (2008). Comparing a 1D hydraulic model with a 2D hydraulic model for the simulation of extreme glacial outburst floods. *Hydrological Processes*, 22(10), 1537-1547. <https://doi.org/10.1002/hyp.6692>
- Apel, H., Aronica, G. T., Kreibich, H., & Thieken, A. H. (2009). Flood risk analyses-how detailed do we need to be? *Natural Hazards*, 49(1), 79-98. <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9277-8>
- Alpay, H. (2019). *Baraj yıkılması taşkın risk değerlendirmesi* [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Aribawa, T. M., Mardjono, A., Soegiarto, S., Moe, I. R., Sihombing, Y. I., Rizaldi, A., & Farid, M. (2021). Assessment of flood propagation due to several dams break in Banten Province. *International Journal of GEOMATE*, 20(81), 185-190. <https://doi.org/10.21660/2021.81.j2082>
- Azeez, O., Elfeki, A., Kamis, A. S., & Chaabani, A. (2020). Dam break analysis and flood disaster simulation in arid urban environment: the Um Al-Khair dam case study, Jeddah, Saudi Arabia. *Natural Hazards*, 100, 995-1011. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03836-5>
- Brunner, G. W. (2014). *Using HEC-RAS for dam break studies*. 4 Ağustos 2021'de <https://www.hec.usace.army.mil/publications> adresinden alındı
- Cüceloğlu, G. (2013). *Darlık havzasının model destekli hidrolojik analizi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Cai, W., Zhu, X., Peng, A., Wang, X., & Fan, Z. (2019). Flood risk analysis for Cascade dam systems: A case study in the Dadu River Basin in China. *Water*, 11(7), Article 1365. <https://doi.org/10.3390/w11071365>
- Chen, S. S., Zhong, Q., & Shen, G. Z. (2019). Numerical modeling of earthen dam breach due to piping failure. *Water Science and Engineering*, 12(3), 169-178. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.08.001>
- Cosgun, T., Peker, İ. B., Sayin, B., Gülbaz, S., & Durgut, R. (2022). Assessment of flood event based on numerical models and legal statute: A case of Eşkinöz Stream in Istanbul, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, Article 585. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09882-x>
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (2018). *Flash Floods - Sharing of Field Experience – Kerala* (CRED Crunch 53). <https://cred.be/sites/default/files/CREDCrunch53N.pdf>
- Diñçergök, T. (2007, May 23-25). *The role of dam safety in dam-break induced flood management* [Conference presentation]. International Conference on River Basin Management, Kos, Greece.
- Dinh, Q., Balica, S., & Popescu, I. (2012). Climate change impact on flood hazard, vulnerability and risk of the Long Xuyen Quadrangle in the Mekong Delta. *International Journal of River Basin Management*, 10(1), 103-120. <https://doi.org/10.1080/15715124.2012.663383>
- Dimitriadis, P., Tegos, A., Oikonomou, A., Pagana, V., Koukouvinos, A., Mamassis, N., Koutsoyiannis, D., & Efstratiadis, A. (2016). Comparative evaluation of 1D and Quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping. *Journal of Hydrology*, 534, 478-492. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.020>
- Dasallas, L., Kim, Y., & An, H. (2019). Case study of HEC-RAS 1D-2D coupling simulation: 2002 baeksan flood event in Korea. *Water*, 11(10), Article 2048. <https://doi.org/10.3390/w11102048>
- Dikici, M., Kazezyılmaz Alhan, C. M., & Gülbaz, S. (2022). Flood hazard assessment for Alibeykoy watershed in Istanbul with Mike Nam and Mike 21. *Environmental Engineering and Management Journal*, 21(3), 399-411.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2016). *Devlet su işleri genel müdürlüğü 2016 yılı faaliyet raporu*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. <https://cdn.nys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/KonuIcerik/759/1107/DosyaGaleri/dsi-2016-faaliyet-raporu.pdf>
- Froehlich, D. C. (1995). Embankment Dam Breach Parameters Revisited. In W. H. Espey & P. G. Combs (Eds.), *Water Resources* (pp. 887-891). American Society of Civil Engineers.
- Froehlich, D. C. (2008). Embankment dam breach parameters and their uncertainties. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(12), 1708-1721.
- Galoie, M., Zenz, G., Eslamian, S., & Motamedi, A. (2012). Numerical simulation of flood due to dam-break flow using an implicit method. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 2(2), 113-117.
- George, A. C., & Nair, B. T. (2015). Dam Break Analysis Using BOSS DAMBRK. *Aquatic Procedia*, 4, 853-860. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.107>
- Gülbaz, S. (2019). Sayısal modeller ile taşkın yayılım haritasının oluşturulması ve risk altında olan alanların belirlenmesi: Türkköse Deresi örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 335-349. <https://doi.org/10.21324/dacd.491529>
- Gülbaz, S., & Kazezyılmaz Alhan, C. M. (2013). Calibrated Hydrodynamic Model for Sazlıdere Watershed in Istanbul and Investigation of Urbanization Effects. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(1), 75-84. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.000060](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.000060)
- Gülbaz, S., & Kazezyılmaz Alhan, C. M. (2012, October 17-19). *Impact of Land Use/Cover Changes on Water Quality and Quantity in a Calibrated Hydrodynamic Model* [Conference presentation]. 10th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE 2012), Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Haltaş, İ., Tayfur, G., & Elçi, Ş. (2016). Two-dimensional numerical modeling of flood wave propagation in an urban area due to Ürkmez dam-break, İzmir, Turkey. *Natural Hazards*, 81(3), 2103-2119. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2175-6>
- Hariri-Ardebili, M. A. (2018). Risk, Reliability, Resilience (R3) and beyond in dam engineering: A state-of-the-art review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 806-831. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.07.024>
- Hu, P., Zhang, Q., Shi, P., Chen, B., & Fang, J. (2018). Flood-induced mortality across the globe: spatiotemporal pattern and influencing factors. *Science of The Total Environment*, 643, 171-182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.197>
- Huntington, S. M., & Thompson, D. M. (1976, May 2-5). *Forces on a large vertical cylinder in multi-directional random waves* [Conference presentation]. Offshore Technology Conference, Houston, Texas.

- Horritt, M. S., & Batesi, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology*, 268(1-4), 87-99. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00121-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00121-X)
- Hurdowar-Castro, D., Tsanis, I., & Simanovskis, I. (2007). Application of three-dimensional wind driven circulation model to assess the locations of new drinking water in takes in Lake Ontario. *Journal of Great Lakes Research*, 33(1), 232-52.
- Kocaman, S. (2002). *Baraj yıkılma analizi ve uygulaması* [Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kocaman, S. (2007). *Baraj yıkılması probleminin deneysel ve teorik olarak incelenmesi* [Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kadir, M. A. A. (2019). 2D Flood inundation simulation based on a large scale physical model using coarse numerical grid method. *International Journal of GEOMATE*, 17(59), 230-236.
- Kelesoglu, M. K., Temur, R., Gülbaz, S., Memisoglu Apaydin, N., Kazezyılmaz-Alhan, C. M., & Bozbey, İ. (2023). Site assessment and evaluation of the structural damages after the flood disaster in the Western Black Sea Basin on August 11, 2021. *Natural Hazards*, 116(1), 587-618. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05690-4>
- Leandro, J., Chen, A. S., Djordjević, S., & Savić, D. A. (2009). Comparison of 1D/1D and 1D/2D coupled (sewer/surface) hydraulic models for urban flood simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(6), 495-504.
- Lima, O. C., Neto, A. R., Alves, F. H. B., & Cirilo, J. A. (2020). Sub-daily hydrological-hydrodynamic simulation in flash flood basins: Una river (Pernambuco/Brazil). *Environment and Water Journal*, 15(5). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2556>
- Li, C., Cheng, X., Li, N., Du, X., Yu, Q., & Kan, G. (2016). A framework for flood risk analysis and benefit assessment of flood control measures in urban areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(8), Article 787. <https://doi.org/10.3390/ijerph13080787>
- Liviu-Marian, A., Enea, A., Losub, M., & Breban, L. G. (2018). Dam breach size comparison for flood simulations. A HEC-RAS based, GIS approach for Drăcșani Lake, Sitna River, Romania. *Water*, 12(4), Article 1090. <https://doi.org/10.3390/w12041090>
- Mahnamfar, F., Abdollahzadeh Moradi, Y., & Ağralıoğlu, N. (2020). Flood risk analysis of residential areas at downstream of the Elmalı Dam. *Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management*, 1(1), 49-58.
- Manfreda, S., Samela, C., Gioia, A., Consoli, G. G., Iacobellis, V., Giuzio, L., Cantisani, A., & Sole, A. (2015). Flood-prone areas assessment using linear binary classifiers based on flood maps obtained from 1D and 2D hydraulic models. *Natural Hazards*, 79, 735-754. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1869-5>
- Mihu-Pintilie, A., Cîmpianu, C. I., Stoleriu, C. C., Pérez, M. N., & Paveluc, L. E. (2019). Using high-density LiDAR data and 2D stream flow hydraulic modeling to improve urban flood hazard maps: A HEC-RAS multi-scenario approach. *Water*, 11(9), Article 1832. <https://doi.org/10.3390/w11091832>
- Nayak, P. C., Sudheer, K. P., & Saheb, S. M. (2000). *Dam break analysis of Ghodahoda project, Orissa* (CS/AR-15/1999-2000). National Institute of Hydrology.
- Terzioğlu, Z. Ö. (2018). *Taşkın zararlarının tahmini, zarar derecelendirmesi ve risk sınıflandırması: Doğu Karadeniz için bir uygulama* [Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Pistrika, A. K. & Jonkman, S. N. (2010). Damage to residential buildings due to flooding of New Orleans after hurricane Katrina. *Natural Hazards*, 54, 413-434. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9476-y>
- Palamut, N. (2014). *Baraj yıkılma analizi ve uygulaması* [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Papaioannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Papalexioiu, S., Koukouvinos, A., Tsoukalas, I., & Kossieris, P. (2018). An operational method for flood directive implementation in Ungauged urban areas. *Hydrology*, 5(2), Article 24. <https://doi.org/10.3390/hydrology5020024>
- Pasa, Y., Peker, İ. B., Hacı, A., & Gülbaz, S. (2023). Dam failure analysis and flood disaster simulation under various scenarios. *Water Science and Technology*, 87(5), 1214-1231. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.052>
- Quiroga, V. M., Kure, S., & Udo, K., Manoa, A. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC- RAS version 5. *RIBAGUA-Revista Iberoamericana Del Agua*, 3, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.12.001>
- Razad, A. Z. A., Muda, R. S., Sidek, L. M., Azia, I. S. A., Mansor, F. H., & Yalit, R. (2013). Simulation of breach outflow for earthfill dam. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 16(1), Article 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/16/1/012030>
- Resmi Gazete. (2021, Mart 24). *Mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak 2021 yılı yapı yaklaşık birim maliyetleri hakkında tebliğ*. 28 Ekim 2021'de <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/03/20210324-3.htm> adresinden alındı
- Serencam, U. (2013). *Taşkın zararları ve zarar görebilirlik analizi: Trabzon Değirmendere Sanayi Mahallesi örneği* [Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Singh, V. P. (1996). *Dam breach modeling technology* (Vol. 17). Water Science and Technology Library.
- Takeuchi, K., Chavoshian, A., Simonovic, S. P. (2018). Floods: From risk to opportunity. *Journal of Flood Risk Management*, 11(4), Article e12046. [doi:10.1111/jfr3.12046](https://doi.org/10.1111/jfr3.12046)
- Tuncer, İ. (2011). *Açık kanallarda su yüzü profilinin belirlenmesi, Nakkaş Dere örneğinde bir HEC-RAS uygulaması* [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- U.S. Army Corps of Engineers. (1997). *Hydrologic engineering requirements for reservoirs* (EM 1110-2-1420). https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1420.pdf
- U.S. Army Corps of Engineers. (2016). *HEC-RAS river analysis systems user's manual*. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>
- Urzica, A., Pintilie, A. M., Stoleriu, C. C., Cîmpianu, C. I., Hutanu, E., Pricop, C. I. & Grozavu, A. (2020). Using 2D HEC-RAS modeling and embankment dam break scenario for assessing the flood control capacity of a multi-reservoir system (NE Romania). *Water*, 13(1), Article 57. <https://doi.org/10.3390/w13010057>
- van der Sande, C. (2001). *River flood damage assessment using IKONOS imagery*. European Commission, Joint Research Centre, Space Applications Institute.

- van Eck, N. V., & Kok, M. (2001). *Standaardmethode2002 schade en slachtoffers als gevolg van overstromingen*. Dienst Wegen Waterbouwkunde, Ministerie van Rijkswaterstaat, Netherlands.
- Wang, L. Y., Chen, S. F., Zhu, W. B., Ren, H., Zhang, L. J., & Zhu, L. Q. (2021). Spatiotemporal variations of extreme precipitation and its potential driving factors in China's North-South Transition Zone during 1960-2017. *Atmospheric Research*, 252, Article 105429. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105429>
- Xiong, Y. (2011). A dam break analysis using HEC-RAS. *Journal of Water Resource and Protection*, 3(6), 370-379.
- Xu, Y., & Zhang, L.M. (2009). Breaching parameters for earth and rockfill dams. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(12), 1957-1970.
- You, L., Li, C., Min, X., & Xiaolei, T. (2012). Review of dambreak research of earth-rock dam combining with dam safety management. *Procedia Engineering*, 28, 382-388. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.737>
- Yıldız, C. (2021). *Baraj yıkılması taşkın risk analizi Yeşildere Barajı örneği* [Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Zhang, L. M., Xu, Y., & Jia, J. S. (2009). Analysis of earth dam failures: A data base approach. *Georisk*, 3(3), 184-189.
- Zhang, L., Peng, M., Chang, D., & Xu, Y. (2016). *Dam failure mechanisms and risk assessment*. Wiley.

Termodinamik İndekslerin ve Atmosferik Kararlılık Parametrelerinin Oraj Hadiselerinin Tahmininde Performans Analizi: Samsun Örneği

Ahmet Can Kaya^{1*}, Veli Yavuz^{1,*}

¹Samsun Üniversitesi, Özdemir Bayraktar Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55420, Samsun.

Özet

Bu çalışmada Samsun radyozonde istasyonu verileri ve Samsun Çarşamba Havalimanı havacılık rasatları kullanılarak, 2018-2022 yılları arası beş yıllık periyot için termodinamik indeks ve atmosferik kararlılık parametrelerinin oraj tahminindeki performansını analiz etmek amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan termodinamik indeks ve atmosferik kararlılık parametreleri; Showalter Index (SI), Lifted Index (LI), Severe Weather Threat Index (SWEAT), K-Index (KI), Totals Totals Index (TTI), Convective Available Potential Energy (CAPE), Convective Inhibition (CIN) ve Bulk Richardson Number (BRN)'dir. İndeks ve parametrelerin oraj olaylarını tahmin etme başarısını ölçmek için Probability of Detection (POD), False Alarm Ratio (FAR), Miss Rate (MR), Critical Success Index (CIS), Hiedke Skill Score (HSS) ve True Skill Score (TSS) gibi istatistiksel başarımlar testleri uygulanmıştır. Analizler R programlama dili ve Excel kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlara göre; oraj tahmininde en başarılı indeks SI olurken, CAPE ve BRN parametrelerinin başarımları en düşük olmuştur. Tüm bu analizler sonucunda orajların çoğunluğunun yılın en sıcak aylarında ve günün en sıcak saatlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum orajların çoğunluğunun ısınma nedeniyle gerçekleştiğini gösterir. Bazı olaylarda indeks ve parametreler oraj oluşumu için belirlenen eşik değerine dahi ulaşamamıştır. İndeks ve parametrelerin, eşik değerleri Samsun için optimize edildiği takdirde tahmin başarısının daha da artacağı ortadadır. Ayrıca bu indeks ve parametreleri tek başına kullanarak oraj tahmini yapmak yerine birden fazla indeks ve parametre değerlendirilerek yapılacak tahminler tutarlılığı artıracak ve daha doğru sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

Anahtar Sözcükler

Oraj, Kararlılık Parametreleri, Termodinamik İndeksler, CAPE, BRN, Samsun

Performance Analysis of Thermodynamic Indices and Atmospheric Stability Parameters in Thunderstorm Prediction: The Case of Samsun

Abstract

In this study, the performance of thermodynamic indices and atmospheric stability parameters in thunderstorm prediction was analyzed for a five-year period between 2018 and 2022 using data from Samsun radiosonde station and aviation observations from Samsun Çarşamba Airport. The thermodynamic indices and atmospheric stability parameters used in the study are Showalter Index (SI), Lifted Index (LI), Severe Weather Threat Index (SWEAT), K-Index (KI), Totals Totals Index (TTI), Convective Available Potential Energy (CAPE), Convective Inhibition (CIN), and Bulk Richardson Number (BRN). Statistical performance tests such as Probability of Detection (POD), False Alarm Ratio (FAR), Miss Rate (MR), Critical Success Index (CIS), Hiedke Skill Score (HSS), and True Skill Score (TSS) were used to measure the success of the indices and parameters in predicting thunderstorm events. The analyses were performed using R and Excel. According to the results, the most successful index in thunderstorm prediction was SI, while the performance of CAPE and BRN parameters was the lowest. Based on all these analyses, it is observed that the majority of thunderstorms occur during the hottest months of the year and the hottest hours of the day. This indicates that most thunderstorms occur due to heating. In some events, the indices and parameters did not even reach the threshold value determined for thunderstorm formation. It is obvious that the prediction accuracy will be further improved if the thresholds of the indices and parameters are optimized for Samsun. Furthermore, evaluating multiple indices and parameters instead of relying on a single index or parameter for thunderstorm prediction will increase consistency and lead to more accurate results.

Keywords

Thunderstorm, Stability Indices, Thermodynamic Indices, CAPE, BRN, Samsun

1. Giriş

Oraj, gökgürültülü şimşekli konvektif fırtına kısaca gökgürültülü fırtına anlamına gelmektedir. İngilizce'de thunder ve storm kelimelerinin birleşimi olan thunderstorm (TS) olarak ifade edilmektedir. Atmosferdeki elektriksel deşarjların ve şiddetli hava olaylarının bir sonucu olarak meydana gelen orajlar için nem, kararsız atmosfer koşulları, yükselici

hareketler ve rüzgar kaymaları uygun koşulları meydana getirmektedir. Orajlar genellikle sıcak ve nemli hava kütlesi ile soğuk hava kütlesi arasındaki karşılaşmanın bir sonucu olarak meydana gelir. Öncelikle sıcak ve nemli hava kütlesi bir bölgede toplanır. Sonrasında ısınan nemli hava kütlesi yükselirken nem de bu hava kütlelerinde yoğunlaşır. Isınan ve nemlenen hava, genellikle bir soğuk hava kütlesi veya başka bir atmosferik fenomen yardımıyla yükselmeye zorlanır. Havanın yükselmesi, hava kütlesi içindeki nemin yoğunlaşmasına ve yükselme sürecinin başlamasına yol açar. Yükselen hava yoğunlaşırken, su buharını içeren bulutları oluşturur. Bu bulutlar genellikle kümülönimbüs bulutları olarak bilinir. Bu bulutlar, yükselen hava nedeniyle yüksekliği hızla artan büyük bulutlardır. Bulutlar içerisinde yükselen hava, içindeki su damlacıklarıyla birlikte yükselirken, farklı elektriksel yüklü parçacıkların sürtünmesine yol açar. Bu sürtünme, bulut içinde ve bulutla yer arasında elektriksel yüklenmeye sebep olur. Negatif yükler genellikle bulutun alt kısmında birikirken, pozitif yükler üst kısmında birikir. Elektriksel yüklenme arttıkça, bu yükler arasında büyük bir elektriksel deşarj meydana gelir. Bu deşarjlar şimşek olarak görünür ve eşlik eden ses, yani gökgürültüsü, bu elektriksel deşarjın hızlı genişlemesi nedeniyle oluşur. Oraj sırasında, bulutlar içindeki nem yoğunlaşarak yağış damlacıklarına dönüşür. Bu yağış damlacıkları yağmur, dolu veya buz taneleri şeklinde yere düşer (Yavuz vd., 2022). Oraj hadisesi etkilediği bölgede gökgürültüsü, şimşek ve yıldırım ile gerçekleşir. Genellikle kuvvetli yağmur ve dolu sağanaklarına, nadir olarak kar sağanaklarına neden olabilir. Bu olaylar kuvvetli rüzgar ve hatta hortumlarla birleştiğinde çok yıkıcı, can ve mal kaybına sebep olan afet boyutunda hava koşulları oluşturabilmektedir (Türkeş, 2015; Özdemir vd., 2017).

Orajin olumsuz etkilerine karşı önlem alabilmek için önceden tahmin edilebilmesi büyük önem arz etmektedir. Meteoroloji uzmanları oraj oluşumunu hızlı bir şekilde tahmin edebilmek için termodinamik indeksler ve atmosferik kararlılık parametrelerini kullanmaktadır (Tyagi vd., 2011; Yavuz vd., 2020; Yavuz vd., 2022). Termodinamik indekslerin ve atmosferik kararlılık parametrelerinin orajın tahmininde önemli bir rol oynadığı açıktır. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalarda oraj tahmini için daha tutarlı yöntemler geliştirebilmesi için bu indeks ve parametrelerin araştırılması gerekmektedir.

Umakanth vd. (2020) tarafından Hindistan Anakapalle, Visakhapatnam bölgesi için hazırlanan çalışma oraj sırasında çeşitli termodinamik kararlılık parametrelerinin analizlerini ve yağışla olan ilişkisini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre, orajların oluşumuyla termodinamik kararsızlık arasında güçlü bir bağlantı bulunmuştur. Çalışma öncesinde KI (K-Index) parametresi oraj aktivitesinde daha güvenilir bulunurken, yapılan analizler sonucunda 2001'den 2010'a kadar Anakapalle bölgesi üzerinde gerçekleşen oraj aktivitesi için DCI (Deep Convective Index) parametresi daha güvenilir sonuçlar göstermiştir.

Sahu vd. (2020a) tarafından Hindistan'ın doğusundaki üç tropik istasyonda, muson öncesi oraj mevsiminde termodinamik indekslerin eşik değerlerinde iklim değişikliğinin etkisini incelemiştir. Bhubaneswar istasyonunda orajlı günlerde yüksek CAPE (Convective Available Potential Energy), SWEAT (Severe Weather Threat Index) ve düşük LI (Lifted Index) değerleri gözlenmiştir. Analizler 1987'den 2006'ya kadar gece saatlerinde orajın arttığını göstermektedir (00 UTC için CIN (Convective Inhibition)'de azalma CAPE'de artış). Kolkata (Kalküta) istasyonunda CAPE eşik değerleri artıyor ve CIN eşik değerleri azalırken, LI parametresinin eşik değeri 12 UTC için azalmaktadır. Ranchi istasyonunda LI eşik değerleri 00 UTC için artarken, 12 UTC için azalış göstermektedir. Potansiyel kararsızlık indeksleri (SI (Showalter Index), VTI (Vertical Totals Index), CTI (Cross Totals Index) ve TTI (Totals Totals Index) her iki zaman dilimi için eşik değerlerinde azalma göstererek, çalışma dönemi boyunca Ranchi'de oraj potansiyelinin arttığını belirtmektedir. CAPE hem 00 hem de 12 UTC için artış göstermektedir. Değerler, atmosferin her zaman oraj oluşumu için elverişli olmasına rağmen, 12 UTC gözlemlerinin 00 UTC'ye göre daha fazla oraj oluşma ihtimali olduğunu göstermektedir.

Koutavarapu vd. (2021a) tarafından Andaman Nicobar (AND) ve Lakshadweep (LAK) adaları üzerindeki 2019'daki şiddetli konveksiyon sırasında termodinamik indekslerin etkisi incelenmiştir. KI ve TTI parametreleri muson öncesi mevsimde, konvektif sistemlerin yüksek frekanslı olduğunu göstermektedir. Tüm mevsimlerde, AND bölgesine kıyasla LAK bölgesinde CAPE değerleri daha güçlüdür. CAPE değerleri muson öncesi mevsimde 2500 J/kg üzerindeyken, muson mevsiminde 2000 J/kg üzerindedir. LI parametresi orta şiddette konveksiyon oluşumu için başarılı tahminler yapmaktadır. K indeksi çalışma alanındaki diğer tüm indekslerden daha doğru konvektif aktivite tahmini yaptığı görülmüştür.

Koutavarapu vd. (2021b) ERA5 reanaliz verilerini kullanarak 2011'den 2020'ye kadar muson mevsiminde, Bangladeş'teki Khulna bölgesi üzerindeki oraj parametrelerini incelemiştir. Yapılan analizlerde TTI, KI ve SI indekslerinin, bazen önerilen eşik değer altında oraj meydana geldiği görülmüştür. HI (Humidity Index), LI, TPW (Total Precipitable Water), CAPE ve DCI (Deep Convective Index) parametreleri musonla ilişkili oraj oluşum aktivitelerini analiz etmede çok etkilidir. KI, TTI ve SI parametreleri orta şiddette orajların oluşma olasılığını daha fazla göstermiştir. Son 10 yılda Bangladeş'te oraj daha yaygın hale gelmiştir.

Tyagi vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada çeşitli termodinamik indekslerin oraj tahminindeki başarısı Kolkata kenti için analiz edilmiştir. Analiz sonrasında bir indeksin tek başına orajı tahmin edemediği tespit edilmiştir. Çalışma 12 UTC zaman diliminde gerçekleşen orajlar için yapılmıştır. En yüksek başarıya sahip indeksler KI, DCI, SWEAT, DEW (Dew point temperature at 850 hPa), HI, RH (Relative humidity at 700 hPa), LI, TTI olurken, en düşük başarıya sahip indeksler CAPE ve BRN (Bulk Richardson Number) olmuştur. Çalışma sonucunda, analiz edilen indekslerin oraj tahminindeki başarısının iyi olduğu tespit edilmiştir. Çeşitli indekslerin değeri, eşik değerinin altında olmasına rağmen oraj oluşumu olduğu görülmüştür.

Arora vd. (2023) tarafından yapılan araştırmada kararsızlık indeksleri SI, LI, KI, TTI, CAPE ve CIN altı lokasyonda (Bangalore, Delhi, Goa, Jodhpur, Patiala ve Patna) orajlı zamanlarda 2013'ten 2015'e kadar üç yıllık sürede analiz edilmiştir. Bangalore için tahmin başarısı en yüksek indeks TTI, Delhi için TTI ve SI, Jodhpur, Patiala ve Patna için KI olmuştur. Bu bulgular Hindistan'ın çeşitli bölgelerinde oraj tahmin sistemi geliştirmek için önem arz etmektedir.

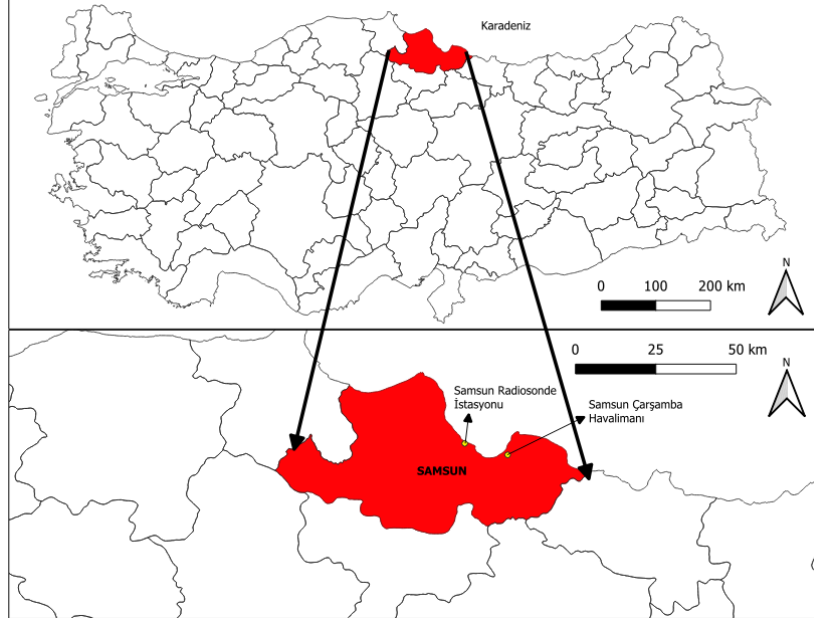
Kunz (2007) tarafından yapılan çalışmada Almanya'daki Baden-Württemberg eyaletinde 12 UTC'deki radyozonde rasatlarından elde edilen konvektif indekslerin oraj anındaki başarısını test etmek amaçlanmıştır. Bu çalışmada oraj tahmini için en iyi sonuçları veren indeks, POD, FAR, HSS ve TSS testlerinin sonuçlarına göre %80 başarı ile LI olmuştur.

Sahu vd. (2020b) tarafından yapılan çalışmada Agartala ve Guwahati lokasyonları için 30 yıllık (1987-2016) radyozonde verileri kullanılarak çeşitli termodinamik indekslerin orajlı ve orajsız zamanlardaki eşik değerlerinin değişimi analiz edilmiştir. Eşik değerler 12 UTC için kesin bir değişiklik gösteriyorken 00 UTC için daha az değişim göstermektedir. Guwahati için daha iyi performans gösteren indeksler LI, SHOW, CAPE, CTI ve BRN olurken, Agartala için LI, SI, CAPE DEW ve CTI olmuştur. SWEAT, Agartala'da hem 00 hem de 12 UTC için düşüş eğilimi, Guwahati'de 12 UTC için eşik değerinde artış göstermektedir. Bu Agartala üzerindeki orajların şiddetini kaybettiğini, Guwahati üzerinde ise gündüzleri şiddetli hale geldiği anlamına gelmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma Alanı

Samsun, Türkiye'nin kuzeyinde bulunan, Kızılırmak ve Yeşilirmak deltalarının arasında sahil kesiminde yer alan ve Türkiye Cumhuriyeti'nin temellerinin atıldığı, Orta Karadeniz Bölgesi'nin kültürel ve sosyal yönden en önemli şehirlerinden biridir. Kıyı şeridinde paralel gelişen bir şehirleşme vardır. İklim bakımından doğu ve batı kısımlara göre farklılıklar göstermektedir. Doğu Karadeniz boyunca uzanan sıra dağlar Samsun ve çevresinde içeride kalmakta ve yükseklikleri azalmaktadır. Bu yüzden orografik yağışlar, doğu ve batı kıyı şeridinde göre daha azdır. Yazları fazla sıcak, kışları ise fazla soğuk geçmemektedir (Kosif, 2001). Şehirde, Çarşamba ilçesinde bulunan tek bir havalimanı vardır. Radyozonde istasyonu havalimanının yaklaşık 27 kilometre batısında, Atakum ilçesinde kalmaktadır. Hem havalimanı hem de radyozonde istasyonu deniz seviyesinde ve denize çok yakın konumdadır. Çalışmada kullanılan veriler harita üzerinde işaretli istasyonlardan temin edilmiştir. Şehrin konum bilgileri, havalimanı ve radyozonde istasyonu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Çalışma alanı

2.2 Yöntem

Bu çalışmada ilk olarak oraj hadiseleri (TS), elde edilen METAR (Meteorological Terminal Air Report) verileri kullanılarak belirlenmiştir (Iowa State University, 2023). TS olayları belirlenirken METAR rasatlarından tüm TS türleri (TS, TSRA, TSSN, TSSNRA, VCTS, TSQLS, TSGR, TSGRRA, TSSHRA) excel yardımıyla filtrelenerek çekilmiştir. Bir TS olayı tanımlamak için, rapor edilen TS kodları arasında en fazla üç saat varsa bu bir oraj olayı olarak tanımlanmıştır. Aynı gün olsa bile iki farklı TS kodu arasında üç saatten fazla ara olması durumunda iki farklı oraj olayı

olarak tanımlanmıştır (Örneğin; 14 UTC’de başlayan ve aralıksız 21 UTC’ye kadar devam eden olay tek bir olay olarak ele alınırken, 14 UTC’de başlayan ve sonra 15 UTC’de sona eren, sonrasında tekrardan 20 UTC’de başlayıp 21 UTC’de devam eden olaylar ise olayların başlangıç ve bitiş periyotları dikkate alınarak aralarında 5 saat fark olduğu için aynı gün olmasına rağmen iki olay olarak ele alınmıştır). R programlama dili ile yapılan analizler sonucu, beş yıllık periyot içerisinde 236 TS kodlu hadise rapor edilmesine rağmen, 108 TS olayı tespit edilmiştir. TS olayları belirlendikten sonra, bu olayların yıllık, aylık, devam süresi ve saatlik analizleri yapılarak excel yardımıyla grafik haline getirilmiştir. Bu analizlerden sonra Samsun radyozonde istasyonundan elde edilen sondaj verileri kullanılmıştır (University of Wyoming, 2023). Sondaj gözlemleri 00 UTC ve 12 UTC olmak üzere günde iki kez yapılmaktadır. Bu nedenle tüm sondaj gözlemleri analiz edilmiş, ardından oraj olayına en yakın gözlem saati baz alınarak TS analizleri gerçekleştirilmiştir. TS olaylarının sadece bir tanesinde sondaj verisi eksik olduğundan analizler 107 olay üzerinden yapılmıştır. Sondaj verileri içerisinde Showalter İndeks (SI), Lifted İndeks (LI), SWEAT İndeks (SWEAT), K-İndeks (KI), Totals Totals İndeks (TTI), Convective Available Potential Energy (CAPE) – Konvektif Hazır Potansiyel Enerji, Convective Inhibition (CIN) – Konvektif Engelleme, ve Bulk Richardson Number (BRN) parametreleri kullanılmıştır. SI, ABD’nin güneybatısındaki TS’leri tahmin etmek için geliştirilen bir indekstir. LI, şiddetli TS’leri tahmin etmekte kullanılan, SI’nın değiştirilmiş bir versiyonudur. SWEAT, aynı LI gibi şiddetli TS’leri tahmin etmek için geliştirilmiştir. KI, cephe veya siklonik etkilerin yokluğunda zayıf rüzgar durumunda gerçekleşen TS’leri tahmin etmek için kullanılan bir indekstir. TTI, potansiyel şiddetli hava olaylarını tahmin etmede kullanılmaktadır. CAPE, atmosferik konveksiyonun bir ölçüsüdür, CIN ise CAPE’nin negatif kısmını belirtmektedir. BRN, rüzgar kayması vektörü ile CAPE arasındaki ilişkiyi vermektedir (Yavuz, 2023). Bu sekiz adet indeks ve parametrenin, orajlı ve orajsız zamanlarda değişimleri R programlama dili ile kutu grafiği (box-plot) hazırlanarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan termodinamik indeksler ve atmosferik kararlılık parametrelerinin formülleri ve eşik değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Termodinamik indeks ve atmosferik kararlılık parametrelerinin eşik değerleri ve formülleri (Yavuz, 2023)

İndeksler/Parametreler	Şiddetli hava aktivitesi	Formül	Referanslar
SI	"SI>3", kararlı	$SI = T_{500} - T_{p_{500}}$	(Showalter, 1953; NWS, 2023)
	"1<SI<3", gök gürültülü sağanak yağış olası		
	"-2<SI<1", TS muhtemel		
	"-3<SI<-2", TS olası		
	"-6<SI<-3", şiddetli TS’ler, aşırı kararsızlık		
LI	"SI<-6", kuvvetli TS’ler, olası kasırga	$LI = T_{500} - T_{p_{500}}$	(Galway, 1956; NWS, 2023)
	"LI>2", kararlı		
	"0<LI<2", zayıf TS’ler olası		
	"-2<LI<0", orta kuvvette TS’ler		
	"-4<LI<-2", şiddetli TS’ler olası		
SWEAT	"LI<-4", şiddetli TS’ler ve kasırga olası	$SWEAT = 12[Td_{(850\text{ hPa})}] + 20(TTI - 49) + 2(f8) + f5 + 125(S + 0.2)$	(Miller vd., 1972; NWS, 2023)
	"SWEAT<150", TS olası değil		
	"150<SWEAT<300", hafif şiddetli		
	"300<SWEAT<400", TS’ler olası		
KI	"SWEAT>400", kasırga olası	$KI = (T_{850\text{ hPa}} - T_{500\text{ hPa}}) + T_{d850\text{ hPa}} - (T_{700\text{ hPa}} - T_{d700\text{ hPa}})$	(George, 1960; Peppler & Lamb, 1989; NWS, 2023)
	"KI<15", TS olası değil		
	"15<KI<25", izole TS’ler		
	"25<KI<35", dağınık TS’ler		
TTI	"KI>35", çok sayıda TS	$TTI = T_{850\text{ hPa}} + T_{d850\text{ hPa}} - 2[T_{500\text{ hPa}}]$	(Miller, 1967; Miller vd., 1972; Peppler & Lamb, 1989; NWS, 2023)
	"TTI<44", TS olası değil		
	"44<TTI<50", TS muhtemel		
	"50<TTI<56", şiddetli TS’ler		
CAPE	"TTI>56", daha şiddetli TS’ler	$CAPE = \int_{LFC}^{LNB} R_d(T_{vc} - T_{ve}) d\ln P$	(Lucas vd., 1994; Ye vd., 1998; NWS, 2023)
	"CAPE<300", kararlı		
	"300<CAPE<1000", düşük kararsız		
	"1000<CAPE<2500", orta kararsız		
CIN	"CAPE>2500", kuvvetli kararsız	$CIN = \int_{p_i}^{p_f} R_d(T_{vp} - T_{ve}) d\ln P$	(Zhang, 2003; NWS, 2023)
	"CIN>-15", kararlı		
BRN	"CIN<-15", kararsız	$BRN = \frac{(\frac{g}{T_v})\Delta\theta_v\Delta z}{(\Delta U)^2 + (\Delta V)^2}$	(Weisman & Klemp, 1982; NWS, 2023)
	"BRN<10", TS olası değil		
	"10<BRN<45", TS olası		
BRN	"BRN>45", süper hücre – çoklu hücre yapıları		

Çalışmanın son aşamasında termodinamik indekslerin ve atmosferik kararlılık parametrelerinin performansını değerlendirmek için başarımlar testleri uygulanmıştır. Bu testleri uygulamak için, gerçek TS gözlemleri ile indeks ve parametrelerden elde edilen tahmin sonuçlarının sınıflandırılması gerekmektedir. Bu kapsamda, her koşul için başarımlar testlerinde kullanılacak parametrelere ilişkin *Olasılık Tablosu* hazırlanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2: Olasılık tablosu

Element	Gerçek Olay	Tahmin	Tanım
A	VAR	VAR	Doğru olay doğru tahmin
B	VAR	YOK	Sürpriz olay
C	YOK	VAR	Yanlış tahmin
D	YOK	YOK	Olay yok

Bu çalışmada kullanılan başarımlar testleri ve hesaplama yöntemleri Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 2’ de yer almayan parametrelerden,

$$N = A+B+C+D \quad (1)$$

toplam olay sayısını,

$$E = [(A+C)(A+B)+(C+D)(B+D)]/N \quad (2)$$

tesadüf beklenen doğru tahmin sayısını belirtmektedir.

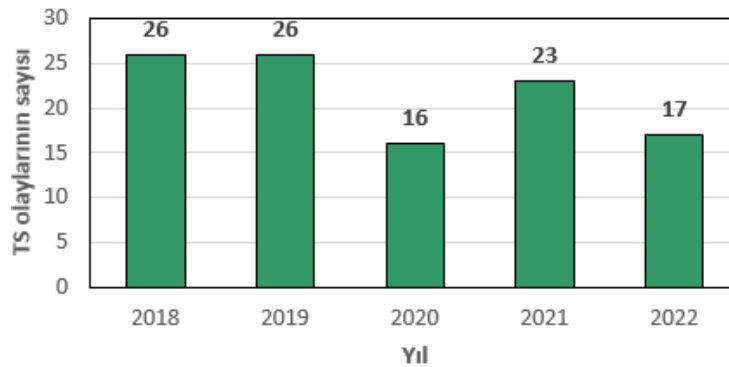
Tablo 3: Başarımlar testlerinin sembol ve formülleri

Başarımlar Testleri	Sembol	Formül
Probability of detection (Tespit Olasılığı)	POD	POD = A/(A+B)
False alarm ratio (Yanlış Alarm Oranı)	FAR	FAR = C/(A+C)
Miss rate (Kaçırma Oranı)	MR	MR = B/(B+A)
Critical success index (Kritik Başarı İndeksi)	CSI	CSI = A/(A+B+C)
Hiedke skill score (Hiedke beceri skoru)	HSS	HSS = (A+D-E)/(N-E)
True skill statistics (Gerçek Beceri İstatistikleri)	TSS	TSS = (AD-BC)/(A+B)(C+D)
BIAS (Sapma)	BIAS	BIAS = (A+C)/(A+B)

3. Bulgular

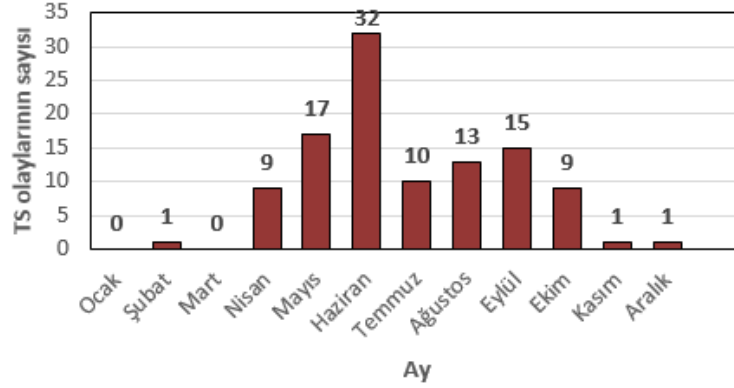
3.1. Oraj Hadiselerinin Frekans ve Süre Analizi

Samsun’da gerçekleşen TS olaylarının yıllık ve aylık frekansları ile başlangıç saatleri ve etki süreleri incelenmiştir. Beş yıllık periyotta 108 TS olayı meydana gelmiştir. En fazla olay sayısı 26 ile 2018 ve 2019 yıllarında olurken en düşük olay sayısı 16 ile 2020 yılında gerçekleşmiştir (Şekil 2).



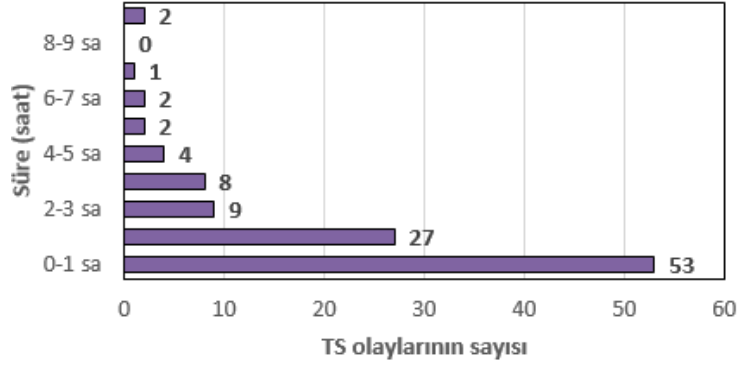
Şekil 2: TS olaylarının yıllık frekans analizi

Aylık bazda bakıldığında en fazla olay sayısının 32 olay ile Haziran ayında gerçekleştiği görülmektedir. Tüm TS olaylarının yaklaşık %30'u haziran ayında gerçekleşmiştir. Ocak ve Mart aylarında hiç TS olayı gerçekleşmemiştir. %51 ile olayların yarıdan fazlası yaz mevsiminde (Haziran, Temmuz, Ağustos) gerçekleşmiştir (Şekil 3).



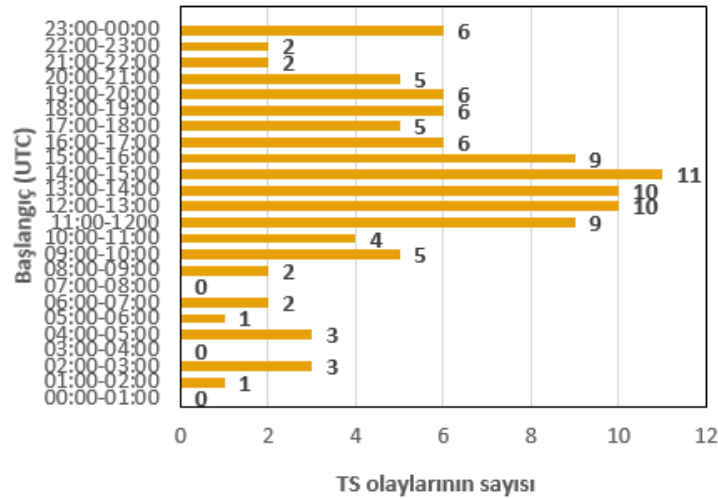
Şekil 3: TS olaylarının aylık frekans analizi

TS olaylarının etki süresi çoğunlukla birkaç saat sürmektedir. Olayların, %74'ü 0-2 saat aralığında sürmüştür. En uzun süreli olay ise 12 saat sürmüştür (Şekil 4).



Şekil 4: TS olaylarının etki süresi

Oraj hadiselerinin başlangıç saatlerine bakıldığında öğle ve akşam saatleri arasında başladığı görülmektedir. Olayların %51'inin 11.00 ile 17.00 UTC saatleri arasında başladığı tespit edilmiştir. Olayların sadece %9'u 00.00 ile 07.00 UTC saatleri arasında gerçekleşmiştir. TS olaylarının geneline bakıldığında, çoğunlukla günün en sıcak saatlerinde başladıkları görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5: TS olaylarının başlangıç saati

3.1. TS Olan ve Olmayan Durumlarda Termodinamik İndeks ve Atmosferik Kararlılık Parametrelerinin Karşılaştırılması

Bu çalışmada, beş yıllık periyot içerisinde Samsun için sadece TS olan zamanlar değil, TS olmayan zamanlar içinde termodinamik indeksler ve atmosferik kararlılık parametreleri incelenmiştir. Bu indeks ve parametrelerin eşik değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Eşik değerleri Amerika için hazırlandığından, ülkemiz ya da başka bölgeler için değişiklik gösterebilir. Genel olarak TS olayı için beklenen durum, SWEAT, KI, TTI, CAPE ve BRN değerlerinin yüksek, SI, LI ve CIN değerlerinin düşük olması durumudur.

SI değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha düşük değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 3’ten küçük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda SI değerlerinin ortalaması 0.9, TS olmadığı durumlarda 6.0 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

LI değerlerinin de aynı SI gibi TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha düşük değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 2’den küçük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması 0.2, TS olmadığı durumlarda 5.8 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

SWEAT değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha yüksek değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 150’den büyük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması 169, TS olmadığı durumlarda 97 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

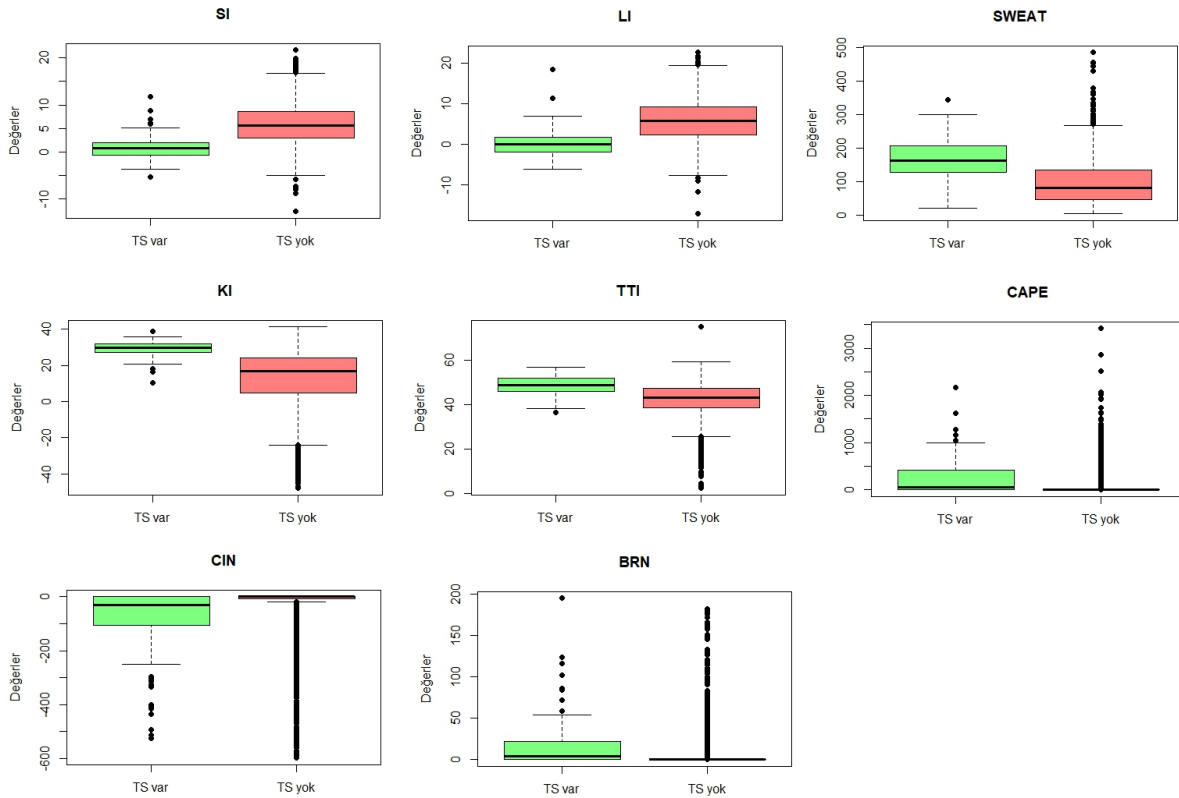
KI değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha yüksek değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 15’ten büyük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması 29, TS olmadığı durumlarda 13 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

TTI değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha yüksek değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 44’ten büyük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması 48, TS olmadığı durumlarda 42 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

CAPE değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha yüksek değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 300’den büyük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması 279, TS olayı olmadığı durumlarda 58 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

CIN değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha düşük değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için -15’ten küçük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması -94, TS olayı olmadığı durumlarda -37 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

BRN değerlerinin, TS olan durumlarda, TS olmayan durumlara göre daha yüksek değerler alması beklenmektedir. Kararsız bir atmosfer için 10’dan büyük olması beklenir. Analizler sonucunda, TS olayı olduğu durumlarda ortalaması 17, TS olayı olmadığı durumlarda 5 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6: TS olan ve TS olmayan durumlarda indeks ve parametrelerin değer aralıkları

3.1. İndeks ve Parametrelerin Oraj Tahmininde Performans Analiz Sonuçları

Oraj olaylarının tahmininde, her bir indeks ve parametrenin performansı ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Tablo 4). Literatürde verilen eşik değerler her zaman tutarlı tahmin yapamamaktadır. Tüm indeks ve parametreler için gereken ideal durum POD, CSI, HSS ve TSS değerlerinin yüksek, FAR ve MR değerlerinin düşük olduğu zamanlardır. Yüksek POD değerleri, olayları doğru tahmin etmenin bir ölçüsüdür. Fakat tek başına POD değerlerinin yüksek olması, FAR değerlerinin de yüksek olması durumunda bir anlam ifade etmez.

Tablo 4'e baktığımızda POD'un en yüksek değerini KI için aldığı görülmektedir. Ancak FAR da en yüksek değerini KI için almıştır. Bu, KI parametresinin olay olsun veya olmasın, genellikle olay olacaktı gibi tahmin yaptığı anlamına gelmektedir. Bu yüzden gerçekleşen oraj olaylarının neredeyse tamamını ıskalamadan tahmin etmiştir. MR değerlerine bakıldığında en düşük değerini KI için almış olması bunu desteklemektedir. CSI ve HSS'nin KI için en düşük değerleri almış olması tahmin başarısının düşük kaldığını göstermektedir. POD, FAR ve MR değerlerine bakıldığında tüm indeks ve parametreler arasında en ideal değerleri SI almıştır. CSI, HSS ve TSI ortalama en yüksek değerlerini SI için aldığından, tüm indeks ve parametreler arasında tahmin becerisi en yüksek olan termodinamik indeks olmuştur. CAPE ve BRN ise tahmin başarısının en düşük olduğu parametreler olmuştur.

Tablo 4: İndeks ve parametrelerin başarımlarını test sonuçları

Başarım Testi	Termodinamik indeksler ve kararlılık parametreleri							
	SI	LI	SWEAT	KI	TTI	CAPE	CIN	BRN
POD	0.84	0.79	0.55	0.99	0.85	0.34	0.59	0.40
FAR	0.90	0.91	0.92	0.95	0.95	0.86	0.93	0.90
MR	0.16	0.21	0.45	0.01	0.15	0.66	0.41	0.60
CSI	0.09	0.09	0.08	0.05	0.05	0.11	0.07	0.09
HSS	0.12	0.12	0.09	0.04	0.05	0.17	0.08	0.12
TSS	0.59	0.55	0.36	0.44	0.39	0.28	0.36	0.30
BIAS	8.95	8.38	6.86	19.16	15.89	2.35	8.13	3.91

3. Sonuç ve Öneriler

Oraj olayı dünyanın bir çok yerinde ve ülkemizde yıkıcı etkilere sahip olabilmektedir. Bu etkileri en az seviyeye indirebilmek için orajın önceden tahmin edilebilmesi büyük önem arz etmektedir. Oraj tahmini için birçok yöntem olsa da en hızlı ve etkili yöntem, termodinamik indeks ve atmosferik kararlılık parametrelerinin kullanılarak orajın tahmin edilmesidir. Bu nedenle, orajın yıkıcı etkilerine önceden önlem alabilmek, gelecekte daha tutarlı tahmin yöntemleri geliştirmek için bu indeks ve parametrelerin tahmin başarısının araştırılması gerekmektedir. Ayrıca literatürde belirli bölgeler için yapılan analizler sonucu ortaya çıkan eşik değerler kullanılmaktadır. Bu çalışmada öncelikle, Samsun için beş yıllık periyotta TS olaylarının zamansal analizleri yapılmıştır. Daha sonra TS olan ve TS olmayan durumlarda beş termodinamik indeks ve üç atmosferik kararlılık parametresinin değişimleri incelenmiştir. Son olarak çeşitli başarımlar testleri kullanılarak, indeks ve parametrelerin literatürdeki eşik değerlerinin Samsun için başarımları test edilmiştir. Tüm bu yapılan analizler ve değerlendirmelerden sonra, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Beş yıllık periyotta toplam 108 oraj olayı gerçekleşmiştir. Oraj oluşumu genellikle ilkbahar, yaz ve sonbaharda nadir olarak da kış mevsiminde görülmektedir. Bu çalışmada ise aylık bazda bakıldığında en çok olay Haziran ayında gerçekleşirken olayların %51'i yaz mevsiminde (Haziran, Temmuz, Ağustos) meydana gelmiştir. Olayların etki süreleri incelendiğinde, %74'ü 0-2 saat aralığında sürmüştür. Günlük bazda bakıldığında orajların çoğunluğu günün en sıcak saatlerinde başlamaktadır.

TS olan ve TS olmayan durumlarda indeks ve parametreler incelendiğinde, Samsun için atmosferik kararlılık ve kararsızlığı belirlemede literatürdeki eşik değerler kullanılmıştır. SI, LI, SWEAT, KI, TTI ve BRN değerlerinin ortalaması eşik değerlere uyarken, CAPE ve CIN değerlerinin ortalaması eşik değer altında kalmaktadır.

İndeks ve parametrelerin oraj tahmininde başarımları incelendiğinde, en başarılı indeks SI olurken CAPE ve BRN parametrelerinin oraj tahmininde başarımları en düşük olmuştur.

Tüm bu ortaya konulan sonuçlar ışığında baktığımızda, orajların çoğunluğunun yılın en sıcak aylarında ve günün en sıcak saat saatlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu da orajların genelinen ısınma kaynaklı oluştuğunu gösterir. Fakat tek başına ısınma oraj oluşumu için gerekli şartlardan yalnızca birini oluşturmaktadır. Isınma kadar atmosferde nemin, kararsızlığın ve rüzgar kaymasının olması da önem arz etmektedir. Olayların çoğunluğunun 0-2 saat sürmesi de tek hücreli oraj olabileceğine işaret etmektedir. Bazı indeks ve parametreler oraj olduğu zamanlarda bile eşik değerlere ulaşamamıştır. Bu durum eşik değerlerinin Samsun için optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Eşik değerlerinde gerekli güncellemeler yapıldığı takdirde bu indeks ve parametrelerin tahmin başarısının artacağı açıkça ortaya konulmuştur. Tahmin başarısının artması, orajın hem toplumda oluşturabileceği zararların önüne geçmeyi hem de çeşitli sektörlere vereceği zararları engellemeyi sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Arora, K., Ray, K., Ram, S., & Mehajan, R. (2023). The role of instability indices in forecasting thunderstorm and non-thunderstorm Ddys across six cities in India. *Climate*, 11(1), Article 14. <https://doi.org/10.3390/cli11010014>
- Galway, J. G. (1956). The lifted index as a predictor of latent instability. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 37(10), 528-529.
- George, J. J. (1960). *Weather forecasting for aeronautics*. Academic Press.
- Iowa State University. (2023, February 24) *Environmental mesonet: ASOS-AWOS-METAR data*. Iowa Environmental Mesonet. 24 Şubat 2023 tarihinde <https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml> adresinden alındı
- Kosif, K. (2001). Samsun ilinde iklim trendleri. *DSİ Teknik Bülteni*, 98, 3-13.
- Koutavarapu, R., Umakanth, N., Madhav, B. T. P., Rao, M. C., & Shim, J. (2021a). Influence of thermodynamic indices during severe convection over Andaman Nicobar and Lakshadweep islands. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 37, 593-619. <https://doi.org/10.1007/s41208-021-00335-y>
- Koutavarapu, R., Umakanth, N., Satyanarayana, T., Kumar, M. S., Rao, M. C., Lee, D. Y., & Shim, J. (2021b). Study of statistical estimated parameters using ERA5 reanalysis data over Khulna region during monsoon season. *Acta Geophysica*, 69(5), 1963-1978.
- Kunz, M. (2007). The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7(2), 327-342.
- Lucas, C., Zipser, E. J., & LeMone, M. A. (1994). Convective available potential energy in the environment of oceanic and continental clouds: Correction and comments. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 51, Article 95A67914. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1994\)051<3829:CAPEIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1994)051<3829:CAPEIT>2.0.CO;2)
- Miller, R. C. (1967). *Notes on analysis and severe-storm forecasting procedures of the Military Weather Warning Center* (AWS Tech. Rep. 200). Air Weather Service (MAC), United States Air Force.
- Miller, R. C., Bidner, A., Maddox, R. A. (1972). *The use of computer products in severe weather forecasting (the SWEAT index)* (AWS RP 105-2, No: 72-1, 2-9). Air Weather Service.
- NWS. (2023, April 27). *National Weather Service: Definition of atmospheric variables, atmospheric stability indices*. National Weather Service (NWS). 27 Nisan 2023'de <https://www.weather.gov/ffc/gloss2> adresinden alındı
- Özdemir, E. T., Deniz, A., Sezen, İ., Aslan, Z., & Yavuz, V. (2017). Investigation of thunderstorms over Ataturk International Airport (LTBA), Istanbul. *Mausam*, 68(1), 175-180.
- Peppler, R. A., & Lamb, P. J. (1989). Tropospheric static stability and central North American growing season rainfall. *Monthly weather review*, 117(6), 1156-1180.
- Sahu, R. K., Dadich, J., Tyagi, B., Vissa, N. K., & Singh, J. (2020a). Evaluating the impact of climate change in threshold values of thermodynamic indices during pre-monsoon thunderstorm season over Eastern India. *Natural Hazards*, 102, 1541-1569. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03978-x>
- Sahu, R. K., Dadich, J., Tyagi, B., & Vissa, N. K. (2020b). Trends of thermodynamic indices thresholds over two tropical stations of north-east India during pre-monsoon thunderstorms. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 211, Article 105472. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2020.105472>
- Showalter, A. K. (1953). A stability index for thunderstorm forecasting. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 34(6), 250-252.
- Türkeş, M. (2015). Gökgürültülü fırtınalar ve oluşum düzenekleri. *Bilim ve Gelecek*, 131(2015), 84-87.
- Tyagi, B., Naresh Krishna, V., & Satyanarayana, A. N. V. (2011). Study of thermodynamic indices in forecasting pre-monsoon thunderstorms over Kolkata during STORM pilot phase 2006-2008. *Natural Hazards*, 56, 681-698. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9582-x>
- Umakanth, N., Satyanarayana, G. C., Simon, B., Rao, M. C., Kumar, M. T., & Babu, N. R. (2020). Analysis of various thermodynamic instability parameters and their association with the rainfall during thunderstorm events over Anakapalle (Visakhapatnam district), India. *Acta Geophysica*, 68, 1549-1564. <https://doi.org/10.1007/s11600-020-00478-1>
- University of Wyoming. (2023, March 4). *Upper-level atmospheric charts*. University of Wyoming, College of Engineering. 4 Mart 2023'de <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> adresinden alındı
- Weisman, M. L., & Klemp, J. B. (1982). The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. *Monthly Weather Review*, 110(6), 504-520.
- Yavuz, V., Deniz, A., Özdemir, E. T., Karan, H., & Temiz, C. (2022). Long-term thunderstorm analysis at airports in the Marmara Region: types and favourable atmospheric conditions. *International Journal of Global Warming*, 28(1), 81-95. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2022.125083>
- Yavuz, V., Özdemir, E. T., Deniz, A. (2020). Nowcasting of a thunderstorm: the case study of 2 February, 2015 at Istanbul Ataturk International Airport. *Mausam*, 71(1), 21-32.
- Yavuz, V. (2023). *Performance analyzes of thermodynamic indices and atmospheric parameters in thunderstorm and non-thunderstorm days in Istanbul, Turkey*. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2544300/v1>
- Ye, B., Del Genio, A. D., & Lo, K. K. (1998). CAPE variations in the current climate and in a climate change. *Journal of Climate*, 11(8), 1997-2015.
- Zhang, G. J. (2003, March 31-April 4). *Diurnal cycle of convection at the ARM SGP Site: Role of large-scale forcing, surface fluxes, and convective inhibition* [Conference presentation]. Thirteenth ARM Science Team Meeting, Broomfield, Colorado.

Yeşilirmak Havzasında Düşük Akarsu Akımlarının Analizi

Sümeyye Özkan¹, Turgay Partal^{1,*}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55270, Samsun.

Özet

Kuraklık genel olarak bir bölgedeki yağışların kaydedilmiş normal seviyelerin önemli derecede altına düşmesiyle toprak ve su kaynaklarını olumsuz etkilemesi şeklinde tanımlanmaktadır. Kuraklık analizi için genellikle günlük düşük akım indisleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada Yeşilirmak havzasında bulunan E14A002, E14A014, E14A018, D14A062 ve D14A106 nolu Kale, Sütluçe, Gömeleönü, Artova ve Alpu Dereköyü istasyonlarındaki akım gözlem istasyonlarına ait günlük verilerden oluşan 7 ve 30 günlük düşük akım verilerinden faydalanılmıştır. 31 yıllık veriler kullanılarak önce debi süre grafikleri çıkartılmış ve bu grafikler üzerinden Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} debileri okunarak düşük akımlar belirlenmiştir. Daha sonra 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekrerr debileri 7 ve 30 günlük düşük akımlar için tahmin edilmiştir. Literatürde düşük akımlarda sıklıkla göz önüne alınan Normal, Lognormal ve Gumbel olasılık dağılımları kullanılmıştır. En uygun olasılık dağılımını belirlemek için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi yapılmıştır. Bütün dağılımlar %90 ve %95 istatistik anlam düzeyinde test edilmiştir. Son olarak da veriler Mann-Kendall ve Spearman'ın Rho trend analizine sokulmuş olup 7 günlük düşük akımlar için Sütluçe ve Artova istasyonlarında istatistiksel önemli azalan trend görülmüştür.

Anahtar Sözcükler

Düşük Akım, İstatistiksel Veri Analizi, Olasılık Dağılımı, Trend Analizi, Yeşilirmak Havzası

Low Streamflow Analysis in Yeşilirmak Basin

Abstract

Drought is generally defined as precipitation that drops significantly below recorded normal levels, negatively affecting soil and water resources in a region. Daily low flow indices are usually used for drought analysis. In this study, 7 and 30-day flow data consisting of daily data of flow observation stations at Kale, Sütluçe, Gömeleönü, Artova and Alpu Dereköyü stations in Yeşilirmak basin, numbered E14A002, E14A014, E14A018, D14A062 and D14A106, were used. By using 31 years of data, flow rate continuous graphs were drawn first, and low flows were determined by reading Q_{90} , Q_{95} , and Q_{99} flow rates over these graphs. Then, recurrent flow rates of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years were estimated for 7-day and 30-day low flows. Normal, Lognormal, and Gumbel probability distributions, which are frequently examined in the literature at low flows, are used. The Kolmogorov-Smirnov test was performed to determine the optimal probability distribution. All distributions tested at the 90% and 95% statistical significance levels. Finally, the data were included in the Mann-Kendall and Spearman's Rho trend analysis, and a significant decrease was observed at the Sütluçe and Artova stations for seven days of minimum flow.

Keywords

Minimum Flow, Probability Distribution, Statistical Data Analysis, Trend Analysis, Yeşilirmak Basin

1. Giriş

Su insan yaşamı için en önemli kaynaklardan biridir. Son yüzyılda dünya nüfusunda ki büyük artışa paralel olarak su kaynaklarının ihtiyacı ve kullanımı çok fazla artmıştır. Bu yüzden su ihtiyacının dünyanın çeşitli yerlerindeki milyarlarca insanın yaşamsal faaliyetleri için yeterli seviyede olmaması ve dünya nüfusunun çoğunluğunun da yeterli su altyapısına sahip olamaması nedeniyle önümüzdeki yıllarda tüm dünya için su krizi ve kuraklığın artacağı gerçeği kaçınılmazdır.

Kuraklık hidrolojik döngüde önemli dengesizliklere ve bunun sonucunda da su kıtlığına, akarsularda akım miktarının azalmasına ve yer altı suları ve topraktaki nemin tükenmesine yol açar. Kuraklık, etkisini yavaş ve uzun zaman içinde gösteren, tahmin edilmesi zor ama sonuçları tehlikeli ekonomik etkisi ise yavaş görülen ama önemli sonuçlar doğuran (içme ve sulama suyu temininde sıkıntı gibi) ve yaşamsal faaliyetlerimizi önemli ölçüde etkileyen doğal bir afettir. Bu yüzden son derece ciddiye alınması gerekmekte olup akarsulardaki düşük akım ve hidrolojik kuraklığın takip edilmesi, ekolojik yaşam ve ekonomik hayatın sürdürülebilmesi için önem taşımaktadır. Kuraklığın meteorolojik kuraklık olarak başlayıp, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik kuraklık ile devam ettiği bilinmektedir (Sırdaş, 2002). Meteorolojik kuraklık yağış esasıdır ve uzun bir süre yağışın normal değerlerinin altına düşmesi olarak tanımlanmaktadır. Hidrolojik kuraklık ise uzun süre devam eden yağış azlığı sonucunda yerüstü ve yer altı sularındaki azalmayı ifade eder. Aynı zamanda hidrolojik kuraklık akarsuda belli bir dönem boyunca akımın yetersiz ve normal seviyenin altında olmasıdır.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (362) 3121919 Faks: +90 (362) 4576094

E-posta: sumeyyee.ozkann@gmail.com (Özkan S), turgay.partal@omu.edu.tr (Partal T)

Gönderim Tarihi / Received : 25/07/2023

Kabul Tarihi / Accepted : 11/12/2023

Kuraklığın sosyo-ekonomik tanımı ise meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık sonucundaki ekonomik dengeyle ilişkilendirilir. İlişkilendirilir. Tarımsal kuraklıkta ise bitki kökünde bitkinin faydalanabileceği su miktarındaki azalma söz konusudur. Yağışlardaki azalma ile başlayan kuraklığın son aşamasında, üretimin ihtiyacı karşılayamadığı durumlarda sosyo-ekonomik kuraklık ortaya çıkmaktadır (Dracup vd.,1980; Sırdaş, 2002; Kapluhan, 2013).

Hidrolojik kuraklığın açıklanabilmesi için düşük akım değerlerine ihtiyaç vardır. Düşük akım veya yüksek akım, bir akarsuyun özelliklerinin ve rejiminin belirlenmesinde önemli olan kavramlar olup akımların ortalama yıllık döngüdeki salınımlarını açıkça ortaya koymaktadır (Sarış, 2016). Düşük akım için günlük akım verilerine hidrolojik ve istatistik analiz olmak üzere iki farklı analiz metodu uygulanabilmektedir. Düşük akımların hidrolojik analizinde istasyonlardan alınan akım verilerinin 1,3,7,10,14,30... günlük ortalama akım debileri elde edilmekte ve bu debilerin debi süre grafikleri çıkartılmaktadır. Bu grafiklerden literatürde düşük akım analizinde sıklıkla kullanılan Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} debileri okunarak düşük akımlar belirlenir. İstatistik analizde ise 1,3,7,10,14,30... günlük ortalama akımların en düşüklerine olasılık dağılımları uygulanır. Bu amaçla birçok farklı olasılık dağılımı kullanılmaktadır. Düşük akımlarla ilgili yapılan çalışmalarda genel olarak 7 günlük ve 10 yıllık minimum akımlar ($Q_{7,10}$) kullanılmıştır. Bu değer 10 yılda bir görülen 7 günlük ortalama minimum akım debisi demektir. Bu çalışmada da 7 günlük minimum akım tercih edilmiştir.

Kuraklık dünyada gittikçe etkisini artırmış ve düşük akımların incelenmesi gittikçe önemli olmuştur. Düşük akımların hidrolojik ve istatistik analizindeki ilk çalışmalar Gumbell (1958) tarafından yapılmıştır. Bunun devamını Matalas (1963) izlemiştir. Bu çalışmalarda Weibull dağılımı momentler yöntemi ile ve Pearson Tip III dağılımı ise maksimum olabilirlik parametre tahmin yöntemleri ile analiz edilmiştir. Mahnamfar (2012) çalışmasını İran Havzası üzerinde gerçekleştirmiştir. 12 istasyonda K-S testi sonucunda 2 parametrelili Weibull ve Genel Lojistik dağılımı tüm istasyonların verilerine uygunken PPCC testinde sadece iki ve üç parametrelili Lognormal, Pearson tip III ve Logpearson tip III dağılımları üzerinde çalışmasını yapmıştır. Bunun sonunda 3 parametrelili Lognormal dağılım, Pearson tip III ve Logpearson tip III dağılımlarının uygun olduğunu görmüştür Düşük akım ve kuraklık çalışmaları Türkiye’de de pek çok çalışma alanında incelenmiştir. Önöz ve Bulu (1996) Trakya bölgesinde düşük akımları incelemek için Lognormal dağılımı ve Weibull dağılımı kullanmıştır. Özen (2001) çalışmada Türkiye’deki 11 akarsuyu kullanmış ve bunlara Lognormal, Weibull ve Üstel dağılımları uygulamıştır. Seçilen istasyonlara olasılık çizgisi korelasyon katsayısı (PPCC) testini uyguladığında ise 11 istasyonun 2 tanesinde Lognormal dağılımın, 7 tanesinde Weibull dağılımın ve 2 tanesinde de Üstel dağılımın uygun olduğunu görmüştür. Durak (2000) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz havzalarında seçilen istasyonlarda Weibull dağılımının ve Üstel dağılımının gözlemlenen düşük akım değerlerine uyduğu görülmüştür. Yıldırım (2012) yaptığı çalışmada Fırat Havzasını incelemiş ve 5 adet istasyondan 34 yıllık ölçülmüş verileri kullanmıştır. Bu çalışmada 2 parametrelili Weibull ile 3 parametrelili Weibull, Pearson tip III, Logpearson tip III ve Genel Ekstrem Değer olasılık dağılımlarını kullanmıştır. Bu verilere PPCC testi uyguladığında ise en uygun dağılımın Pearson tip III dağılımı olduğunu görmüştür. Zaman (2016) debi süreklilik eğrisi yardımıyla zamanın yüzde 30’unda mevcut olan debileri belirleyerek hidroelektrik potansiyelini Doğu Karadeniz Havzası için belirlemiştir. Aksoy vd. (2018), Ceyhan, Meriç, Gediz ve Seyhan havzaları için düşük akım frekans analizi yapılmıştır. Çalışmalarında birçok dağılımı (2- ve 3-parametrelili Gamma, Lognormal ve Weibull dağılımı ile Genel Ekstrem Değer dağılımı) kullanmış olup, çoğunlukla 3 parametrelili Lognormal ve Weibull dağılımının uygun olduğunu bulmuşlardır. Demir ve Tona (2021) Samsun Kürtün nehrinde debi süreklilik eğrisi yardımıyla minimum debileri belirlemiştir. Debi süreklilik eğrileri minimum akımlar yanında zamanın farklı yüzdelerinde mevcut akımların belirlenmesi amacıyla da kullanılabilirler.

Bu çalışmada Yeşilirmak Havzası üzerinde bulunan 5 akım gözlem istasyonuna ait günlük akım verileri incelenerek düşük akım analizi ve trend analizleri yapılmıştır. 7 ve 30 günlük debi süreklilik grafiklerinden düşük akımlar belirlenmiş ve ayrıca olasılık dağılımları kullanılarak belli dönüş aralıklarındaki düşük akım debilerinin bulunması amaçlanmıştır. Bunun yanında bu akımların seçilen olasılık dağılımlarına uygunluğu gösterilmiştir. Son olarak da 7 ve 30 günlük düşük akımların trendlerini belirlemek için Mann-Kendall ve Spearman’ın Rho trend analizleri kullanılmıştır.

2. Yöntemler

2.1. Debi Süreklilik Eğrisi

Debi miktarının zamana göre değişimini gösteren grafiğe debi süre eğrisi (çizgisi) denir (Saka & Yüksek, 2017). Debinin belli bir değere eşit veya o değerden büyük olduğu zaman yüzdesi hesaplanarak yatay eksene zaman yüzdeleri yani aşılma olasılıkları, düşey eksene ise debiler yazılırsa debi süreklilik çizgisi elde edilir (Yıldırım, 2012). Debiler önce büyüktür küçüğe doğru sıralanır. Sonra bu akım verilerinin en küçüğüne 1 değeri verilerek tüm değerlerin en sonuna kadar sıra numaraları artırılarak son değere kadar yazılır. Yapay sıralı akım verilerinin toplam kaç veri sayısı olduğu (N) belirlenir. Ardından veri sayısı ve sıra numaralarına bağlı olarak denklem 1 yardımıyla tüm veriler için yüzdeler hesaplanarak grafik oluşturulur (Demir, 2020; Şen, 2009).

Debi süreklilik eğrisi belirli bir zamanın yüzdesinde akarsudaki o debinin bulunma ihtimalini vermektedir. Mesela debi süreklilik çizgisindeki %50 aşılma yüzdesine denk gelen debi değeri yılın bir gününde aşılma olasılığı %50 olan debi değil, yılın %50 sinde aşılma olasılığı olan debi değeri anlamına gelir. Belirli bir zaman diliminde akarsuda mevcut olan debi, debi süreklilik çizgisi belirlendikten sonra bu çizgiden okunabilir.

Literatürdeki düşük akım potansiyeli olarak gösterilen Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} değerlerini bulmak için bu grafikteki %90, %95 ve %99 değerlerine karşılık gelen değerler okunarak Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} akım değerleri bulunur. Akımın eşit olma ve aşılma olasılığı, zaman yüzdesi olarak aşağıdaki denklemden bulunur.

$$P=100 * [M/(N+1)] \quad (1)$$

Burada M, sıraya dizilmiş debilerin sıra numarasını, N ise toplam veri sayısını göstermektedir.

2.2. Günlük minimum akımların elde edilmesi

7 günlük minimum akımlar o yıldaki birbirini izleyen verilerin 7 günlük ortalama akımların en küçük değeridir. $(Q_1+Q_2+\dots+Q_7)/7$, $(Q_2+Q_3+\dots+Q_8)/7$, $(Q_3+Q_4+\dots+Q_9)/7, \dots$ değerleri sırasıyla bir yıl için hesaplanıp bu değerlerin en düşüğü o yılın 7 günlük minimum akım değeri olarak alınır (Önöz & Bulu, 1996). Benzer olarak $(Q_1+Q_2+\dots+Q_{30})/30$, $(Q_2+Q_3+\dots+Q_{31})/30$, $(Q_3+Q_4+\dots+Q_{32})/30, \dots$ işlemleri de aynı şekilde yapılarak önce o yılın 30 günlük ortalama debileri bulunur. O yıla ait 30 günlük ortalama debilerin en küçüğü yine 30 günlük minimum akım değeri olarak alınır.

2.3. Olasılık Dağılım Fonksiyonları

Bu çalışmada 7 ve 30 günlük düşük akımlar için aşağıda verilen olasılık dağılım fonksiyonları belirlenmiştir. Çalışılan akarsu verileri içerisinde kuruyan akarsular bulunması halinde olasılık dağılım fonksiyonları elde edilirken akarsuyun kuruduğu dönemde hesaba katılması gerekir (Aksoy vd., 2017). Bu nedenle 7 ve 30 günlük düşük akım serileri içerisinde varsa sıfır akımlar çıkarıldıktan sonra kalan süre 10 yıldan uzun olması hali için olasılık dağılım fonksiyonları belirlenmiştir. Sıfır akımlar toplam olasılık yasaları kullanılarak hesaba katılmıştır (Crocker vd., 2003).

Buna göre $P(X \neq 0)$ düşük akım verilerinde sıfırdan farklı akımların oranı olup bu oranı k ile gösterirsek,

$$1 - F(x) = k(1 - Fi(x)) \quad (2)$$

yazılabilir. Burada, $F(x)$ ele alınan düşük akım serisinde olasılık dağılımının sıfır akımlar dahil olmak üzere eklenik frekansını, $Fi(x)$ ise sıfır akımlar hariç olmak üzere eklenik frekansını vermektedir. Düşük akımlarda dönüş aralığı T olmak üzere yeni eklenik frekans aşağıdaki gibidir.

$$Fi(x) = \frac{\frac{1}{T}-1+k}{k} \quad (3)$$

Eklenik frekans negatif olamayacağından, yukardaki denklem aşağıdaki koşulu sağlarsa geçerli olur.

$$k \geq \frac{T-1}{T} \quad (4)$$

Bu koşula göre negatif bir eklenik frekans hesaplanması halinde söz konusu dönüş aralığı T için, düşük akımın sıfır olduğunu gösterir (Aksoy vd., 2017).

2.3.1. Normal Dağılım

Literatürde taşkın ve kuraklık analizi için en çok kullanılan dağılımların başında gelir. Normal dağılım aynı zamanda Gauss dağılımı olarak da bilinir. Bu dağılımın iki parametresi olup bunlar dağılımın standart sapma (σ) ve ortalamasıdır (μ). Normal dağılım simetrik olduğu için çarpıklık katsayısı 0'dır. Normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem 2 ile hesaplanır.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}} \quad (5)$$

Normal dağılım eklenik olarak elde edilemediği için sayısal integrasyon hesaplamaları yapılarak tablo hazırlanır. Tabloyu hazırlayabilmek için aşağıdaki dönüşümle standart değişken hale getirilir. Denklem (3) rastgele değişkeni standart değişken haline getirilmek için kullanılan formülü vermektedir.

$$Z = \frac{(x-\mu_x)}{\sigma_x} \quad (6)$$

2.3.2. Lognormal Dağılım

Normal dağılım kolay kullanabildiği ve dağılımın özellikleri de iyi bilindiği için çarpık dağılmış değişkenleri normal dağılıma uygun duruma getirmek için bir dönüşüm gerçekleştiririz. Logaritmik dönüşüm bu sebep için en çok kullandığımız dönüşümdür. X değişkeninin logaritması alınırsa ($Y=\ln X$) y değişkeninin normal dağılıma uyduğu kabul edilir (Durak, 2000). Lognormal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma_x \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2} \quad (7)$$

denklemleri ile verilmektedir (Özen, 2001). Lognormal dağılımın parametreleri ise normal dağılımla aynıdır. Akımların tek tek logaritmaları ($y_i = \ln x_i$) alındıktan sonra bu değerlerin yine aynı şekilde ortalama ve standart sapmaları hesaplanır ve μ_y ve σ_y dağılımın parametreleri olarak alınır.

2.3.3. Gumbel Dağılımı

Diğer adı Ekstrem değer tip I olarak geçer. Bu dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp \left[-\frac{x-\xi}{\beta} - \exp \left(-\frac{x-\xi}{\beta} \right) \right] \quad (8)$$

denklemleri ile verilir. Bu ifadede β ve ξ değerleri ölçek ve yer parametreleridir. Gumbel dağılımı 2 parametrelidir. Çarpıklığı sabit olup yaklaşık 1,14'tür. Lognormal dağılımın çarpıklık katsayısının 1,14 olduğu hali Gumbel dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonuna çok benzemektedir (Demir, 2020; Keskin & Demir, 2022). Dağılımın β ve ξ parametreleri aşağıdaki denklemlerden elde edilir.

$$\sigma_x = 1,283 \cdot \beta; \quad \mu_x = \xi + 0,5772 \cdot \beta \quad (9)$$

2.3.4. Kolmogorov-Smirnov (K-S) Testi

Gözlenen verilerin eklenik frekans dağılımının teorik bir dağılıma uygunluğunda kullanılan K-S testinin Gumbel dağılımı kontrolünde önce istasyonların minimum akım değerleri büyüklük sırasına göre küçükten büyüğe dizilir

$$F^*(x_i) = i/N \quad (10)$$

Değerleri hesaplanır. N toplam yıl (veri) sayısıdır. Gumbel dağılımının parametrelerine bağlı olarak

$$F(x_i) = \exp[-\exp(-(x_i - \mu)/\alpha)] \quad (11)$$

Değerleri hesaplanır. Hesaplanan $F^*(x_i)$ ve $F(x_i)$ karşılaştırılarak tüm veriler için $F^*(x_i)$ ve $F(x_i)$ 'nin farklarının mutlak değerlerinin en büyüğü alınır

$$\Delta_{\max} = \max [F(x_i) - F^*(x_i)] \quad (12)$$

Normal dağılım için $F(x_i)$ değeri aşılma olasılıklarıdır. Normal ve Gumbel dağılım için tablodan $\Delta_{\max}$ değerlerine bakılarak bu değer seçilen α anlamlılık düzeyinin kritik değerinden küçükse hipotez kabul edilir aksi takdirde dağılım reddedilir. K-S testi verilerin sınıflara ayrılmasını gerektirmediği için bilgilerin tamamının kullanılmasına izin verir. Bu bakımdan özellikle küçük veriler için uygundur ve üstünlük taşır (Bayazit & Oğuz, 1994).

2.4. Trend Analizi

2.4.1. Mann-Kendall testi

Mann-Kendall testi için ilk olarak "S" yani M-K test istatistiği toplam değeri hesaplanmalıdır. Bunun için öncelikli olarak elimizdeki zaman serisi $i=1$ den $N-1$ e kadar x_i veri sütünü ve $j=i+1$ den N e kadar x_j veri sütünü olarak sıralanır. Daha sonra, x_i veri sütünü x_j veri sütünü kullanılarak denklem 10 yardımıyla "S" değeri hesaplanır. Bu işlemler sonucunda tüm veri çiftlerinin farkı ($x_j - x_i$) ile pozitif ve negatif değerlerinin sayısının toplamı bulunmuş olur (Yagbasan vd., 2020; Demir & Tona, 2021).

$$\text{Sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{Eğer } x_i < x_j \\ 0; & \text{Eğer } x_i = x_j \\ -1; & \text{Eğer } x_j < x_i \end{cases} \quad (13)$$

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (14)$$

Veri sayısı “N” olmak üzere $N > 10$ ise seriler için varyans hesaplanır ve yaklaşık olarak normal dağılıma uygun olduğu kabul edilir. Varyans hesaplandıktan sonra Denklem 12 yardımıyla “Z” değeri hesaplanır. Hesaplanan Z değeri belirlenen olasılık düzeylerine karşılık gelen normal dağılım tablosundaki standart Z değerleriyle karşılaştırılır (Yu vd., 1993).

$$Z = \begin{cases} \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{Eğer } S > 0 \\ 0; & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (15)$$

Normal dağılımın Z değerlerine bakılarak trendin durumu ortaya konur. Hesaplanan Z değeri α anlamlılık düzeyine karşılık gelen normal dağılımın $Z(1-\alpha/2)$ değerinden büyük ise (H_0) kabul edilmemektedir. Bir başka deyişle zaman içinde bir eğilimin olduğu sonucuna varılmaktadır. Benzer şekilde Z değeri dağılım çizgisindeki $Z(1-\alpha/2)$ değerinden küçükse (H_0) kabul edilmektedir ve zaman içerisinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilimin olmadığı anlaşılmaktadır. Z değeri negatif çıkarsa azalan trend, pozitif çıkarsa artan trend olduğu sonucu çıkarılır (Demir & Tona, 2021).

2.4.2. Spearman’ın Rho testi

İki gözlem serisi arasında istatistik olarak anlamlı bir korelasyon olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir testtir. Verilerin küçükten büyüğe veya büyükten küçüğe sıralanmasından sonra her bir gözlemin Rx_i sıra numarası belirlenir. H_0 hipotezine göre x_i değerleri üniform dağılım gösterir. Karşıt H_1 hipotezine göre ise x_i değerleri zamanla artar veya azalır. Gözlemin sırası (i) ile sıra numarası Rx_i arasında test istatistiği aşağıdaki gibi belirlenir (İçağa, 1994).

$$r_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Rx_i - i)^2}{(n^3 - n)} \quad (16)$$

Burada n veri sayısı olmak üzere $n > 30$ için r_s dağılımı normal dağılıma yaklaşacağından normal dağılım tabloları kullanılabilir. r_s test istatistiği z aşağıdaki denklemden bulunur.

$$z = r_s \sqrt{n - 1} \quad (17)$$

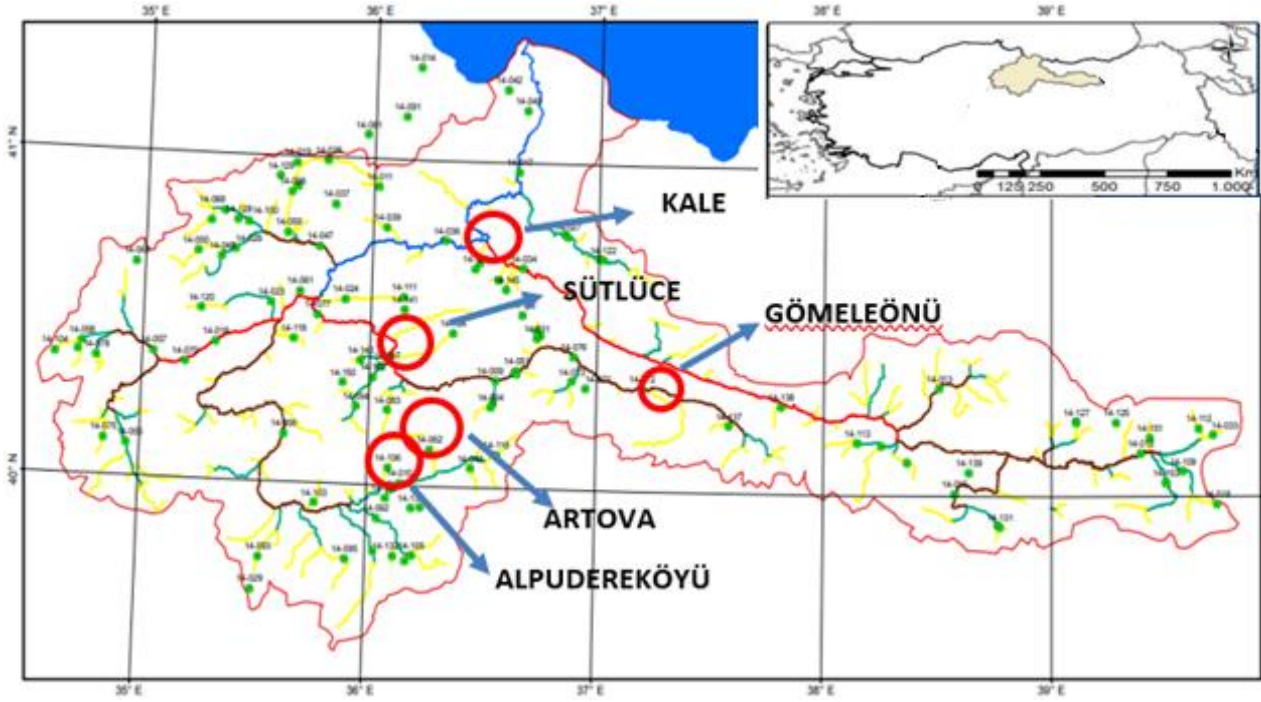
Hesaplanan z değeri α anlamlılık düzeyine karşılık gelen normal dağılımın $Z_{\alpha/2}$ değeri ile kıyaslanarak trend olup olmadığına karar verilir.

3. Çalışma Alanı

Çalışmada düşük akarsu akımlarının analizi için Devlet Su İşleri tarafından işletilen Yeşilirmak Havzası üzerinde bulunan E14A002, E14A014, E14A018, D14A106 ve D14A062 nolu Kale, Sütlüce, Gömeleönü, Artova ve Alpudereköyü istasyonları kullanılmıştır (Şekil 1). İlgili veriler Devlet Su İşleri Samsun 7. Bölge Müdürlüğünden alınmıştır. Kullanılan veriler Kale ve Sütlüce istasyonu için 1990-2020 yılları arası Gömeleönü, Artova ve Alpudereköyü istasyonları için 1985-2015 yılları arası olmak üzere yine 31 yıl üzerinden çalışılmıştır. Yeşilirmak Nehri, Sivas’ın kuzeyinde Köse dağı eteklerinden doğmakta ve çeşitli akarsularla birleşerek Samsun İli Çarşamba İlçesi’nde Cıva Burnu’ndan Karadeniz’e dökülmektedir. Yeşilirmak Nehri yaklaşık 519 km uzunluğu ile Türkiye’nin en uzun ikinci nehridir. Kale istasyonu Tokat ili Erbaa ilçesine 16 km uzaklıktaki Kale köyüne 500 m mesafededir. Sütlüce istasyonu Turhal-Amasya karayolunun 7 Km sinde Sütlüce köyünün önündedir. Gömeleönü istasyonu ise Tokat ili Almus ilçesinden 35 km mesafede bulunmaktadır. Alpudereköyü istasyonu Sulusaray ilçesine 5 km mesafedeki Alpudere köyünün 1.5 km mesafesindedir. Artova istasyonu ise Artova-Sarsı yolunun 1.km’sinde yer almaktadır. Bu istasyonlar seçilirken özellikle memba kısmında Baraj veya HES’lerden etkilenmemiş olmasına dikkat edilmiş olup mevcut verilerinde eksiklik olmayan istasyonların seçilmesine çalışılmıştır. Havzada çok sayıda istasyon yer almasına rağmen doğallığını koruyan ve seçilen zaman aralığında eksik verisi olmayan istasyon sayısı sınırlıdır. Kullanılan istasyonlara ait temel bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Kale istasyonu yağış alanı 33904 km² ile en yüksek değere sahip istasyondur. Yağış alan çok büyük olan istasyonlar yanında yağış alanı çok küçük istasyonlar da seçilerek hem ortalama akımı yüksek hem de ortalama akımı düşük olan istasyonlarda düşük akımlar incelenmiştir.

Tablo 1: İstasyonlara ait temel bilgiler

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (K)	Boylam (D)	Yağış Alanı (km ²)	Gözlem Süresi (yıl)	Ortalama yıllık akım (m ³ /s)	Standart sapma (m ³ /s)
E14A002	Kale	40°46'48"	36°30'45"	33904.0	1990-2020	130,99	15,37
E14A014	Sütlüce	40°26'3"	36°7'5"	5409.2	1990-2020	15,56	1,79
E14A018	Gömeleönü	40°18'42"	37°7'43"	1608.0	1985-2015	17,91	0,63
D14A062	Artova	36°15'0"	40°7'0"	21,5	1985-2015	0,10	0,01
D14A106	Alpudereköyü	36°5'0"	40°3'0"	70	1985-2015	0,36	0,01

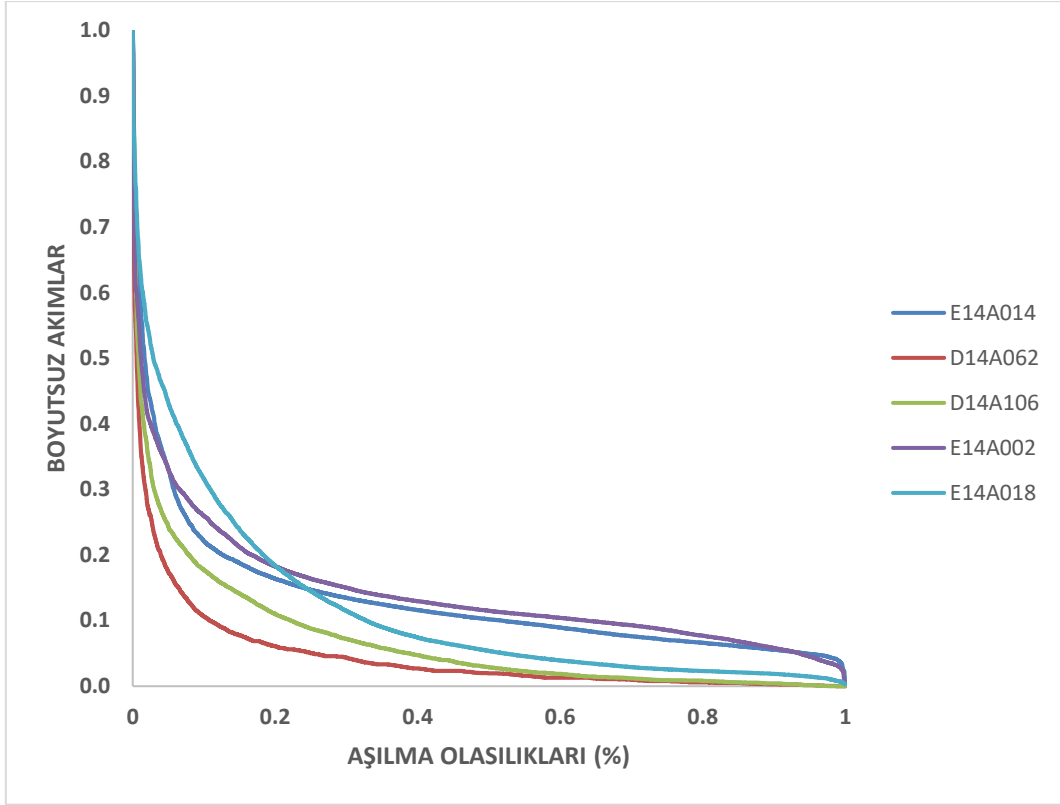


Şekil 1: Yeşilirmak havzasının haritada gösterimi ve kullanılan akım gözlem istasyonları

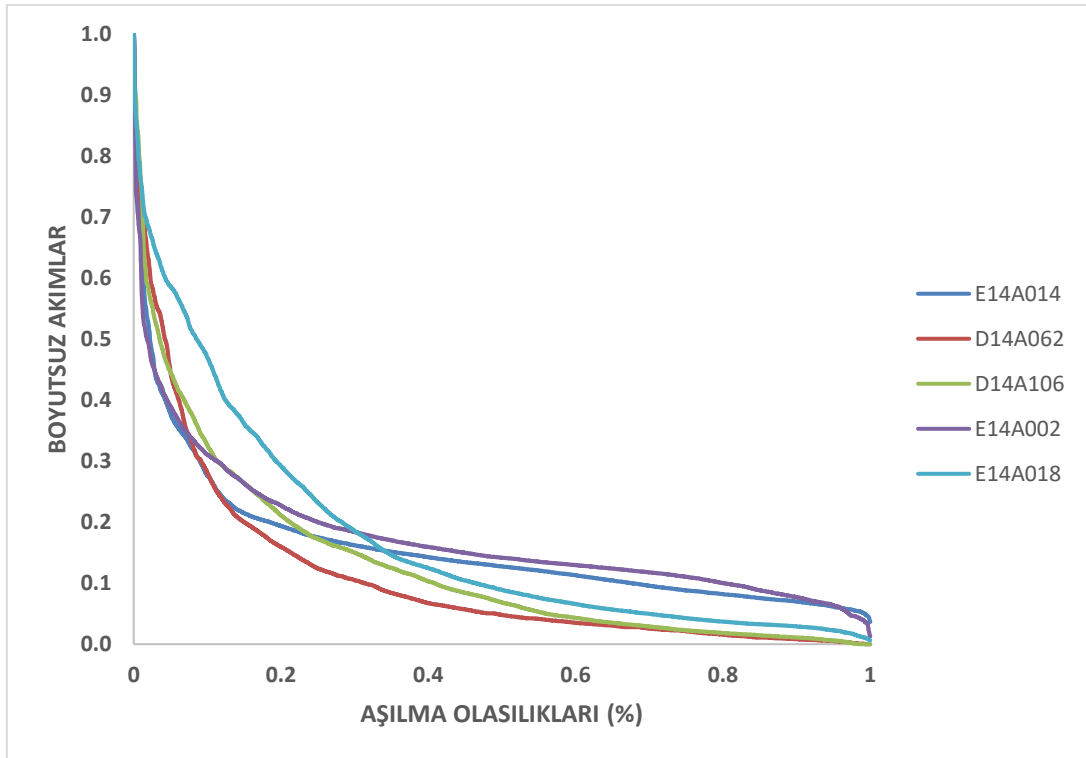
4. Bulgular

4.1. Düşük Akımların bulunması

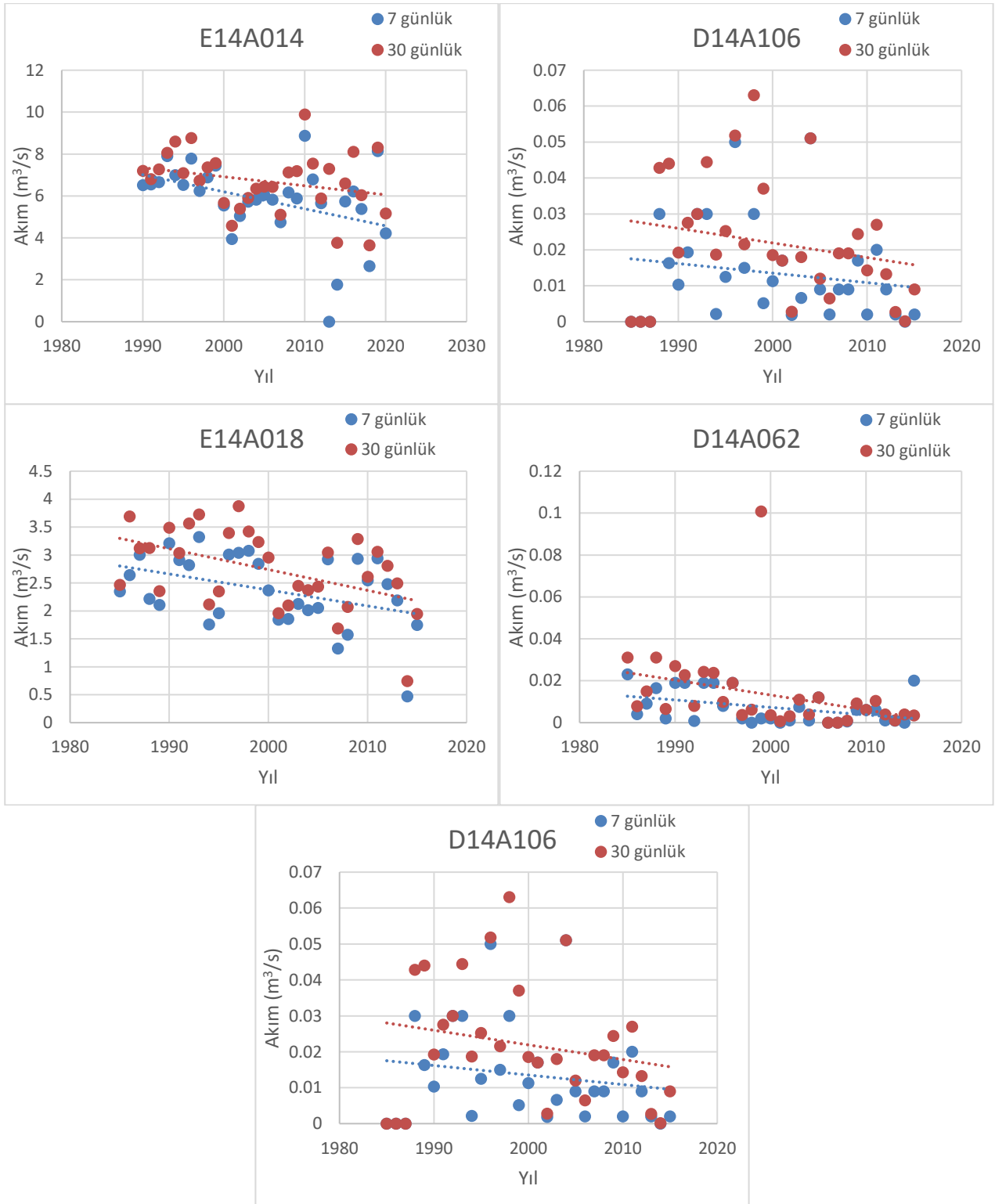
AGİ'lerde kaydedilmiş E14A014, E14A002, E14A018, D14A062 ve D14A106 no'lu Sütlüce, Kale, Gömeleönü, Artova ve Alpudereköyü istasyonlarına ait 31 yıllık günlük akım verileri kullanılarak 7 ve 30 günlük ortalama akımlar belirlenmiştir. Daha sonra debi süre grafikleri çıkartılmış ve bu grafikler yardımıyla akarsuların düşük akım göstergesi kabul edilen Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} debileri okunarak akarsuların düşük akım debileri belirlenmiştir. İstasyonlara ait 7 ve 30 günlük düşük akımlar için boyutsuz debi süre grafikleri Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Boyutsuz debi süreklilik grafikleri düşey ekseninde debilerin maksimum debiye bölünmesi ile elde edilmiştir. Bu grafiklerden okunan Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} debi değerleri ise Tablo-2 ve Tablo-3'de verilmiştir. Buna göre E14A014 Sütlüce istasyonunda 7 günlük akımlar için Q_{90} değeri 6,65 m³/s, Q_{95} değeri 5,88 m³/s ve Q_{99} değeri 4,71 m³/s dir. Bunun anlamı Sütlüce istasyonunda tüm zamanlardaki 7 günlük akımların yüzde 99'u 4,716 m³/s debisinin üzerindedir. Artova ve Alpudereköyü istasyonlarında akımların oldukça düşük olduğundan dolayı 7 günlük Q_{99} debilerinin sıfır olduğu görülmektedir (Tablo 2). Ayrıca tüm istasyonlar için 7 ve 30 günlük düşük akımların yıllara göre değişimleri Şekil 4'de gösterilmektedir. Şekil 4'de doğrusal eğilim çizgileri tüm istasyonlarda düşük akımların azalma yönünde olduğunu göstermektedir.



Şekil 2: 7 günlük düşük akımlar için boyutsuz debi süreklilik grafikleri



Şekil 3: 30 günlük düşük akımlar için boyutsuz debi süreklilik grafikleri



Şekil 4: İstasyonlara ait 7 günlük ve 30 günlük düşük akım debilerinin yıllara göre değişimi (kesikli çizgi doğrusal eğilimleri göstermektedir)

Tablo 2: 7-günlük debi süreklilik çizgilerinden elde edilen Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} akım değerler (m^3/s)

İSTASYON NO	Q_{90}	Q_{95}	Q_{99}
E14A014	6,65	5,88	4,71
E14A002	54,11	42,05	28,64
E14A018	2,96	2,31	1,22
D14A062	0,007	0,004	0
D14A106	0,02	0,009	0

Tablo 3: 30-günlük debi süreklilik çizgilerinden elde edilen Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} akım değerler (m^3/s)

İSTASYON NO	Q_{90}	Q_{95}	Q_{99}
E14A014	6,99	6,12	5,15
E14A002	59,95	49,46	31,09
E14A018	3,30	2,57	1,28
D14A062	0,01	0,01	0,001
D14A106	0,03	0,01	0

4.2. Düşük akım dağılımlarının uygunluk testi

Momentler yardımıyla dağılımların parametreleri Bölüm 2 de verilen formüller kullanılarak bulunmuştur. Dağılımların uygunluğunu test etmek için Kolmogorov-Smirnov testinden faydalanılmıştır. Dağılımlarda tüm istasyon için parametreler kullanılarak $F(x)$ fonksiyonu hesaplanıp maksimum değerleri bulunmuştur. O istasyona karşılık gelen Δ 'nın $\alpha=0,05$ ve $\alpha=0,1$ anlamlılık düzeyi için kritik değerinden küçük olup olmadığına bakılarak karşılaştırma yapılmıştır. Eğer $\Delta < \Delta_c$ ise o dağılım istasyon verilerine uygun olduğu seçilen α değerinde kabul edilir. Hem 7 hem de 30 günlük düşük akım verileri için uygunluk testleri yapılmıştır. Olasılık dağılım fonksiyonlarının belirlenmesinde sıfır akımlar çıkarıldıktan sonra gözlem süresi en az 10 yıl olan düşük akım değerleri kullanılmıştır. Buna göre E14A002 istasyonu için bütün dağılımlar hem 0,05 hem de 0,1 anlamlılık düzeyinde uygun çıktığı görülmüş olup bütün dağılımlar için en uygun istasyon olduğu tespit edilmiştir. D14A106 istasyonu için Normal ve Gumbel dağılımlarında ve E14A018 istasyonu için ise Normal dağılımda her iki anlam düzeyinde test kabul edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4: Kullanılan istasyonlara ait veriler için %90 ve %95 güven düzeyi için uygunluk testi sonuçları

İstasyon No	Dağılım Tipi	Δ_{max}	7 günlük		30 günlük	
			90%	95%	90%	95%
E14A002	Normal Dağılım	0,115	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
	Log Normal Dağılım	0,114	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
	Gumbel Dağılım	0,069	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
E14A014	Normal Dağılım	0,154	Ret	Kabul	Ret	Kabul
	Log Normal Dağılım	0,234	Ret	Ret	Ret	Ret
	Gumbel Dağılım	0,221	Ret	Ret	Ret	Ret
E14A018	Normal Dağılım	0,113	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
	Log Normal Dağılım	0,147	Ret	Kabul	Ret	Kabul
	Gumbel Dağılım	0,152	Ret	Kabul	Ret	Kabul
D14A062	Normal Dağılım	0,236	Ret	Ret	Ret	Ret
	Log Normal Dağılım	0,217	Ret	Ret	Kabul	Kabul
	Gumbel Dağılım	0,226	Ret	Ret	Ret	Ret
D14A106	Normal Dağılım	0,145	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
	Log Normal Dağılım	0,196	Ret	Ret	Ret	Kabul
	Gumbel Dağılım	0,100	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul

4.3 Farklı Olasılık Dağılımlarıyla Çeşitli Dönüş Aralıklarında Düşük Akım Debilerinin Bulunması

Bölüm 2’de verilen formüller kullanılarak ve Bölüm 4.2. deki uygunluk testi sonuçlarına göre 7 ve 30 günlük minimum debilere çeşitli olasılık dağılımları uygulanmıştır. Bölüm 4.2. de her istasyon için 0,05 anlamlılık seviyelerine göre KABUL veren dağılımlar için düşük akımlar bulunmuştur.

Kuruyan akarsularda düşük akımlar için toplam olasılık yasasına göre sıfır akımların oranı hesaba katılarak düşük akımlar belirlenmiştir. Denklem 4 ile verilen koşulu sağlamayan dönüş aralıkları için düşük akımlar sıfır olarak alınmıştır. Kullanılan dağılımlar 2 parametrelili Normal, Lognormal ve Gumbel dağılımıdır. D14A062 no'lu istasyon için tüm dağılımlar RET verdiği için düşük akımlar bulunmamıştır. Bu olasılık dağılımların yardımıyla 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıklarında 7 günlük ve 30 günlük minimum debiler tahmin edilmiştir (Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7). Bu değerlere bakıldığında en küçük debi değerlerinin genel olarak Lognormal dağılımında elde edildiği görülmüştür. Ancak 100 yıl dönüş aralığı için Normal dağılım daha düşük debiler göstermiştir. Sıfır akımların hesaba katılması ile D14A062 Artova ve D14A106 Alpudereköyü istasyonlarında 50 yıl ve 100 yıl dönüş aralıklarında düşük akımlar sıfır olarak kabul edilmiştir. 25 yıllık dönüş aralığı için E14A002 istasyonunda 7 günlük düşük akım normal dağılım için 14,4 m³/s, Lognormal dağılım için 16,16 m³/s ve Gumbel dağılımı için 17,89 m³/s akım değerleri bulunmuştur. Bu değerler debi süreklilik eğrisinde zamanın yüzde 99 unda görülen en küçük debi (28,69 m³/s) değerinden çok daha düşüktür.

Tablo 5: Normal dağılıma göre hesaplanmış çeşitli dönüş aralıkları için 7 ve 30 günlük düşük akım değerleri (m³/s)

Tekerrür Periyodu	Normal Dağılım									
	E14A014		E14A002		E14A018		D14A062		D14A106	
	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün
Q₂	5.79	6.70	41.38	57.83	2.37	2.74	-	0.01	0.01	0.02
Q₅	4.28	6.05	28.47	50.76	1.84	2.40	-	0	0.002	0.01
Q₁₀	3.49	5.71	21.71	47.06	1.56	2.23	-	0	0.001	0.01
Q₂₅	2.64	5.35	14.49	43.11	1.26	2.04	-	0	0.001	0.006
Q₅₀	2.10	5.12	9.88	40.58	1.07	1.92	-	0	0	0
Q₁₀₀	0	0	5.58	38.22	0.90	1.81	-	0	0	0

Tablo 6: Lognormal dağılıma göre hesaplanmış çeşitli dönüş aralıkları için 7 ve 30 günlük düşük akım değerleri (m³/s)

Tekerrür Periyodu	Lognormal Dağılım									
	E14A014		E14A002		E14A018		D14A062		D14A106	
	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün
Q₂	-	-	37.74	53.18	2.25	2.62	-	0,01	-	0,008
Q₅	-	-	25.12	46.12	1.65	2.31	-	0,004	-	0,003
Q₁₀	-	-	20.30	42.81	1.40	2.16	-	0,003	-	0,002
Q₂₅	-	-	16.16	39.53	1.18	2.02	-	0,002	-	0,001
Q₅₀	-	-	13.98	37.57	1.06	1.93	-	0	-	0
Q₁₀₀	-	-	12.20	35.83	0.95	1.85	-	0	-	0

Tablo 7: Gumbel dağılıma göre hesaplanmış çeşitli dönüş aralıkları için 7 ve 30 günlük düşük akım değerleri (m³/s)

Tekerrür Periyodu	Gumbel Dağılımı									
	E14A014		E14A002		E14A018		D14A062		D14A106	
	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün	7gün	30gün
Q₂	-	-	28.94	56.53	1.86	2.67	-	-	0.011	0.021
Q₅	-	-	27.43	50.20	1.80	2.37	-	-	0.001	0.014
Q₁₀	-	-	22.50	47.49	1.59	2.25	-	-	0.001	0.011
Q₂₅	-	-	17.89	44.97	1.40	2.13	-	-	0.001	0.008
Q₅₀	-	-	15.21	43.52	1.29	2.06	-	-	0	0
Q₁₀₀	-	-	12.86	42.27	1.20	2.00	-	-	0	0

4.4. Trend Analizi Sonuçları

Bu bölümde 7 ve 30 günlük yıllık minimum akımların Mann-Kendall ve Spearman'ın Rho trend analizleri %95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan trend analizi sonucunda 7 ve 30 günlük akımların tamamında azalan eğim bulunmuştur. İki test yöntemi de benzer sonuçlar vermiştir. 7 günlük düşük akımlarda Mann Kendall testine göre E14A014 Söğüt istasyonu için $z=-2,38$ ve D14A062 Artova istasyonu için $z=-2,35$ elde edilerek istatistiksel olarak önemli azalan trend belirlenmiştir (Tablo 8). Spearman Rho testinde ise Mann-Kendall testine göre farklı olarak E14A018 Gömeleönü istasyonunda da istatistiksel olarak önemli azalan trend belirlenmiştir ($z=-1,98$).

30 günlük minimum akımlara ait trend analizi sonucunda ise E14A018 Gömeleönü ve D14A062 Artova istasyonu için istatistiksel olarak önemli azalma trendi belirlenmiştir (Tablo 9). Ayrıca, Şekil 4'deki doğrusal eğilim çizgileri de tüm istasyonlarda düşük akımların azalma yönünde olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar havzada düşük akımlarda azalma olduğunu net şekilde ortaya koymaktadır.

Tablo 8: İstasyonlara ait 7 günlük minimum akımların Trend analizi sonuçları ($Z_{kritik}, \alpha = 0,05 = \pm 1,96$)

İstasyon No	İstasyon Adı	Ölçüm Aralığı	Mann-Kendall testi			Spearman'ın Rho testi	
			S	Z	Trend	z	Trend
E14A014	Sütlüce	1990-2020	-141	-2,38	Azalan trend	-2,49	Azalan trend
E14A002	Kale	1990-2020	-86	-1,44	Trend yok	-1,62	Trend yok
E14A018	Gömeleönü	1985-2015	-111	-1,87	Trend yok	-1,98	Azalan trend
D14A062	Artova	1985-2015	-139	-2,35	Azalan trend	-2,07	Azalan trend
D14A106	Alpudereköyü	1985-2015	-54	-0,90	Trend yok	-0,61	Trend yok

Tablo 9: İstasyonlara ait 30 günlük minimum akımların Trend analizi sonuçları ($Z_{kritik}, \alpha = 0,05 = \pm 1,96$)

İstasyon No	İstasyon Adı	Ölçüm Aralığı	Mann-Kendall testi			Spearman'ın Rho testi	
			S	Z	Trend	z	Trend
E14A014	Sütlüce	1990-2020	-75	-1,26	Trend yok	-1,45	Trend yok
E14A002	Kale	1990-2020	-70	-1,17	Trend yok	-1,14	Trend yok
E14A018	Gömeleönü	1985-2015	-143	-2,41	Azalan trend	-2,47	Azalan trend
D14A062	Artova	1985-2015	-196	-3,31	Azalan trend	-3,27	Azalan trend
D14A106	Alpudereköyü	1985-2015	57	-0,95	Trend yok	-1,14	Trend yok

5. Sonuçlar ve Öneriler

Ülkemizde akarsularımızın çoğunda yaz aylarında yağış azlığı veya insan faktörleri gibi sonuçlar neticesinde kurumuştur. Artan kirlilikle birlikte kullanılabilir su miktarı da azalarak tehlikeye girmektedir. Bu sebeplerden dolayı akarsulardaki su kalitesini artırmak ve gerekli suyu çekebilmek için düşük akım çalışmaları yapılmalıdır.

Bu çalışmada hem gözlenmiş değerlerden elde edilen debi süreklilik denklemleri hem de istatistiksel dağılımlardan faydalanılarak düşük akım değerleri elde edilmiştir. Yeşilirmak Havzası'nda Sütlüce, Kale, Gömeleönü, Artova ve Alpudereköyü istasyonları için 7 ve 30 günlük düşük akımlarının hidrolojik analizleri yapılarak zamanın yüzde 90, 95 ve 99 undan az görülebilecek kritik kuraklık debileri bulunmuştur. Ayrıca düşük akımlar için olasılık dağılımlarından Normal, Lognormal ve Gumbel dağılımları kullanılarak çeşitli dönüş aralıklarında düşük akım tahminleri yapılmış ve uygunluk testleri ile hangi dağılımın uygun olduğu kontrol edilmiştir. Ortalama akımı yüksek olan istasyonlar yanında ortalama akımı düşük olan istasyonlarda analiz edilmiştir. Kuruyan akarsulardaki sıfır akımlarda hesaba katılarak olasılık dağılımları Toplam olasılık yasasına göre belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre genel olarak Lognormal dağılımın daha düşük debiler verdiği ancak uzun dönem (100 yıl) için Normal dağılımın düşük değerler verdiği görülmüştür. İstasyonların verilerinin dağılım uygunluk testine göre %95 anlam düzeyi için genel olarak Normal dağılıma uyduğu görülmüştür. Önceki çalışmalarda ise Özen (2001) Türkiye'deki 11 akarsuyu kullanmış ve bunlara Lognormal, Weibull ve Üstel dağılımları uygulamış olup, 11 istasyonun 2 tanesinde Lognormal dağılımın, 7 tanesinde Weibull dağılımı ve 2 tanesinde de Üstel dağılımın uygun olduğunu görmüştür. Yine Aksoy vd (2018) ise çoğunlukla 3 parametrelili Lognormal ve Weibull dağılımının uygun olduğunu bulmuşlardır. Buna göre Lognormal dağılımın düşük akımları temsil etmekte uygun olduğu düşünülebilir.

Çalışmada 7 ve 30 günlük minimum debilerin trend analizi yapılmıştır. Mann-Kendall testine göre 7 günlük minimum akımlar için Sütlüce ve Artova istasyonunda ve 30 günlük minimum akımlar için Gömeleönü ve Artova istasyonunda istatistiksel önemli azalan trend belirlenmiştir. Spearman'ın Rho testide benzer sonuçlar vermekle birlikte farklı olarak 7 günlük düşük akımlar için Gömeleönü istasyonunda da azalan trend belirlenmiştir. Ayrıca genel olarak tüm istasyonlarda negatif z değeri belirlenmiştir. Buna göre Yeşilirmak havzasındaki minimum akımlarda zaman içinde azalma görülmüştür. Bu azalmanın etkisiyle akarsularda özellikle yaz aylarında kurumalar beklenebilir. Bu çalışmada olasılık dağılımları ile yüksek periyotlarda beklenen en düşük akımlar belirlenmiş sonrada trend analizi ile düşük akımların zamansal değişimi belirlenerek gelecekte beklenen düşük akımların daha da azalmasının öngörülebileceği ortaya konmuştur. Bu sonuçlar özellikle su kaynaklarının planlanması ve kuraklığa karşı önlemler alınması açısından faydalı olabilecektir. Düşük akımlarda yağışın etkisi, türünün ve şiddetinin değişmesi, miktarının azalması gibi faktörler etkilidir. Düşük akımlar akarsuda daha çok kurak yaz dönemlerinde kendini gösterir.

Kurak dönemler ise toprak nemi, yer altı suyu ve baraj işletmesi açısından önemlidir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında ileride havzada kuraklıkla ilgili sorunlar yaşanma ihtimali görülmektedir. Gelecekte akarsulardaki hidrolojik çalışmalara önem verilerek, suyu etkin kullanmak ve önlemler almak için çalışmalara başlanmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan verilerin temininde gösterdiği kolaylık nedeniyle DSİ Genel Müdürlüğüne ve Samsun 7.Bölge Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Aksoy, H., Eriş, E., Önöz, B., Çetin, M., Yüce, M. İ., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. İ., Eşit, M., Yıldırım, İ., & Karakuş, E. Ü. (2018). Düşük akımların frekans analizi ve çevresel akış ile ilişkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 9(1), 503–514.
- Aksoy, H., Eriş, E., Önöz, B., Çetin, M., Yüce, M.İ., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H.İ., Eşit, M., Yıldırım, İ., & Karakuş, E.Ü. (2017, 4–6 Ekim). *Kuruyan akarsularda düşük akımların frekans analizi* [Bildiri sunumu]. IX. Ulusal Hidroloji Kongresi, Diyarbakır, Türkiye.
- Bayazıt, M., & Oğuz, B. (1994). *Mühendisler için istatistik*. Birsan Yayınevi.
- Crocker, K. M., Young, A. R., Zaidman, M. D., & Rees, H. G. (2003). Flow duration curve estimation in ephemeral catchments in Portugal. *Hydrological Science Journal*, 48(3), 427–439. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.3.427.45287>
- Demir, V. (2020). *Samsun Mert Havzasında bir ve iki boyutlu modeller ile taşkın alanlarının belirlenmesi* [Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Demir, V., & Tona, U. A. (2021). Debi-süreklilik eğrisi yardımıyla taban akımının hesaplanması: Samsun Kürtün Irmağı örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 24, 502–507. <https://doi.org/10.31590/ejosat.916024>
- Dracup, J. A., Lee K. S., & Paulson, E. G. (1980). On the definition of droughts. *Water Resources Research*, 16(2), 297–302. <https://doi.org/10.1029/WR016i002p00297>
- Durak, S. (2000). *Düşük akım hidrolojisi ve Ege Bölgesi uygulaması* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- İçağa, Y. (1994). *Analysis of trends in water quality using nonparametric methods*. [Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Gumbell, E. J. (1958). *Statistics of extremes*. Columbia University Press.
- Keskin, A., & Demir, V. (2022). Yeterince akım ölçümü olmayan nehirlerde taşkın debisinin hesaplanması ve taşkın modellemesi (Samsun, Mert Irmağı örneği). *Geomatik*, 7(2), 149–162. <https://doi.org/10.29128/geomatik.918502>
- Kapluhan, E. (2013). Türkiye’de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 27, 487–510.
- Mahnafar, F. (2012). *İran’ın karun üst havzasındaki düşük akımların analizi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Matalas, N. C. (1963). *Probability distributions of low flows* (Professional Paper 434-A). United States Government Printing Office. <https://pubs.usgs.gov/pp/0434a/report.pdf>
- Önöz, B., & Bulu, A. (1996). Trakya Bölgesinde Düşük Akımların Frekans Analizi. *İ.M.O Teknik Dergi*, 7, 1243–1254.
- Özen, B. (2001). *Türkiye’deki nehirlerin düşük akımlarına en uygun olasılık dağılım fonksiyonlarının araştırılması* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Saka, F., & Yüksek, Ö. (2017). Regionalisation of discharges having certain exceedance probabilities and Eastern Black Sea Basin sample. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 335–342. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.322154>
- Sarış, F. (2016). Porsuk çayı havzasında düşük akım analizi. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 33, 73–81.
- Sırdaş, S. (2002). *Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması* [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Şen, Z. (2009). *Taşkın afet ve modern hesaplama yöntemleri*. Su Vakfı Yayınları.
- Yagbasan, O., Demir, V., & Yazıcıgil, H. (2020). Trend analyses of meteorological variables and lake levels for two shallow lakes in central Turkey. *Water*, 12(2), Article 414. <https://doi.org/10.3390/w12020414>
- Yıldırımlar, O. (2012). *Fırat Havzası’nda düşük akımların analizi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Yu, Y. S., Zou, S., & Whittemore, D. (1993). Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150(1), 61–80. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90156-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90156-4)
- Zaman, G. T. (2016). *Doğu Karadeniz Havzasında debi süreklilik eğrileri yardımıyla brüt hidroelektrik potansiyel tahmini ve türbin seçimi* [Yüksek lisans tezi, Gümüşhane Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>

İstanbul İçin Sıcak ve Soğuk Sezon Orajlarının Analizi

Muhammed Başpınar¹ , Veli Yavuz^{1*}

¹Samsun Üniversitesi, Özdemir Bayraktar Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55420, Samsun.

Özet

Oraj (TS), atmosferik kararsızlık sonucu dikey gelişimli Cumulonimbus (Cb) bulutlarında oluşan, 1 - 100 km mekânsal çözünürlüğe (mezo-ölçek) sahip, kuvvetli sağanak yağış, dolu, şimşek, yıldırım, hortum, türbülans ve rüzgar hamlesi ile karakterize edilen şiddetli hava fenomenidir. Nemli ve kararsız hava kütlelerinin yükselip yoğunlaşması sonucu meydana gelen bu fenomen, ülkemizde genellikle ilkbahar ve yaz başlarında meydana gelmektedir. Fakat son yıllarda, yaz ortalarında, sonbahar başlarında ve hatta kış aylarında da bu hadiseler sık yaşanır hale gelmiştir. Bu çalışmada, İstanbul için 2013-2022 yıllarını kapsayan 10 yıllık periyot dahilinde, sıcak sezon (Mayıs-Eylül) ve soğuk sezon (Ekim-Nisan) orajlarının karakteristikleri incelenmiş ve meydana geldiği atmosferik koşullar ortaya konulmuştur. Çalışmada orajlı zamanların tespiti için Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı havacılık rasatları kullanılmış, yukarı seviye atmosferik parametrelere ait verilerin temini için İstanbul Kartal Radyosonde İstasyonu verileri analiz edilmiştir. Her iki dönem için de orajların tekil ya da herhangi bir hadise ile birlikte meydana gelip gelmediği incelenmiş ve istatistikleri ortaya konulmuştur. Periyot dahilinde orajların gün içi, aylık ve yıllık bazda analizleri gerçekleştirilmiş, sıcak ve soğuk sezon için ayrı ayrı meteorolojik parametrelerde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak sunulmuştur. Sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, rüzgar şiddeti, rüzgar yönü ve bağıl nem gibi meteorolojik parametreler hem sıcak hem de soğuk sezon orajları için istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, toplamda sekiz adet termodinamik indeks ve atmosferik kararlılık parametresi kullanılarak, sıcak ve soğuk sezon orajlarının her bir indeksi ve parametredeki ortalama değişimleri incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler

Fırtına, Oraj, Şimşek, Dolu, Şiddetli Yağış, İstanbul

Analysis of Warm and Cold Season Thunderstorms for Istanbul

Abstract

A thunderstorm (TS) is a severe weather phenomenon characterized by intense showers, hail, lightning, thunder, tornadoes, turbulence, and gusty winds. It occurs in vertically developed Cumulonimbus (Cb) clouds due to atmospheric instability and has a spatial resolution (meso-scale) of 1 - 100 km. This phenomenon occurs mainly in spring and early summer in our country due to the uplift and condensation of moist and unstable air masses. However, in recent years, these events have become more frequent during mid-summer, early autumn, and even winter months. In this study, the characteristics of TS events in Istanbul, covering the period from 2013 to 2022, including the warm season (May-September) and the cold season (October-April), were examined, and the atmospheric conditions under which they occur were identified. Aviation observations from Sabiha Gökçen International Airport were used to determine the occurrence of TS events, and data from Istanbul Kartal Radiosonde Station were analyzed to obtain upper-level atmospheric parameters. The occurrence of individual TS events or their association with other phenomena was investigated, and the statistics were presented. The daily, monthly, and yearly analyses of TS events during the period were conducted, and the changes in meteorological parameters for both the warm and cold seasons were statistically presented. Meteorological parameters such as temperature, dew point temperature, wind speed, wind direction, and relative humidity were analyzed for both warm and cold season TS events. Additionally, the average changes in each thermodynamic index and atmospheric stability parameter for hot and cold season oraj events were examined using a total of eight indices and parameters.

Keywords

Storm, Thunderstorm, Lightning, Hail, Heavy Precipitation, Istanbul

1. Giriş

Oraj (TS), kararsız atmosfer koşullarında dikey gelişimli kümüliform bulut tipiyle ortaya çıkan, mezo-ölçek mekânsal çözünürlüğe sahip, kuvvetli yağışlarla ve buna bağlı dolu, şimşek, hortum ve rüzgar hamlesi gibi fenomenlerle birlikte ortaya çıkan bir atmosferik hadisedir. Aynı zamanda, oraj, insan hayatını tehlike altına alan, başta havacılık sektörü olmak üzere, tarım ve altyapı dahil birçok sektörde ciddi hasarlara ve olumsuz etkilere yol açabilen en yıkıcı meteorolojik hadiselerden biridir. Atmosferik kararsızlık sonucu dikey gelişimli Cumulonimbus (Cb) bulutlarında oluşan, 1 - 100 km mekânsal ölçeğe (mezo-ölçek) sahip; kuvvetli sağanak yağış, dolu, şimşek, yıldırım, hortum, türbülans ve rüzgar hamlesi ile karakterize edilir (Yavuz vd., 2020).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (362) 3130055 Faks: +90 (362) 3130200

E-posta: muhammedbspnr@gmail.com (Başpınar M), veli.yavuz@samsun.edu.tr (Yavuz V)

Gönderim Tarihi / Received : 24/07/2023

Kabul Tarihi / Accepted : 16/10/2023

Dünya çapında orajlar meteorolojik bir fenomendir ve her yıl 16 milyon oraj olduğu ve herhangi bir anda kabaca 2.000 orajın devam ettiği tahmin edilmektedir. Yalnızca ABD'de her yıl yaklaşık 100.000 oraj vardır. Bunların yaklaşık %10'u ciddi seviyelere ulaşmaktadır (UCAR, 2023). Öte yandan 27 Temmuz 2017 tarihinde akşam saatlerine doğru İstanbul'u vuran süper hücre felakete yol almıştır. 8+ cm büyüklüğünde dolu ve 40 m/s'ye varan rüzgar hamlesi kaydedilmiş, 3 yaralı, 311 ağaç, 2 minare, 4 vinç devrilmesi, 162 çatı uçması rapor edilmiş, binlerce araç ve bina hasar görmüştür (Kahraman, 2017).

Akram vd. (2022), Bangladeş'te 1981-2020 yılları arasında ortalama orajlı günlerin aylık, mevsimsel, yıllık uzun vadeli eğilimini belirlemek için Mann-Kendall testi ve Sen'in eğim tahminini kullanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Mayıs ayı, Bangladeş'te en yüksek orajlı gün sayısına sahip ay olurken bunu Haziran ve Eylül ayları takip etmiştir. Orajlı günlerin mekansal dağılımı, ülkenin kuzeydoğusundan orta batısına doğru bir eğilim göstermektedir. En yüksek orajlı gün sayıları kuzeydoğu bölgesinde yoğunlaşmıştır. Yıllık ve mevsimsel analizler, kış mevsimi hariç orajlı günlerde önemli bir artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Aylık trend analizinde ise sadece Mayıs, Haziran ve Ekim aylarında orajlı günlerde artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir.

Sharma vd. (2022), 2016-2020 yılları arasında Hint bölgesindeki tropikal konveksiyonun günlük döngüsünü, Hindistan genelindeki yerel gözlem istasyonlarının oraj raporlarına dayanarak analiz etmiştir. Gözlem verileri, orajların genellikle öğleden sonra ve akşam saatlerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu, güneşin etkisiyle atmosferin ısındığı ve termodinamik koşulların uygun hale geldiği zaman dilimine işaret etmektedir. Günlük döngünün bölgesel farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Örneğin, Batı Hindistan'da orajlar genellikle öğleden sonra ve akşam saatlerinde yoğunken, Kuzeydoğu Hindistan'da sabah erken saatlerinde ve öğleden önce daha yaygın olmuştur.

Ma vd. (2021) yaptıkları çalışmada, 2011-2018 yıllarının sıcak sezonları (Mayıs-Eylül) için Kuzey Çin üzerinden alınan atmosferik sondajları kullanarak, şiddetli orajlar, şiddetli olmayan orajlar ve yağmursuz günlerle ilişkili ortamları analiz etmiş ve konvektif tehlikeye neden olan dört adet şiddetli oraj ortamını araştırmıştır. Bunlar; yalnızca dolu, yalnızca şiddetli oraj rüzgarları, yalnızca kısa süreli yoğun yağış ve bunlardan iki veya üç türü (hibrit) ortamlarıdır. Şiddetli orajın olmadığı ve yağmurun olmadığı günlerin ortamları ile her bir hava kategorisindeki yağ ve ova gruplarına ayrılarak yapılan karşılaştırma sonucu; ovaların üzerindeki ortamların, dağların üzerindeki ortamlara göre daha güçlü kararsızlık, daha fazla nem ve daha yüksek dikey rüzgar kayması ile karakterize edildiğini göstermektedir. Hem dağlarda hem de ovalarda, yağışa dönüşebilir su, çeşitli kategoriler arasında ayırım yapma konusunda genel olarak en büyük beceriyi göstermiştir. Kararsızlık parametreleri, şiddetli oraj, şiddetli olmayan oraj ve yağmursuz oraj kategorileri arasında ayırım yapma konusunda önemli bir başarı gösterirken, dört oraj kategorisi arasında ayırım yapma konusunda oldukça sınırlı bir başarı göstermiştir. Rüzgar kayması parametreleri, çeşitli kategoriler arasında ayırım yapma konusunda çok sınırlı başarı göstermektedir. Yükselme ile yoğunlaşma seviyesi, yağmur yağmayan ve kısa süreli yoğun yağış ortamlarını diğer kategorilerden iyi bir şekilde ayırmakta ve troposfer ortası eşdeğer potansiyel sıcaklık, burada incelenen dolu ve şiddetli oraj rüzgarı ortamları arasında ayırım yapmada fayda gösteren tek parametre olmuştur.

Bunkers ve Hjelmfelt (2021) yaptıkları çalışmada aşağı patlama (downburst) ve aşağı savurucu yıkım (blowdown) olaylarıyla ilgili bilgiler sunulmuştur. Aşağı akımların (downdraft) konvektif fırtınalar tarafından tetiklendiği ve farklı ölçeklerde meydana gelebileceği, mikro patlamalardan (microburst) derecholar kadar değişen büyüklüklerde etkili olabileceği, genellikle rüzgarlar ve bitki zararları açısından homojen olmadığı belirtilmiştir. Uydu teknolojilerindeki ilerlemelerin, bu tür olayları daha iyi tespit etme imkanı sunduğundan bahsedilmiştir. Aşağı patlamaların (downburst) yağış süreçleriyle ilişkili olduğu; organize fırtına hattı, yay eko ve süper hücreler gibi konvektif sistemlerin bu olayları tetikleyebileceği ifade edilmektedir. İklim değişikliğinin bu olayların dağılımını etkileyebileceği ve gelecekte şiddetli orajlar için elverişli çevrelerin artabileceği konusunda bazı araştırmaların bulunduğu da vurgulanmaktadır.

Kahraman vd. (2020), RCP8.5 senaryosuna dayalı olarak yaptıkları Med-CORTEX bölgesel iklim modeli simülasyonları ile 21. yüzyıl boyunca şiddetli oraj ortamlarının Avrupa-Akdeniz alanı için değişimini sunmuşlardır. Yüzyılın sonuna kadar Akdeniz kıyılarının daha yüksek sıklıkta şiddetli oraj ortamları yaşayacağı ve Batı Avrupa'da azalacağı tahmin edilmektedir. Akdeniz'deki artış çoğunlukla termodinamik koşulları güçlendiren ısınan deniz yüzeyi ile ilişkilidir. Sıcak sezonda subtropikal kuşağın Avrupa üzerinden kuzeye doğru genişlemesi, şiddetli oraj ortamlarının olduğu gün sayısını azaltan etken olmaktadır.

Mohr vd. (2019) tarafından 2001-2014 yılları arasındaki şimşek verileri, orajlı günleri belirlemek için kullanılmış ve atmosferik engelleme olayları ERA-Interim Re-analizinden verilerinden nesnel bir tanımlama algoritması kullanılarak çıkarılmıştır. Doğu Kuzey Atlantik ve Kuzey Avrupa üzerinde bulunan atmosferik engellemeler ile Batı ve Orta Avrupa'da sıcak mevsimdeki oraj faaliyeti arasında istatistiksel olarak anlamlı bir bağlantı sunulmaktadır. Doğu Kuzey Atlantik üzerindeki bir atmosferik engellemenin antisiklonik sirkülasyonu, durağan ve kuru hava kütlelerinin Avrupa'ya taşınmasına ve genellikle konveksiyonu önleyen koşulların oluşmasına neden olmuştur. Baltık Denizi üzerindeki bir atmosferik engellemenin batı cephesindeki adveksiyon süreci, sıcak, nemli ve kararsız hava kütlelerinin Batı ve Orta Avrupa'ya taşınmasına ve konveksiyonu tetikleyen koşulların oluşmasına yol açmıştır. Her iki atmosferik engelleme durumu da orta-troposfer seviyelerinde zayıf rüzgar hızları ve zayıf rüzgar kayması kuvveti ile ilişkili olmuştur.

Bu çalışmada, İstanbul'daki Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı tarafından yayınlanan rutin Meteorolojik Meydan Raporları (METAR - Meteorological Aerodrome Report) ve Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü Kartal Radyosonde (atmosferik sondaj) verileri kullanılarak 2013-2022 yılları için oraj hadiseleri incelenmiştir. Bu bağlamda, Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı'nda orajların zamansal analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılarak, hadiselerin meydana geldiği atmosferik koşullar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmanın özgün değeri, mega şehir İstanbul için ilk kez oraj hadiselerinin sıcak ve soğuk sezondaki karakteristiklerinin uzun yıllar ortaya konulmasıdır. Çalışmanın ilk aşamasında, 2013-2022 yıllarına ait METAR raporlarından, şiddetlerine bakılmaksızın tüm orajlı hava durumu kodları ile beraber sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar yönü, rüzgar şiddeti gibi meteorolojik değişkenler temin edilmiştir. Bu rasatların sezonluk analizlerinin yapılabilmesi için Mayıs-Eylül periyodu sıcak sezon, Ekim-Nisan periyodu ise soğuk sezon olarak ikiye ayrılmıştır. Böylece İstanbul’da meydana gelen orajların sezonluk analizleri, türleri ve atmosferik koşulları incelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında sıcak ve soğuk sezondaki orajlı günlerin atmosferik koşullarını incelemek amacıyla, orajın gözlemlendiği zaman dilimine en yakın atmosferik sondaj (radyosonde) verileri temin edilmiştir. Bu sondajlardaki beş termodinamik ve üç statik kararlılık parametresi analizler için kullanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Türkiye’nin nüfus, sanayi ve ekonomi bakımından en gelişmiş şehri İstanbul için orajların analizleri gerçekleştirilmiştir. Asya ve Avrupa kıtalarını birbirine bağlayan mega şehrin kuzeyinde Karadeniz ve güneyinde Marmara Denizi bulunmaktadır. Soğuk sezonda hakim rüzgar yönü kuzeyli yönlerden, sıcak sezonda ise genellikle güneyli yönlerdendir. Şehrin kuzey kesimlerinde genellikle Karadeniz iklimi, güneyinde ise Akdeniz iklimi özellikleri gözlemlenmektedir. Yazları kuru ve sıcak, kışları ise ılık ve yağışlı geçmektedir (Unal vd., 2011; Yavuz vd., 2022a). İstanbul’da kış aylarında zaman zaman deniz etkili kar yağışları ile birlikte yoğun kar birikimleri meydana gelmekte (Yavuz vd., 2022b; Yavuz vd., 2023), ilkbaharın sonları, yaz ve sonbaharın başlarında ise oraj aktiviteleri gözlenmektedir (Özdemir vd., 2017; Yavuz vd., 2022c). Kış aylarında çok sık olmasa da gök gürültülü kar yağışları (kar yağışlı orajlar) gözlenebilmektedir (Yavuz vd., 2022d). Çalışma alanı olarak İstanbul’un seçilmesinin temel sebebi de sıcak ve soğuk sezonlarda oraj aktivitelerinin gözlenebildiği bir şehir olmasıdır.

Oraj hadiselerinin tespiti ve zamansal dağılımlarının analizi için İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı tarafından yayımlanan havacılık rasatları kullanılmıştır. Bu rasatların temin edildiği havalimanının konum bilgisi Şekil 1’de verilmiştir. Diğer yandan, yukarı seviye düşey atmosferik değişkenlerin analizleri için, İstanbul Kartal Radyosonde İstasyonu verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden (MGM) temin edilmiştir. Radyosonde istasyonunun konum bilgisi Şekil 1’de verilmiştir. Bunlara ilave olarak, hem havalimanı hem de radyosonde istasyonu için detaylı bilgiler Tablo 1’de sunulmuştur.



Şekil 1: Çalışma alanı, havalimanı ve radyosonde istasyonu konumları

Tablo 1: Çalışma alanında yer alan havalimanı ve radyosonde istasyonu bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon Kodu	Koordinat Bilgisi	Rakım	Kaynaklar
Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı	LTFJ	40°53'55''K 29°18'33''D	95 metre	(All Met Sat, 2023)
Kartal Radyosonde İstasyonu	17062/17064	40°54'40''K 29°09'20''D	18 metre	(Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü, 2023)

2.2. Materyal

İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı Meteoroloji Ofisi, her yarım saatte bir (20 ve 50 geçe) METAR yayımlamaktadır. Bu çalışmada, METAR raporları 2013 – 2022 yılları arası 10 yıllık periyot için MGM'den temin edilmiştir. Bu rapor içerisinde sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar yönü, rüzgar şiddeti, vb. meteorolojik değişkenler bulunmaktadır (Iowa State University, 2023).

Düşey atmosferik koşulların belirlenebilmesi ve meteorolojik değişkenlerin temini için Kartal Radyosonde İstasyonu verileri 00.00 UTC ve 12.00 UTC için temin edilmiştir. Atmosferik sondaj rasatları ülkemizde günde iki kez olacak şekilde düzenli olarak yapılmaktadır. Bu bağlamda, sondaj rasatları 10 yıllık periyot dahilinde tüm zamanlar için 00.00 UTC ve 12.00 UTC için temin edilmiştir (University of Wyoming, 2023).

2.3. Yöntem

Çalışmanın ilk aşamasında, 2013 – 2022 yıllarına ait METAR raporlarından, şiddetlerine bakılmaksızın tüm orajlı hava durumu kodları ile beraber sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar yönü, rüzgar şiddeti gibi meteorolojik değişkenler de temin edilmiştir. Bu rasatların sezonluk analizlerinin yapılabilmesi için Mayıs – Eylül periyodu sıcak sezon, Ekim – Nisan periyodu ise soğuk sezon olarak ikiye ayrılmıştır. Böylece İstanbul'da meydana gelen orajların sezonluk analizleri, türleri ve atmosferik koşulları incelenmiştir. METAR rasatlarında bir oraj olayının belirlenmesi için o gün METAR rasatlarında en az iki TS kodunun olması gerekliliği dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, oraj olaylarının aylık ve yıllık analizleri, çalışmanın ilk aşamasında gerçekleştirilmiştir. Gözlemlenen oraj türlerine ait Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyon (International Civil Aviation Organisation – ICAO) hava durumu kodları ve açıklamaları Tablo 2'de verilmiştir (International Civil Aviation Organisation, 2023).

Tablo 2: ICAO hava durumu kodlarının açıklamaları (International Civil Aviation Organisation, 2023)

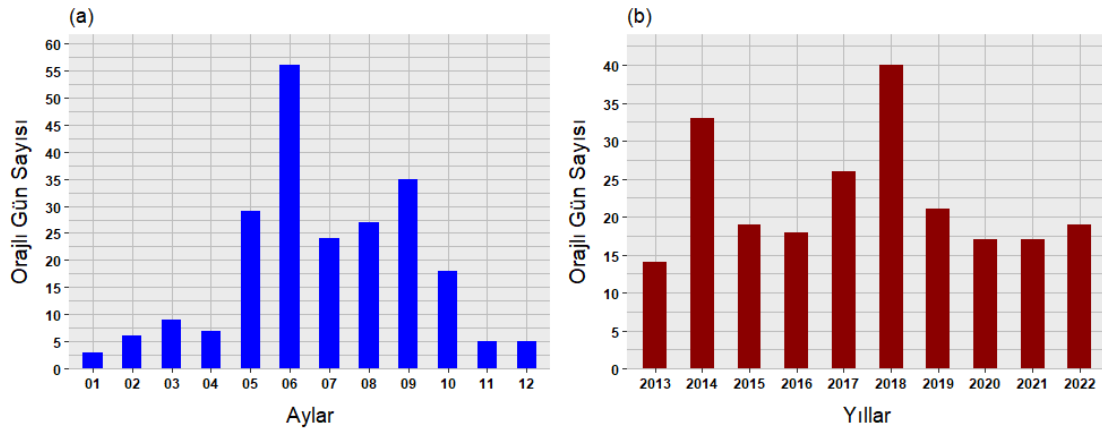
Hava Durumu Kodları	Açıklama
TSRA	Oraj ile Yağmur
VCTS	Civarda Oraj
TS	Oraj
TSSN	Oraj ile Kar
TSRA BR	Oraj ile Yağmur ve Pus
TS VCSH	Oraj ve Civarda Sağanak Yağış
TSGRRA	Oraj ile Dolu ve Yağmur
TSGR	Oraj ile Dolu
VCSH TS	Civarda Sağanak Yağış ve Oraj

Çalışmanın ikinci aşamasında, sıcak ve soğuk sezondaki orajlı günlerin atmosferik koşullarını incelemek amacıyla, orajın gözlemlendiği zaman dilimine en yakın sondaj verileri temin edilmiştir. Bu sondajlardaki beş termodinamik indeks ve üç statik kararlılık parametresi analizlerde kullanılmıştır. Bunlar: Showalter İndeksi (SI), Kaldırma İndeksi (LI), Şiddetli Hava Tehdit İndeksi (SWEAT), K-İndeks (KI), Toplam Toplam İndeks (TTI), Elverişli Konvektif Potansiyel Enerji (CAPE), Konvektif Engelleme (CIN) ve Bulk Richardson Sayısı'dır (BRN). Dolayısıyla her bir indeks ve parametre değerlerinin, sıcak ve soğuk sezondaki dağılımları analizlere tabi tutulmuştur.

3. Bulgular

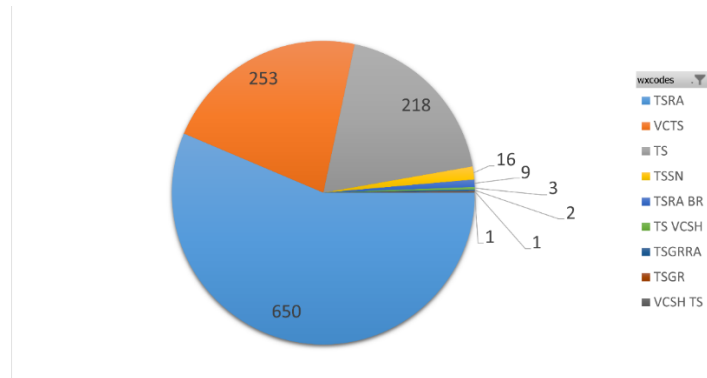
3.1. İstanbul'da Orajlı Günlerin Aylık ve Yıllık Analizleri

İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı Meteoroloji Ofisi tarafından hazırlanan rutin METAR raporlarından seçilen TS rasatları, 10 yıllık periyot (2013-2022) için analiz edilmiştir. METAR rasatlarında bir oraj olayının belirlenmesi için, o gün METAR rasatlarında en az iki TS kodunun olması gerekliliği dikkate alınmıştır (Yavuz vd., 2022c). Bu bağlamda, oraj olaylarının aylık ve yıllık analizleri yapılmıştır. En az iki TS kodu içeren orajlı günlerin aylık ve yıllık dağılımları Şekil 2'de gösterilmektedir. İstanbul'da 10 yıllık analiz sonucu, en fazla orajlı gün sayısı 56 gün ile Haziran ayında olurken bunu 35 gün ile Eylül ayı ve 29 gün ile Mayıs ayı takip etmiştir. En az orajlı gün sayısı 3 gün ile Ocak ayında olmuştur (Şekil 2a). Tilev-Tanrıover vd. (2015) yaptıkları çalışmada, benzer şekilde Türkiye genelinde en fazla orajlı gün sayısının Mayıs ve Haziran aylarında olduğunu tespit etmiştir. Orajlı günlerin çoğunlukta olduğu periyodun, atmosferik kararsızlık koşullarının daha fazla gözlemlendiği sıcak dönemler ile paralellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Yıllık orajlı gün dağılımında, İstanbul'da en fazla orajlı gün sayısı 40 gün ile 2018 yılında olmuştur ve onu 33 gün ile 2014 yılı takip etmiştir. En az orajlı gün sayısı ise 14 gün ile 2013 yılı olmuştur (Şekil 2b). Özellikle 2018 yılının Haziran ayındaki 500 hPa alçak merkez ve oluk paterninin, atmosferik kararsızlığı artıran bir unsur olarak, oraj hadiselerinin sık gözlemlenmesine neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2: İstanbul'da orajlı günlerin (a) aylık ve (b) yıllık dağılımları

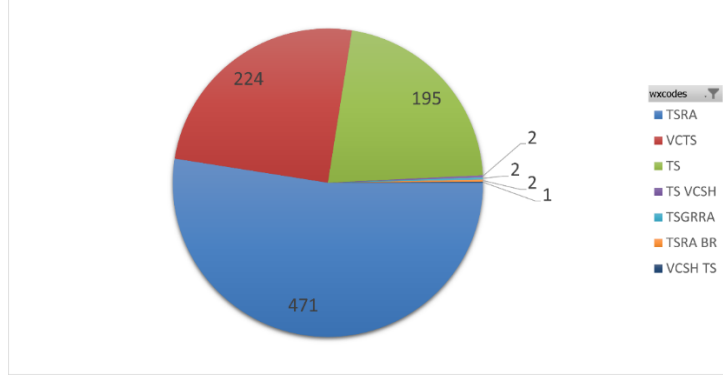
İstanbul'da 10 yıllık periyotta, METAR raporlarındaki tüm TS rasatlarının şiddetlerine bakılmaksızın hangi meteorolojik olaylar ile birlikte gözlemlendiği Şekil 3'de gösterilmektedir. Buna göre en fazla gözlemlenen oraj türü, oraj türlerinin arasından %56,4'ünü kapsayarak 650 rasat sayısı ile gök gürültülü fırtına ile yağmur (TSRA) olmuştur. Bunu sırayla 253 rasat sayısı (%21,9) ile havalimanı civarındaki gök gürültülü fırtına (VCTS) ve 218 rasat sayısı (%18,9) ile gök gürültülü fırtına (TS) takip etmiştir. Bu değerlere göre, orajla birlikte eşlik eden yağışların, orajın tek başına gerçekleşme ihtimalinden daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3: İstanbul'da oraj türlerinin dağılımı

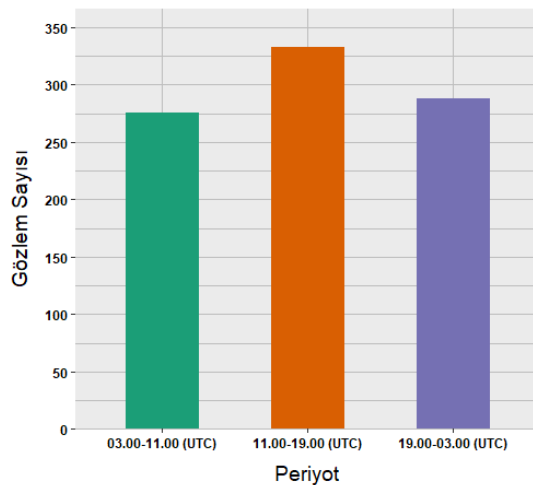
3.2. İstanbul'da Sıcak Sezon Orajlarının Analizi

İstanbul'da 2013 – 2022 yılları sıcak sezon (Mayıs – Eylül) periyodu için METAR raporlarındaki TS kodlarından yapılan analizlere göre, en fazla gözlemlenen oraj türü, oraj türlerinin arasından %52,5'ini kapsayarak 471 rasat sayısı ile gök gürültülü fırtına ile yağmur (TSRA) olmuştur. Ardından bunu sırayla 224 rasat sayısı (%25,0) ile havalimanı civarında gök gürültülü fırtına (VCTS) ve 195 rasat sayısı (%21,7) ile gök gürültülü fırtına (TS) izlemiştir. Bu sezonda atmosferde sıcak koşulların hakim olması nedeniyle, gök gürültülü kar yağışı (TSSN) gözlemlenmemiştir (Şekil 4).



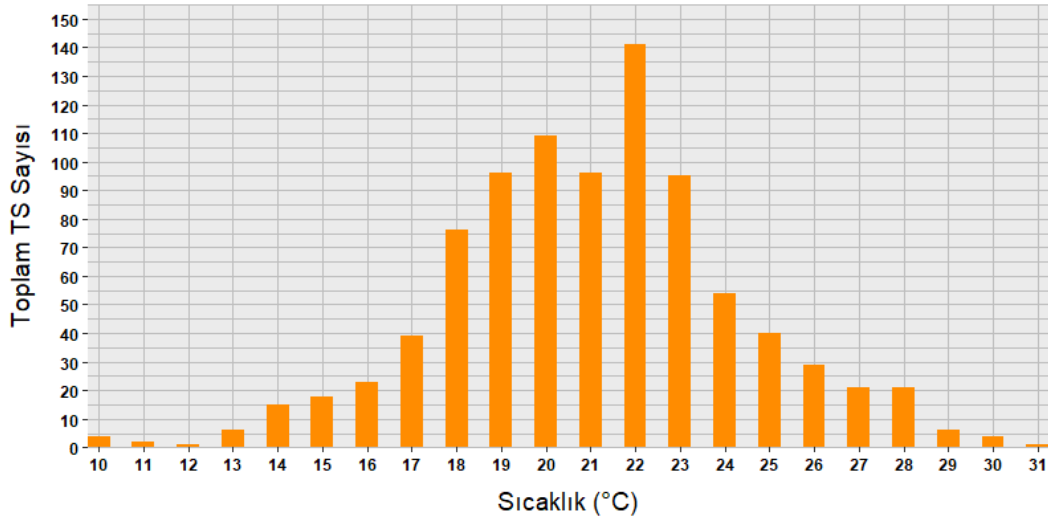
Şekil 4: Sıcak sezonda oraj türlerinin dağılımı

İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı METAR raporları kullanılarak sıcak sezonda (Mayıs-Eylül) gözlemlenen tüm TS rasatları, günün üç farklı zaman diliminde incelenmiştir (Şekil 5). Günün birinci zaman diliminde (03.00 – 11.00 UTC) TS rasatlarının gözlemleri, diğer zaman dilimlerine göre en az dağılım göstermiştir. Bu periyotta, özellikle sabahın erken saatlerinde kararlı koşulların hakim olması ve termal türbülans zayıflığı, bu sonucu desteklemektedir. Ancak ilerleyen saatlerde, yerin güneşten gelen kısa dalga boylu radyasyon ile ısınmasından dolayı termal türbülans oluşmaya başlar ve atmosfer zamanla kararsız hale gelir (Karan, 2007). Sıcak sezonda gece uzunluğunun daha az olduğu göz önüne alındığında, TS rasatlarının günün bu periyodundaki dağılımı diğer zaman dilimlerine göre belirgin bir düşüklük göstermemiştir. Günün ikinci zaman diliminde (11.00 – 19.00 UTC) TS rasatlarının gözlemleri, diğer zaman dilimlerine göre en fazla dağılım göstermiştir. Yüzey ısınması maksimum seviyelere ulaştığından termal türbülans çok güçlüdür ve atmosfer daha kararsızdır. Ancak saatler ilerledikçe yüzey ısınması azalır ve termal türbülanslar zayıflar. Sıcak sezonda güneşlenme süresi fazla olduğundan bu durum daha geç saatlere sarkabilir. Günün üçüncü zaman diliminde ise (19.00 – 03.00 UTC) TS rasatlarının gözlemleri, günlük periyotta ortalanca durum sergilemiştir. Bu zaman diliminde yüzey sıcaklıkları azalır, termal türbülans zayıflar ve atmosfer kararlı hale gelmeye başlar. Atmosferik sınır tabaka içerisinde kararlı tabaka gelişirken, onun üzerindeki artık tabakada bir önceki günden eser miktarda atmosferik bileşen (eddy paketçikleri) içerir. Böylece orajlar geç saatlere kadar gözlemlenebilir (Karan, 2007).



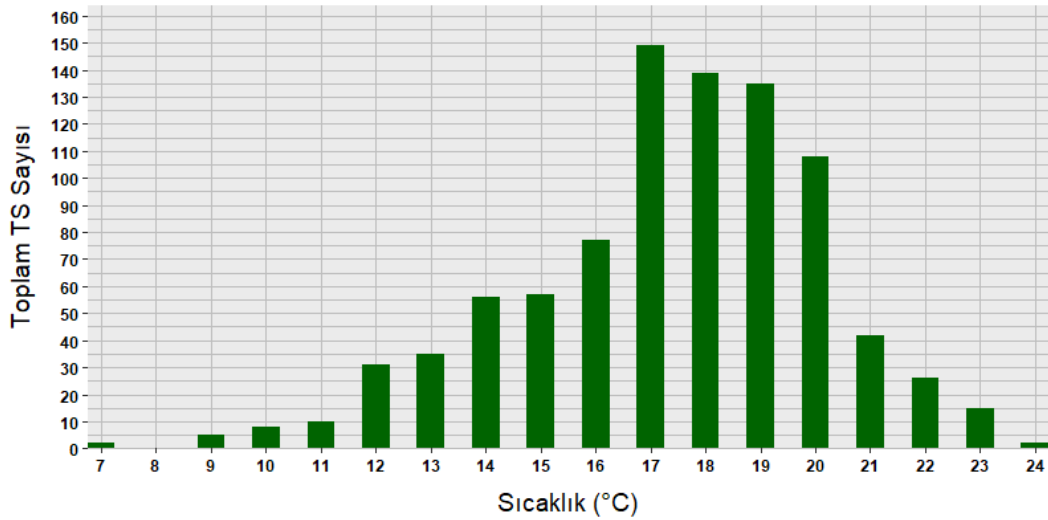
Şekil 5: Sıcak sezonda orajların gün içi periyotlara göre dağılımı

Sıcak sezon boyunca (Mayıs – Eylül) METAR raporlarındaki tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki hava sıcaklıklarının dağılımı incelendiğinde, orajların en fazla gözlemlendiği sıcaklık 22°C ve orajların çoğunun gözlemlendiği sıcaklık aralığı ise 19 – 23°C olmuştur. Bu sıcaklık aralığının dışındaki sıcaklıklarda, oraj gözlemlerinde belirgin bir düşüş tespit edilmiştir (Şekil 6).



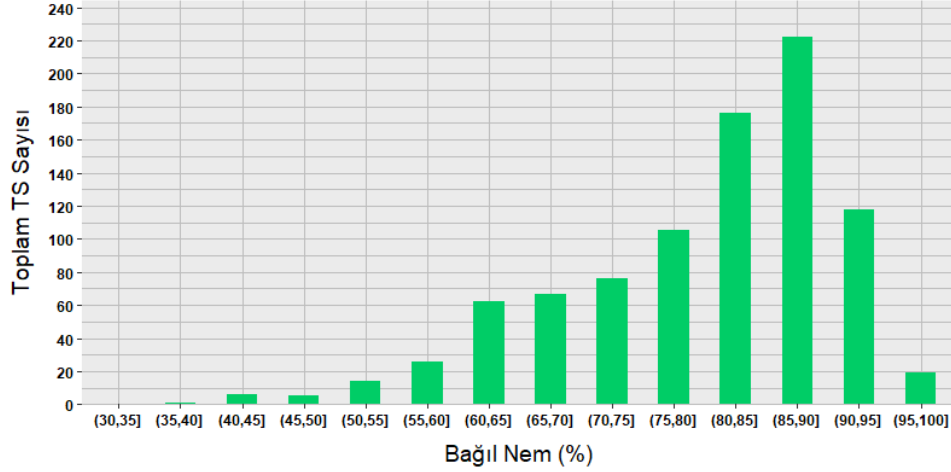
Şekil 6: Sıcak sezonda orajların hava sıcaklığına göre dağılımı.

Sıcak sezon boyunca (Mayıs – Eylül) METAR raporlarındaki tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki çiy noktası sıcaklıkları incelendiğinde, İstanbul’da orajların en fazla gözlemlendiği çiy noktası sıcaklığı 17°C ve orajların çoğunun gözlemlendiği çiy noktası sıcaklığı aralığı ise 17 – 20°C olmuştur. Bu sıcaklık aralığının dışındaki sıcaklıklarda, oraj gözlemlerinde belirgin bir düşüş tespit edilmiştir (Şekil 7).



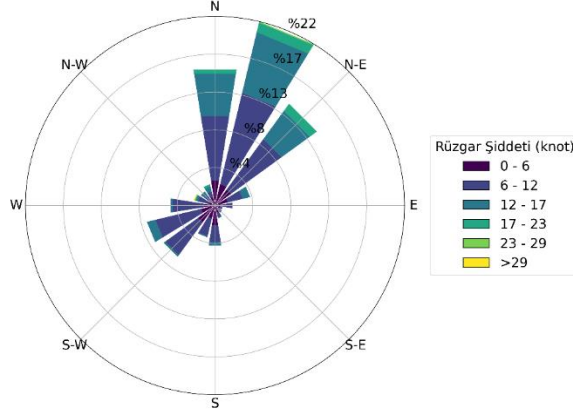
Şekil 7: Sıcak sezonda orajların çiy noktası sıcaklığına göre dağılımı.

Sıcak sezon boyunca (Mayıs – Eylül) METAR raporlarından elde edilen tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki bağıl nem değerleri incelendiğinde, İstanbul’da orajların en fazla gözlemlendiği bağıl nem aralığı %86 – %90 olmuştur. Bu değerlerin dışında oraj gözlemleri hızla azalmıştır. Bağıl nem, hava sıcaklığıyla doğrudan ilişkilidir ve atmosferdeki sabit su buharı miktarında sıcaklık arttıkça bağıl nem düşer. Bu nedenle daha düşük bağıl nem değerlerinde oraj gözlemlenme dağılımı da fazladır (Şekil 8).



Şekil 8: Sıcak sezonda orajların bağıl neme göre dağılımı.

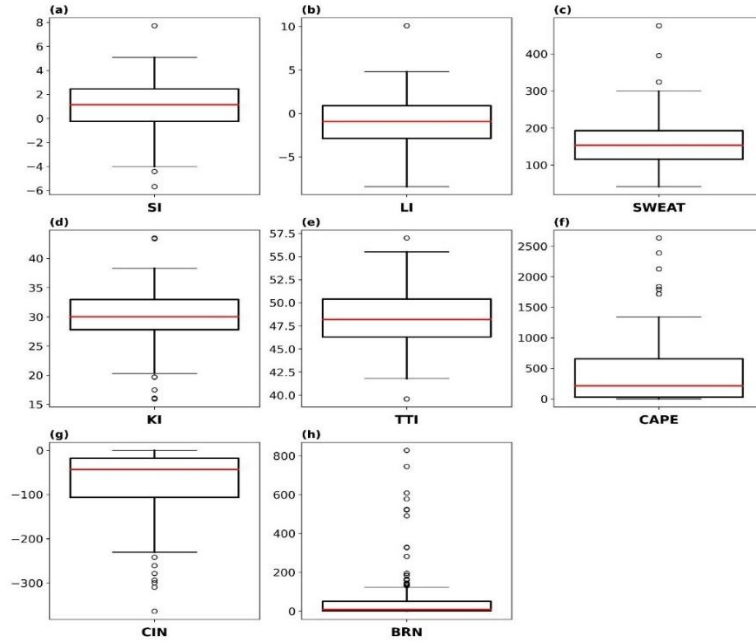
Sıcak sezon boyunca (Mayıs – Eylül) METAR raporlarından elde edilen tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki rüzgar bilgileri incelendiğinde, İstanbul’da hakim rüzgar yönü, veri setindeki rüzgarların yaklaşık %22’sini kapsayarak kuzey-kuzeydoğu yönü olurken, onu sırayla kuzey ve kuzeydoğu yönleri takip etmiştir (Şekil 9). Rüzgarın zaman zaman kuvvetli şekilde estiği (29 knot ve üzeri) gözlemlenmiştir. Oraj hücreleri bulunduğu konumda rüzgarın değişik yönlerden esmesine neden olabilir. Ancak, gözlem zamanında atmosferdeki sinoptik ölçekli koşullar da rüzgar yönü için baskın bir unsurdur. Sıcak sezondaki rüzgarlar (özellikle Temmuz ayı), Türkiye’ye kadar uzanan güçlü bir termal alçak basınç sistemi ile karakterize edilmekte ve Avrupa üzerinde nispeten yüksek basınç sistemine göre büyük bir basınç gradyan kuvveti oluşturarak, bölgede güçlü rüzgarlara neden olmaktadır (Arslan vd., 2020). Bu sinoptik ölçekli sistemlerin konumu ve İstanbul’un topoğrafik koşulları nedeniyle hakim rüzgar yönü kuzey-kuzeydoğu olmuştur.



Şekil 9: Sıcak sezonda orajlı zamanlardaki rüzgar şiddeti ve yönlerinin dağılımı.

Orajların meydana gelmesinde atmosferik kararsızlık önemli bir rol oynamaktadır. Atmosferin kararlılığını ortaya çıkarmak için kullanılan bazı atmosferik sondaj parametreleri ve indekslerinin incelenmesi, orajların oluşum, gelişme ve dağıtım aşamalarını anlamada önemlidir (Yavuz, 2023). Çalışmanın ikinci aşamasında, METAR raporlarındaki en az iki TS içeren orajlı günlerin, beş termodinamik indeks (SI, LI, SWEAT, KI, TTI) ve üç atmosferik stabilite parametresine (CAPE, CIN, BRN) göre analizleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için Kartal radyosonde istasyonundan günde iki kez yapılan atmosferik sondajlar (00.00 UTC ve 12.00 UTC), orajlı zaman dilimine en yakın olacak şekilde ele alınmıştır. Sıcak sezon için yapılan incelemelerde, atmosferdeki kararsız koşulların indekslere ve parametrelere yansıdığı görülmektedir (Şekil 10). Sıkça kullanılan termodinamik indekslerden SI ve LI değerlerinin ortalamaları, orajların mümkün olduğunu göstermektedir (Şekil 10a-b). SWEAT indeksi ortalaması, hafif şiddetli orajları nitelendirmiştir (Şekil 10c). KI ortalaması, birkaç dağınık orajların oluşabileceği potansiyelini vermiştir (Şekil 10d). TTI ortalamasına göre orajlar olasıdır (Şekil 10e). Atmosferik statik kararlılık parametrelerinden CAPE değerleri, sıfırdan farklı olarak marjinal kararsızlık gösteren 421 J/kg etrafında yoğun dağılım göstermiştir. CAPE değerlerinin genellikle yüksek değerlerde ve hatta çok-ekstrem kararsız koşullar sunan 2500 J/kg değerlerini aştığı da gözlemlenmiştir (Şekil 10f). Atmosferde havanın serbest bir şekilde yükselmesine engel olan CIN değerlerinin ortalaması, kararlı koşulları göstermiştir (Şekil 10g).

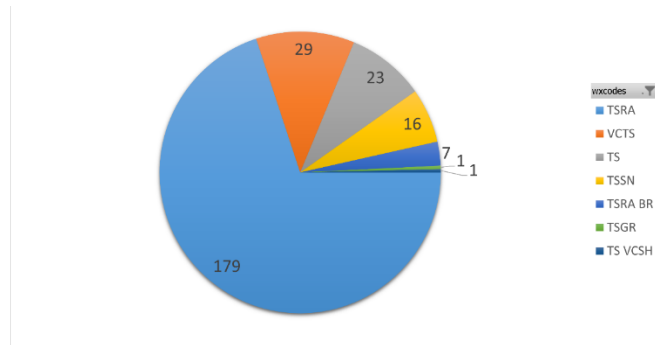
Bu kapatıcı tabaka (capping) bir şekilde aşıldığı zaman, hava yükselmeye devam eder. BRN, CAPE ve rüzgar kayması ile ilişkilendirilerek ortaya konulmuş bir parametredir. BRN değerlerinin dağılımı, süper veya çok hücreli orajların oluşabileceği potansiyelini sergilemiştir (Şekil 10h).



Şekil 10: Sıcak sezonda orajlı günlerdeki termodinamik indeks ve atmosferik kararlılık parametrelerinin dağılımı

3.3. İstanbul'da Soğuk Sezon Orajlarının Analizi

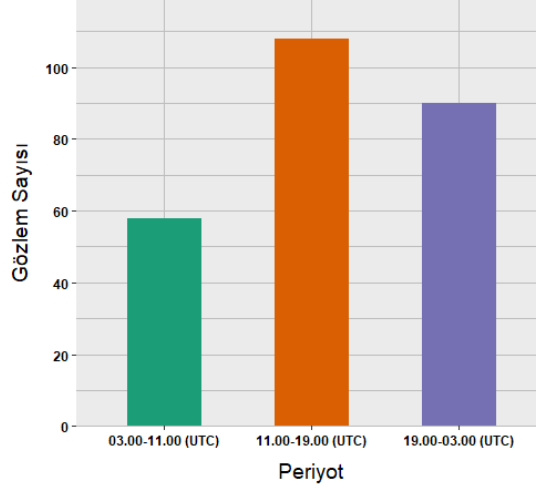
İstanbul'da 2013 – 2022 yılları soğuk sezon (Ekim – Nisan) periyodu için METAR raporlarındaki TS kodlarından yapılan analizlere göre, en fazla gözlemlenen oraj türü, oraj türlerinin arasından %69,9'unu kapsayarak 179 rasat sayısı ile gök gürültülü fırtına ile yağmur (TSRA) olmuştur. Ardından bunu sırayla 29 rasat sayısı (%11,3) ile havalimanı civarında gök gürültülü fırtına (VCTS) ve 23 rasat sayısı (%9,0) ile gök gürültülü fırtına (TS) izlemiştir. Bu sezonda atmosferde soğuk koşulların hakim olması nedeniyle, 16 rasat sayısı (%6,3) ile gök gürültülü kar yağışı (TSSN) gözlemlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11: Soğuk sezonda oraj türlerinin dağılımı

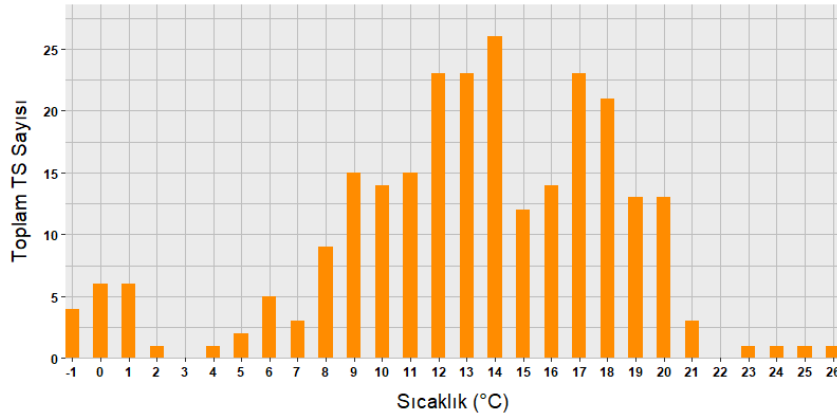
İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı METAR raporları kullanılarak soğuk sezon (Ekim-Nisan) periyodunda gözlemlenen tüm TS rasatları, günün üç farklı zaman diliminde incelenmiştir (Şekil 12). Günün birinci zaman diliminde (03.00 – 11.00 UTC) TS rasatlarının gözlemleri, diğer zaman dilimlerine göre en az dağılım göstermiştir. Bu periyotta, özellikle sabahın erken saatlerinde kararlı koşulların hakim olması ve termal türbülans zayıflığı, bu sonucu desteklemektedir. Ancak ilerleyen saatlerde yerin güneşten gelen kısa dalga boylu radyasyon ile ısınmasından dolayı termal türbülans oluşmaya başlar ve atmosfer zamanla kararsız hale gelir (Karan, 2007). Soğuk sezonda gece uzunluğunun daha fazla olması, atmosferin kararlı koşullarını bu periyodun daha ilerisine uzatmıştır. Bu durum, TS rasatlarının diğer zaman dilimlerine göre çok daha düşük bir dağılım göstermesine neden olmuştur.

Günün ikinci zaman diliminde (11.00 – 19.00 UTC) TS rasatlarının gözlemleri, günün birinci zaman dilimine belirgin fark atarak en fazla TS dağılımı gösteren zaman dilimi olmuştur. Yüzey ısınması maksimum seviyelere ulaştığından termal türbülans çok güçlüdür ve atmosfer daha kararsızdır. Ancak saatler ilerledikçe yüzey ısınması azalır ve termal türbülanslar zayıflar. Günün üçüncü zaman diliminde ise (19.00 – 03.00 UTC) TS rasatlarının gözlemleri, günlük periyotta ortanca durum sergilemiştir. Bu zaman diliminde yüzey sıcaklıkları azalır, termal türbülans zayıflar ve atmosfer kararlı hale gelmeye başlar. Atmosferik sınır tabaka içerisindeki kararlı tabaka gelişirken, onun üzerindeki artık tabakada bir önceki günden eser miktarda atmosferik bileşen (eddy paketçikleri) içerir (Karan, 2007). Böylece orajlar geç saatlere kadar gözlemlenebilir ancak bu durum soğuk sezonda daha kısıtlıdır.



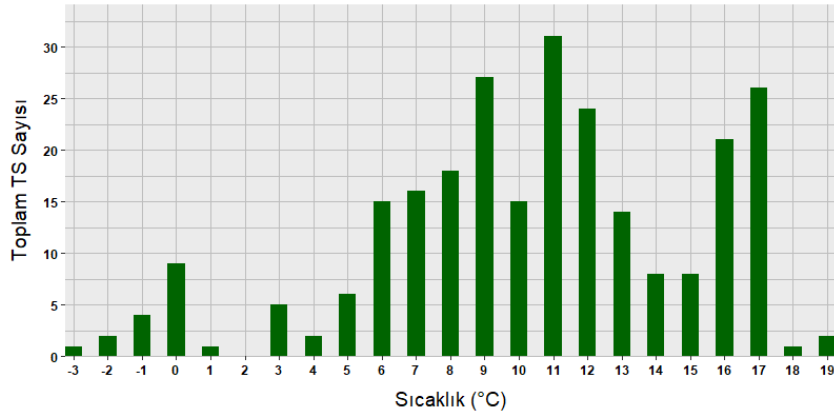
Şekil 12: Soğuk sezonda orajların gün içi periyotlara göre dağılımı

Soğuk sezon boyunca (Ekim – Nisan) METAR raporlarındaki tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki hava sıcaklıklarının dağılımı incelendiğinde, orajların en fazla gözlemlendiği sıcaklık 14°C olmuştur. Bu sezonda orajlar, çeşitli sıcaklıklarda kümelenmiştir. En fazla oraj gözlemi 12 – 14°C aralığında gerçekleşmiştir. Bu sıcaklık aralığının üzerindeki sıcaklıklarda, önce oraj gözlemi azalmış sonra belirgin bir şekilde artış göstermiştir (17 – 18°C). Diğer yandan, sıcaklık azaldıkça oraj gözlemlerinin azaldığı ancak -1°C ile 2°C aralığında orajların tekrar kümelendiği tespit edilmiştir (Şekil 13).



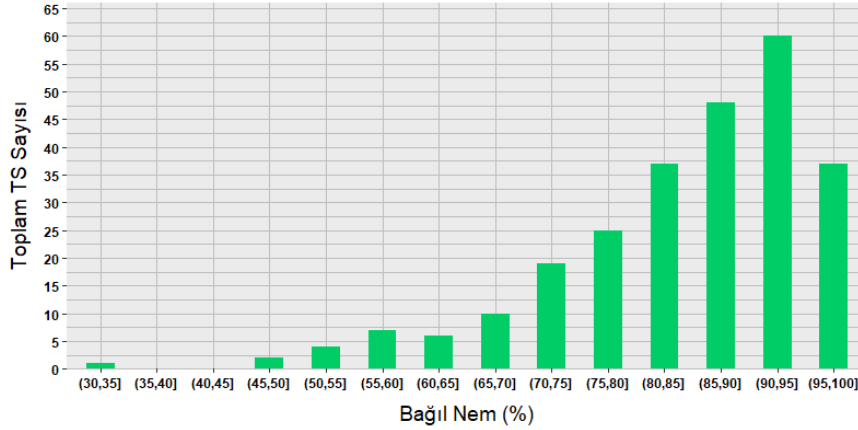
Şekil 13: Soğuk sezonda orajların hava sıcaklığına göre dağılımı

Soğuk sezon boyunca (Ekim – Nisan) METAR raporlarındaki tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki çiy noktası sıcaklıkları incelendiğinde, İstanbul'da orajların en fazla gözlemlendiği çiy noktası sıcaklığı 11°C olmuştur. Bunu sırasıyla 9°C, 17°C ve 12°C takip etmiştir. Diğer yandan, düşük çiy noktası sıcaklığı aralığında (-3°C ile 1°C) TS sayısının kümelendiği görülmektedir. Çiy noktası sıcaklığı, havanın neme doymaya ulaştığı sıcaklık olduğuna göre, 0°C'nin altında meydana gelen orajların gök gürültülü kar yağışları (TSSN) olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 14).



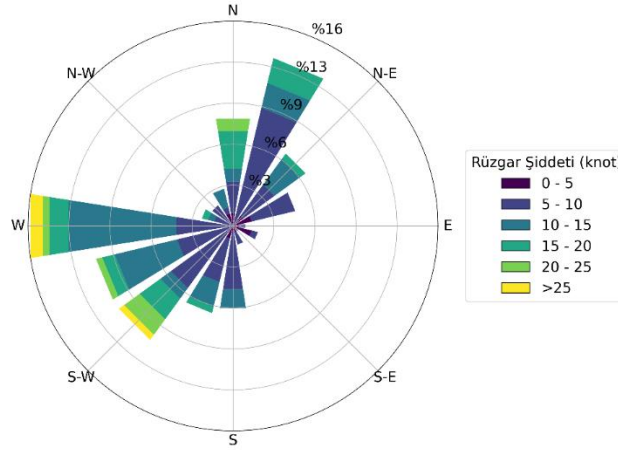
Şekil 14: Soğuk sezonda orajların çiy noktası sıcaklığına göre dağılımı.

Soğuk sezon boyunca (Ekim – Nisan) METAR raporlarından elde edilen tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki bağıl nem değerleri incelendiğinde, İstanbul’da orajların en fazla gözlemlendiği bağıl nem aralığı %91 – %95 olmuştur. Bu değerlerin dışında oraj gözlemleri hızla azalmıştır. Bağıl nem, hava sıcaklığıyla doğrudan ilişkilidir ve atmosferdeki sabit su buharı miktarında, sıcaklık azaldıkça bağıl nem artar. Dolayısıyla soğuk sezondaki orajların, yüksek bağıl nem değerlerinde daha fazla görülmesi bunun sonucu olmuştur (Şekil 15).



Şekil 15: Soğuk sezonda orajların bağıl neme göre dağılımı

Soğuk sezon boyunca (Ekim – Nisan) METAR raporlarından elde edilen tüm oraj rasatlarının gözlemlendiği andaki rüzgar bilgileri incelendiğinde, İstanbul’da hakim rüzgar yönü, veri setindeki rüzgarların yaklaşık %16’sını kapsayarak batı yönünden olurken, onu sırayla kuzey-kuzeydoğu ve güneybatı yönleri takip etmiştir (Şekil 16). Oraj hücreleri bulunduğu konumda rüzgarın değişik yönlerden esmesine neden olabilir. Ancak, gözlem zamanındaki sinoptik örüntü de rüzgar yönü için baskın bir unsur olmaktadır. Akdeniz Havzası’nda oluşan ve gelişen alçak basınç sistemleri, en çok kış aylarında etkilerini gösterirler. Bu alçak basınç sistemleri Türkiye’nin batısından giriş yaparken, rüzgarın öncelikle güneybatılı sektörlerden esmesine ve sıcaklıkların artmasına neden olur (Apostol, 2008). Halk dilinde lodos olarak bilinen bu rüzgar yönü, İstanbul’da soğuk sezonda sıklıkla gözlemlenmiş ve rüzgarın kuvvetli şekilde (25 kt ve üzeri) estiği durumlar olmuştur.



Şekil 16: Soğuk sezonda orajlı zamanlardaki rüzgar şiddeti ve yönlerinin dağılımı.

Orajların meydana gelmesinde atmosferik kararsızlık önemli bir rol oynamaktadır. Atmosferin kararlılığını ortaya çıkarmak için kullanılan bazı sondaj parametreleri ve indekslerinin incelenmesi, orajların oluşum, gelişme ve dağıtım aşamalarını anlamada önemlidir (Yavuz, 2023). Çalışmanın ikinci aşamasında, METAR raporlarındaki en az iki TS içeren orajlı günlerin, beş termodinamik indeks (SI, LI, SWEAT, KI, TTI) ve üç atmosferik stabilite parametresine (CAPE, CIN, BRN) göre analizleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için Kartal radyosonde istasyonundan günde iki kez yapılan atmosferik sondajlar (00.00 UTC ve 12.00 UTC), orajlı zaman dilimine en yakın olacak şekilde ele alınmıştır. Soğuk sezon için yapılan incelemelerde, atmosferdeki zayıf kararsız koşulların, indekslere ve parametrelere yansıdığı görülmektedir (Şekil 17). Sıkça kullanılan termodinamik indekslerden SI ve LI değerlerinin ortalamaları, atmosferde kararlı koşulların olduğunu göstermektedir (Şekil 17a-b). SWEAT indeks ortalaması, hafif şiddetli orajları nitelendirmiştir (Şekil 17c). KI ortalaması, izole edilmiş orajların oluşabileceği potansiyelini vermiştir (Şekil 17d). TTI ortalamasına göre orajlar olasıdır (Şekil 17e). Atmosferik statik kararlılık parametrelerinden CAPE değerleri, sıfırdan farklı olarak kararlılık gösteren 54 J/kg etrafında yoğun dağılım göstermiştir. CAPE, genellikle düşük değerlerde olmuş ve 700 J/kg değerini aşan yalnızca bir rasat yapılmıştır (Şekil 17f). Atmosferde havanın serbest bir şekilde yükselmesine engel olan CIN değerlerinin ortalaması, kararlı koşulları göstermiştir (Şekil 17g). Bu kapatıcı tabaka (capping) bir şekilde aşıldığı zaman, hava yükselmeye devam eder. BRN, CAPE ve rüzgar kayması ile ilişkilendirilerek ortaya konulmuş bir parametredir. BRN değerlerinin ortalaması, orajların olası olmadığını sergilemiştir (Şekil 17h). Bu sezonda termodinamik kararsızlık, havaya göre sıcak kalan deniz yüzeyine borçludur. Sıcak denizler ısı ve nem kaynağı olup, gök gürültülü sağanak yağışlarının meydana gelmesinde önemli bir etkidir.

3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı Meteoroloji Ofisi tarafından her yarım saatte bir yayınlanan METAR kullanılarak, 2013 – 2022 yıllarını kapsayan 10 yıllık dönem için TS rasatları incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, METAR raporlarında bir günde en az iki TS rasatı içeren günler, orajlı bir gün olarak kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, aylık ve yıllık orajlı gün dağılımları incelenmiştir. Aylık bazda, İstanbul’da en fazla orajlı gün sayısı Haziran ayında olurken, bunu sırasıyla Eylül ve Mayıs ayları takip etmiştir. En az orajlı gün sayısı ise Ocak ayında gerçekleşmiştir. Yıllık bazda orajlı gün dağılımları incelendiğinde, en fazla orajlı gün sayısı 2018 yılında olmuştur ve bunu 2014 yılı takip etmiştir. En az orajlı gün sayısı ise 2013 yılında olmuştur. TS ile birlikte meydana gelen diğer meteorolojik hadiselerin görülmesi amacıyla yapılan analizde, tüm sezonlarda en fazla gözlemlenen oraj türü TSRA ve VCTS olmuştur. Soğuk sezonda, sıcak sezondan farklı olarak TSSN gözlemlenmiştir.

Toplam TS rasatlarının gün içi periyotlara göre dağılımı hem sıcak hem de soğuk sezon olarak analiz edildiğinde, orajların dağılımı her iki sezonda da en fazla günün ikinci zaman diliminde (11.00 – 19.00 UTC) gerçekleşmiştir. Günün bu zaman diliminde, güneşten gelen kısa dalga boylu radyasyonların yeryüzünü maksimum şekilde ısıtması ve termal türbülans ile ısınan havanın karışması (konvektif tabaka), atmosferde kararsız koşulların oluşmasında etkilidir. Bu etkilerin, orajların meydana gelmesinde önemli bir faktör olduğu anlaşılmaktadır. Her iki sezonda da en az oraj dağılımı ise günün birinci zaman diliminde (03.00 – 11.00 UTC) olmuştur. Özellikle bu periyodun başında, atmosferik sınır tabaka içerisinde kararlı tabaka yer almaktadır. Bu kararlı tabaka, gün doğumuna kadar devam ettiği için oraj aktivitesinin daha az meydana gelmesinde etkili olmuştur. Yavuz vd. (2022), Marmara Bölgesi için yaptıkları analizlerde bu çalışma çıktılarına benzer sonuçlar elde etmiştir. Bölge genelinde en çok oraj gözlemi 11.00 – 19.00 UTC aralığında gerçekleşmiştir.

Orajların rasat edildiği andaki meteorolojik değişkenler incelendiğinde, sıcak sezonda en fazla oraj gözlemi, hava sıcaklığının 19 – 23°C aralığında olurken, soğuk sezonda ise 12 – 14°C aralığında olmuştur. Çiy noktası sıcaklığı havanın doyma noktasına geldiği önemli bir sıcaklık değeridir. Orajların meydana geldiği andaki çiy noktası sıcaklığı, sıcak sezonda 17 – 20°C aralığı olurken, soğuk sezonda ise birçok sıcaklık değerine düzensiz bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Soğuk sezonda, orajların en fazla meydana geldiği çiy noktası sıcaklığı 11°C olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu sezonda çiy noktası sıcaklık değerlerinin 0°C ve hemen altında TS rasatları kümelenmiştir. Bu koşullarda gözlemlenen orajların kar yağışı ile birlikte (TSSN) olabileceği anlaşılmaktadır. Özdemir vd. (2017), İstanbul Atatürk Uluslararası Havalimanı için yaptıkları oraj analizinde, sıcak ve soğuk sezonlarda orajların bu çalışma çıktılarına benzer sıcaklık aralıklarında meydana getirdiğini bulmuştur. Orajların gözlemlendiği andaki bağıl nem değerleri incelendiğinde, sıcak sezonda orajlar en fazla %86 - %90 aralığında gerçekleşirken, soğuk sezonda ise %91 - %95 aralığında olmuştur. Bu fark, atmosferin su buharı tutma kapasitesinin ve sıcaklıkla doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Hava sıcaklığı arttıkça, havanın taşıyabileceği su buharı miktarı da artar ve havanın doymaya ulaşabilmesi için daha fazla su buharı gerekmektedir. Bu nedenle, sıcak sezonda orajların meydana getiren bağıl nem değerleri daha düşük olmuştur. Oraj hücreleri, bulunduğu konumda kuvvetli rüzgar hamlelerine ve rüzgarın değişik yönlerden esmesine neden olabilir. Sıcak sezonda orajların gözlemlendiği hakim rüzgar yönü kuzey-kuzeydoğu olmuştur. Bu sezondaki rüzgarlar (özellikle Temmuz ayı), Türkiye'ye kadar uzanan güçlü bir termal alçak basınç sistemi ile karakterize edilmekte ve Avrupa üzerinde nispeten yüksek basınç sistemine göre büyük bir basınç gradyan kuvveti oluşturarak, bölgede güçlü kuzeyli rüzgarlara neden olmaktadır (Arslan vd., 2020). Rüzgar şiddetlerinin 29 kt ve üzerine çıktığı gözlemlenmiştir. Kışın ise Akdeniz Havzası'nda oluşan ve gelişen alçak basınç sistemleri etkilidir. Bu alçak basınç sistemleri Türkiye'nin batısından giriş yaparken, rüzgarın öncelikle güneybatılı esmesine ve sıcaklıkların artmasına neden olur (Apostol, 2008). Soğuk sezonda orajların meydana geldiği andaki hakim rüzgar yönünün, batı ve güneybatı olarak tespit edilmesi bunun sonucu olmuştur. Rüzgar şiddeti soğuk sezonda batıdan zaman zaman kuvvetli (25 kt ve üzeri) estiği gözlemlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, orajlı günlerdeki termodinamik indeks ve atmosferik stabilite değerlerinin dağılımını gözlemlemek amacıyla, Kartal radyosonde istasyonunda günde iki kez (00.00 UTC – 12.00 UTC) yapılan atmosferik sondajlar incelenmiştir. Sıcak sezonda atmosferik kararsızlık koşulları daha fazla ön plana çıkmıştır ve indeksler oraj oluşumunu destekleyen değerler göstermiştir. Soğuk sezonda ise orajlı günlerde atmosferik kararsızlık koşulları daha zayıf olmuş, indeksler ise orajların başlangıç koşullarını sınırlı düzeyde sağlayabilmiştir. İstanbul'da meydana gelen orajları daha iyi analiz etmek için diğer havalimanlarının meteorolojik verileri de dahil edilerek daha kapsamlı analizler yapılabilir.

Teşekkür

Yazarlar, çalışmada kullanılan veriler için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Akram, T., Akter, F., Mallik, M. A. K., Tabassum, F., Hassan, S. M. Q., & Faruq, M. O. (2022). Recent climatology of thunderstorm days over Bangladesh. *Journal of Climate Studies*, 12(3), 112-130.
- All Met Sat. (2023). *İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı konum bilgileri*. 30 Nisan 2023'de <https://en.allmetsat.com/metar-taf/turkey.php?icao=LTFJ> adresinden alındı.
- Apostol, L. (2008). The Mediterranean cyclones—the role in ensuring water resources and their potential of climatic risk, in the east of Romania. *Present Environment and Sustainable Development*, 2, 143-163.
- Arslan, H., Baltacı, H., Akkoyunlu, B. O., Karanfil, S., & Tayanç, M. (2020). Wind speed variability and wind power potential over Turkey: case studies for Çanakkale and İstanbul. *Renewable Energy*, 145, 1020-1032. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.128>
- Bunkers, M. J., & Hjelmfelt, M. R. (2021). Thunderstorm downbursts: windstorms and blowdowns (Second edition). In E. Johnson & K. Miyanishi (Eds.), *Plant Disturbance Ecology*, (pp. 65-115). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818813-2.00003-4>, 2021.
- Iowa State University. (2023, 27 Şubat). *ASOS-AWOS-METAR data download*. Iowa environmental mesonet. 27 Şubat 2023'de <https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml> adresinden alındı.
- Kahraman, A. (2017, 16-19 Ekim). *Konvektif fazların evrimi: 27 Temmuz 2017 Marmara vakası* [Bildiri sunumu]. III. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu, Antalya, Türkiye.
- Kahraman, A., Ural, D., & Önel, B. (2020). Future changes in Euro-Mediterranean daytime severe thunderstorm environments based on an RCP8.5 Med-Cordex simulation. *Atmosphere*, 11(8), Article 822. <https://doi.org/10.3390/atmos11080822>
- Karan, H. (2007). *Thermodynamic and kinematic characteristics of low-level convergence zones observed by the mobile integrated profiling system* [PhD Thesis, University of Alabama]. ProQuest Dissertations and Theses. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2007PhDT.....173K/abstract>
- Ma, R., Sun, J., Yang, X. (2021). An eight-year climatology of the warm-season severe thunderstorm environments over North China. *Atmospheric Research*, 254, Article 105519. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105519>
- Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü. (2023). *Bölge Müdürlüğü Gözlem Şebekemiz*. 30 Nisan 2023'de <https://istanbul.mgm.gov.tr/istasyonlar.aspx> adresinden alındı.

- Mohr, S., Wandel, J., Lenggenhager, S., & Martins, O. (2019). Relationship between atmospheric blocking and warm-season thunderstorms over western and central Europe. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 145(724), 3040-3056. <https://doi.org/10.1002/qj.3603>
- Özdemir, E. T., Deniz, A., Sezen, İ., Aslan, Z., & Yavuz, V. (2017). Investigation of thunderstorms over Ataturk International Airport (LTBA), Istanbul. *Mausam*, 68(1), 175-180.
- Sharma, P., Sen B., Balling, J. R. C., Roy, S. S., & Sen Roy, S. (2023). Diurnal cycle of summer season thunderstorm activity in India. *Theoretical and Applied Climatology*, 151(3-4), 1567-1583. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04339-3>
- Tilev-Tanriover, Ş., Kahraman, A., Kadioglu, M., & Schultz, D. M. (2015). Lightning fatalities and injuries in Turkey. *Natural Hazards and Earth System Science*, 15(8), 1881-1888. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1881-2015>
- UCAR. (2023). *How thunderstorms form*. 28 Nisan 2023'de <https://scied.ucar.edu/learning-zone/storms/how-thunderstorms-form> adresinden alındı.
- Unal, Y. S., Toros, H., Deniz, A., & Incecik, S. (2011). Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM10 concentrations in Istanbul metropolitan area. *Atmospheric Environment*, 45(31), 5504-5513.
- University of Wyoming. (2023). *Upper-level atmospheric charts*. 30 Nisan 2023'de <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> adresinden alındı.
- Yavuz, V., Özdemir, E. T., & Deniz, A. (2020). Nowcasting of a thunderstorm: The case study of 2 February, 2015 at Istanbul Ataturk International Airport. *Mausam*, 71(1), 21-32.
- Yavuz, V., Özen, C., Çapraz, Ö., Özdemir, E. T., Deniz, A., Akbayır, İ., & Temur, H. (2022a). Analysing of atmospheric conditions and their effects on air quality in Istanbul using SODAR and CEILOMETER. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(11), 16213-16232. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16958-w>
- Yavuz, V., Lupo, A. R., Fox, N. I., & Deniz, A. (2022b). Statistical characteristics of sea-effect snow events over the western Black Sea. *Theoretical and Applied Climatology*, 150, 955-968. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04213-2>
- Yavuz, V., Deniz, A., Özdemir, E. T., Karan, H., & Temiz, C. (2022c). Long-term thunderstorm analysis at airports in the Marmara Region: types and favourable atmospheric conditions. *International Journal of Global Warming*, 28(1), 81-95. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2022.125083>
- Yavuz, V., Lupo, A. R., Fox, N. I., & Deniz, A. (2022d). A long-term analysis of thundersnow events over the Marmara Region, Turkey. *Natural Hazards*, 114, 367-387. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05393-w>
- Yavuz, V., Özdaş, M., Lupo, A. R., Fox, N. I., & Deniz, A. (2023). Historical extreme winters of Istanbul: the factors that contributed to severe winters during the 20th and 21st centuries. *International Journal of Global Warming*, 29(4), 350-361. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2023.130134>
- Yavuz, V. (2023). An analysis of atmospheric stability indices and parameters under air pollution conditions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, Article 934. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11556-4>

Orman Yangını Sonrası Oluşan Hasarın ve Hava Kirleticisi Parametrelerin İzlenmesi: Çanakkale Yangını Örneği

Özer Akyürek^{1*}

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, 41001, Kocaeli.

Özet

Ormanlar, sahip olduğu biyoçeşitlilik ile sağladığı katkılar açısından yeryüzünün vazgeçilmez bir parçasıdır. Gezegenimizin üçte birine yayılmış durumda olan ormanları etkileyen en önemli faktörlerin başında yangınlar gelmektedir. Orman yangınları yeryüzündeki doğal afetler içerisinde neden oldukları yıkıcı etkiler ile öne çıkmakta, ayrıca çok önemli bir gaz ve aerosol kaynağı olarak nitelendirilmektedirler. Orman yangınlarının takibi, afet izleme ve önleme açısından son derece önemli bir durumdur. Son yıllarda yangınların takibinde sıklıkla kullanılmakta olan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama, veri toplama, analiz ve yorumlama bakımından öne çıkan yöntemlerdir. Bu çalışma, 22 Ağustos 2023 tarihinde Çanakkale’de meydana gelen ve 3 gün süren orman yangınının Sentinel-2 ve 5P uzaktan algılama görüntüleri ve CBS yardımıyla analizine odaklanmaktadır. Analizin sonuçları, yangından etkilenen toplam alanın 4191.93 hektara (ha) yayıldığını ve çok çeşitli Arazi Örtüsü / Kullanımı sınıflarını kapsadığını ortaya koymuştur. Özellikle, ormanlar ve tarım arazileri bu bölgede en belirgin hasarı görmüştür. Çalışmada ayrıca yangın sonrasında atmosfere yayılan kirleticisi maddelerin yoğunluğunu gösteren Aerosol indeks değeri ve Azot dioksit (NO₂) hava kirliliği parametreleri izlenmiş ve uydu görüntüleri aracılığıyla konsantrasyonları belirlenmiştir. Kaydedilen en yüksek NO₂ konsantrasyonu yangının son günü olan 24 Ağustos’ta 0.02624702 mol/m² olarak tespit edilmiştir. Üç günlük toplam atmosfere yayılan NO₂ değeri ise 0.06020184 mol/m² olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler

Görüntü İşleme, Hava Kirleticisi Parametreleri, Orman Yangını, Sentinel-2 ve 5P

Monitoring Damage and Air Pollutant Parameters after Forest Fire: A Case Study of Çanakkale Fire

Abstract

Forests are an indispensable part of the Earth in terms of their biodiversity and contributions. Fires are one of the most important factors affecting forests, which cover one third of our planet. Forest fires are among the most destructive natural disasters on Earth and are also a very important source of gases and aerosols. The monitoring of forest fires is extremely important for disaster monitoring and prevention. Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing, which have been widely used in fire monitoring in recent years, are prominent methods in terms of data collection, analysis and interpretation. This study focuses on the analysis of the forest fire that occurred in Çanakkale on August 22, 2023 and lasted for 3 days with the help of Sentinel-2 and 5P remote sensing images and GIS. The results of the analysis showed that the total area affected by the fire was 4191.93 hectares (ha) and covered a wide range of land cover/use classes. In particular, forests and agricultural lands were the most severely affected in this region. The aerosol index and nitrogen dioxide (NO₂) air pollution parameters, which indicate the concentration of pollutants emitted into the atmosphere after the fire, were monitored and their concentrations determined from satellite imagery. The highest NO₂ concentration recorded was 0.02624702 mol/m² on August 24, the last day of the fire. The total amount of NO₂ emitted into the atmosphere for three days was determined to be 0.06020184 mol/m².

Keywords

Image Processing, Air Pollutant Parameters, Forest Fire, Sentinel-2 and 5P

1. Giriş

Orman, belli bir kapalılık düzeyindeki ağaçlar, diğer bitki türleri ve hayvanlarla birlikte topraktaki gözle görülemeyen organizmaların etkileşimde bulunduğu canlı bir sistem ve topluluk olarak tanımlanmaktadır (Orman Genel Müdürlüğü, 2021). Birçok orman diğer ekosistemlerden daha fazla biyolojik çeşitliliğe sahip olduğundan, orman ekosistemleri dünyanın biyolojik çeşitliliğinin kritik bir bileşenidir. Dünya ormanlarının kümülatif genişliği 4,06 milyar hektar (ha) gibi şaşırtıcı bir alanı kapsamakta ve gezegenin karasal alanının yaklaşık % 31’ini kaplamaktadır (Food and Agriculture Organization, 2022). Türkiye, ekolojik açıdan zengin bir çeşitliliğe sahip olan 78 milyon ha’lık bir alana sahiptir. 2020 yılında yapılan tespitlere göre, ülkenin ormanlık alanları 22.9 milyon ha olarak belirlenmiştir.

Bu ormanlık alan, ülkenin toplam alanının %29.4'ünü kaplamaktadır (Orman Genel Müdürlüğü, 2021). Geçmişten günümüze kadar geçen süre içerisinde yüksek mevsimsel sıcaklıklar ve rüzgarlar ciddi yangınlara neden olmuş ve orman varlığına ciddi zararlar vermiştir (Elvan vd., 2021). Dünya üzerindeki doğal arazi örtüsü, kentsel planlamadan sürdürülebilir kalkınmaya, çevresel araştırmalardan doğal kaynakların yönetimine kadar birçok sosyal ve ekonomik faktörü doğrudan etkileyen önemli bir unsurdur. İklim değişikliği, orman sağlığını tehdit eden önemli bir risk faktörü olarak ortaya çıkmaktadır. Güncel kanıtlar, orman yangınlarının ve haşere salgınlının artan sıklığını ve yoğunluğunu doğrulamaktadırlar. Asırlık bir doğa olayı olan yangın, çağlar boyunca karasal ekosistemler üzerindeki etkisini hissettirmiş ve çeşitli biyomların hatlarını karmaşık bir biçimde şekillendirmiştir (Food and Agriculture Organization, 2022; Lerma-Arce vd., 2023). Yangınlar, arazi örtüsünü hızla değiştiren ve kimyasal değişikliklere neden olarak, doğal ekosistemlere ciddi zararlar veren bir faktör olarak tanımlanmaktadır (Zielinski vd., 2016; Kolanek vd., 2021). Ormansızlaşmanın başlıca tetikleyicileri arasında yangınlar önemli bir yer tutmaktadır. Bu yangınların %95'inden fazlasının kökeninin ihmal ve kasıtlı kundaklamayı da kapsayan insan davranışlarına dayandığının ortaya çıkması dikkat çekicidir (Flannigan vd., 2006; de Rigo vd., 2017).

Tüm olumsuz etkilerinin yanında orman yangınları ayrıca dünya çapında çok önemli bir gaz ve aerosol kaynağıdır (Yarragunta vd., 2020; Kolusu vd., 2015; Magro vd., 2021). Son zamanlarda, insan faaliyetlerinin doğrudan bir sonucu olarak atmosferdeki karbondioksit, metan, azot oksit ve ozon gibi aktif gazların artan varlığından kaynaklanan küresel ısınmadaki artış gözle görülür bir hale gelmiştir. Antropojenik eylemlerin itici gücüyle değişen bu iklim manzarası, dünya genelinde ormanlar ve yaban hayat üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır (Ray vd., 2019; Volkova vd., 2019; Lerma-Arce vd., 2023). Bu karmaşık etkileşime çarpıcı bir örnek olarak 1984 yılından bu yana küresel ısınma sebebiyle orman yangınlarının iki katına çıkması verilebilir (Mansoor vd., 2022). Orman ekosistemleri 662 milyar ton gibi şaşırtıcı bir karbon stoğu barındırmaktadır; bu, toprak ve bitki örtüsü içinde bulunan Dünya'nın toplam karbon içeriğinin yarısını aşan bir rezervuara denk gelmektedir. Bununla birlikte, iklimsel değişikliklerin bir sonucu olan yangınların tahribatı, bitki örtüsünde tutulan karbonun yaklaşık %10'luk bir bölümünün azalmasıyla ve atmosfere salınmasıyla sonuçlanmaktadır (Grecu vd., 2020; Lerma-Arce vd., 2023).

Hava kalitesi yönetim stratejileri oluşturulurken önemli bir hava kirleticisi kaynağı olan orman yangınları da dikkate alınmalıdır. Orman yangınlarının sonuçlarından bir tanesi yerel, bölgesel ve küresel ölçekte atmosfere salınan çevresel açıdan önemli kirleticisi parametre gaz emisyonlarının farklı çeşitlerde olmasıdır. Atmosfere yayılan kirleticiler arasında partikül madde (PM), karbon dioksit (CO₂), karbon monoksit (CO), metan (CH₄), metan olmayan hidrokarbonlar (NMHC) ve azot oksitler (NO_x) bulunmaktadır (Yarragunta vd., 2020). Literatürdeki epidemiyolojik çalışmalar akciğer kanseri, kardiyopulmoner ölümler ve astım hastalıklarının sebebinin hava kirliliği olduğunu göstermektedir (Jeong & Hong, 2021). Orman yangınlarının neden olduğu duman kirliliği özellikle yangınla mücadelede görev alan personel başta olmak üzere tüm toplum için önemli bir halk sağlığı sorunu oluşturmaktadır (Butt vd., 2020; Kolusu vd., 2015). Ancak orman yangınlarının neden olduğu hava kirliliği olaylarını belirlemek her zaman kolay olmamaktadır. Yangınlar sonucunda atmosfere yayılan kirleticilerin taşınıp dağılması sebebiyle hava kalitesi üzerindeki etkileri çok uzak mesafelerde gerçekleşebilmektedir. Orman yangınları belirli hektarlarla sınırlı olsa da, etkileri hiçbir doğal ve politik sınır gözetmeksizin olay kaynağından çok uzaklarda da görülebilmekte ve hissedilebilmektedir. Meteorolojik koşullara bağlı olarak, kirleticisi parametreler içeren duman bulutları ve pus tabakaları atmosferde uzun süreler kalabilmekte ve canlı sağlığını olumsuz etkilemektedir (Kolusu vd., 2015).

Uzaktan Algılama (UA) platformları son yıllarda hava kalitesinin izlenmesinde kullanılan önemli bir araç haline gelmiştir (Le vd., 2014). Teknolojik ilerleme, Landsat, Sentinel ve SPOT gibi uydu platformlarının yangınlar sırasında ve sonrasında farklı konumsal ve zamansal çözünürlüklerde görüntüler sağladığı yeni bir çağ başlatmıştır. Bu teknolojik sıçrama, etkili afet yönetimi için muazzam sonuçlar doğurmaktadır. Bu platformlar, yangın olaylarının hemen sonrasında kapsamlı bir görüş sunarak, afet azaltma için etkili stratejilerin tasarlanmasına ve uygulanmasına önemli katkılarda bulunmaktadır. CBS'nin mekansal verilerin yönetimindeki etkinliği, analiz kabiliyeti, güçlü görselleştirme ve sunum potansiyeli ile sorgulamalara olanak sağlama yeterliliği çalışmalar için tercih edilen bir araç haline gelmesine neden olmuştur (Roy vd., 2019; Giglio & Roy, 2020; Wooster vd., 2021).

Orman yangınları, iklim değişikliği ve hava kirliliği arasındaki karmaşık etkileşimi anlamaya yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Reid vd. (2016), orman yangını kaynaklı dumanın hem insan sağlığı hem de atmosfer üzerindeki etkilerine ilişkin araştırmaları derlemişlerdir. Goldberg vd. (2019) çalışmalarında Kuzey Amerika'nın üç büyük kenti olan New York, Chicago ve Toronto için NO_x değerlerini TROPOMI görüntüleri ile incelemişlerdir. Volkova vd. (2019), Avustralya'daki büyük yangınlardan sonra atmosfere salınan sera gazı emisyonlarını incelemişlerdir. Yangınlardan sonra atmosfere salınabilecek sera gazlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Zheng vd. (2019) çalışmalarında 2018 yılı için Çin'in iki eyaletindeki NO₂ seviyelerini TROPOMI görüntüleri ile analiz etmişlerdir. Çolak ve Sunar (2020) CBS ile Akdeniz bölgesindeki ormanların yangın risk durumlarını İzmir Menderes bölgesinde meydana gelen yangın üzerinden araştırmışlardır. Yarragunta vd. (2020) çalışmalarında kuzey batı Himalayalarda iki farklı tarihte çıkan orman yangınları sonrası atmosfere salınan hava kirleticisi gazlardan olan ozon, karbon monoksit ve azot oksitlerin dağılımını incelemişlerdir. Minallah vd. (2021) yaptıkları çalışmalarında 2019 yılında Avustralya'da çıkan orman yangınları sonrasında atmosfere karışan hava kirleticilerini TROPOMI görüntüleri ile analiz etmişlerdir. Analizleri sonucunda inceledikleri bütün kirleticisi parametrelerde %100'ün üzerinde artışların olduğunu belirlemişlerdir.

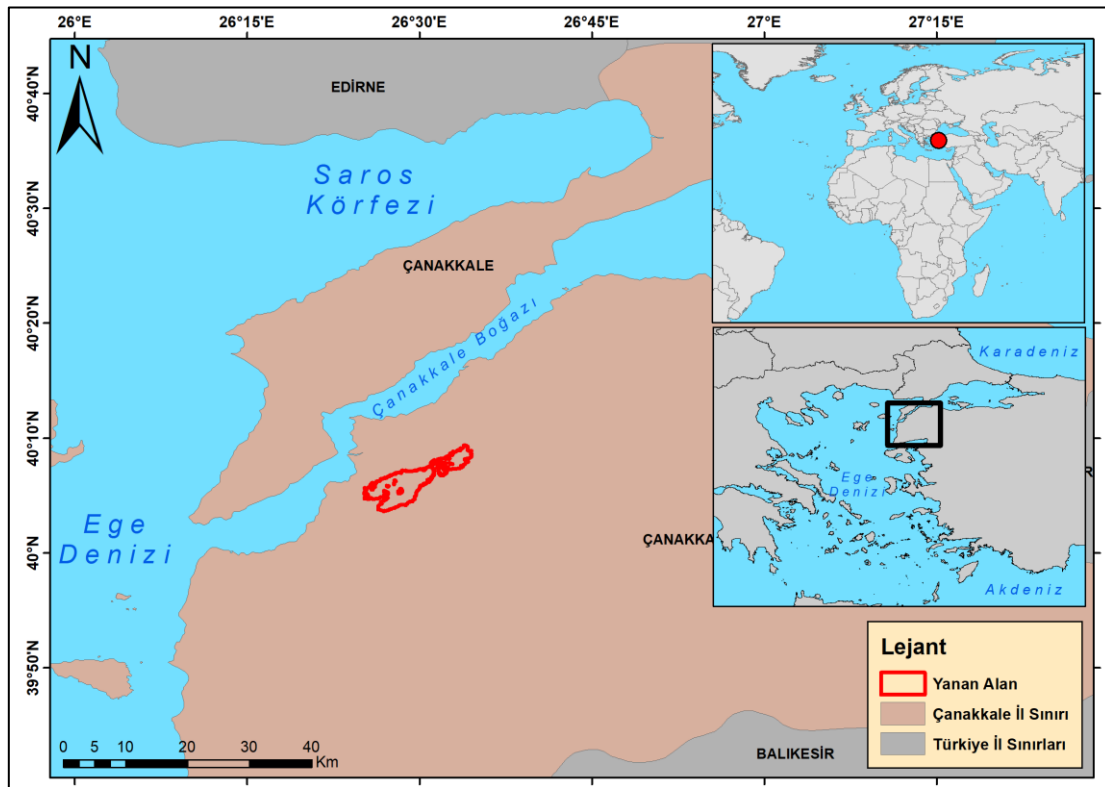
Wooster vd. (2021), orman yangınlarının sera gazı konsantrasyonlarını nasıl arttırdığını ve hava kalitesini nasıl tehlikeye attığını açıklayarak uzaktan algılamanın yangın izlemedeki etkinliğini vurgulamışlardır.

Bu çalışmada 22 Ağustos 2023 günü Çanakkale ilinde meydana gelen ve 3 gün süren (22-24 Ağustos) orman yangının yarattığı hasarın tespiti ve yangın sebebiyle atmosfere yayılan kirletici parametrelerin takibinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için 20 m konumsal çözünürlüğe sahip Sentinel-2 UA görüntüleri ile yangının sınırları belirlenmiştir. Belirlenen sınırlar içerisinde kalan CORINE Arazi Örtüsü / Arazi Kullanımı (AÖ/AK) verileri ile hasar gören arazi sınıflarının istatistiki bilgileri elde edilmiştir. Ayrıca Sentinel-5P görüntüleri analiz edilerek orman yangını sırasında ortaya çıkan hava kirletici parametrelerine ait yayılım haritaları ve yoğunlukları da tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

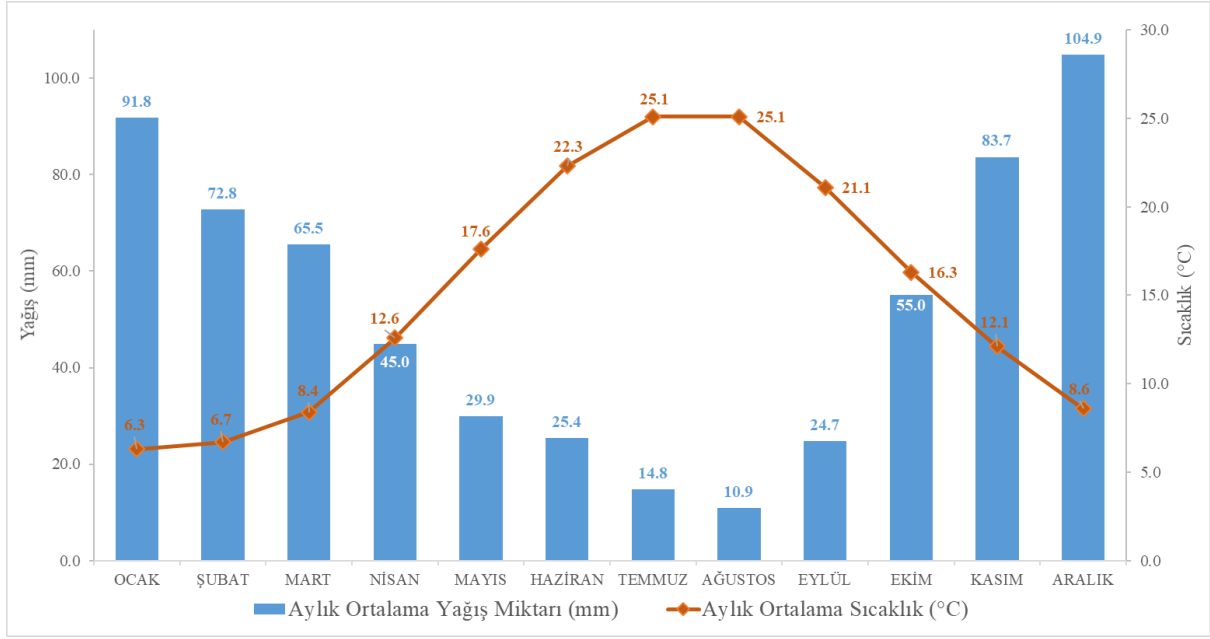
2.1 Çalışma Alanı

Çanak kale, coğrafi olarak Türkiye'nin kuzeybatısında, Gelibolu ve Biga Yarımadası ile hem Asya hem de Avrupa'da toprakları bulunan, 25° 35' ve 27° 45' Doğu boylamları ile 39° 30' ve 40° 42' kuzey enlemleri arasında 9.737 km² lik yüzölçüme sahip, nüfus sıralamasına göre 559.383 kişi ile Türkiye'nin 40. büyük ilidir (Şekil 1). ("**Çanak kale**", 2006; **Çanak kale Belediyesi**, t.y.). İl yüzölçümünün %55'i ormanlık alanlarla kaplıdır. Geri kalan alanlar ise çayır, mera ve tarım için uygun arazilerdir. Bu bölgede Akdeniz iklimine özgü bitki türleri olan makiler, defne, kocayemiş, mersin ve çalılıklardan oluşan bitki toplulukları bulunur. Ormanlık bölgelerde farklı cins ağaçlar bir araya gelerek karışık ağaç toplulukları oluşturmaktadır. Bu topluluklarda genellikle kızılçam, karaçam, köknar, meşe ve kayın gibi ağaç türleri hakimdir. Ayrıca, Kazdağları çevresinde koru tipi ormanlara rastlanırken, iç kısımlarda bozkır görünümüne sahip, cılız otlu alanlar ve tarım için uygun topraklar bulunmaktadır. Ayrıca, su kenarlarında her mevsim yeşil kalan çayır lar da mevcuttur (**Çanak kale İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü**, t.y.).



Şekil 1: Çalışma alanı

İlin iklimi incelendiğinde Akdeniz ve Karadeniz geçiş ikliminin hüküm sürdüğü görülmektedir. Genel karakteriyle Akdeniz iklimi özelliklerini yansıtmaktadır. Yılın büyük bölümünde ilin hemen hemen her yerinde rüzgarlı günler yaşanmaktadır. İç kesimlere gidildikçe artan yükseklik sebebiyle sıcaklık farklılıkları oluşmaktadır. Hava sıcaklıklarının yıllık ortalaması 15.2 °C'dir. Sıcaklıklar yaz aylarında 25 °C civarındadır, kış aylarında ise kuzeyden gelen sert rüzgarlar iklimde önemli rol oynamaktadır. Kış aylarındaki ortalama sıcaklık ise 7 °C civarındadır. Yıllık ortalama yağış miktarı 624.4 mm'dir. Yağışın çoğu kış aylarında gerçekleşirken, yazları kurak geçmektedir (Şekil 2) ([Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023](#)).



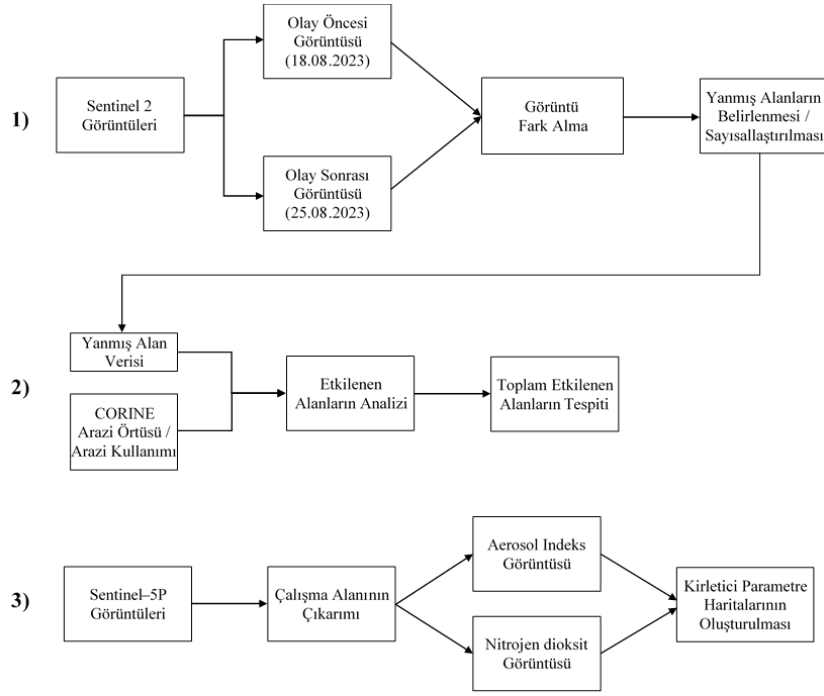
Şekil 2: Çanakkale iklim verileri (1929–2022) (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023)

2.2 Veri seti

Bu çalışmada, Avrupa Çevre Ajansı'nın Kopernik Arazi İzleme Servisi (Copernicus Land Monitoring Service) tarafından sağlanan CORINE AÖ/AK bilgilerini içeren vektör verileri ile farklı konumsal çözünürlük değerlerine sahip (10, 20 ve 60 m) Avrupa Uzay Ajansı'nın kontrolünde bulunan Sentinel-2 ve 5P UA görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan Sentinel-2 görüntüleri atmosferik olarak düzeltilmiş ve yeryüzü yansımaya değerlerine sahip Seviye 2A (Level-2A) görüntüleridir. Multispektral uydu görüntüleri (Sentinel-2), Atmosferik Penetrasyon Bant Kombinasyonu (R:12, G:11, B:8A) ve görüntü fark alma tekniğinden faydalanarak yangından etkilenen alanların doğru bir şekilde elde edilmesi amacıyla, yangın olayından önce ve sonra olarak kullanılmıştır. Ayrıca, Sentinel-5P uydu görüntüleri, yangının neden olduğu Aerosol İndeks (Aİ) ve Azot dioksit (NO₂) olmak üzere hava kirleticisi ölçümlerini tespit ve analiz etmek için kullanılmıştır.

Atmosferik izleme amacıyla kullanılan ilk Kopernik görevi olan Sentinel-5P, TROPOsferik İzleme Aracını (TROPO Monitoring Instrument, TROPOMI) taşımaktadır. Bu araç, azot dioksit, ozon, formaldehit, kükürt dioksit, metan, karbon monoksit ve aerosoller dahil olmak üzere, hem hava kalitesini hem de iklimi etkileyen çeşitli hava kirleticisi gazların izlenebilmesini sağlamaktadır. Pasif UA tekniklerini kullanan TROPOMI, ultraviyolede kısa dalga kızılötesine kadar dalga boylarını kapsayan, nadir görüşlü bir görüntüleme spektrometresi yardımıyla algılama yapmaktadır. Push-broom konfigürasyonunda çalışan cihaz, dünya yüzeyinde yaklaşık 2600 km'lik bir alan genişliği kapsamakta ve nadirde ki, piksel boyutu tüm spektral bantlar için 5,5 x 3,5 km (6 Ağustos 2019'dan önce: 7 x 3,5 km) ve SWIR bantları için 7x7 km'dir (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>).

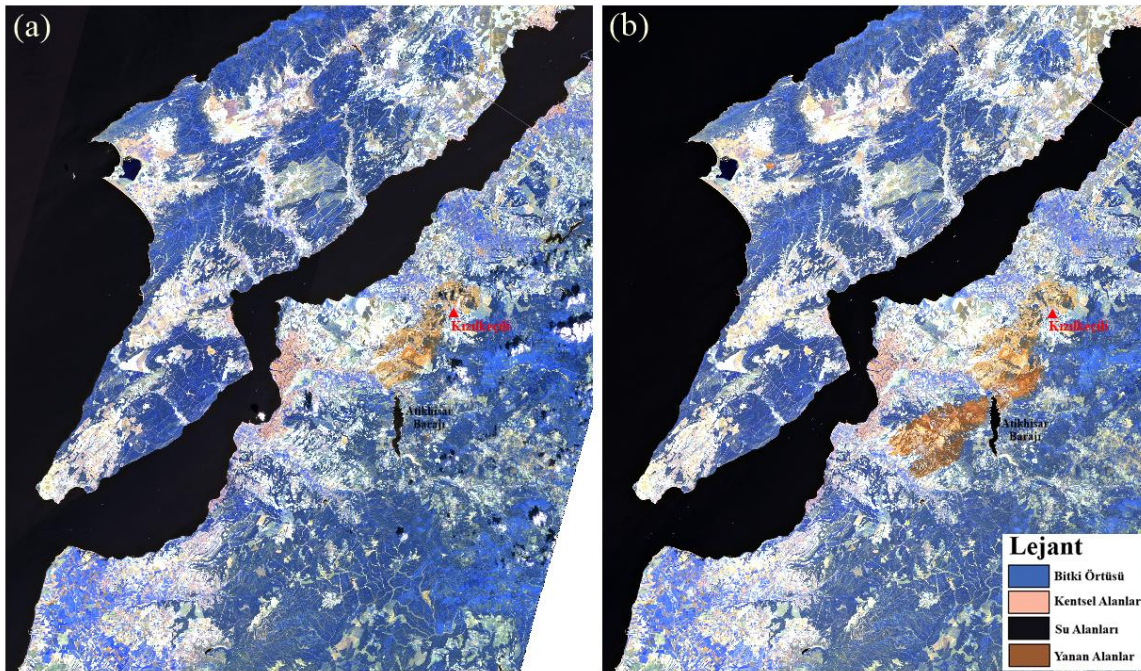
Tüm bu veriler kullanılarak orman yangınının Çanakkale'deki etkilerinin CBS ve UA teknikleri ile incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada gerçekleştirilen metodolojik iş akışı Şekil 3'te gösterilmektedir. İş akışının ilk aşamasında, Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak yanan alanların belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu, atmosferik penetrasyon bant kombinasyonunun uygulanması ve görüntü farkı metodolojisinin kullanılması yoluyla sayısallaştırma işlemi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Yanan alanların belirlenmesi işlemi, olay öncesi ve sonrası görüntülerin karşılaştırılması yöntemiyle yapılmıştır. Daha sonraki aşamada, yanan alanın çeşitli AÖ/AK sınıflarında neden olduğu tahribatın boyutu değerlendirilmiştir. Bunun için, AÖ/AK ve yanan bölgeyi kapsayan veri kümeleri CBS içerisinde üst üste bindirilerek yangından etkilenen bölgelerin belirlenmesi sağlanmıştır. Son aşamada, Sentinel-5P görüntüleri kullanılarak yangın olayından kaynaklanan hava kirleticisi parametrelerin analizi yapılmıştır. Bu analiz, açık kaynak kodlu Python yazılımı ortamında geliştirilen özel kod blokları aracılığıyla gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak hava kirleticisi parametrelerin dağılımını gösteren kirlilik haritaları oluşturulmuştur. Aİ görüntüsü, yangın sırası ve sonrasında atmosfere karışan kirleticisi parametrelerin yoğunluğunu göstermektedir. Özellikle, orman yangınlarından kaynaklanan önemli emisyonlardan biri olan NO₂ kirleticisine karşılık gelen yoğunluk değerleri, uydudan elde edilen görüntülere dayalı olarak troposferik dikey sütun miktarları olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3: Metodolojik iş akış şeması

3. Bulgular

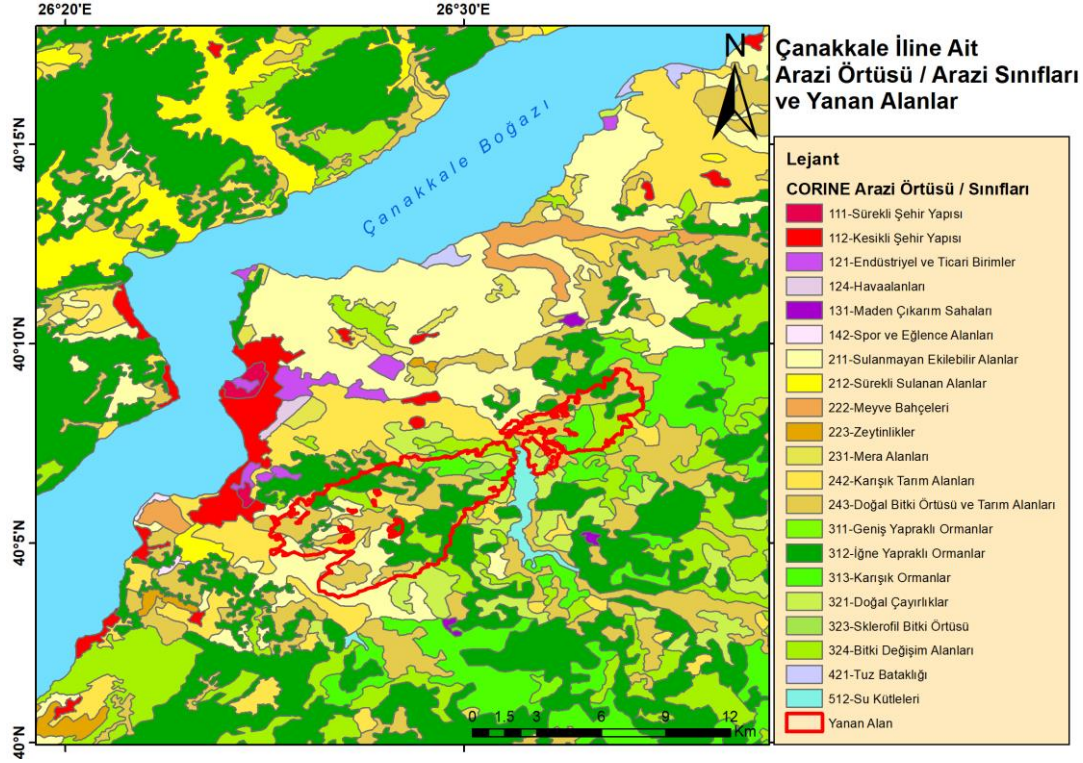
Çalışmanın ilk bölümünde, Çanakkale yangınının boyutunu, sınırlarını görmek ve belirlemek için Sentinel-2 UA platformu tarafından 20 m konumsal çözünürlüğe sahip yangın öncesi 18.08.2023 tarihine ait ve sonrası 25.08.2023 tarihine ait görüntüler kullanılmıştır. Şekil 4'te gösterilen Sentinel-2 görüntülerindeki atmosferik penetrasyon bant kombinasyonu (R:12, G:11, B:8A) ve görüntü fark alma yöntemi kullanılarak yanan alanların sınırları sayısallaştırılmıştır. Bu bant kombinasyonunun kullanılmasının nedeni; elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinden bantlar içermemesi, dolayısıyla görüntü üzerinde azaltıcı etkisi olan duman ve pus gibi atmosferik partiküllerin bozucu etkilerinin en aza indirilmesidir. Atmosferik penetrasyon bant kombinasyonu, yanmış alanları diğer bant kombinasyonlarına göre daha net bir şekilde ortaya çıkarabilmektedir.



Şekil 4: Çanakkale yangınına ait (a) önce ve (b) sonra görüntüleri (R:12, G:11, B:8A)

Şekil 4-a'da Çanakkale şehir merkezinin doğusunda Atikhisar barajı üzerinde bulunan ve kahverengi ile görülmekte olan bölge 16 Temmuz 2023'te Çanakkale merkeze bağlı Kızılkeçili köyü yakınlarında meydana gelen orman yangınında tahrip olan bölgeyi göstermektedir. Bu çalışmada bahsi geçen orman yangınına ait herhangi bir araştırma yapılmamıştır.

Çalışma bölgesi AÖ/AK açısından değerlendirildiğinde, çeşitli ekolojik bölgelerin varlığı ortaya çıkmaktadır. Bunlar bitki değişim alanları, iğne yapraklı orman, karışık orman, doğal çayır/likler ve sklerofil bitki örtüsü gibi ağaçlık bölgelerin yanı sıra mera alanlarını da kapsamaktadır. Ayrıca, arazide sulanmayan ekilebilir alanlar, karışık tarım alanları ve yerleşim bölgeleri de bulunmaktadır. Yanmış bölge ve çevresindeki AÖ/AK sınıflarının dağılımı Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5: Yanan alan etrafında bulunan arazi örtüsü / arazi kullanımı sınıfları

Çalışmanın ikinci bölümü uydu görüntüleri ile yanmış alanlar belirlendikten sonra, bu alanların AÖ/AK ile zarar miktarı tespit edilmesini içermektedir. Yangından etkilenen bölgelerin ayrıntılı bir dökümü Tablo 1'de sunulmuş ve istatistiksel bilgileri verilmiştir. Analizler sonucunda 4191.93 ha'lık bir alanın yangından etkilendiği tespit edilmiştir. Yangından etkilenen bölge çeşitli AÖ/AK sınıflarını kapsamaktadır. Yangından en çok etkilenen alanlar 2133.02 ha ile Ormanlık alanlar ve 2058.91 ha ile tarım alanlarıdır. Bu alanlar arasında, doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları 1170.64 ha ile en olumsuz etkilenen sınıf olarak öne çıkmaktadır. İkinci olarak, 958.58 ha'lık alanla iğne yapraklı ormanlar önemli ölçüde zarar görmüştür. Ardından, 588.88 ha ile sulanamayan ekilebilir alanlar hasara maruz kalmıştır. Yangından en az etkilenen sınıf 47.88 ha ile sklerofil bitki örtüsüdür.

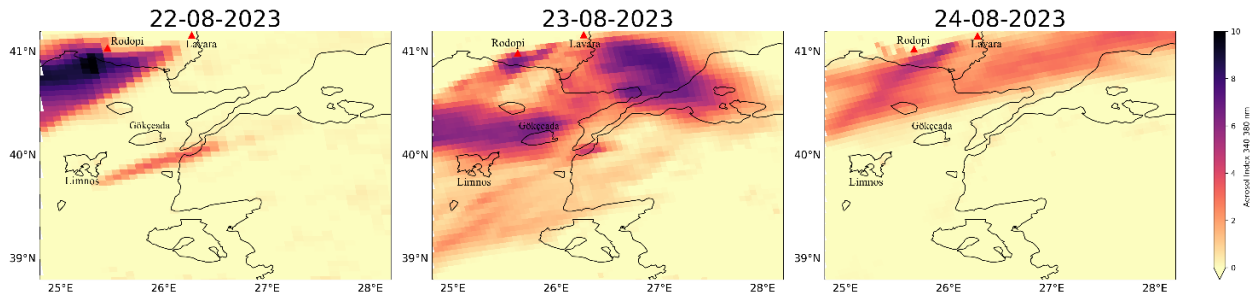
Tablo 1: Çanakkale yangınından etkilenen alanlar

	Yanan alan	Toplam etkilenen (ha)
		4191.93
Arazi örtüsü/ arazi kullanımı	Sulanamayan Ekilebilir Alanlar	588.88
	Mera Alanları	44.10
	Karışık Tarım Alanları	255.29
	Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım Alanları	1170.64
	İğne Yapraklı Ormanlar	958.58
	Karışık Ormanlar	351.56
	Doğal Çayır/likler	271.18
	Sklerofil Bitki Örtüsü	47.88
	Bitki Değişim Alanları	503.82

UA teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte artık yeryüzünün incelenmesinin yanında onu çevreleyen atmosfer katmanlarındaki değişimlerin de izlenmesi mümkün hale gelmiştir. Sentinel-5P algılayıcısı atmosferin stratosfer ve troposfer katmanlarındaki hava kirletici parametrelerinin ve aerosollerin takibinin yapılabilmesini mümkün kılmıştır. Ülkelerin hava kalitesini belirlemek amacıyla oluşturdukları Hava Kalitesi İzleme istasyonları (Türkiye’de 199 adet istasyon bulunmakta) sadece yeryüzünden belirli bir mesafeye kadar (yaklaşık 50–100 m) ölçüm yapabilmekte ve yeryüzüne yakın bölgelerin hava kalitesi hakkında bilgi verebilmektedir.

Ancak kirletici parametrelerin atmosfer katmanlarında ne oranda bulunduğunu ve hangi yönde ne kadar hareket ettiği veya edebileceğini belirleyebilmek bu gözlem uyduları ile elde edilen bilgiler sayesinde mümkün olmuştur. Sağlıklı bir insan günde 25.000 kez soluk alıp vermekte ve bu da yaklaşık 11 m³’lük havanın akciğerlere girip çıkması anlamına gelmektedir. Atmosferde bulunan kirletici maddelerin takibi bu nedenle insanlar ve diğer canlılar için çok önemli bir hale dönüşmektedir. Atmosferdeki havanın bileşiminde bulunan kirletici parametrelerin konsantrasyonlarındaki en ufak değişiklikler insanlar üzerinde kronik akciğer bozuklukları, astım, bronşit ve kanser gibi olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Çalışmanın son bölümünde UA görüntüleri kullanılarak yangının tetiklediği hava kirletici parametrelerinin ve dumanın davranışının izlenilmesine odaklanılmıştır. İlk aşamada, yangın esnasında meydana gelen dumanın atmosfere dağılma şekli ve kapsamı incelenmiştir. Bu analiz 22–23–24.08.2023 tarihlerini kapsayan Aİ görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan Aİ görüntüleri, çeşitli uydulardan elde edilen kırk yılı aşkın bir geçmişe sahiptir. Ultra Viyole Aerosol İndeksi (UVAI) olarak adlandırılan bu Aİ parametresi, belirli bir dalga boyu çifti göz önünde bulundurularak ultraviyole (UV) dalga boyu aralığındaki spektral farklılıklara dayanmasıyla belirgin bir şekilde karakterize edilmektedir. Gerçek ve modellenmiş yansıma arasındaki fark bir artış değere yol açmakta, pozitif kalıntılar duman ve toz gibi UV emici aerosollerin varlığına işaret ederken, bulutlar neredeyse sıfır kalıntılarla ilişkilendirilmektedirler. Bunların aksine, güçlü negatif kalıntılar, sülfat aerosolleri de dahil olmak üzere emici olmayan aerosolleri göstermektedir. Aİ’nin çok yönlülüğü, onu çöl tozu, volkanik kül ve orman yangını kaynaklı dumanı kapsayan aerosol bulutlarını izlemek için paha biçilmez bir araç haline getirmektedir (Zweers, 2018).

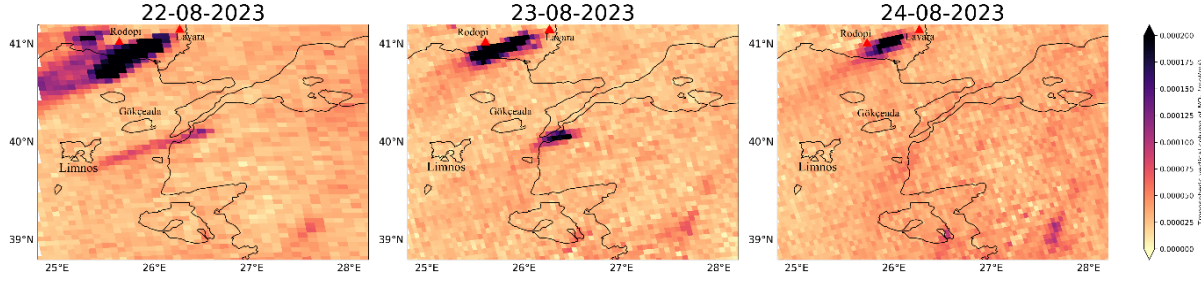


Şekil 6: Yangın esnasında atmosfere yayılan aerosol indeks değerleri

Şekil 6 yangın sırasında atmosferdeki Aİ değerlerini göstermektedir. 22 Ağustos tarihli görüntü incelendiğinde, Çanakkale yangın bölgesinden başlayarak yaklaşık 110 km güneybatıya Limnos adasının güneyine kadar ulaşan Aerosol değerleri net bir şekilde görülebilmektedir. Ayrıca aynı tarihlerde Yunanistan’da meydana gelen Rodopi ve Lavara yangınlarından atmosfere yayılan Aerosol değerleri de yine aynı görüntü içerisinde yer almaktadır. 23 Ağustos tarihli görüntüde ise Yunanistan’da meydana gelen yangınlar sonucu atmosfere yayılan Aerosollerin, tüm güney Trakya’yı, batıda Erdek, güney ve güneybatıda ise Gökçeada ve Limnos adasına kadar geniş bir alanda etkilediği görülmektedir. Aynı gün Çanakkale’de devam eden yangının yoğunluğunu artırarak Çanakkale şehri üzerinde bir Aerosol tabakası oluşturduğu gözlemlenmektedir. 24 Ağustos tarihli görüntü incelendiğinde ise Çanakkale yangının Aerosol etkisinin kaybolduğu, Yunanistan yangınlarının ise etkisini azalmış bir şekilde halen devam ettiği görülmektedir.

Son olarak, yangın sırasında açığa çıkan NO₂ kirletici parametresi konsantrasyonları üzerinde bir analiz yapılmıştır. Azot dioksit (NO₂) ve azot oksit (NO), topluca azot oksitler (NO_x) olarak adlandırılır ve dünya atmosferinde önemli eser gazlar olarak yer alır. Bu gazlar hem troposferde hem de stratosferde dağılım göstermektedir. Atmosfere salınımları, topraktaki mikrobiyolojik faaliyetler, orman yangınları ve yıldırım gibi doğal süreçlerin yanı sıra, özellikle fosil yakıtların ve biyokütle yanması gibi insan faaliyetlerinden de kaynaklanmaktadır. Gün ışığı koşullarında, ozon (O₃) içeren bir fotokimyasal döngü NO’nun NO₂’ye (veya tersi) dönüşümünü kolaylaştırır. Troposfer içindeki NO₂’nin insan sağlığı üzerindeki doğrudan etkisi göz önüne alındığında, hava kalitesi konularında çok önemli bir rol üstlenmektedir (Geffen vd., 2022). Şekil 7, Çanakkale yangını sırasında atmosfere karışan NO₂ kirletici parametresinin troposferik dikey sütun yoğunluğunu göstermektedir. Aİ haritalarında olduğu gibi NO₂ kirletici parametresi Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden elde edilen bilgilere göre bölgede bulunan güneybatı yönlü ortalama hızı 25 km/sa, maksimum hızı ise 50 km/sa’ye ulaşan yoğun ve sert rüzgar sebebiyle güneybatı yönüne doğru yaklaşık 110 km’lik bir mesafeye saçılım göstermiştir. 22 Ağustos günü Çanakkale yangınının sebep olduğu NO₂’nin troposferik toplam sütun yoğunluğu UA görüntülerinden 0.01286901 mol/m² olarak tespit edilmiştir. 23 Ağustos’ta ve sonrasında rüzgarın etkisinin azalmasıyla birlikte NO₂ değerleri herhangi bir yönde saçılım hareketi sergilemeyip Çanakkale kenti üzerinde yoğunlaşmıştır.

Bu güne ait tespit edilen troposferik toplam sütun yoğunluğu ise $0.02108581 \text{ mol/m}^2$ dir. 24 Ağustos gününe ait görüntü incelendiğinde ise yangın kontrol alınmaya başlanmış olmasına rağmen, yangın bölgesinde ve çevresinde görüntü üzerinde herhangi bir NO_2 yoğunluk değerine rastlanmamış olsa da troposferdeki toplam sütun yoğunluğu $0.02624702 \text{ mol/m}^2$ olarak üç günlük değer içerisindeki en yüksek değer olarak tespit edilmiştir. Bunun sebebinin yangının kontrol altına alınmaya başlanmasıyla birlikte yangının sebep olduğu duman yoğunluğunun azalmasına rağmen atmosferdeki fotokimyasal döngü sebebiyle NO_2 değerinin artmaya devam etmesi şeklinde yorumlayabilmek mümkündür.



Şekil 7: NO_2 troposferik düzey sütun değerleri (mol/m^2)

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada 22 Ağustos 2023 günü Çanakkale’de meydana gelen ve 3 gün süren orman yangının neden olduğu tahribatın boyutu ve yangın nedeniyle atmosfere karışan hava kirleticisi parametrelerinin takibinin yapılması amaçlanmıştır. Öncelikle yangının sınırlarını belirlemek için Sentinel-2 UA görüntüleri kullanılmıştır. Yangının öncesi ve sonrasına ait görüntülerin atmosferik penetrasyon bantlarının fark alma yöntemiyle tespit edilen sınırlarına göre, yangının sebep olduğu hasarı belirlemek için CORINE AÖ/AK verilerinden faydalanılmıştır. Hava kirleticisi parametrelerini belirlemek için ise Sentinel-5P UA platformu ile elde edilen görüntüler incelenerek yangın sonrası atmosfere salınan kirleticisi yoğunlukları belirlenmiş ve haritalandırılmıştır.

Orman yangınları, AÖ/AK’nın hızlı bir şekilde değişmesine veya tahrip olmasına neden olan doğal afetler arasında önemli bir faktördür. Çalışmada yapılan CBS analizleri 4191.93 ha ’lık çoğunlukla tarım arazisi ve ormanlık alana ait arazi örtüsünün tahrip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yangın sonrasında yapılan arazi çalışmaları ile Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yangından etkilenen alanın 4080 ha ’lık bir alan olduğu açıklanmıştır. Uydu görüntüleri ile entegre bir şekilde çalışan CBS ile hasar tespiti ve analizi, etkilenen arazi örtüsü detayında saatler içerisinde elde edilebilmektedir. Bu nedenle bu yöntemlerin afet yönetiminde etkili politika belirleme amacıyla hızlı karar vermeye olan katkıları kritik önemi ile ön plana çıkmaktadır. Bu durum, [de Rigo vd. \(2017\)](#), [Doerr ve Santín \(2016\)](#), [Flannigan vd. \(2006\)](#), [Kalabokidis vd. \(2013\)](#), [Ray vd. \(2019\)](#) ile [Khabarov vd. \(2016\)](#) dahil olmak üzere çeşitli araştırmacılar tarafından da ilgili çalışmalarda vurgulanmıştır.

Orman yangınlarının bir diğer önemli etkisi de kirleticisi parametrelerin atmosfere dağılımına önemli katkıda bulunmasıdır. Orman yangınları sırasında meydana gelen duman emisyonu, atmosferdeki aerosol ve kirleticisi parametre konsantrasyonlarında ani artışlara yol açmaktadır. Bu durum [Johnston vd. \(2012\)](#), [Lamarque vd. \(2010\)](#), [Lasslop vd. \(2020\)](#), [Tosca vd. \(2013\)](#), [van der Werf vd. \(2010\)](#), [Zhou vd. \(2021\)](#) ve [Ray vd. \(2019\)](#) tarafından yapılan araştırma çalışmalarında ele alınmıştır. Bu çalışmada yangın sebebiyle troposfere yayılan 3 günlük toplam NO_2 değeri $0.06020184 \text{ mol/m}^2$ olarak tespit edilmiştir. Bu değer kirleticisi parametrenin troposferdeki dikey sütun dağılımıdır ve hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen değerler ile karıştırılmamalıdır. Bu konsantrasyon değerlerinin düzenli bir şekilde takibinin yapılması yeryüzünde yaşayan canlıların sağlığı için son derece önemli bir konudur. Mevcut literatürdeki bu çalışmaların bulgularıyla uyumlu olarak, bu çalışma da benzer sonuçlar ortaya koymaktadır.

Günümüzde CBS, veri tabanlarının oluşturulması, çeşitli kaynaklardan toplanan verilerin işlenmesi, analiz edilmesi, sorgulanması ve sürekli olarak güncellenmesi için vazgeçilmez bir araç olarak durmaktadır. Aynı zamanda, UA, veri toplama ve analiz için güçlü bir yöntem olarak çalışmakta ve genellikle CBS ile birlikte çalışmaktadır. Hayati bir varlık olan bilgi, afet yönetimi ve müdahalesi alanında ön plana çıkmaktadır. Bu durum, bilgi üretmek ve analiz etmek için kullanılan CBS ve UA’nın afet yönetim sistemleri içinde ayrılmaz bileşenler olarak oynadıkları önemli rolün altını çizmektedir. Uydu görüntülerinden yararlanan CBS, afet yönetiminin her aşamasında fayda sağlamakta ve birçok ülkede afetlerin etkisini azaltmak için tercih edilen bir araç olarak ortaya çıkmaktadır. CBS ve UA’nın ortak becerisi, karar vericileri sivil korumayı güvence altına alan ihtiyatlı eylemlere yönlendirmektedir.

CBS’nin UA verileriyle desteklenen sinerjisi sayesinde afet sonrası senaryoların hızlı bir şekilde oluşturulması mümkün hale gelmektedir. Bu birleşme, hem bir afet olayının öncesinde, sırasında ve sonrasında karar verici kurum ve kuruluşların yanı sıra bu kararların uygulanmasından sorumlu olanlar için de geniş olanaklar sunmaktadır. Bu teknolojilerin bir araya gelmesi, planlama ve karar alma sürelerini kısaltırken aynı zamanda güçlü simülasyon yeteneklerini de beraberinde getirmektedir. Bu da sahadaki müdahalelerin doğruluğunu artırmakta ve bu tür sistemlerin benimsenmesi günden güne artmaktadır.

Teşekkür

Yazar, çalışmanın veri setlerinden CORINE verisini sağlayan Kopernik Arazi İzleme Servisine (Copernicus Land Monitoring Service) ve Sentinel-2 ve 5P uydü görüntülerini sağlayan Avrupa Uzay Ajansı'na (European Space Agency) teşekkür eder.

Kaynaklar

- Butt, E. W., Conibear, L., Reddington, C. L., Darbyshire, E., Morgan, W. T., Coe, H., Artaxo, P., Brito, J., Knote, C., & Spracklen, D. V. (2020). Large air quality and human health impacts due to amazon forest and vegetation fires. *Environmental Research Communications*, 2(9), Article 095001. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/abb0db>
- Çanakkale. (2006, Ağustos 12). In *Wikipedia*. <https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87anakkale>
- Çanakkale Belediyesi. (t.y.). *Coğrafi yapı*. 28 Ağustos 2023'de <https://www.canakkale.bel.tr/tr/sayfa/1125-cografya-yapi> adresinden alındı.
- Çanakkale İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. (t.y.). *Coğrafya*. 29 Ağustos 2023'de <https://canakkale.ktb.gov.tr/TR-70467/Cografya.Html> adresinden alındı.
- Çolak, E., & Sunar, F. (2020). Evaluation of forest fire risk in the Mediterranean Turkish forests: A case study of Menderes region, Izmir. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 45, Article 101479. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101479>
- Doerr, S. H., & Santín, C. (2016). Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1696), Article 20150345. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0345>
- Elvan, O. D., Birben, S., Özkan, U. Y., Yıldırım, H. T., & Türker, Y. Z. (2021). Forest fire and law: an analysis of Turkish forest fire legislation based on Food and Agriculture Organization criteria. *Fire Ecology*, 17(1), Article 12. <https://doi.org/10.1186/s42408-021-00102-7>
- Food and Agriculture Organization. (2022). *The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://doi.org/10.4060/cb9360en>
- Flannigan, M. D., Amiro, B. D., Logan, K. A., Stocks, B. J., & Wotton, B. M. (2006). Forest fires and climate change in the 21ST century. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(4), 847–859. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9020-7>
- Geffen, J. V., Eskes, H. J., Boersma, K. F., & Veefkind, J. P. (2022). *TROPOMI ATBD of the total and tropospheric NO₂ data products*. Royal Netherlands Meteorological Institute. <https://sentinel.esa.int/documents/247904/2476257/sentinel-5p-tropomi-atbd-no2-data-products>
- Giglio, L., & Roy, D. (2020). On the outstanding need for a long-term, multi-decadal, validated and quality assessed record of global burned area: caution in the use of advanced very high resolution radiometer data. *Science of Remote Sensing*, 2, Article 100007. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2020.100007>
- Goldberg, D. L., Lu, Z., Streets, D. G., de Foy, B., Griffin, D., McLinden, C. A., Lamsal, L. N., Krotkov, N. A., & Eskes, H. (2019). Enhanced Capabilities of TROPOMI NO₂: Estimating NO_x from North American Cities and Power Plants. *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12594–12601. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04488>
- Greco, S. P., Sluser, B. M., & Mihailescu, B. C. (2019). Statistical approach of environmental quality management and political decision-making at local level: case study Iași city, Romania. *Environmental Engineering and Management Journal*, 19(3), 517–530. <https://doi.org/10.30638/eemj.2020.050>
- Jeong, U., & Hong, H. (2021). Assessment of tropospheric concentrations of NO₂ from the TROPOMI/Sentinel-5 precursor for the estimation of long-term exposure to surface NO₂ over South Korea. *Remote Sensing*, 13(10), Article 1877. <https://doi.org/10.3390/rs13101877>
- Johnston, F. H., Henderson, S. B., Chen, Y., Randerson, J. T., Marlier, M., DeFries, R. S., Kinney, P., Bowman, D. M., & Brauer, M. (2012). Estimated global mortality attributable to smoke from landscape fires. *Environmental Health Perspectives*, 120(5), 695–701. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104422>
- Kalabokidis, K., Palaiologou, P., & Finney, M. (2013, July 1-4). *Fire behavior simulation in Mediterranean forests using the minimum travel time algorithm* [Conference presentation]. 4th Fire Behavior and Fuels Conference, St. Petersburg, Russia. https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_other/rmrs_2014_kalabokidis_k001.pdf
- Khabarov, N., Krasovskii, A., Obersteiner, M., Swart, R., Dosio, A., San-Miguel-Ayaz, J., Durrant, T., Camia, A., & Migliavacca, M. (2014). Forest fires and adaptation options in Europe. *Regional Environmental Change*, 16(1), 21–30. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0621-0>
- Kolaneck, A., Szymanowski, M., & Raczky, A. (2021). Human activity affects forest fires: the impact of anthropogenic factors on the density of forest fires in Poland. *Forests*, 12(6), Article 728. <https://doi.org/10.3390/f12060728>
- Kolusu, S. R., Marsham, J. H., Mulcahy, J., Johnson, B., Dunning, C., Bush, M., & Spracklen, D. V. (2015). Impacts of Amazonia biomass burning aerosols assessed from short-range weather forecasts. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(21), 12251–12266. <https://doi.org/10.5194/acp-15-12251-2015>
- Lamarque, J. F., Bond, T. C., Eyring, V., Granier, C., Heil, A., Klimont, Z., Lee, D., Liousse, C., Mieville, A., Owen, B., Schultz, M. G., Shindell, D., Smith, S. J., Stehfest, E., Van Aardenne, J., Cooper, O. R., Kainuma, M., Mahowald, N., McConnell, J. R., . . . van Vuuren, D. P. (2010). Historical (1850–2000) gridded anthropogenic and biomass burning emissions of reactive gases and aerosols: methodology and application. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(15), 7017–7039. <https://doi.org/10.5194/acp-10-7017-2010>
- Lasslop, G., Hantson, S., Harrison, S. P., Bachelet, D., Burton, C., Forkel, M., Forrest, M., Li, F., Melton, J. R., Yue, C., Archibald, S., Scheiter, S., Arneeth, A., Hickler, T., & Sitch, S. (2020). Global ecosystems and fire: Multi-model assessment of fire-induced tree-cover and carbon storage reduction. *Global Change Biology*, 26(9), 5027–5041. <https://doi.org/10.1111/gcb.15160>

- Le, T. H., Thanh Nguyen, T. N., Lasko, K., Ilavajhala, S., Vadrevu, K. P., & Justice, C. (2014). Vegetation fires and air pollution in Vietnam. *Environmental Pollution*, 195, 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.07.023>
- Lerma-Arce, V., Yagüe-Hurtado, C., Van den Berg, H., García-Folgado, M., Oliver-Villanueva, J. V., Benhalima, Y., Marques-Duarte, I., Acácio, V., Rego, F., López-Senespleda, E., Menéndez-Miguélez, M., Ruiz-Peinado, R., Petillon, T., Jalabert, S., Carbó-Valverde, E., Gimeno-García, E., Aleix-Amurrio, R., & Lorenzo-Sáez, E. (2023). Development of a model to estimate the risk of emission of greenhouse gases from forest fires. *Fire*, 6(1), Article 8. <https://doi.org/10.3390/fire6010008>
- Magro, C., Nunes, L., Gonçalves, O., Neng, N., Nogueira, J., Rego, F., & Vieira, P. (2021). Atmospheric trends of CO and CH₄ from extreme wildfires in Portugal using Sentinel-5P TROPOMI Level-2 data. *Fire*, 4(2), Article 25. <https://doi.org/10.3390/fire4020025>
- Mansoor, S., Farooq, I., Kachroo, M. M., Mahmoud, A. E. D., Fawzy, M., Popescu, S. M., Alyemeni, M., Sonne, C., Rinklebe, J., & Ahmad, P. (2022). Elevation in wildfire frequencies with respect to the climate change. *Journal of Environmental Management*, 301, Article 113769. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113769>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2023). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi İstatistikler*. 29 Ağustos 2023'de <https://www.mgm.gov.tr/Veridegerlendirme/Il-ve-Ilceler-Istatistik.aspx?M=CANAKKALE> adresinden alındı.
- Minallah, N., Khan, M., Khan, W., Sethi, M. A., & Khan, A. S. (2021). Impact analysis of wildfire by means of satellite based cyber-physical system. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 10(6), 325–335.
- Orman Genel Müdürlüğü. (2021). *2020 Türkiye orman varlığı*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü.
- Ray, T., Malasiya, D., Dar, J. A., Khare, P. K., Khan, M. L., Verma, S., & Dayanandan, A. (2019). Estimation of greenhouse gas emissions from vegetation fires in central India. *Climate Change and Environmental Sustainability*, 7(1), Article 32. <https://doi.org/10.5958/2320-642x.2019.00005.x>
- Reid, C. E., Brauer, M., Johnston, F. H., Jerrett, M., Balmes, J. R., & Elliott, C. T. (2016). Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure. *Environmental Health Perspectives*, 124(9), 1334–1343. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409277>
- Rigo, D., Libertà, G., Durrant, T. H., Vivancos, T. A., & San-Miguel-Ayanz, J. (2017). *Forest fire danger extremes in Europe under climate change: variability and uncertainty* (EUR 28926 EN, JRC108974). Publications Office of the European Union. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC108974>
- Roy, D. P., Huang, H., Boschetti, L., Giglio, L., Yan, L., Zhang, H. H., & Li, Z. (2019). Landsat-8 and Sentinel-2 burned area mapping - A combined sensor multi-temporal change detection approach. *Remote Sensing of Environment*, 231, Article 111254. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111254>
- Tosca, M. G., Randerson, J. T., & Zender, C. S. (2013). Global impact of smoke aerosols from landscape fires on climate and the Hadley circulation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(10), 5227–5241. <https://doi.org/10.5194/acp-13-5227-2013>
- van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Giglio, L., Collatz, G. J., Mu, M., Kasibhatla, P. S., Morton, D. C., DeFries, R. S., Jin, Y., & van Leeuwen, T. T. (2010). Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(23), 11707–11735. <https://doi.org/10.5194/acp-10-11707-2010>
- Volkova, L., Roxburgh, S. H., Surawski, N. C., Meyer, C. M., & Weston, C. J. (2019). Improving reporting of national greenhouse gas emissions from forest fires for emission reduction benefits: An example from Australia. *Environmental Science & Policy*, 94, 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.023>
- Wooster, M. J., Roberts, G. J., Giglio, L., Roy, D. P., Freeborn, P. H., Boschetti, L., Justice, C., Ichoku, C., Schroeder, W., Davies, D., Smith, A. M., Setzer, A., Csiszar, I., Strydom, T., Frost, P., Zhang, T., Xu, W., de Jong, M. C., Johnston, J. M., . . . San-Miguel-Ayanz, J. (2021). Satellite remote sensing of active fires: History and current status, applications and future requirements. *Remote Sensing of Environment*, 267, Article 112694. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112694>
- Yarragunta, Y., Srivastava, S., Mitra, D., & Chandola, H. C. (2020). Influence of forest fire episodes on the distribution of gaseous air pollutants over Uttarakhand, India. *GIScience & Remote Sensing*, 57(2), 190–206. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1712100>
- Zheng, Yang, Wu, & Marinello. (2019). Spatial variation of NO₂ and its impact factors in China: an application of Sentinel-5P products. *Remote Sensing*, 11(16), Article 1939. <https://doi.org/10.3390/rs11161939>
- Zhou, Y., Yan, H., & Luo, J. J. (2021). Impacts of Amazon fire aerosols on the subseasonal circulations of the mid-high latitudes. *Frontiers in Earth Science*, 8, Article 609554. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.609554>
- Zielinski, T., Petelski, T., Strzalkowska, A., Pakszys, P., & Makuch, P. (2016). Impact of wild forest fires in Eastern Europe on aerosol composition and particle optical properties. *Oceanologia*, 58(1), 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2015.07.005>
- Zweers, D. C. S. (2022). *TROPOMI ATBD of the UV aerosol index*. Royal Netherlands Meteorological Institute. <https://sentinel.esa.int/documents/247904/2476257/Sentinel-5P-TROPOMI-ATBD-UV-Aerosol-Index.pdf>

6 Şubat 2023 Depremi Sonrası Geçici Barınma Uygulamaları: Gaziantep Nurdağı Örneği

Cafer Giyik^{1*}

¹AFAD İl Müdürlüğü, 65000, Van.

Özet

Afetler, doğrudan veya dolaylı olarak insanlar ve insan yerleşmeleri üzerinde fiziksel, ekonomik, sosyal ve çevresel kayıplara neden olan, normal yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurarak veya kesintiye uğratarak toplulukları etkileyen doğal, teknolojik veya insan kökenli olayların sonuçlarıdır. Doğal afetler çeşitli olsa da zarar oranı ve etkilenen insan sayısı açısından Türkiye’de en çok; deprem afeti hasar yaratmaktadır. Öte yandan heyelan, sel, kaya düşmesi, çığ ve orman yangınları da önemli ölçüde hasar ve ekonomik kayıp oluşturmaktadır. Bir deprem ülkesi olan Türkiye’de son olarak 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş’ta, 7 Mw Hatay Kırıkhan’da da 7,6 Mw büyüklüğünde iki yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremler Malatya, Kahramanmaraş, Adıyaman, Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır, Hatay, Adana, Osmaniye, Kilis ve civar illerde etkili olurken 50.399 kişi hayatını kaybetmiş 1.279.727 yapı (bağımsız bölüm) hasar görmüştür. Bu çalışmanın amacı, afet bölgelerinde afet sonrası geçici barınma uygulamaları kapsamında neler yapıldığı ve bu alanların oluşturulmasında hangi yöntemlerin kullanıldığına ilişkin tespitler yapmaktır. Çalışmada depremden en çok etkilenen yerleşimlerden biri olan Gaziantep ilinin Nurdağı İlçesindeki geçici barınma uygulamaları incelenmiştir. Bu kapsamda ilçede oluşturulan Çadır, Konteyner, Yığma yapı gibi prefabrik ve geçici barınma alanlarının nitelikleri, yeterlilik düzeyi ve işlevleri hususunda da değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Deprem, Barınma, Konteyner, Çadır, Nurdağı

Temporary Shelter Applications After the February 6, 2023, Earthquake: Gaziantep Nurdağı Example

Abstract

Disasters are the consequences of natural, technological, or anthropogenic events that directly or indirectly cause physical, economic, social, and environmental losses on people and human settlements, and affect communities by stopping or interrupting normal life and human activities. Though there are several natural disasters, earthquakes cause the most damage in Turkey in terms of damage rate and number of people affected. On the other hand, landslides, floods, rockfalls, avalanches and forest fires also cause considerable damage and economic losses. In Turkey, which is an earthquake-prone country, two devastating earthquakes with a magnitude of 7 Mw in Kahramanmaraş and 7.6 Mw in Hatay Kırıkhan occurred on 6 February 2023. While these earthquakes were effective in Malatya, Kahramanmaraş, Adıyaman, Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır, Hatay, Adana, Osmaniye, Kilis and surrounding counties, 50,399 people lost their lives and 1,279,727 structures (independent units) were damaged. The aim of this study is to determine what has been done within the scope of post-disaster temporary shelter applications in disaster areas and which methods were used to create these areas. In the study, temporary sheltering practices in Nurdağı District of Gaziantep province, one of the settlements most affected by the earthquake, were examined. In this context, evaluations were made regarding the qualifications, adequacy level and functions of prefabricated and temporary shelter areas such as tents, containers and masonry structures created in the district.

Keywords

Earthquake, Shelter, Container, Tent, Nurdağı

1. Giriş

Afetler, doğrudan veya dolaylı olarak insanlar ve insan yerleşmeleri üzerinde fiziksel, ekonomik, sosyal ve çevresel kayıplara neden olan, normal yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurarak veya kesintiye uğratarak toplulukları etkileyen doğal, teknolojik veya insan kökenli olayların sonuçlarıdır (Tercan, 2011; Ergünay, 2007). Türkiye’de birçok şehir, bir veya birden fazla doğal afet riski altındadır. Doğal afetler çeşitli olsa da zarar oranı ve etkilenen insan sayısı açısından bir deprem ülkesi olan Türkiye’de en çok deprem afeti hasar yaratmaktadır. Öte yandan; heyelan, sel, kaya düşmesi, çığ ve orman yangınları da önemli ölçüde hasar ve ekonomik kayıp oluşturmaktadır (Kundak & Kadioğlu, 2011). Türkiye topraklarının yaklaşık olarak %96’sı nüfusunun da neredeyse %99’u deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır (Türkoğlu, 2001).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (432) 2267500 Faks: +90 (432) 2267503
E-posta: cgyik@gmail.com (Giyik C)

Gönderim Tarihi / Received : 08/09/2023
Kabul Tarihi / Accepted : 18/12/2023

Sıklıkla deprem yaşayan Türkiye’de son olarak 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş İlının Pazarcık İlçesinde 7,7 Mw, aynı gün içinde Hatay Kırıkhan’da da 7,6 Mw büyüklüğünde iki yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremler Malatya, Kahramanmaraş, Adıyaman, Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır ve Hatay, Adana, Osmaniye, Kilis ve civar illerde etkili olurken 50.399 kişi hayatını kaybetmiş (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2023). Tablo 1 ve Şekil 1’de görüldüğü gibi 1. 279. 727 yapı (bağımsız bölüm) hasar görmüştür (CNN Türk, 2023). Nurdağı İlçesinde 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş Pazarcık Merkezli depremde en çok etkilenen yerleşimlerden biri olmuştur. İlçede deprem nedeniyle 2170 kişi ölmüş 3243 kişi yaralanmış 26000 yapı (bağımsız bölüm) hasar görmüştür.

Bu çalışmanın amacı Nurdağı İlçesinde deprem sonrası geçici barınma uygulamaları kapsamında neler yapıldığı, hangi barınma araçlarının kullanıldığı ve bu alanların oluşturulmasında hangi yöntemlerin kullanıldığına ilişkin tespitler yapmaktır.

Tablo 1: 6 Mart 2023 itibarıyla deprem bölgesindeki yapıların hasar durumu

İl	Toplam Acil+Ağır+Yıkık Konut Sayısı	Orta Hasarlı Konut Sayısı	Az Hasarlı Konut Sayısı
Adana	2.952	11.768	71.072
Adıyaman	56.256	18.715	72.729
Diyarbakır	8.602	11.209	113.223
Elâzığ	10.156	15.22	31.151
Gaziantep	29.155	20.251	236.497
Kahramanmaraş	99.326	17.887	161.137
Malatya	71.519	12.801	107.765
Hatay	215.255	25.957	189.317
Kilis	2.514	1.303	27.969
Osmaniye	16.111	4.122	69.466
Şanlıurfa	6.163	6.041	199.401
Bölge Toplamı	518.009	131.577	1.279.727



Şekil 1: Ağır hasarlı yapı örneği Nurdağı Yeni Mahalle

2. Materyal ve Yöntem

Afetlerin etkisiyle yapıların hasar görmesi, sosyal donatılar ile, alt yapı ve üst yapı tesislerinin kullanılamaz hale gelmesinden dolayı normal yaşam kesintiye uğramaktadır. Yaşamın normale dönmesinin sağlanması için öncelikle afetzedelerin toplanma alanlarına güvenli şekilde tahliyelerinin sağlanması, arama kurtarma ve enkaz kaldırma işlerinin hızlıca yapılması, afetzedelerin barınma, beslenme vb. olanaklara kavuşturulmasını sağlayacak iyileştirme çalışmalarının planlanması afet yönteminin önceliğidir. Afet sonrası iyileştirme aşaması, geçici barınma alanlarının oluşturulmasını da içeren önemli ve dinamik bir süreçtir.

Türkiye’de afet ve acil durumlarda risk ve kriz yönetiminin koordinasyonundan sorumlu kurum Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)’dır. AFAD’ın afet terimleri sözlüğünde geçici barınma/ geçici iskân (İng. temporary housing): “Konutu afet ve acil durum nedeniyle kullanılamaz hâle gelen veya konutun kullanılmasının riskli olması sebebiyle açıkta kalan afetzedeler ile tahliye tabi olanların bulundukları yerlerde veya başka yerlerde münferit veya toplu hâlde geçici olarak barınmalarının sağlanması” şeklinde tanımlanmaktadır (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2022).

Sey (2000) ve Arslan (2004)'e göre afet sonrası geçici barınma yapıları; kalıcı konutlar yapıncaya kadar afetzedelerin barınması için farklı parametrelerin göz önüne alınarak tasarlanmasıyla oluşturulmuş yaşam alanlarıdır. Kriz yönetimi döneminde afetzedelerin hasar gören konutlarının yerine afet riskleri göz önüne alınarak uygun tekniklerle yapılan kalıcı yapılarda barınmalarını sağlamak nihai hedeftir. Bununla birlikte coğrafik yapı, iklim koşulları, ekonomik sosyal ve yönetsel imkân ve kısıtlar kalıcı konutların yapım süreçlerini etkilemektedir. Teknik olarak kalıcı konutların yapılması kısa süre içinde mümkün olmadığından ilk 6 ay ve genelde 1 yıla yakın bir süre afetzedeler geçici barınma alanlarını kullanmaktadır. Örneğin 2011 tarihli Van depreminde 1 yıl içerisinde 12.000 civarında kalıcı konut yapılarak iskana hazır hale getirilmiştir (Giyik, 2016).

Türkiye’de 1999 yılı Marmara Depremine kadar geçici barınma amacıyla yaygın olarak çadır kullanılmış, 2011 yılı Van depreminde ise çadırlarla birlikte konteyner kullanımına başlanmıştır. Yapılan literatür araştırmasında geçici barınma uygulamalarının; model, yöntem, zaman ve amaç bakımından farklı şekillerde ele alındığı, uygulamaların yerel ve ulusal düzeydeki yönetsel yaklaşımlar, coğrafik faktörler ve iklime göre de farklılaştığı görülmektedir. Geçici barınma uygulamaları ile ilgili olarak 5902 Sayılı Kanun’un 10. Maddesindeki düzenlemeye göre Afet ve acil durum bölgelerinde geçici yerleşmeyi sağlamak, zarara uğramış kişilerin tedavi, iâşe, ibate, sosyal ve psikolojik destek hizmetlerinin yürütülmesi görevi AFAD Başkanlığına verilmiştir (Resmi Gazete, 2009). Bu kanun çerçevesinde AFAD tarafından 2015 yılında yayımlanan “Geçici Barınma Merkezlerinin Kurulması, Yönetimi ve İşletilmesi Hakkında Yönerge” ise geçici barınma alanlarının kurulması ve işletilmesine ilişkin ulusal düzey standartları içeren önemli düzenlemelerden biridir (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2015).

Afet sonrası iyileştirme çalışmalarının uluslararası düzey standartlarını içeren “Sphere Projesi” 1997 yılında bir grup sivil toplum kuruluşu tarafından başlatılmıştır. Sphere Projesi, “Afetle Mücadelede Asgari Standartlar ve İnsani Yardım Sözleşmesi” çerçevesinde afet yönetimine önemli katkılar sağlayan nitelikli çalışmalardan biridir (Sphere Projesi, 2011). Çalışmada Sphere Projesi’nin geçici barınma uygulamalarına ilişkin tespitlerinden yararlanılmıştır.

Bu konuda Can ve Saka (2022) tarafından yapılan “Deprem Sonrası Geçici Barınma Birimleri için Alternatif Bir Çözüm Önerisi: WikiGEB” başlıklı çalışmada da ulusal ve uluslararası standartlara vurgu yapılarak afet sonrası geçici barınma alanlarının;

- Barınma süresi
- Sağlık ve güvenlik
- Ulaşım yakınlık ve esneklik
- İşlevsellik, mekânsal kalite ve mahremiyet
- Kalıcı çevreye saygı gibi kriterlere sahip olması gerektiği ifade edilerek, çalışmada plywood malzemeden imal edilmiş yap-boz şeklinde kurulan alternatif bir geçici barınma aracı olan WikiHouse önerilmiştir.

Bu alandaki başka bir çalışma Abanoz ve Vural (2023) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Türkiye’nin Doğu Karadeniz Bölgesindeki geçici barınma alanları sağlık ve konfor açısından incelenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Uluslararası Kalkınma Ajansı (USAID- United States Agency for International Development) tarafından belirli aralıklarla yayımlanan “Afet Değerlendirmesi ve Müdahale İçin Saha Operasyonları Kılavuzu (Field Operations Guide for Disaster Assessment and Response)” ‘na göre geçici barınma alanlarının;

- Sosyal ihtiyaçlar
- Su (yeterli içme ve kullanma suyu)
- Doğru yer seçimi
- Erişilebilirlik
- Arazi mülkiyet sorunları gibi faktörlere göre planlanmasının gerekliliği ortaya konmuştur (Abanoz & Vural, 2023).

Konuyla ilgili olarak incelenen çalışmalardan bir tanesi de Yılmaz (2021)’dir. Yılmaz, çalışmasında afet sonrası geçici barınma alanları ve yapılarının planlanmasında sürdürülebilirlik kavramını esas alarak, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları ile sırasıyla;

- Nitelikli malzeme kullanımı,
- Çevreye saygılı,
- Yenilenebilir yapı sistemleri,
- Kendine yeterli enerji üretim alt yapısı ve,
- Afettede kullanıcının sürece dahil edilerek kararlarda katılımcılığın öncelendiği ve bu yönüyle sosyal karakteri ön planda olan sürdürülebilir geçici barınma tasarım anlayışını desteklemektedir. Sayılan kriterler aynı zamanda ideal bir geçici barınma alanını ve barınma yapısını da tanımlamaktadır.

Geçici barınma alanlarının kent içi yer seçimi ve planlama süreçlerine ilişkin temel kriterleri içeren bir çalışma da Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, 2023) tarafından yapılmıştır. Rehber niteliğindeki bu çalışmaya göre genel olarak;

- Geçici barınma alanları erişilebilir olmalıdır, depremden zarar gören kentten ve kent parçasından bu alanlara yurttaşlar yürüyerek dahi ulaşabilmelidirler.
- Geçici barınma alanlarının mevcuttaki ana yol eksenleri ile bağlantılarının olması gerekir.
- Geçici barınma alanlarının kurulacağı arsa/arazi mümkün ise kamu mülkiyetinde olmalıdır.
- Geçici barınma alanı 500 m²’den küçük olmamalıdır.

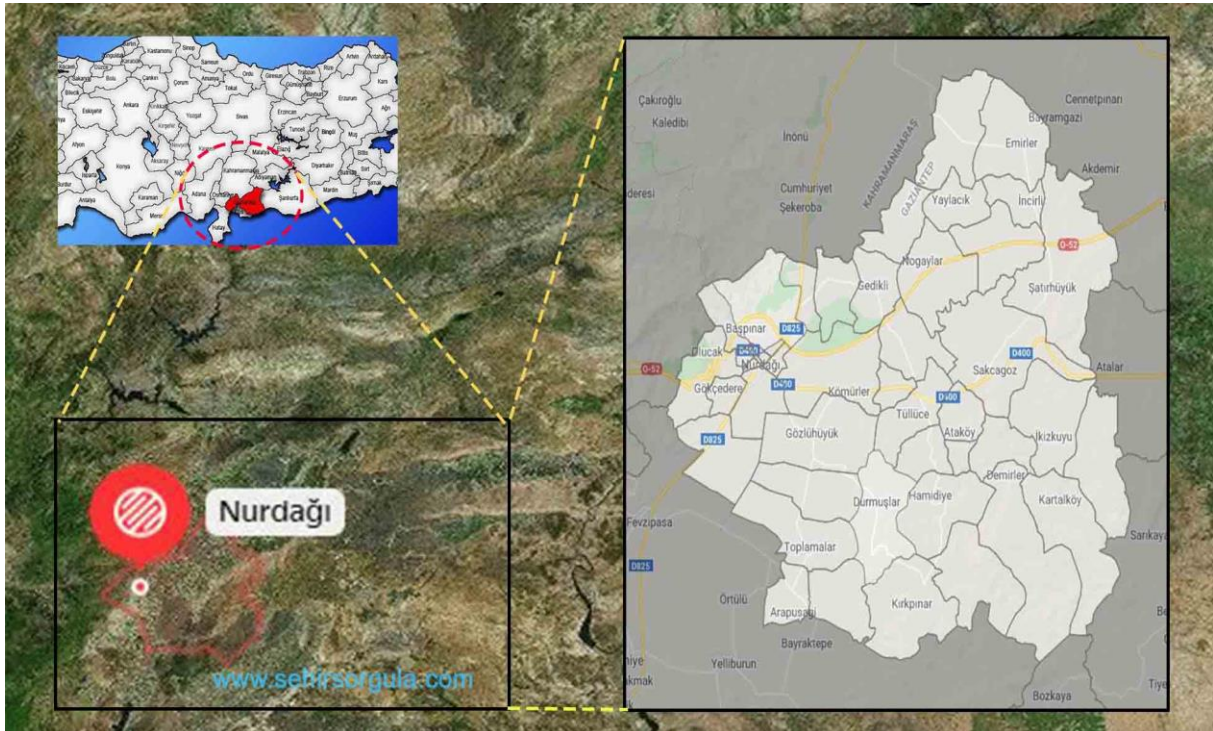
- Geçici barınma alanı yağmur suyu havzasından en az üç metre yükseklikte olmalı ve herhangi bir yağış halinde yağmur/kar suyunun akabilmesi için arazi %2 ile %6 eğime sahip olmalıdır.
- Yer seçiminde hâkim rüzgar yönü göz önünde bulundurulmalıdır.
- Geçici barınma alanına elektrik, su ve kanalizasyon (en kötü ihtimalle foseptik çukuru inşa edilebilmelidir) bağlantısı yapılabilmelidir.
- Geçici barınma alanı mümkünse genişlemeye, yeni çadırların ve konteynerlerin eklenmesine uygun bir alan olmalıdır.
- Her bir kişi için çadır/konteynerde 3,5 m² alan olmalıdır.
- Her birim (Çadır/Konteyner) arası 2 m olmalıdır. Çadır/Konteyner kümeleri veya sıraları arasında en 6 m'lik yollar olmalıdır. Büyüklük bakımından mahalle formuna erişen geçici yerleşimlerde ara yollar 10 m ana yollar 15 m olmalıdır.
- Çadır/Konteyner alanlarında belirli aralıklara yangın emniyet şeritleri bırakılmalı bu şeritlerin genişliği de en 30 m olmalıdır.
- Geçici barınma alanı hiyerarşik (birim, küme, mahalle...) olarak kurgulanmalı ve her hiyerarşik ögenin adı/numarası olmalıdır (A Mahallesi 1. Küme 1 Numaralı Birim gibi).
- Kişi başına en az 45 m² merkez tesis alanı yer almalıdır.

Çalışmada depremden en çok etkilenen yerleşimlerden biri olan Gaziantep'in Nurdağı İlçesindeki geçici barınma uygulamaları incelenmiştir. Nurdağı İlçesinde 2015-2022 yılları arasında yapılan ve deprem yönetmeliklerine uygun olduğu iddia edilen yapılarda hasar oranı çok yüksek olduğu için ilçe çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu kapsamda ilçedeki çadır, konteyner, yığma ve prefabrik barınma yapıları;

- Yapım malzemesi ve nitelik,
- Nicelik ve yeterlilik,
- Kapasite
- Mülkiyet durumu ve
- İşlevsellik kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

2.1. Çalışma Alanı

Nurdağı, Gaziantep'e bağlı 41.322 nüfuslu bir ilçedir (Şekil 2, Şekil 3). İlçenin yüzölçümü 798 km² dir (https://www.nufusu.com/ilce/nurdağı_gaziantep-nufusu). 2022 yılı hane halkı büyüklüğü ise 3.87'dir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2022).

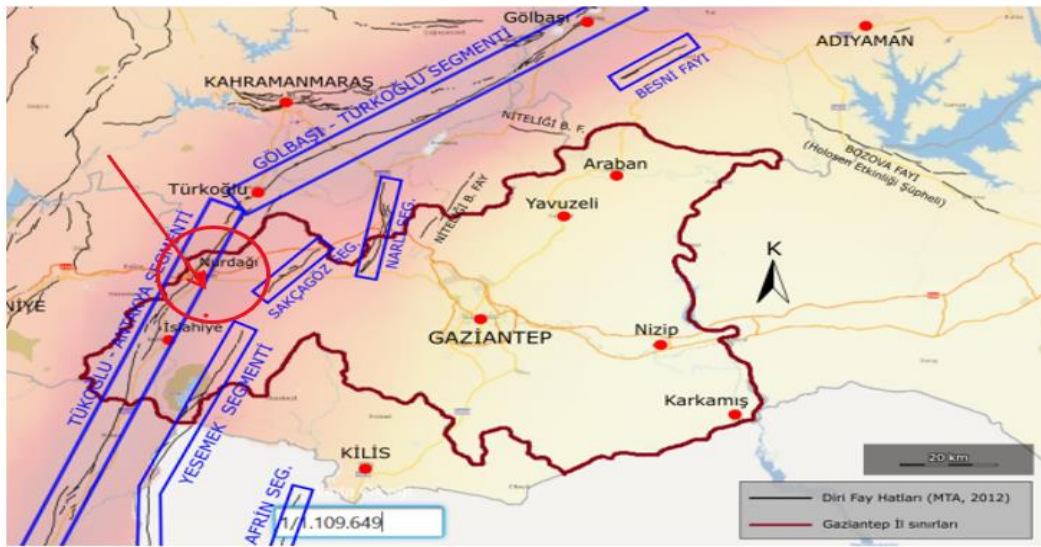


Şekil 2: Nurdağı İlçe haritası (<https://gezilecekyerlertr.com/nurdağı-nerede>)



Şekil 3: Nurdağı ilçesinin genel görünümü (<https://gezilecekyerlertr.com/nurdağı-nerede>)

Gaziantep ve yakın çevresinde etkili olan fay hatları, Kuzey Doğu Anadolu Fay zonu (DAFZ) ve Ölü Deniz Fay Zonu'na (ÖDFZ) ait faylardır. Gaziantep İl Risk Azaltma Planı (İRAP)'tan alınan ve MTA'nın 2012'de ürettiği Şekil 4'teki haritaya göre Nurdağı İlçesi yukarıda sayılan fay hatlarındaki Türkoğlu-Antakya Segmenti ile Gölbaşı-Türkoğlu Segmenti içinde ve etkisinde kalmaktadır.



Şekil 4: Nurdağı fay haritası (Gaziantep İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 2021)

2.2. Nurdağı Geçici Barınma Uygulamaları

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen depremlerde afet yönetimi Türkiye Afet Müdahale Planı'nın (TAMP) deprem senaryosuna göre hareket ederek kriz yönetiminin ilk aşaması olan arama-kurtarma işlemlerini başlatmıştır. Deprem bölgelerinde arama-kurtarma devam ederken geçici barınma alanlarının da oluşturulmasına başlanmıştır. Kriz yönetiminin sevk ve idaresi Gaziantep AFAD Kriz Koordinasyon Merkezi'nden yürütülmüştür. Bu yapının aldığı kararlar çerçevesinde Nurdağı İlçesi'nde üç tip barınma uygulaması söz konusu olmuştur.

2.2.1. Çadırkent

Nurdağı İlçesi kent merkezinde belirlenen alanlarda toplu çadırkentler oluşturulmuştur. Gaziantep AFAD İl Müdürlüğünden alınan bilgilerle Nurdağı'ndaki çadırkent verilerini içeren (Tablo 2) hazırlanmıştır. Toplu alanlarda (Şekil 5a) çadırkentler kurulduğu gibi bireysel olarak hasarlı yapı sahiplerine de çadır temin edildiği görülmüştür (Şekil 5b). Nurdağı İlçe kriz merkezinden alınan bilgiye göre ilçenin kırsal mahallerine de 9.309 adet çadır dağıtımı yapılmıştır.

Tablo 2: 26 Şubat 2023 tarihi itibarıyla Nurdağı çadırkent tablosu

İLÇE	NO	ÇADIRKENT ADI	ÇADIR			NÜFUS			
			DOLU	BOŞ	TOPLAM	ERKEK	KADIN	ÇOCUK	TOPLAM
NURDAĞI	1	ASLANLI 1	135	15	150	203	167	184	554
	2	ASLANLI 2	75		75	83	76	211	370
	3	MEHMET AKİF	87	59	146	110	101	193	404
	4	ALPARSLAN	193	4	197	193	247	268	708
	5	BAHÇELİEVLER	140	25	165	117	142	169	428
	6	YENİMAHALLE 1	52		52	59	61	106	226
	7	YENİMAHALLE 2	120	1	121	123	129	198	450
	8	YENİMAHALLE 3	176	94	270	197	180	384	761
	9	FATİH	130		130	142	149	268	559
	10	ESENYURT	125		125	121	127	210	458
TOPLAM			1233	198	1431	1348	1379	2191	4918



(a)



(b)

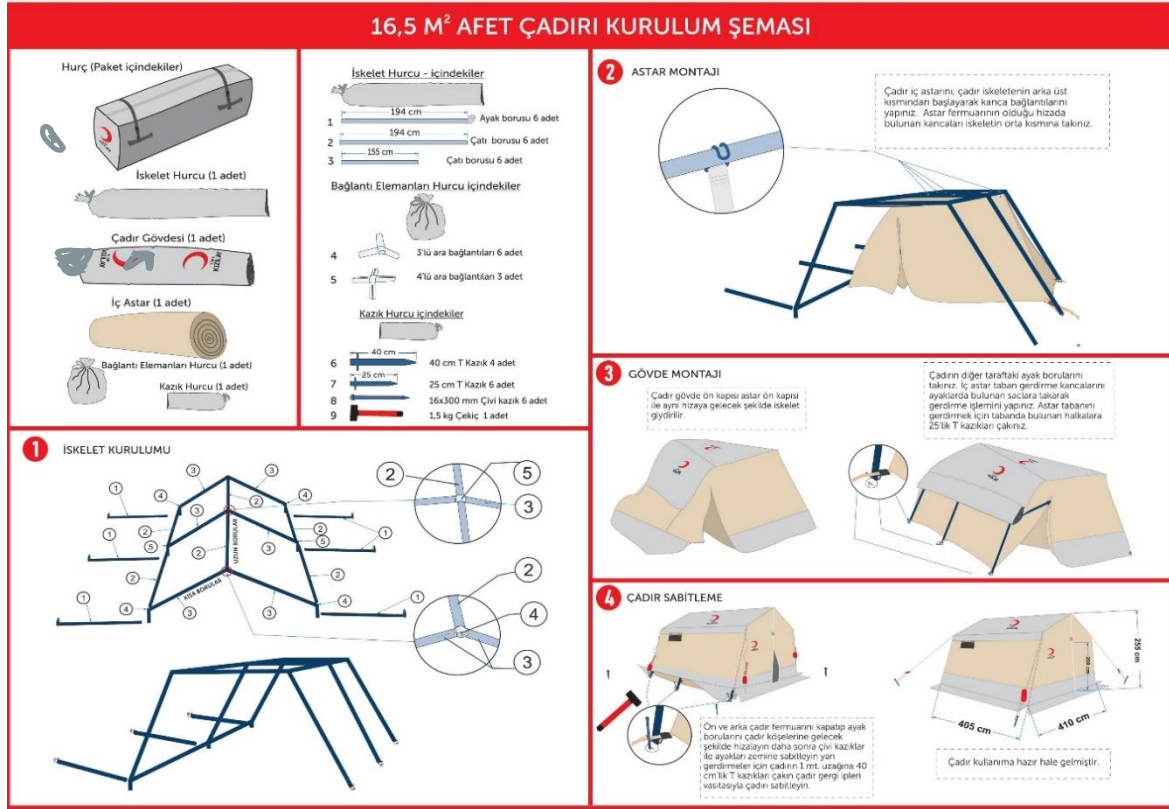
Şekil 5: (a) Nurdağı çadırkent alanlarından örnekler (<https://www.t4haber.com.tr/nurdagi-nda-kurulan-cadirkent-havadan-goruntulendi/429098/>), (b) hasarlı yapı sahiplerine dağıtılan çadır örnekleri

Nurdağı'nda çadırların kurulum süreci afetlerin koordinasyonundan sorumlu kurum olan AFAD tarafından yönetilmiştir. Kamu idarelerinin sağladığı çadırların yanında özel sektör, vakıf, dernek gibi sivil toplum kuruluşları, meslek odaları, yabancı ülkeler ve diğer kaynaklardan da çadır ve yardım malzemesi desteği sağlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6: Güney Kore devleti tarafından Nurdağı'na kurulan çadırkent

Afet bölgesinde 16,5 m² büyüklüğünde aile çadırı olarak adlandırılan komple bez malzemeden veya üstü PVC kaplama olan çadırlar kullanılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7: Afet bölgelerinde sıklıkla kullanılan 16,5 m²'lik çadır örneği ve kurulum şeması
(<https://www.kizilaycadirtekstil.com.tr/urunlerimiz/cadir/afet-cadir/>)

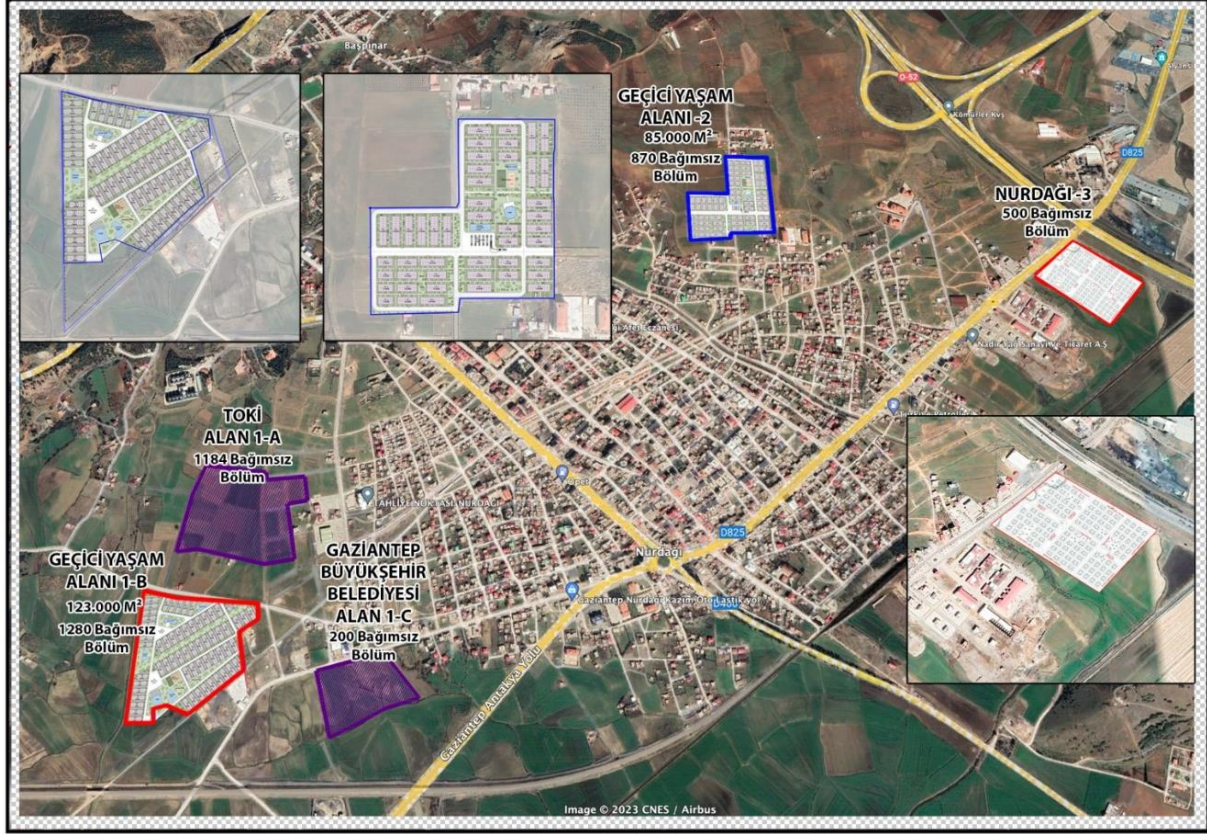
Afetlerde ailelerin barınması için kurulan aile çadırlarının yanında afetten zarar görmüş kişilerin özellikle çocuk, yaşlı ve engelli bireylerin rehabilitasyonu ve ihtiyaçlarının giderilmesi için sosyal etkinlik çadırları, giyim çadırları, berber, kuaför, oyun çadırları, revir gibi amaçlar için de çadır planlandığı görülmüştür (Şekil 8). Ancak çadır kent alanlarında ortak kullanım için kurulan prefabrik tuvalet ve banyoların hijyeninde ciddi sorunlar olduğu da gözlemlenmiştir.



Şekil 8: Nurdağı merkez, sosyal amaçlı çadır örneği

2.2.2. Yığma ve Prefabrik Yapı

Nurdağı İlçesi'nde depremden sonra AFAD Başkanlığı tarafından belirlenen 278,685 m² alanda (Şekil 9) toplam 1370 adet prefabrik ve 1280 adet yığma yapı inşa edilmiştir (Şekil 10, 11, 12). Yığma ve prefabrik yapıların çadırlara göre daha büyük ve daha rahat bir barınma imkânı sağladığı için tercih edilmiştir. Yığma yapılar 24,24 m² prefabrik yapılar da 27,12 m² olarak projelendirilmiştir (Şekil 11, 13).



Şekil 9: Nurdağı ilçe merkezi geçici yaşam alanları



Şekil 10: Prefabrik yapı kurulumu (Anadolu Ajansı, 2023)



Şekil 11: Prefabrik yapı bitmiş hali (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023)



Şekil 12: (a) Yığma yapı örneği, (b) Gaziantep Nurdağı ilçe merkezi (Anadolu Ajansı, 2023)

2.2.3 Konteyner Kent

Konteyner; alt ve üst şasisi saçtan, duvarları genişleştirilmiş polistiren sert köpükten (EPS) yapılan genellikle $7 \times 3 = 21 \text{ m}^2$ ölçülerde imal edilen bir barınma aracıdır (Şekil 13). Türkiye’de depremlerde konteynerlerin barınma amaçlı kullanılması 2011 tarihi Van depreminde söz konusu olmuştur (Giyik, 2016). Nurdağı ilçe merkezinde 3 konteyner yaşam alanı oluşturulmuştur. Merkezde 4000 adet konteyner kurulurken 1587 konteyner de kırsal mahallere dağıtılmıştır. İlçede toplam 5587 konteyner kurulumu yapılmıştır (Şekil 14).



Şekil 13: Standart barınma konteyner örneği (<https://www.ozgeyapi.com/urunler/konteyner/konteyner-ev>)

Tablo 3: Nurdağı İlçesi konteyner, prefabrik ve yığma yapı tablosu

İlçe	Konum	Yapı Türü	Planlanan	Kurulan			Yerleşen Kişi Sayısı
				Konteyner	Yığma Ev	Prefabrik Ev	
Nurdağı	Nurdağı 1 A (Yeni Mahalle)	-Konteyner -Yığma Ev -Prefabrik Ev	2364	550	224	350	4600
	Nurdağı 1 B (Yeni Mahalle)	-Konteyner -Yığma Ev -Prefabrik Ev	1280	1650	400	300	8450
	Nurdağı 1 C (Yeni Mahalle)	-Konteyner -Yığma Ev -Prefabrik Ev	200	600	350	400	4050
	Nurdağı Başpınar-2 (Esenyurt Mahallesi)	-Konteyner -Yığma Ev -Prefabrik Ev	870	450	306	150	3975
	Nurdağı-3 Aslanlı (Kurudere Mahallesi)	-Konteyner -Prefabrik Ev	500	750	---	170	3896
	Kırsal Mahalleler	-Konteyner	3000	1587	---	---	7598



Şekil 14: Nurdağı konteyner yaşam alanları

Çalışma alanında yapılan çadırkentlerde olduğu gibi konteynerkentlerde de sosyal yaşam alanlarının oluşturulduğu görülmüştür (Şekil 15).



Şekil 15: Nurdağı konteyner yaşam alanında yapılan sosyal donatı alanları

Konteyner ve çadırlara yerleştirme işlemleri konutların hasar durumlarına göre planlanmıştır. Ağır hasarlı ve yıkık konut sahipleri konteynerlere alınırken çadırlara isteyen tüm afetzedeler yerleşebilmektedir. Nurdağında yapılan geçici barınma alanları kent mücavir alanında bulunan ekili tarım arazileri kullanılmıştır. Bu alanlar İRAP ve TAMP'ta yer alan alanlardan değildir (Şekil 16).



Şekil 16: Nurdağında geçici barınma için tahrip edilen ekili tarım arazileri

3. Sonuç

Nurdağı İlçesi 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş Pazarcık merkezli depremden en çok etkilenen yerleşim birimlerinden bir tanesi olmuştur. İlçede deprem nedeniyle 2170 kişi ölmüş, 3243 kişi yaralanmış, 26000 yapı (bağımsız bölüm) hasar görmüştür. Depremden sonra geçici barınma uygulamaları kapsamında Çadır, Konteyner, Yığma yapı ve Prefabrik malzemeden imal edilen yapılarla yaşam alanları oluşturulmuştur.

Afet sonrası barınma uygulamaları geçici tedbirler olsa da afetzedelerin hayatlarının kısa sürede normale dönmesini sağlayan çalışmalarlardır. Bu nedenle geçici barınma uygulamaları, afetzedelerin kesintiye uğrayan hayatlarının en kısa zamanda normale dönmesine olanak sağlayacak çözümlerin üretilmesini amaçlamalıdır. Barınma yapıları, kent formu ve dokusu ve doğal yapıyı bozmayacak şekilde projelendirilmeli ve bu yapıların kalıcı hale getirilerek plansız kentleşmeye neden olmamasına dikkat edilmelidir. Geçici barınma alanları kalıcı yapıların inşasından sonra uygun yöntemlerle kaldırılmalıdır.

Çalışmada Nurdağı'nda yapılan geçici barınma alanlarının kapasite ve sayı olarak afetzedelerin ihtiyaçlarını karşılayacak seviyede olmadığı görülmüştür. Barınma alanları yeterli düzeyde planlama yapılmadan rastgele alanlara yapılmaktadır. Nurdağı'ndaki deprem sonrası oluşturulan geçici barınma alanların İRAP'ta yer almadığı rastgele seçim yapıldığı, ayrıca depremden önce sadece bölge ve sınır bazlı alanların belirlendiği ancak altyapısı hazır herhangi bir alanın da olmadığı görülmüştür. Örneğin kent merkezinde depremden hemen sonra kaymakamlık binasının yanına yapılan çadır kent, kriz yönetimi çalışanları ile afetzede yoğunluğunun artmasıyla birlikte alanı daralttığı ve çalışmalarını engellediği gerekçesiyle sökülerek başka alanlara taşınmıştır.

Geçici barınma alanları planlanırken teknik kısıtlar hariç afetzedelerin ihtiyaç ve taleplerine göre hareket edilmelidir. Nurdağı bölgesinde afetzedelerin büyük çoğunluğu kent çeperinde tarım ve hayvancılık yapmaktadırlar. Afetzedeler konutları hasarlı olsa da tarımsal varlıkları ve hayvanlarını, mallarını korumak için konutlarına yakın bölgede kalmak eğilimindedirler. Bu nedenle Kent merkezine uzak mesafeye kurulan konteyner kente taleplerin az olduğu görülmüştür. Örneğin Fatih Çadırkenti Islahiye yolu güzergahında kent merkezine yaklaşık 9 km mesafede kurulduğu için ulaşım ve erişim açısından sorunlu bir barınma alanı olmuştur. Benzer şekilde toplu çadır alanlarından ziyade konutlara yakın olabilmek amacıyla bireysel çadır talepleri daha fazladır. Ancak Nurdağı'nda bireysel çadır temini kırsal da mümkün olsa da kent merkezinde oran düşük kalmıştır.

Çadır ve konteynerler aile büyüklüklerine göre planlanmalıdır. Ancak uygulama bu husus göz ardı edilerek tek tip ve standart ürünler kullanılmaktadır. Nurdağı'nda kullanılan çadırlar 16 m² konteynerler ise 21 m²'dir. Kişi başı minimum 3,5 m² alan önerildiği için çadırların 5 konteynerlerin de 7'den fazla kişinin yaşadığı haneler için yeterli olmadığı görülmüştür. Çadır kentler ve konteyner kentlerin çoğu için özel mülkiyete tabi yerlerden yer seçilmiştir. Kamu arazilerinden yer seçimine öncelik verilmemiş aksine Nurdağı'nda geçici barınma alanlarının birçoğu ekili 1.sınıf tarım arazilerine yapılmıştır.

Geçici barınma alanlarında hâkim rüzgar ve diğer iklimatik kısıtlara göre yer seçimi yapılmamış görece tahsise elverişli ve uygun olduğu idarece değerlendirilen yerler seçilmiştir. Prefabrik yapılar, çadır ve konteyner alanlarında minimum yol genişliklerine ve birimler arası mesafe kriterlerine dikkat edilmemiş, yangın şeritleri planlanmamıştır. Kişi başına en az 45 m² olması istenilen sosyal donatı kriterine ilçedeki hiçbir geçici barınma alanında uyulmamıştır. Aslanlı Kuru Dere Çadır Kentinde altyapı bağlantısı yapılmamış mobil WC ve banyolarla çözüm üretilmeye çalışılmıştır.

Ancak banyo ve WC kapasitesi yeterli olmadığından atıklar yüzey akışla çadır kentin içindeki alana deşarj edilmiştir. Bu çadır kent aynı zamanda eğimli bir alana kurulduğundan yağışlı havalarda erişimi zor olmuş ve bazı çadırlar sökülerek başka bir alana taşınmıştır.

Sonuç olarak; Geçici barınma alanlarının planlanmasında, kurulmasında ve işletilmesinde ilgili birimler, kamu idareleri ve sivil toplum kuruluşları eşgüdüm halinde çalışmalıdır. Afettede kullanıcıların sürece dahil edilerek kararlarda katılımcılığın öncelendiği ve bu yönüyle sosyal karakteri ön planda olan sürdürülebilir plan ve tasarım anlayışı desteklenmelidir. Afet sonrası iyileştirme çalışmaları kapsamında yapılan geçici barınma uygulamaları, ulusal ve uluslararası standartlara uygun olarak yürütülmelidir. Afetlerden önce yerleşimlerin özelliklerine ve koşullarına göre planlar yapılarak doğaya, çevreye, tabiat varlıklarına tarihi yapı ve kültürel mirasa zarar vermeyecek şekilde planlamalar yapılmalıdır. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), yer seçimi, yapım malzemesi seçimi ve yapım tekniği gibi planlama çalışmaları her yerleşim için afet öncesinde risk yönetimi aşamasında ele alınmalıdır.

Kaynaklar

- Abanoz, F. B., & Vural, N. (2023). Doğu Karadeniz bölümü geçici barınma alanlarının irdelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(2), 202–215.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2015). *Geçici barınma merkezlerinin kurulması, yönetimi ve işletilmesi hakkında yönerge*. 3 Kasım 2023’de <https://www.afad.gov.tr/yonerge> adresinden alındı.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2022). *Açıklamalı afet yönetimi terimleri sözlüğü*. 2 Kasım 2023’de <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu> adresinden alındı.
- Anadolu Ajansı. (2023, 19 Şubat). *Nurdağı ve İslahiye’de kurulacak geçici barınma alanlarında çalışmalar sürüyor*. <https://www.aa.com.tr/tr/asrin-felaketi/nurdagi-ve-islahiye-de-kurulacak-gecici-barinma-alanlarinda-calismalar-suruyor/2824576#>
- Arslan, H. (2009). *Afet sonrası yeniden yapılanma sürecinin yere bağlılık, yer değiştirme ve bilişsel haritalama olguları açısından irdelenmesi* [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Can, İ., & Saka, A.E. (2022). Deprem sonrası geçici barınma birimleri için alternatif bir çözüm önerisi: WikiGEB. *Online Journal of Art and Design*, 10(2), 115–125.
- CNN Türk. (2023). *134. gün! Depremde ölü sayısı ne kadar oldu, güncel yaralı sayısı kaç? Hangi ilde kaç bina yıkıldı, kaç kişi öldü?* 10 Nisan 2023’de <https://www.cnntrk.com/turkiye/63-gun-depremde-olu-sayisi-ne-kadar-oldu-guncel-yarali-sayisi-kac-hangi-ilde-kac-bina-yikildi-kac-kisi-oldu> adresinden alındı.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023, 18 Mart). Nurdağı’nda 154 prefabrik ev daha depremzedelere teslim edildi. <https://www.csb.gov.tr/nurdaginda-154-prefabrik-ev-daha-depremzedelere-teslim-edildi-bakanlik-faaliyetleri-38494>
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı. (2023). *2023 Kahramanmaraş ve Hatay depremleri raporu*. 10 Nisan 2023’de <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/2023-Kahramanmaraş-ve-Hatay-Depremleri-Raporu.pdf> adresinden alındı.
- Ergünay, O. (2007, 5–7 Aralık). *Türkiye’nin afet profili* [Bildiri Sunumu]. TMMOB Afet Sempozyumu, Ankara, Türkiye.
- Gaziantep İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü. (2021). *Gaziantep il afet risk azaltma planı (İRAP)*. 13 Nisan 2023’de <https://gaziantep.afad.gov.tr/kurumlar/gaziantep.afad/E-Kutuphane/Il-Planlari/Gaziantep-IRAP.pdf> adresinden alındı.
- Giyik, C. (2016). *Van depremi örneğinde afet sonrası iskân politikaları* [Yüksek lisans tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kundak, S., & Kadioğlu, M. (2011). *İlk 72 Saat*. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Resmi Gazete. (2009). *Afet ve acil durum yönetimi başkanlığının teşkilat ve görevleri hakkında kanun*. 3 Kasım 2023’de <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/06/20090617-1.htm> adresinden alındı.
- Sey, Y. (2000). *Deprem sonrasında geçici konut kentsel yerleşmeler ve doğal afetler*. Ankara Mimarlar Odası Yayını.
- Sphere Projesi. (2011). *Sphere projesi insani yardım sözleşmesi ve insani yardımda asgari standartlar*. 3 Kasım 2023’de https://spherestandards.org/wp-content/uploads/2018/06/The_Sphere_Handbook_2011_Turkish.pdf adresinden alındı.
- Tercan, B. (2011). Afet bölgelerinde yeniden yerleştirme politikaları, planlamanın dünü, bugünü, yarını: planlamada yeni söylem arayışları. Ayda Eraydın vd. (Eds.), *2. Kentsel ve Bölgesel Araştırmalar Ağı Sempozyumu* (pp. 485–497). Matsa Basımevi.
- Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği. (2023). *Geçici barınma alanlarına ilişkin standartlar*. 6 Aralık 2023’de <https://www.tmmob.org.tr/icerik/gecici-barinma-alanlarina-iliskin-standartlar> adresinden alındı.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). *İstatistiklerle Aile*. 6 Aralık 2023’de <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=İstatistiklerle-Aile-2022-49683> adresinden alındı.
- Türkoğlu, N. (2001). Türkiye’nin yüzölçümü ve nüfusunun deprem bölgelerine dağılışı. *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 8, 133–148.
- Yılmaz, S. (2021). *Afet sonrası geçici barınmanın çevresel ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>

Planlı Gelişme Alanlarının Hava Kirliliğine Olası Etkilerinin Değerlendirilmesi

Merve Arslan¹, Doğan Dursun^{2,*}

¹Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Tasarım Anabilim Dalı, 25240, Erzurum.

²Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 25240, Erzurum.

Özet

Bu çalışmada yeni gelişme alanlarındaki imar planı kararlarının hava kirliliği üzerindeki etkisini önceden tespit etmek amaçlanmıştır. Bu amaçla Erzurum kentinin yerleşik alanı için mevcut (2021) hava kirliliği analizi üretildikten sonra, çalışma alanı içerisinde önerilen uygulama imar plan kararları doğrultusunda 2027 hedef yılı için yeni bir hava kirliliği analizi üretilmiştir. Burada imar plan kararlarıyla değişecek olan kentsel dokunun nasıl bir etki yaratacağının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada yöntem olarak ağırlıklı çakıştırma analizi kullanılmıştır. Analiz dört temel veri grubu üzerinden yürütülmüştür. Topografik veri grubu içerisinde yükselti analizi, meteoroloji veri grubu içerisinde sıcaklık analizi, hava kirliliği verileri içerisinde PM₁₀-SO₂ analizleri ve plan kararları veri grubu içerisinde yeşil alanlar, kat yüksekliği, nüfus yoğunluğu, sanayi alanları ve yapay yüzey analizleri kullanılmıştır. Belirlenen her kriter için alt kriterler oluşturulmuş ve kriter için bir etki derecesi ile her alt kriter için bir ağırlık puanı belirlenmiştir. Analizler NetCAD ve ArcGIS programları kullanılarak elde edilmiştir. Yürütülen çalışma sonucunda elde edilen bulgular, kat yüksekliğinin, nüfus yoğunluğunun, yapay yüzey oranının fazla olduğu alanlarda hava kirliliğinin yoğunlaştığını göstermiştir. Bununla birlikte yeşil alan miktarının fazla, yapay yüzey oranının az olduğu alanlarda hava kirliliği yoğunluğunun daha az olduğu tespit edilmiştir. Analizlerde kentin sıcaklık durumu ve topografik yapısının da hava kirliliği üzerinde olumsuz etkiler yarattığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Kentleşme, Hava Kirliliği, Ağırlıklı Çakıştırma, Erzurum

Evaluation of the Possible Impacts of New Residential Areas on Air Pollution in the Development Plan

Abstract

In this study, the aim was to pre-determine the impact of urban planning decisions in emerging areas on air pollution. To achieve this, after conducting an air pollution analysis for the existing urban area of Erzurum (2021), a new air pollution analysis was produced for the target year 2027 in accordance with the proposed urban planning decisions within the study area. The goal was to determine how the changes in the urban fabric resulting from urban planning decisions would affect air quality. Weighted overlay analysis was used as the methodology in the study. The analysis was conducted based on four fundamental data groups: topographic data, which included elevation analysis; meteorological data, which included temperature analysis; air pollution data including PM₁₀-SO₂ analyses; and planning decision data, which included green areas, building height, population density, industrial areas and artificial surface analyses. Sub-criteria were established for each criterion, and an impact degree and weight score were determined for each sub-criterion. The analyses were conducted using the NetCAD and ArcGIS software. The study findings indicated that air pollution was more concentrated in areas with high building heights, population density, and a high percentage of artificial surfaces. Conversely, it was found that air pollution was less intense in areas with a greater amount of green space and a lower percentage of artificial surfaces. The analysis also indicated that the city's temperature conditions and topographical structure had a negative impact on air pollution.

Keywords

Urbanization, Air Pollution, Weighted Overlay, Erzurum

1. Giriş

Dünya Şehirleri Raporu 2020'ye göre kentsel nüfusun 2030 yılına kadar, dünya nüfusunun %60,4'ünü oluşturması beklenmektedir (Knudsen vd., 2020). Artan bu kentleşme eğilimi her ne kadar ekonomik gelişme ve refah seviyesiyle ilişkilendirilse de aynı zamanda kentsel yayılma, kentsel ısı adası ve hava kirliliği gibi bir dizi çevresel sorunlara da neden olmaktadır.

Kentleşme, kırsal nüfusun kentsel nüfusa dönüşmesi, üretimin tamamen tarım dışı olması ve toplumsal yapıdaki yaşam tarzı değişikliklerini içermektedir (Keleş, 2002). Sanayi devrimi sonrası kentleşme hızla devam etmiş ve kentler artık endüstriyel üretimin yoğunlaştığı mekanlar haline gelmiştir.

Artan nüfus ve enerji tüketimi, insan-çevre arasındaki dengenin bozulmasına neden olmuş ve hava kirliliği başta olmak üzere birçok çevresel probleminin temelini oluşturmuştur. Hava kirliliği, hava ortamındaki parametrelerin yapısına farklı maddelerin girmesi sonucunda doğal bileşiminin değişerek, canlı/cansız yaşamı, ekolojik sistem ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek miktar ve yoğunluğa ulaşması şeklinde tanımlanmaktadır (Müezzinoğlu, 2000). Kentsel bir olgu olan hava kirliliği; insanların çeşitli faaliyetleri sonucu ortaya çıkan kirleticilerin atmosfere karışması olarak da açıklanabilir. Hava kirlitici kaynaklar, doğal ve beşerî kaynaklar olmak üzere iki sınıfta ele alınmaktadır. Doğal kirleticiler; insan etkisinin olmadığı doğal olaylar sonucu ortaya çıkan kirleticilerdir. Fırtınalar sonucu yeryüzünden kalkan tozlar, volkanik faaliyetler, orman yangınları, çiçek tozları ve bazı gazlar bu grupta yer almaktadır. Yapay (antropojenik) kirleticileri; ateşin bulunmasıyla başlayan yakma faaliyetleri, nüfus artışı, kentleşme ve endüstri faaliyetleri oluşturmaktadır. Yapay kirlitici kaynakları farklı şekillerde gruplandırılabilirler. Sanayiden, ısınmadan ve ulaşımdan kaynaklanan hava kirliliğinde kaynağın türü, kirliticilerin sabit ve hareketli olma durumlarında kaynağın devinimi, kirliticilerin noktasal, çizgisel ve alansal olması durumlarında kaynağın yapısı ön plana çıkmaktadır (Kök, 2018). Katı, sıvı ya da gaz halinde olabilen birçok kirlitici türü bulunmaktadır. Bu çalışmada verilerin mevcudiyeti, göstergelerin kentleşmeyle ilişkisi ve bilimsel çalışmalarda kirliliğin derecesinin ölçülmesinde sıklıkla kullanılan SO₂ ve PM₁₀ kirlitici türleri seçilmiştir. Yakıtlarda bulunan kükürtten kaynaklanan kükürt dioksit (SO₂) altı farklı kükürt oksit türünden biridir. Endüstriyel kuruluşlardan kaynaklanan salım miktarı toplam salım oranında büyük bir yere sahiptir. SO₂ oranının yüksek çıktığı yerler; nüfus ve yapı yoğunluğunun fazla olduğu kent merkezleri, taşıt trafiğinin yoğun olduğu yerler ve ısınma kaynaklı yakıt tüketiminin fazla olduğu konut alanlarıdır (Baş, 2019). Aerosol kirlitici türünden olan partikül maddeler katı veya sıvı halde olup havada bir süre asılı kalabilen ve büyüklükleri değişkenlik gösteren maddelerdir. Partikül madde (PM), eozol kirliticiler içinde sağlık açısından en tehlikeli olan türdür ve hava kalitesine bağlı ölüm oranlarında etki oranı yüksek bir kirlitici maddedir (Özbeyaz vd., 2016). Partikül maddelerin ana kaynaklarını evsel ısınma, ulaşım ve endüstriyel faaliyetler oluşturmaktadır. Evsel ısınmanın arttığı sonbahar ve kış mevsiminde kalitesiz yakıtların kullanılmasıyla dolaylı PM₁₀ konsantrasyonları bu dönemde artmaktadır. Bu artış havanın puslu görünmesine, ekosisteme ve insan sağlığına kadar birçok olumsuz etkiye yol açmaktadır.

Kentsel alanlarda yaşanan hava kirliliğinde beşerî faktörler kadar, atmosferdeki dağılmayı önleyen topografik etmenler ve meteorolojik unsurlarda etkili olmaktadır. Beşerî faktörler, kirliliğin kaynağı ve emisyon oranlarına etki ederken, doğal ortamı şekillendiren jeomorfolojik özellikler ise hava kirliliğinin derecesi ve yerleşim biriminde kalma süresi üzerinde etkili olmaktadır (Şahin, 1989). Coğrafi faktörler kirliliğin atmosferde kalıcılık süresini etkilerken, meteorolojik parametreler ise, kirliliğin atmosferden ayrılma aşamasında etkili olmaktadır. Ulutaş vd. (2022) tarafından Zonguldak ilinde çeşitli istatistiksel analizler kullanılarak yürütülen çalışmada, PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, NO₂, CO ve SO₂ kirlitici parametreleriyle, iklimsel veriler dört mevsim boyunca değerlendirilmiştir. NO₂ dışında diğer parametrenin kışın yüksek konsantrasyona sahip olduğu saptanmıştır. Yine benzer bir çalışma Ankara ilinde bir yıl boyunca PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO, NO₂, NO_x, O₃, CO parametreleri aylık, mevsimsel ve yıllık olarak değerlendirmiştir. Çalışmada nüfusun ve trafiğin yoğun olduğu yerlerde sabah ve akşam saatlerinde özellikle kış mevsiminde O₃ hariç bütün parametrelerde artış görülmüştür. Çalışma alanında doğalgaz kullanımının yaygın olması ve endüstri alanlarının olmamasına rağmen kirliliğin yüksek çıkması ise konutlarda ısınmadan kaynaklanan yakıt tüketimiyle açıklanmıştır (Ulutaş vd., 2021). Literatür kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişkiyi; kentleşmeden kaynaklanan enerji tüketimi ve bunun neden olduğu kirliticiler, plan kararlarının hava kalitesi üzerine etkisi ve hangi kentsel formun hava kalitesi ve kirlilik emisyonuyla ilişkili olduğunu belirlemeye yoğunlaşmıştır. Hava kirliliği ve kentleşme süreçleri arasındaki ilişki uzun yıllardır sorgulanmaktadır ve farklı çalışmalarda kentleşme biçimlerine göre kirlilik değerlerinde ortaya çıkan değişim tanımlanmaktadır.

Kentleşmenin enerji tüketimi ve CO₂ salımı üzerindeki etkisi uzun zamandır literatürün odak noktası haline gelmiştir. Kentleşmeyle tarımsal üretimden teknolojik ve endüstriyel üretim sektörlerine doğru bir geçiş yaşanırken, her iki sektörde önemli ölçüde enerji tüketimine dayanmaktadır. Bu enerji tüketimi karbon emisyonlarına önemli oranda etki etmektedir ve şehirler, küresel karbon emisyonlarının %70'inden fazlasını oluşturmaktan sorumludur (Cai vd., 2021). Sonuç olarak kentleşmenin enerji tüketimi yoluyla karbon emisyonları üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur (Li & Lin, 2015; Wang vd., 2016; Bekhet & Othman, 2017; Ali vd., 2019; Fan vd., 2023; Tang & Hu, 2023). Bununla birlikte ülkelerin gelişmişlik düzeyleri ve endüstriyel yapısının bu etki üzerinde önemli olduğu saptanmıştır. Modernleşmenin bir göstergesi olan kentleşmenin PM_{2.5} üzerindeki etkisine yönelik yapılan çalışmalarda, kentleşmeyle birlikte PM_{2.5} yoğunluğunun arttığı ve bunda ekonomik faaliyetler, nüfus yoğunluğu ve arazi kullanımının etkili olduğu belirlenmiştir (Yang vd., 2018; Du vd., 2019; Luo vd., 2020; Cheng vd., 2020; She vd., 2021).

Kentsel gelişimin ve aldığı biçimin, bir şehrin çevresel performansının çeşitli bileşenlerini nasıl etkilediğini anlamak önemlidir. Bunlardan biri olan kentteki rüzgâr ortamı ise şehir planlamayla ilişkili olan kentsel form, bina formu ve kentsel yoğunluk gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Yüksek kat ve yapı yoğunluğuna sahip mekânsal formların genelinde zayıf rüzgâr ortamları oluşmaktadır. Hava kirliliği kentteki rüzgâr ortamından doğrudan etkilendiği için kirliticiler kent içinde birikerek yetersiz havalandırma nedeniyle kolayca dağılamamaktadır (Arslan, 2023).

Bu nedenle kentsel form yalnızca rüzgâr ortamının özelliklerini önemli ölçüde etkilemekle kalmaz, aynı zamanda rüzgâr ortamını değiştirerek kirlleticilerin birikmesinde ve dağılmasında etkili rol oynamaktadır. Bu sebeple hangi kentsel formun hava kalitesi veya kirlilik emisyonu ile ilişkili olduğunu anlamaya yönelik yürütülen çalışmalarda düşük kentsel süreklilik, yoğun karma kullanım, düşük karbon ayak izi emisyonu, yüksek enerji verimi ve sürdürülebilir ulaşımın sağlanmasıyla hava kalitesinin iyileştirilebileceği tespit edilmiştir. Bununla birlikte düşük yoğunluklu kentsel yayılma ve yayılma benzeri yerleşim sergileyen kentsel morfolojiler ise düşük hava kalitesiyle ilişkilendirilmiştir (McCarty & Kaza, 2015; Yuan vd., 2017; Yuan vd., 2019; Li vd., 2021; Monkkonen vd., 2023).

Formlarla ilgili olarak literatürde kompakt kentsel formların hava kalitesini iyileştirmeye yardımcı olabileceğine dair çalışmalar olduğu kadar bu görüşün aksine, yüksek yoğunluklu kompakt bir kentsel formun hava kalitesini önemli ölçüde iyileştirmede hatta daha ciddi hava kirliliğine yol açtığını iddia eden görüşlerde mevcuttur (Hixson vd., 2010; Cho & Choi, 2014; Li & Zhou, 2019).

Kentsel hava kalitesini artırmaya yönelik pasif bir strateji olarak uygun bir şekilde planlanmış/tasarlanmış bir kentsel morfoloji kirlilik dağılımını önemli ölçüde iyileştirebilmektedir (Juan vd., 2021). Kentsel biçimi şekillendirmek için çok önemli bir araç olan kentsel planlamanın, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri ve Çin gibi ülkelerin bazı bölgelerinde başarılı bir şekilde uygulanmasıyla, küresel olarak hava kirliliğini hafifletmek için en etkili yöntemlerden biri olduğu tespit edilmiştir (Zhao vd., 2022). Dünya Sağlık Örgütü de “insanların şehirleri planlama ve inşa etme şeklinin soluduğumuz havayı belirlediğini” vurgulamıştır (World Health Organization, 2020). Kentlerde hava kirliliği; nüfus ve yapı yoğunluğundan, kentteki yeşil alanların miktarı ve dağılımından, sanayi alanlarının yer seçim kararlarından ve en nihayetinde kentsel alanın aldığı mekânsal konfigürasyondan güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Yuan vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, yüksek yoğunluklu bina alanlarının kirleticiler üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Yüksek nüfus yoğunluğuna sahip bu alanlarda ise kirleticilerin dağılımı ve seyrelmesinin kısmen hava koşullarına, özellikle rüzgâr yönüne ve hızına bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle bina yoğunluğunun artmasının havalandırmanın ve kirleticilerin dağılımının azalmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Endüstriyel yapı, kentteki enerji tüketimi, karbon ve kükürt emisyonlarıyla, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan çeşitli ağır metaller içeren havadaki partikül madde (PM) kirliliğinin yaygınlaşmasında doğrudan ilişkilidir. (Cherniwchan, 2012; Li & Lin, 2015). Ağaçlar ve ormanlar, kirleticilerin doğrudan uzaklaştırılması, yerel mikro iklimleri değiştirmesi ve enerji kullanımını dengelemesi gibi bir dizi ekosistem hizmetini yerine getirir. Bu hizmet sadece ekolojik anlamda değil insan sağlığı ve ekonomik anlamda da birden çok faydalı ilişki sunmaktadır. Nowak vd. (2019) tarafından yürütülen çalışmada, kentteki yeşil alanların yüksek miktarda hava kirliliğini ortadan kaldırdığını ve bunun sağlık harcamalarında önemli azalmalar sağladığını tespit etmiştir.

Hava kirliliğini kentleşme süreçleriyle ilişkilendiren ve farklı yönlerden inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Uzun yıllardır hava kirliliği problemi olan Erzurum kentinde de birçok hava kirliliği konulu çalışma yürütülmüştür. Uzun süren kış dönemi, coğrafyanın elverişsiz olması, beşerî unsurlar ve yerel yöneticilerin kararları, hava kalitesini olumsuz yönde etkileyen faktörler olarak ön plana çıkmaktadır. İncelenen çalışmalarda kirlilikle ilişkilendirilebilecek bir bilgi olarak meteorolojik unsurlardan rüzgâr hızı ve sıcaklık değerleri arasında negatif bir ilişki olduğu bulunmuştur (Turalioğlu vd., 2005; Kopar & Zengin, 2009; Alparslan, 2017; Akarsu, 2021). Doğalgaz kullanımının yaygınlaşmasının hava kalitesini olumlu yönde etkilediği belirtilirken (Kopar & Zengin, 2009; Turalioğlu, 2011; Turan & Yalçın Çelik, 2012; Akarsu, 2021), kentte yeni yerleşim alanlarının yer seçimi kararlarının hava kirliliğini artırdığı tespit edilmiştir (Sezen & Yılmaz, 2006; Turalioğlu, 2011). Bununla birlikte kentleşme kararlarında topografik yapı, meteorolojik unsurlar ve kentsel iklim verileri dikkate alınarak hava kirliliğinin kontrol altına alınabileceği vurgulanmıştır (Sezen & Yılmaz, 2006; Bayraktar & Turalioğlu, 2005; Dursun vd., 2015). Erzurum için mevcut durum itibarıyla yapılan değerlendirmeler çeşitli nedenlerle ortaya çıkan hava kirliliği probleminde farklı nedenleri ortaya koymuştur ancak imar planlarında belirlenen kentsel gelişme alanlarının yapılaştığı takdirde ortaya çıkacak kirlilik düzeyi üzerine bir tespit yapılmamıştır. Ova yönünde tarım arazileri üzerinde gelişme eğilimi olan kentin önümüzdeki yirmi yıl içerisinde bu şekilde kentleşirse hava kirliliği problemini çok ciddi düzeylere çıkaracağı öngörülebilmektedir. Bu nedenle Erzurum için kentleşme ve hava kirliliği ilişkisinin sorgulanması ve planlama pratiği içerisinde bu konunun ciddi şekilde ele alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmada kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişkinin Erzurum kenti için hazırlanan 1/1000 ölçekli uygulama imar planı üzerinden incelenmesi ve plan kararları yolu ile ortaya çıkması beklenen olası hava kirliliği etkisinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Plan kararlarıyla değişiklik gösteren nüfus yoğunluğu, kat yüksekliği, yeşil alan miktarı ve dağılımı, yapay yüzey oranı ve sanayi alanlarının yer seçimi gibi hususların mevcut ve gelecek dönem durumları için analiz yapılmış ve hava kirliliğinde etkili olan tüm faktörlerin ortak değerlendirildiği mevcut ve öneri kentsel doku için hava kirliliği haritası üretilmiştir.

İncelenen konu kentsel gelişme ve hava kirliliği üzerinedir. Araştırmanın amacı, kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişkinin Erzurum kenti için hazırlanan 1/1000 ölçekli uygulama imar planı üzerinden incelenmesi ve plan kararları yolu ile ortaya çıkması beklenen olası hava kirliliği etkisinin analiz edilmesidir. Kentsel gelişmeye yönelik plan kararlarının hava kirliliğini nasıl etkilediği, mevcut kentsel doku ve öneri kentsel doku üzerinden açıklanmaya çalışılmıştır. Bu doğrultuda çalışmanın hedefleri:

- Kentteki yer seçim kararları ve doğal coğrafyanın etkisiyle şekillenen mekânın ve iklimsel faktörlerin hava kirliliğine olan etkisini tespit etmek,
- Kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişkiyi, mekânsal yapı ve kentsel form üzerinden değerlendirmek,

- Hava kalitesini etkileyen PM₁₀ ve SO₂ kirleticilerinin kentteki dağılımını incelemek,
- Plan kararlarıyla değişiklik gösteren nüfus yoğunluğu, kat yüksekliği, yeşil alan miktarı ve dağılımı, yapay yüzey oranı ve sanayi alanlarının yer seçimi gibi hususların mevcut ve gelecek dönem durumlarının hava kalitesi etkilerini belirlemek,
- Hava kirliliğinde etkili olan tüm faktörlerin ortak değerlendirildiği mevcut ve öneri kentsel doku için hava kirliliği haritasını üretmek şeklinde belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında belirlenen amaç ve hedefler doğrultusunda yanıt verilecek araştırma soruları:

- Planlama kararlarının hava kirliliği üzerinde etkisi var mıdır? Varsa bu nasıl yönlü bir etkidir?
- Kentsel formun hava kalitesi ve emisyonlar üzerindeki etkileri nelerdir? şeklindedir.

Bu makale temel olarak ‘‘Erzurum’da imar planlarında önerilen yeni gelişme alanları hava kirliliğinin artmasına neden olacaktır’’ hipotezine dayanmaktadır. Çalışmanın bazı kısıtlılıkları bulunmaktadır. Çok boyutlu olan hava kirliliği problemi bu çalışmada plan kararları, topografya ile iklimsel veriler ve hava kirleticileri üzerinden incelenmiştir. Ayrıca çalışmaya plan kararlarıyla tanımlanamayacak, yoruma açık ve farklı ihtimallerin birden fazla sonuç ortaya çıkabileceği ulaşım ve konutlarda ısınmadan kaynaklanan kirlilik verileriyle, sosyo-ekonomik veriler dahil edilmemiştir. Çalışma alanı kentte 2027 yılı için önerilen planların uygulama sınırları ile hava kalitesi ölçüm verilerinin elde edildiği istasyon konumları dikkate alınarak Yakutiye ve Palandöken ilçeleri ile sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte Erzurum’da kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişki geçmiş, günümüz ve geleceğe dönük yapılacak analizlerle değerlendirilmek istenmiştir. Fakat çalışmada kullanılan PM₁₀ ve SO₂ hava kirleticilerinin kentleşmeyle olan ilişkisinin incelenmesi amacıyla geçmiş döneme yönelik yeterli düzeyde veri elde edilememiştir. Bu nedenle araştırma mevcut ve gelecek dönemle sınırlandırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Doğu Anadolu bölgesinin kuzeydoğusunda yer alan Erzurum, 25.066 km²’lik alanı ile bölgenin en büyük, Türkiye’nin ise 4. büyük ilidir. Makalenin çalışma alanını Erzurum ilinin merkez ilçeleri olan Yakutiye ve Palandöken ilçeleri oluşturmaktadır (Şekil 1). Erzurum’un mevcut yerleşimi batıda Atatürk Üniversitesi, doğuda yerleşime elverişli olmayan eğimli alanlarla sınırlanmıştır. Günümüzde kent kuzey, güney ve batı olmak üzere çok yönlü gelişme göstermektedir. Soğuk iklim koşullarının hâkim olduğu kent, etrafı yüksek dağlarla çevrili çanak görünümüne sahip bir ovada yer almaktadır. Yanma döneminin uzun sürdüğü ve inversiyon olayının yaşandığı kış aylarında, yetersiz hava akımları nedeniyle kirleticiler kentin çukur bölgelerinde birikerek hava kirliliğine neden olmaktadır. Topografik olarak hava kirliliği konusunda dezavantajlı olan Erzurum’da uygun olmayan kentleşme biçimi de hava akımlarının etkisini daha da azaltmaktadır. Tüm bu unsurlar Erzurum’da kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişkinin sorgulanmasını gerekli kılmaktadır.



Şekil 1: Çalışma alanının konumu

2.2. Veri ve Model Yapısı

Bu çalışmada hava kalitesi ölçüm istasyon verileri, yükselti ve yükseltiye bağlı sıcaklık verisi ve kat yüksekliği, nüfus yoğunluğu, sanayi alanları, yeşil alanlar ve yapay yüzey gibi mekânsal analizlere ait veriler kullanılarak 2021 ve 2027 yıllarına ait hava kirliliği analizleri elde edilmiştir.

Tablo 1: Çalışma kapsamında elde edilen veriler

Veri	Veri İçeriği	Veri Türü	Veri Kaynağı
Hava Kalitesi İstasyon Verileri	PM ₁₀ (µg/m ³) SO ₂ (µg/m ³)	2021 Yılı Yıllık Ortalama Ölçüm Sonuçları	Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı
DEM Verisi	Raster Veri	12,5m*12,5m Uydu Görüntüsü	Alos Palsar
Mekânsal Analiz Verileri	Grafik Veri	Mevcut Doku (2021) 1/1000 Ölçekli Halihazır Harita, Google Uydu Görüntüleri, Arazi Çalışmaları	Erzurum Büyükşehir Belediyesi, Google Earth
		Öneri Doku (2027) 1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı, Plan Notları ve Plan Raporları	Erzurum Büyükşehir Belediyesi

Verilerle ilgili detaylara Tablo 1’de yer verilmiştir. 2021 yılına ait PM₁₀ ve SO₂ kirletici emisyon verileri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına bağlı olan hava kalitesi ölçüm istasyonlarından elde edilmiştir. Şekil 2’de çalışma sınırları içerisinde yer alan hava kalitesi izleme istasyonlarının kent içindeki konumları yer almaktadır.



Şekil 2: Çalışma alanında bulunan hava kirliliği ölçüm istasyonlarının konumu

Çalışma kullanılan model temel olarak beş aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak hava kirliliği analizinde kullanılacak topografik ve meteorolojik unsurlar belirlenmiştir. İkinci olarak hava kalitesini etkileyen plan kararları saptanmıştır. Üçüncü olarak hava kirliliğinin belirlenmesine yönelik analizlerde kullanılacak kriterler ve alt kriterlere ait ağırlık puanları belirlenmiştir. Dördüncü olarak farklı kaynaklardan elde edilen tüm veriler NetCAD programı kullanılarak işlenmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen vektör veriler daha sonra ağırlıklı çakıştırma analizinde kullanılmak üzere raster veriye dönüştürülmüştür. Raster veriye dönüşüm işlemi için öncelikle ArcGIS programına CAD Reader uzantısı eklenerek NetCAD dosyaları ArcGIS’de okunur hale getirilmiştir. Eklenen NetCAD dosyalarında çalışılan ilin koordinat sistemine göre tanımlaması yapılmıştır. Tanımlı hale gelen vektör veri daha sonra ArcToolBox araçlarından olan “Conversion Tools” sekmesinden “To Raster” seçilerek “Polygon To Raster” işlemi ile raster veriye dönüştürülmüştür. Raster verilere ağırlıklı çakıştırma işlemi öncesinde “reclassify” işlemi yapılmıştır. Bunun için öncelikle raster verinin öznetelik tablosunda düzenleme yapılmıştır. Daha sonra ArcToolBox araçlarından olan “Spatial Analyst Tools” sekmesinden “Reclass” seçilerek “Reclassify” işlemi yapılmıştır. Yapılan sınıflandırma sonucunda raster verideki her hücre artık bir puan değerine sahip olmuş ve yeni bir raster veri elde edilmiştir. Son olarak ağırlıklı çakıştırma analizi yapılarak 2021 ve 2027 yıllarına ait hava kirliliği analizleri elde edilmiştir.

2.2.1. Kriterlerin ve Ağırlık Derecelerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada hava kirliliğinin belirlenmesi amacıyla, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak ağırlık çakıştırma işlemi yapılmıştır. Ağırlıklı çakıştırma analizi, çok kriterli verilerin ortak çözümünde kullanılan önemli yöntemlerden biridir. Farklı kaynaklardan elde edilen ve farklı birimlere sahip verilerle nihai bir sonuca varılmasına ve uzamsal katmanların bir arada değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Bir bölgenin hava kalitesi belirlenirken kullanılacak değişkenler ve bunların önem dereceleri çalışma alanının konumuna, bölgenin fiziksel ve coğrafi özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Erzurum’da hava kirliliğine yönelik kullanılacak kriterler, literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir (Kopar & Zengin, 2009; Sarı, 2019). Tablo 2’de görüldüğü gibi, belirlenen bu kriterlerin çalışma alanında hava kirliliğiyle ilişkisi sorgulanmış ve her bir kriterle mesleki yorumlar, literatür araştırması ve arazi gözlemleri sonucunda değer ataması yapılmıştır.

Hava kirliliğine neden olan faktörlerin etki dereceleri birbirinden farklı olduğu için ağırlıklandırma yapılırken, değişkenler arasında hangisinin hava kirliliğinde daha önemli olduğu sorusunun yanıtı aranmıştır. Burada hava kirliliğinde daha önemli olana 5 puan, daha az öneme sahip olana 1 puan verilmiştir. Bu puanlama sayesinde her veri standartlaştırılmış ve ağırlıklı çakıştırma işlemi için ortak bir veri seti elde edilmiştir.

Belirlenen ana kriterler analiz edilirken farklı alt kriterlere ayrılmıştır. Bu ayrımda verilerin çalışma alanı içerisindeki mevcut durumları baz alınmıştır. Örneğin; yükselti analizi yapılırken DEM verisi ArcGIS’de çalışma sınırına göre kesilmiş ve bu sınır içerisindeki en düşük ve en yüksek yükselti değerlerine ulaşılmıştır. Bu değerler daha sonra 100 metre aralıklarla farklı alt gruplara ayrıştırılmıştır. PM₁₀ ve SO₂ kirleticine ait alt kriterler hava kalitesi indeksine göre hazırlanırken, yeşil alan, kat yüksekliği, nüfus yoğunluğu, sanayi alanları ve yapay yüzey analizlerinin alt kriterleri; çalışma alanını 100 m*100 m büyüklüğünde bölen karolajlar üzerinden elde edilmiştir. Bu sistemde her bir karoloj 1 hektara denk gelmektedir. Tek tek karolajlar üzerinden yapılan analizler sonucunda çalışma alanının bütününe kapsayan alt kriterler elde edilmiştir.

Tablo 2: Ağırlıklı çakıştırma kriterleri, alt kriterler, ağırlık puanları ve etki dereceleri

Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlık Puanı	Etki Derecesi	Seçme Nedeni
Yükselti	1770 – 1870 m	1	%10	Yükselti arttıkça sıcaklık azalmakta, ısınma kaynaklı yakıt tüketimi artmaktadır. Bu ikili ilişki doğrultusunda yükselti hava kirliliği analizinde bir kriter olarak ele alınmıştır.
	1870 – 1970 m	1		
	1970 – 2070 m	2		
	2070 – 2170 m	3		
	2170 – 2270 m	4		
	2270 – 2470 m	5		
Sıcaklık	8.3 – 9.0 °C	5	%10	Sıcaklık ve kirlilik arasında ters bir orantı vardır. Soğuk iklimlerde önemli bir unsur olan sıcaklık bu bağlamda hava kirliliğini etkileyen bir kriter olarak analize dahil edilmiştir.
	9.0 – 9.4 °C	4		
	9.4 – 9.8 °C	3		
	9.8 – 10 °C	2		
	10 – 10.4 °C	1		

Tablo 2'nin devamı

Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlık Puanı	Etki Derecesi	Seçme Nedeni
Yeşil Alan	0 – 6 adet	5	%10	Kent içerisinde yer alan yeşil alanlar temiz hava sağlama ve kirli havanın filtre edilmesini gibi özellikleri sayesinde hava kirliliği üzerinde önemli rol oynarlar. Bu nedenle çalışmada etkili bir kriter olarak kullanılmıştır.
	7 – 15 adet	4		
	16 – 25 adet	3		
	26 – 50 adet	2		
	50 ve üzeri adet	1		
Kat Yüksekliği	Kat yok	1	%10	Yüksek katlı ve yüksek yoğunluklu binalar, hava kirlleticilerin dağılımını engelleyerek daha yüksek düzey-de kirleticici birikimine yol açmaktadır. Bu nedenle kat yüksekliği hava kirliliği analizinde bir kriter olarak ele alınmıştır.
	0 – 2 adet	1		
	3 – 5 adet	2		
	6 – 8 adet	3		
	9 – 11 adet	4		
Nüfus Yoğunluğu	12 ve üzeri adet	5		
	Nüfus yok	1	%10	Yüksek konut yoğunluğu ve nüfusa sahip alanlarda trafik sıkışıklığına bağlı ulaşım kaynaklı kirleticiler ve konutlarda ısınma kaynaklı kirleticiler artmaktadır. Bu nedenle nüfus yoğunluğu çalışmada önemli bir etken olarak analize dahil edilmiştir.
	50 kişi/ha	1		
	51 – 150 kişi/ha	2		
	151 – 300 kişi/ha	3		
	301 – 600 kişi/ha	4		
Yapay Yüzey	600 ve üzeri kişi/ha	5		
	%0-20	1	%10	Kentsel alan genişledikçe kentteki doğal yüzey alanı azalmakta ve yapay yüzey oranı artmaktadır. Bu durum antropojenik kaynaklı kirleticilerin artmasına yol açarak hava kirliliğini artırmaktadır. Geçirgen olmayan bu sert zeminler hava kalitesini etkileyen bir kriter olarak ele alınmıştır.
	%21-40	2		
	%41-60	3		
	%61-80	4		
	%81-100	5		
Sanayi Alanları	KSA	5	%10	Sanayiden kaynaklanan hava kirliliği temelde yanlış yer seçimi, yeterli teknik tedbirler alınmadan atık gaz ve tozların havaya bırakılması ve yanlış veya eskiden teknolojilerin seçiminden kaynaklanmaktadır. Kentteki sanayi alanlarının türleri ve yer seçim kararları hava kalitesini etkileyen önemli bir kriter olarak analize dahil edilmiştir.
	KDKÇA	4		
	Kentsel Servis	3		
Hava Kirleticileri (PM10, SO2)	İyi	1	%30	Kenti etkileyen topografik, iklimsel ve mekânsal faktörler aynı zamanda birer doğal ve yapay kaynak oldukları için hava kirleticici gazların oluşmasına neden olurlar. Hava kirliliğini meydana getiren bu kirleticiler çalışma dahilinde kriter olarak kullanılmıştır.
	Orta	2		
	Hassas	3		
	Sağlıksız	4		
	Kötü	5		
	Tehlikeli	5		

3. Bulgular

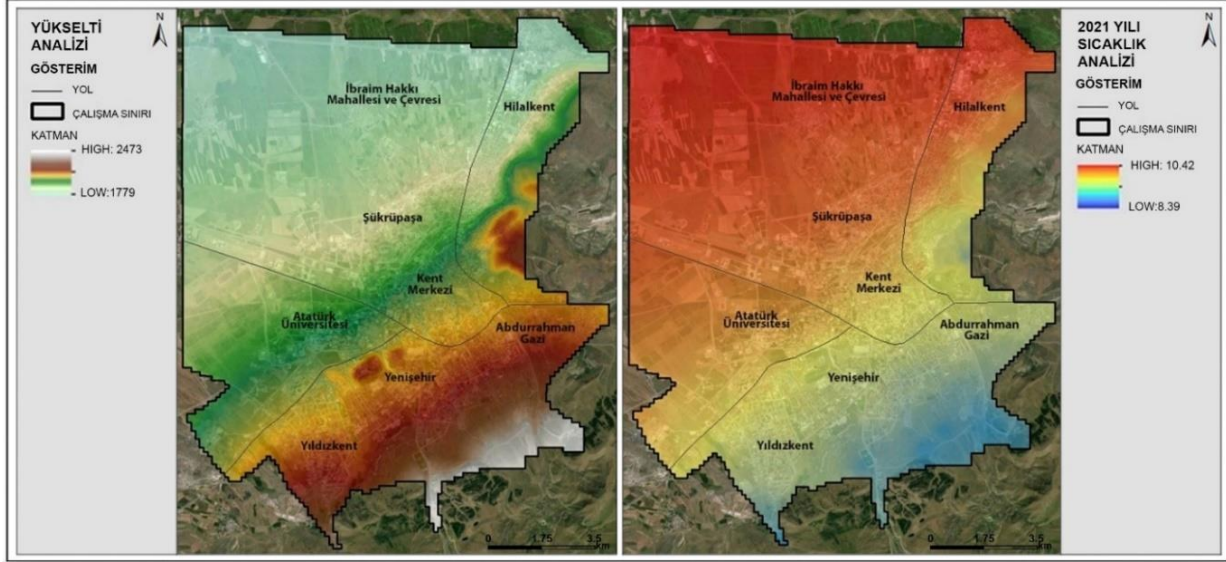
3.1. Topografya Analizi

Yükselti: Yükseklik dünyanın yüzeyinde, atmosferik olaylarda, bakı, eğim, basınç ve sıcaklık gibi birçok faktör üzerinde etkilidir. Hava kirliliğinde etkili bir kriter olarak ele alınan yükselti analizi Alos Palsar sitesinden 12,5*12,5 çözünürlükte indirilen DEM verisinin CBS'de sınıflandırılması sonucu elde edilmiştir. Yükselti analizine göre; kentte yükselti Palandöken ilçesinden Yakutiye ilçesine doğru azalmaktadır ve en az yükselti değeri çalışma sınırının kuzeybatısında yer almaktadır.

3.2. Meteoroloji Analizi

Sıcaklık: Lapse Rate ise yükselti verisine bağlı olarak ortalama sıcaklık değerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil 3'de görüldüğü gibi yükseklik, rakım bilgileri ve en yakın istasyondan alınan bir yıllık ortalama sıcaklık değeri ile sıcaklık

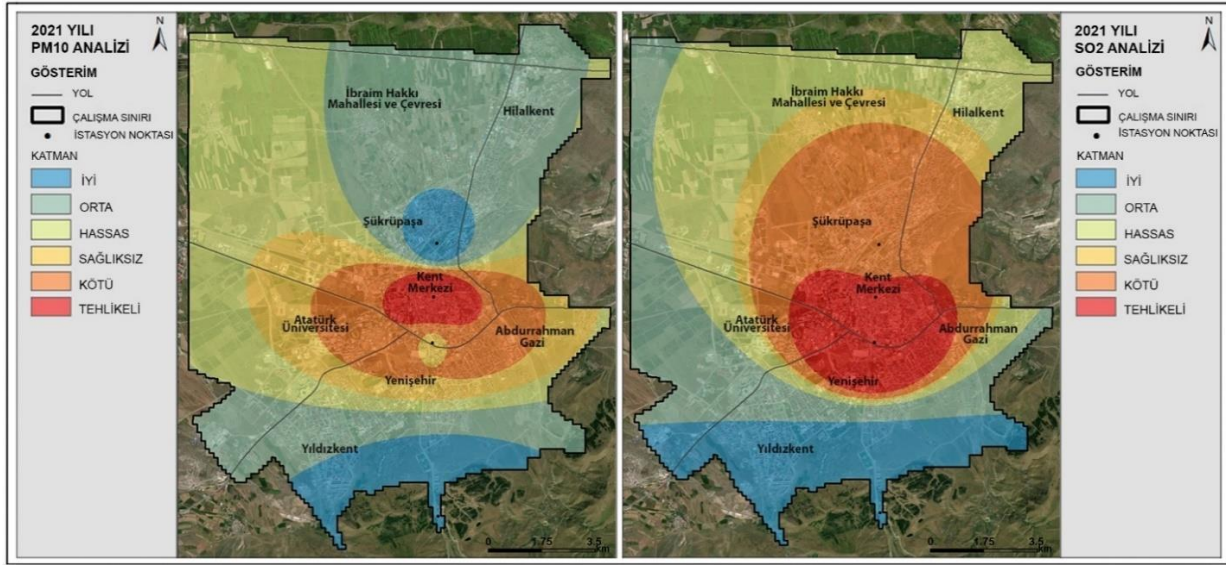
analizi yapılmıştır. LR yöntemi kullanılarak, yükseltiye bağlı olarak yapılan sıcaklık analizi $T_i = T_g + (h \cdot a / 100)$ formülüne göre elde edilmiştir. Formülde T_i indirgenmiş sıcaklık, T_g gerçek sıcaklık, h metre olarak istasyonun yüksekliği ve a değeri her bölge için oluşturulan regresyon modelinden alınan sıcaklık değişim oranını (lapse rate) ifade etmektedir (Erol, 2011). İstasyon sıcaklık verisi, çalışma sınırları içerisinde yer alan Erzurum Bölge İstasyonu'nun 2021 yılına ait sıcaklık ortalamasından elde edilmiştir. Kentin güney kesimlerinde yükselti fazla olduğu için sıcaklık değerleri bu bölgede daha düşük olacaktır. Bu durum ısınma kaynaklı yakıt tüketiminin artmasına neden olacağından dolayı hava kirliliğinin de artmasına yol açacaktır. Sıcaklık değerlerinin düşük olduğu noktalarda ısınma kaynaklı yakıt tüketiminin artması o bölgelerde hava kirliliğinin daha fazla oluşmasına neden olacaktır. Oluşan bu kirlilik rüzgârın etkisiyle kentte yükseltinin daha düşük olduğu noktalara taşınarak hava kirliliğinin artmasına yol açacaktır.



Şekil 1: Yükselti ve 2021 yılı sıcaklık analizi

3.3. Kirlilik Analizi

2021 Yılı PM₁₀ ve SO₂ Analizi: Erzurum kenti özelinde toplam beş adet hava kalitesi ölçüm istasyonu yer almaktadır. Çalışma sınırları içerisinde yer alan dört adet hava kalitesi ölçüm istasyonuna ait 2021 yılı verileri, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına bağlı olan Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı kullanılarak temin edilmiştir. Bu veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak IDW yöntemi ile analiz edilmiştir. Hava kirliliği emisyon değerlerinin mekânsal dağılımının elde edilmesinde, nokta verilerinin interpole edilecek yüzeyde, komşu noktalara olan ağırlıklı ortalamasını temel alan bir yöntem olan IDW yöntemi kullanılmıştır. Bu modelin temel işleyişi bilinen noktanın değerini kullanarak bilinmeyen modellemektir (Toros vd., 2018). Bu analizde esas olarak var olan istasyon noktalarına ait verilerden yola çıkarak, verilerin yeterli olmadığı diğer noktalara ait en doğru veriyi elde etmek amaçlanmaktadır. Böylece kirlleticilerin mekânsal dağılımdaki eğilimleri belirlenmeye çalışılmıştır. Analizde öncelikle çalışma sınırı üzerine istasyonların mevcut koordinatları işlenerek, bu istasyonlardan alınan PM₁₀ ve SO₂ kirleticilerinin ölçüm değerleri öznitelik tablosuna manuel olarak aktarılmıştır. Daha sonra ArcToolBox araçlarından olan Geostatistical sekmesinden Interpolation seçilerek burada yer alan IDW aracı ile analiz yapılmıştır. IDW enterpolasyonu uygulandıktan sonra değer aralıkları, sınıf sayısı ve renklendirme işlemleri yapılmıştır. Sınıf sayısı ve renklendirmede Ulusal Hava Kalitesi İndeksi esas alınmıştır. IDW analizinde çalışma alanındaki istasyon sayısının yetersiz ve birbirine uzak mesafede olması analizde bir kısıtlayıcı olarak karşımıza çıkmaktadır. En nihayetinde elde edilmek istenen 2021 ve 2027 yıllarına ait hava kirliliği analizinde bir kriter olarak yer alan PM₁₀ ve SO₂ kirleticileri, diğer kriterlerinde ortak değerlendirildiği ağırlıklı çıkarıştırma analizinde kullanılarak ortak bir veri setiyle hava kirliliği analizi mekânsal olarak desteklenmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi elde edilen IDW haritası incelendiğinde; iki kirleticili türünde de kent merkezi kirliliğin en yoğun çıktığı alan olmuştur. Kentin güneyinde yükseltinin de etkisiyle hava kirliliğinin yoğunluğu daha düşük iken, kuzeyde kentin çukur noktalarında kirlilik değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 2: 2021 yılı PM₁₀ ve SO₂ kirlilik analizi

Tablo 3’de PM₁₀ ve SO₂ kirlenimlerine ait yıllık ortalama değerler ve ölçüm yapılan gün sayısını belirten veri yüzdeleri yer almaktadır. İstasyonda ölçüm yapılan gün oranı verilerin yorumlanmasında katkı sağlayacaktır. Verilerdeki eksikliğin sebebi ise istasyonlarda bakım ya da arızaların olduğu günlerde ölçüm yapılamamasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3: Hava kalitesi izleme istasyonları 2021 yılı PM₁₀ ve SO₂ ortalama değerleri (µg/m³) ve veri yüzdeleri

PM ₁₀ ve SO ₂ Ölçüm Değerleri ve Veri Yüzdeleri				
Kirlenim	Aziziye	Merkez	Taşhan	Palandöken
PM ₁₀	37,4 - %98,08	46,4 - %96,99	58,4 - %89,86	33,5 - %97,53
SO ₂	11,9 - %98,9	13,5 - %99,18	-	4,6 - %98,9

3.4. Mekânsal Analizler

2021 Yılı Yeşil Alan Analizi: Şekil 5’te yer alan 2021 yılına ait yeşil alan analizinde kentte yeşil alanların üniversite, mezarlıklar ve askeri alanlarda yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Merkezi iş alanı olan ve yoğun kullanıcıya sahip kent merkezinde ise yeşil alanın yetersiz olduğu saptanmıştır. Kentin mevcut durumunda hâkim rüzgâr yönü de dikkate alınarak oluşturulmuş sistemli ve yeterli bir yeşil alan bulunmamaktadır.

2021 Yılı Kat Yüksekliği Analizi: Şekil 5’te yer alan yapı yüksekliklerinin incelendiği 2021 yılı analizinde, kent genelinde kat yüksekliklerinin 3-5 ile 6-8 kat arasında yoğunlaştığı görülmüştür. Kentin kuzeyinde yer alan Hilalkent Mahallesi konut dokusunun daha çok 9-11 kat arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Güneybatıda yer alan Yıldızkent Mahallesi de yine 9-11 katlı yerleşimlerin olduğu bölgelerden biridir. Kentin çeperinde yer alan yerleşimlerin genellikle 2 katlı yapılar olduğu tespit edilmiştir.

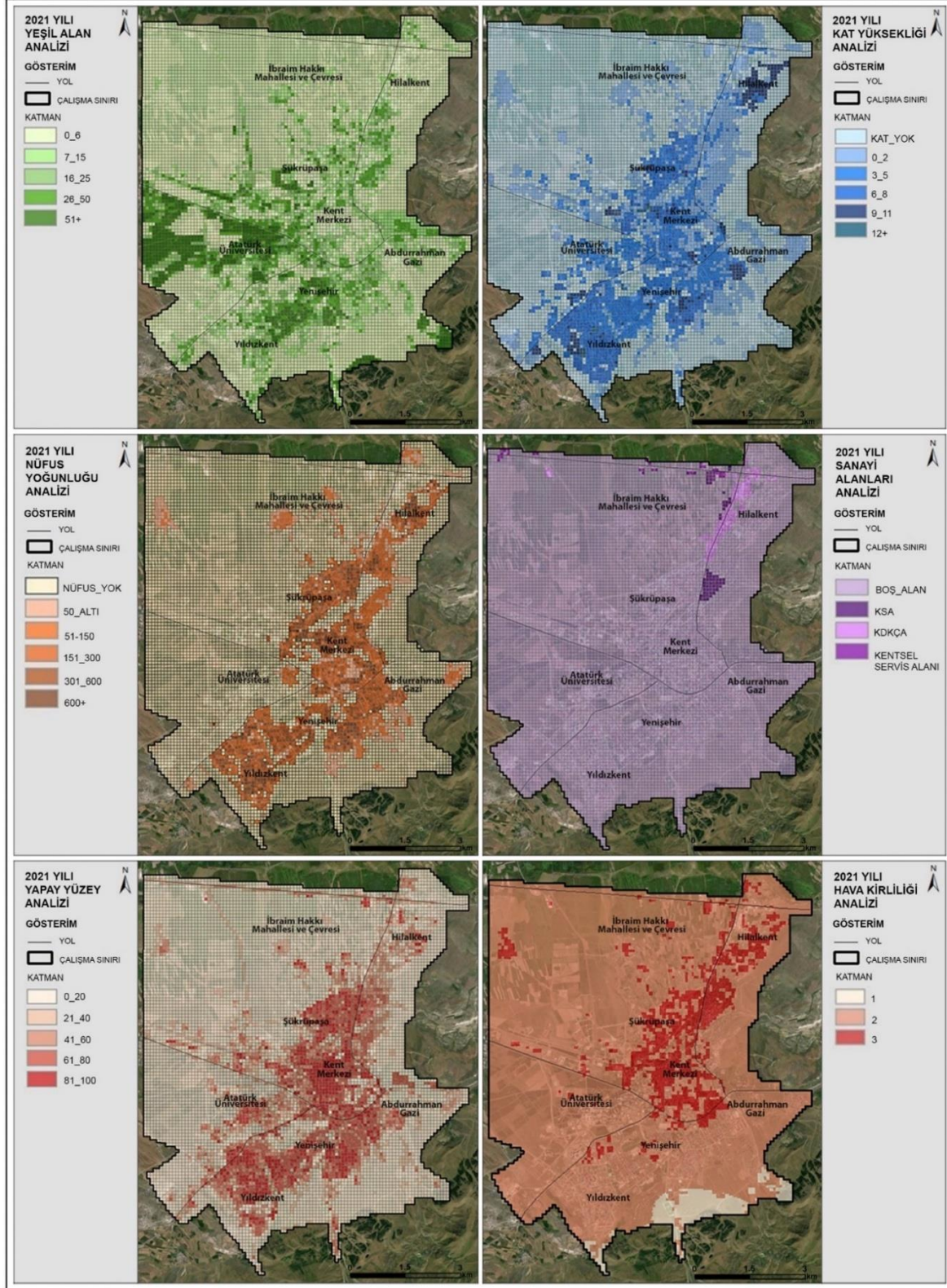
2021 Yılı Nüfus Yoğunluğu Analizi: 2021 yılında kentte nüfus yoğunluğunun daha çok kent merkezini çevreleyen Şükrüpaşa ve Yenisehir mahallelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Kent çeperlerine doğru yoğunluk azalırken, mevcut durumda nüfus yoğunluğu eğiliminin kentin kuzeydoğu ve güneybatı yönlerine doğru olduğu görülmektedir.

2021 Yılı Sanayi Alanları Analizi: Sanayi alanları analizinde; kentin kuzey-doğusunda yerleşim alanları içerisinde kalmış küçük sanayi alanı, Tortum yolu boyunca karşılıklı konut dışı kentsel çalışma alanları ve kuzey çevre yolu hattı boyunca kentsel servis alanlarının yer aldığı tespit edilmiştir. Şekil 5’te yer alan sanayi alanları analizinde yapılar genellikle 1-2 kattan oluşmaktadır. Kent merkezine yakın bir noktada yer alan küçük sanayi alanı hava kirliliğinin kaynaklarından ve birikim noktalarından biridir.

2021 Yılı Yapay Yüzey Analizi: Yapay yüzey analizi kentte sert zemin ve doğal zemin ayrımı yapılmıştır. Şekil 5’te yer alan bu analizde kentin yapılaşmış alan sınırı bilgisine ulaşılmaktadır. Yapay yüzey oranının en yüksek olduğu alan kent merkezi ve çevresi olurken, çeperlere doğru yapay yüzey oranının düştüğü görülmektedir.

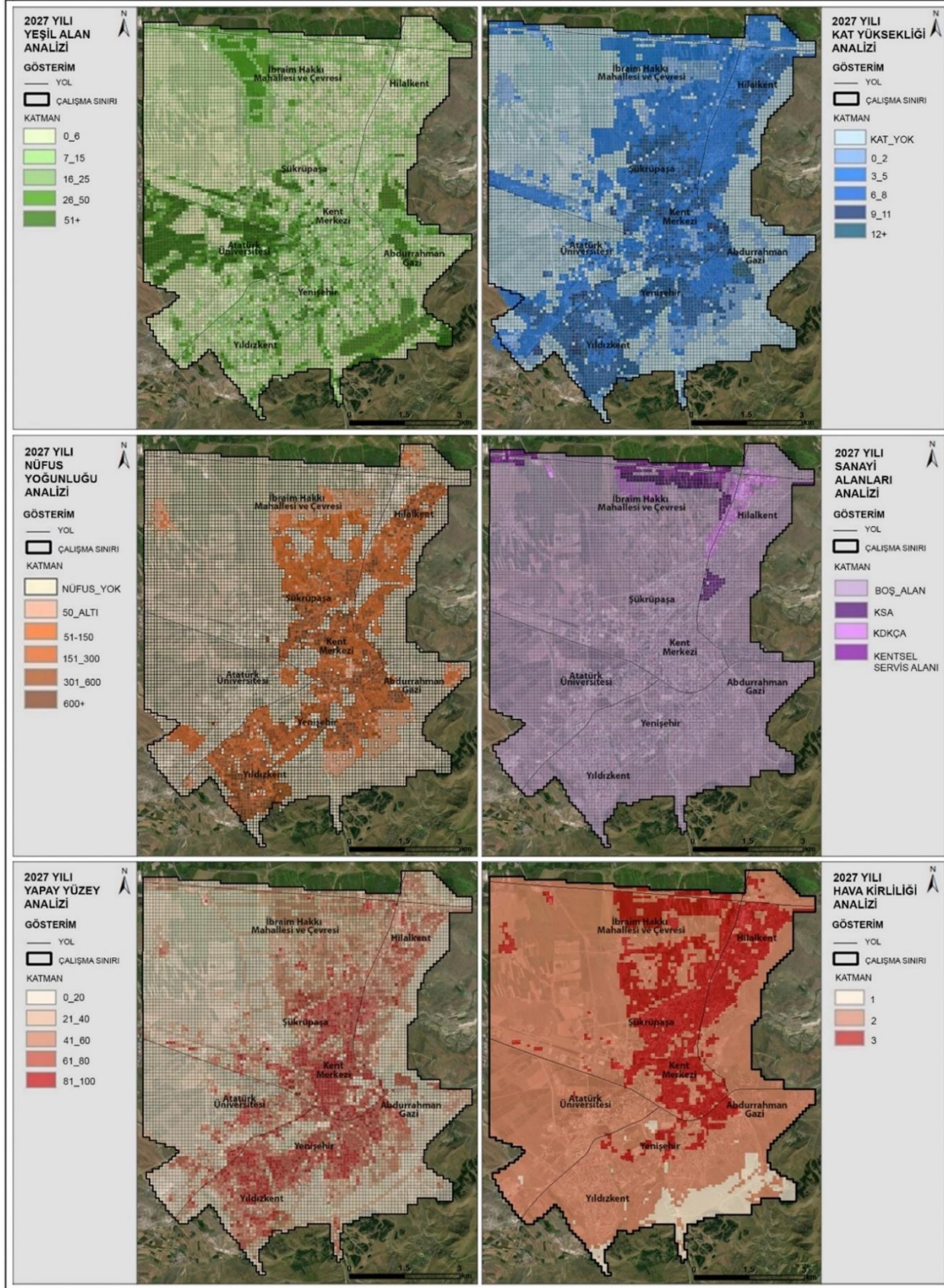
2021 Yılı Ağırlıklı Çakıştırma Analizi: Ağırlıklı çakıştırma işleminde plan kararlarının hava kirliliği üzerindeki etkisinin ölçülebilmesi amacıyla analizler sabit ve değişken veriler üzerinden yapılmıştır. Yükselti, sıcaklık ve kirlilik verileri 2021 ve 2027 yılları için sabit tutulurken, plan kararlarıyla değişiklik gösteren yeşil alan, kat yüksekliği, nüfus yoğunluğu, sanayi alanları ve yapay yüzey analizleri mevcut ve öneri duruma göre güncellenmiştir. Yükselti, sıcaklık, PM₁₀ ve SO₂ kirlilik verileri ile mekânsal analizlerin CBS’de ağırlıklı çakıştırma yönteminin kullanılmasıyla elde edilen

2021 yılı hava kirliliği analizinde; kent merkezi, küçük sanayi alanı, Şükrüpaşa ve Hilalkent Mahalleleri kirliliğin yoğunlaştığı alanlar olarak ön plan çıkmaktadır. Yıldızkent ve Yenişehir gibi güneyde yer alan mahaller, kuzeydeki mahallelere oranla hava kirliliği yoğunluğunun daha az olduğu alanlar olmuştur. Abdurrahman Gazi Mahallesi de merkeze daha yakın olması sebebiyle kirliliğin yoğunlaştığı alanlardan olmuştur. Şekil 5'te ağırlıklı çakıştırma analizi sonucuna elde edilen 2021 yılına ait hava kirliliği analizi yer almaktadır.



Şekil 3: 2021 yılına ait mekânsal analizler ve ağırlıklı çakıştırma analizi sonucunda elde edilen 2021 yılı hava kirliliği analizi

2027 Yılı Yeşil Alan Analizi: Şekil 6'da öneri plana göre yapılan yeşil alan analizi incelendiğinde, yeşil alanların bir sistem dahilinde kurgulanmadığı ve parçalı yeşil alanlar önerildiği görülmüştür. Hava kirliliği yoğunluğun azaltılmasında kullanılabilecek yöntemlerden biri olan yeşil alanların artırılması ve hâkim rüzgâr yönü doğrultusunda koridorların oluşturulması gerekliliği bu plan kararlarında göz ardı edilmmiştir.



Şekil 4: 2027 yılına ait mekânsal analizler ve ağırlıklı çıkartma analizi sonucunda elde edilen 2027 yılı hava kirliliği analizi

2027 Yılı Kat Yüksekliği Analizi: Öneri plan doğrultusunda hazırlanan ve Şekil 6’da yer alan kat yüksekliği analizine göre, kent genelinde mevcut duruma oranla konut alanlarında ve diğer fonksiyonlarda kat yüksekliklerinin artırıldığı tespit edilmiştir. Kent merkezinde özellikle kentsel dönüşüm projeleri ile noktasal olarak kat artışları yapılmıştır. Kentin gelişme alanlarından biri olan Hilalkent ve Yıldızkent Mahallerinde ise yükseklikler 9-11 ile 12 kat ve üzeri olarak belirlenmiştir.

2027 Yılı Nüfus Yoğunluğu Analizi: Öneri uygulama imar planına göre hazırlanan 2027 yılı nüfus yoğunluğu analizinde Yıldızkent ve Hilalkent Mahallelerinde nüfus yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Şekil 6’da yer alan analize göre, Şükrüpaşa Mahallesinde nüfusun yoğunluğu çevre yoluna doğru kademeli olarak azalmıştır. Şükrüpaşa ve çevre yolu arasında yer alan ve kırsal kimliğini koruyan yerleşimlerin etrafı yapılaşmaya açılarak düşük yoğunluklu nüfus önerisinin yapıldığı görülmektedir. Yine Abdurrahman Gazi Mahallesi ve etrafında da Palandöken Dağı’nın eteklerine doğru nüfus yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. Kent merkezinde yoğunluğun yüksek oranda aynı kaldığı, kentsel dönüşüm alanı olarak ilan edilen bölgelerde alansal nüfus artışının olduğu tespit edilmiştir.

Mevcut durum ve öneri planda nüfus yoğunluğu analizleri karşılaştırıldığında kentin güneybatı ve kuzeydoğu yönünde nüfus yoğunluğunun arttığı görülmektedir. 2027 planını değerlendirdiğimizde kent genelinde nüfus yoğunluklarının arttığı görülmektedir.

2027 Yılı Sanayi Alanları Analizi: Mevcut durumda konut alanlarının içerisinde kalan ve kentte hava kirliliğinin kaynak ve birikim noktalarından biri olan küçük sanayi alanına öneri planda müdahale edilmemiştir. Şekil 6’da yer alan sanayi analizine göre, kentin kuzeyinde gelişme konut alanlarına yakın bir noktada yeni bir küçük sanayi alanı önerilmiştir. Bu durumun ileride orada yaşayacak nüfusun hava kirliliğine yoğun olarak maruz kalmasına yol açacağı öngörülmektedir.

2027 Yılı Yapay Yüzey Analizi: Öneri planla birlikte kent kuzeyde yapay bir sınır olan kuzey çevre yoluna, güneyde doğal bir eşik olan Palandöken Dağı’na kadar yayılmıştır. Bu durum kentte geçirimsiz yüzeylerin artmasına ve kuzey-güney yönlü doğal zeminlerin azalmasına neden olmuştur. Şekil 6’da yer alan analize göre, mevcut durumda yapay yüzey oranları daha düşük olan alanlarda sert zemin oranları artarak yeni planla yüksek yapay yüzeye sahip alanlar oluşmuştur.

2027 Yılı Ağırlıklı Çakıştırma Analizi: Yükselti, sıcaklık, kirlilik verileri ile mekânsal analizlerin CBS’de ağırlıklı çakıştırma yöntemi kullanılarak elde edilen 2027 yılı hava kirliliği analizinde kirliliğin yüksek çıktığı alanlar; sert zemin yüzeyinin, nüfus ve yapı yoğunluğunun fazla olduğu kent merkezi ve yine nüfusun yoğunlaştığı ve yeşil alan miktarının az olduğu Şükrüpaşa ve Hilalkent Mahalleleri olmuştur. Yine kentin kuzeyinde sanayi ve öneri konut alanlarının yer aldığı bölgede kirliliğin yoğunluğu artmıştır. Kentin güneyinde yer alan Abdurrahman Gazi Mahallesinde kirliliğin yoğunluğu artarken, daha güneye indiğimizde Yıldızkent ve Yenişehir Mahallelerinde hava kirliliğinin 2. derece olduğu görülmektedir. Palandöken Dağı’na doğru gidildikçe hava kirliliğinin daha düşük çıktığı sonucuna ulaşılmıştır. 2027 yılına ait hava kirliliği analizini incelediğimizde; mevcut duruma kıyasla 2027 yılında kentte kirliliğin yoğunluğunun ve alansal dağılımının arttığı, mekânsal olarak ise kentin kuzey ve kuzeydoğusunda yoğunlaştığı saptanmıştır.

Bu analizlerin sonucunda mevcut hava kirliliği analizine oranla, 2027 yılı için yapılan kirlilik analizinde dört bölgede kirliliğin yoğunlaştığı saptanmıştır. Bunlar; şehir merkezi, Şükrüpaşa, Hilalkent, ve Şükrüpaşa mahallesi ile çevre yolu arasında kalan İbrahim Hakkı Mahallesi ve çevresi olmuştur. Kirliliğin yoğunlaştığı bu dört alanda kat yükseklikleri, yapay yüzey oranı artırılmış ve yeşil alan miktarı azaltılmıştır. Hilalkent, İbrahim Hakkı Mahallesi ve çevresinde öneri sanayi alanlarının artırılması, nüfus ve kat yüksekliğinin artırılması hava kirliliği artıran plan kararlarından olmuştur. Hava kirliliğinin en çok yoğunlaştığı alan olan İbrahim Hakkı Mahallesi ve çevresi, öneri imar planında gelişme konut alanı olarak belirlenmiş ve küçük sanayi alanı ile kentsel servis gibi kullanımlar önerilmiştir. Burada hava kirliliğinin artışında plan kararlarıyla birlikte, alanın topografik özellikleri de etkili olmuştur. Yapılaşmaya açılan alan, kentin çukur noktası ve kışın inversiyonun olayının sık sık yaşandığı bir bölgedir. Kent genelinde nüfus yoğunluğunun ve sert zemin oranının artırılması, yeşil alanların azaltılması sonucunda bu bölgelerde oluşacak kirliliğin de kentin çukur noktasında birikerek hava kalitesini olumsuz yönde etkileyeceği öngörülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Kentleşme ve hava kirliliği arasındaki ilişkinin incelenmesi, hava kirliliğinin azaltılması ve ekolojik dengenin korunması açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada insan sağlığı ve çevre için önemli unsurlardan biri olan hava kirliliğinin, Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak ağırlıklı çakıştırma yöntemi ile kentsel mekândaki değişimi incelenmiştir.

2021 ve 2027 yılları için hazırlanan hava kirliliği analizleri karşılaştırıldığında; kentin kuzeyinde öneri gelişme alanında 3. derece hava kirliliğinin olduğu ve mevcut kirliliğinin yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir. Böylece çalışma kapsamında kurgulanan “Erzurum’da imar planlarında önerilen yeni gelişme alanları hava kirliliğinin artmasına neden olacaktır” ana hipotezi doğrulanmıştır.

Planlama kararlarının hava kirliliği üzerinde etkisi var mıdır? Varsa bu nasıl yönlü bir etkidir? araştırma sorusu mevcut durum ve öneri plan doğrultusunda hazırlanan hava kirliliği analizlerine göre cevaplanmıştır. Bu analizlere göre yeşil alanların hava kalitesini iyileştirdiği tespit edilmiştir (Lin vd., 2020). Sanayi alanlarının yoğunlaştığı (Cherniwchan, 2012), kat yüksekliğinin, nüfus yoğunluğunun (Clark vd., 2011; Rodriguez vd., 2016) ve yapay yüzey oranının (Travisab vd., 2010; Poumanyong vd., 2012) arttığı alanlarda ise hava kirliliğinin de arttığı saptanmıştır (Arslan, 2023).

Kentsel yayılma, kentleşmiş alanlarda kontrolsüz genişleme ve yayılma olgusunu ifade eder, bu da başlangıçta merkezi alanlarda yoğunlaşan kentsel etkinliklerin şehirlerin çeperlerine yayılmasına neden olur. Kentsel yayılma, temel tarım alanlarını işgal ederek ekili arazi alanlarında hızlı bir azalmaya neden olmaktadır. Banliyöleşme, doğal ortamı bozarak ciddi bir arazi kaynağı israfına yol açmaktadır (Hankey vd., 2010; Rodriguez vd., 2016). Bu durum doğal arazilerin zamanla yapay yüzeylere dönüşmesine ve bu alanlarda nüfusun yoğunlaşmasına, ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonlarının artmasına ve hava kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Kentsel formun hava kalitesi ve emisyonlar üzerindeki etkileri nelerdir? araştırma sorusunun cevaplanması amacıyla Erzurum özelinde yürütülen çalışmada, kentte düşük yoğunluklu ve kentsel yayılmaya neden olan plan kararlarının hava kalitesini olumsuz yönde etkileyerek hava kirliliğinin artmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen tüm bu sonuçlara göre; kentlerde yeni gelişme alanları önerilirken plan kararlarıyla belirlenen nüfusun yaşam alanının yapısı ve yoğunluğu, yeşil alanların miktarı ve dağılımı ile çalışma alanlarının yer seçim kararlarının hava kirliliğinde doğrudan etkili olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu doğrultuda plan çalışmaları yapılırken ilk olarak; alanın topografik yapısı, iklimsel verileri ve rüzgâr akım bilgileri analiz edilmelidir.

Kentin mevcut durumunda ise hava kalitesi iyileştirmek ve kirliliği önlemek amacıyla, farklı ölçeklerde müdahale planları hazırlanmalıdır. Kirliliğin havanın dağılmasını sağlamak için kentin içine giren yeşil kama ve hava koridorları oluşturulmalıdır.

Erzurum kenti özelinde hava kirliliğini önlemek amacıyla iklime uyumlu tasarımların yapılması gerekmektedir. Bu tasarımlarda bina yükseklikleri, binalar arası mesafe, bitki örtüsü ve güneşe erişim dikkat edilesi gereken unsurlardır. Böylece ısınma kaynaklı yakıt tüketimi azaltılarak hava kalitesi iyileştirilebilecektir.

Kaynaklar

- Akarsu, T. (2021). *Erzurum'da doğalgaz kullanımının hava kalitesine etkisinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Ali, R., Bakhsh, K., & Yasin, M. A. (2019). Impact of urbanization on CO₂ emissions in emerging economy: Evidence from Pakistan. *Sustainable Cities and Society*, 48, Article 101553. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101553>
- Alparslan, H. M. (2017). *Erzurum ili hava kalitesinin değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Arslan, M. (2023). *Planlı gelişme alanlarının hava kirliliğine olası etkilerinin değerlendirilmesi: Erzurum örneği* [Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Baş, B. (2019). *Giresun ili hava kalitesinin meteorolojik parametrelerle zamansal değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Bayraktar, H., & Turalioğlu, S. (2005). A kriging-based approach for locating a sampling site - In the assessment of air quality. *Stochastic Environmental Research and Risk*, 19(4), 301–305.
- Bekhet, H. A., & Othman, N. (2017). Impact of urbanization growth on Malaysia CO₂ emissions: Evidence from the dynamic relationship. *Journal of Cleaner Production*, 154, 374–388. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.174>
- Cai, M., Shi, Y., Ren, C., Yoshida, T., Yamagata, Y., Ding, C., & Zhou, N. (2021). The need for urban form data in spatial modeling of urban carbon emissions in China: Critical review. *Journal of Cleaner Production*, 319, Article 128792. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128792>
- Cheng, L., Zhang, T., Chen, L., Li, L., Wang, S., Hu, S., Yuan, L., Wang, J., & Wen, M. (2020). Investigating the impacts of urbanization on PM_{2.5} pollution in the Yangtze River Delta of China: A spital panel data approach. *Atmosphere*, 11(10), Article 1058. <https://doi.org/10.3390/atmos11101058>
- Cherniwchan, J. (2012). Economic growth, industrialization, and the environment. *Resource and Energy Economics*, 34(4), 442–467. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2012.04.004>
- Cho, H. S., & Choi, M. (2014). Effects of compact urban development on air pollution: Empirical evidence from Korea. *Sustainability*, 6(9), 5968–5982. <https://doi.org/10.3390/su6095968>
- Clark, L. P., Millett, D. B., & Marshall J. (2011). Air quality and urban form in U.S. urban areas: Evidence from regulatory monitors. *Environmental Science & Technology*, 45(16), 7028–7035.
- Du, Y., Wan, Q., Liu, H., Liu, H., Kapsar, K., & Peng, J. (2019). How does urbanization influence PM_{2.5} concentrations? Perspective of spillover effect of multi-dimensional urbanization impact. *Journal of Cleaner Production*, 220, 974–983. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.222>
- Dursun, D., Yılmaz, S., Yılmaz, H., Irmak, M. A., Demir, M., & Yavaş, M. (2015). *Hava kirliliğinde ekolojik koridor senaryoları: Erzurum kenti*. Atatürk Üniversitesi Yayınları.
- Erol, O. (2011). *Genel Klimatoloji*. Çantay Kitapevi.
- Fan, J., Wang, J., Qui, J., & Li, N. (2023). Stage effects of energy consumption and carbon emissions in the process of urbanization: Evidence from 30 provinces in China. *Energy*, 276, Article 127655. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127655>
- Hankey, S., & Marshall, J. (2010). Impacts of urban form on future US passenger-vehicle greenhouse gas emissions. *Energy Policy*, 38(9), 4880–4887. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.005>
- Hixson, M., Mahmud, A., Hub, J., Bai, S., Niemeiera, D., Handy, S., & Kleeman, M. (2010). Influence of regional development policies and clean technology adoption on future air pollution exposure. *Atmospheric Environment*, 44(4), 552–562. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.10.041>
- Juan, Y. H., Wen, C. Y., Li, Z., & Yang, A. S. (2021). Impacts of urban morphology on improving urban wind energy potential for generic high-rise building arrays. *Applied Energy*, 299, Article 117304. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117304>
- Keleş, R. (2002). *Kentleşme politikası*. İmge Kitabevi.

- Knudsen, C., Moreno, E., Arimah, B., Otieno, R., & Ogunsanya, O. (2020). *World cities report 2020: The value of sustainable urbanization*. UN-Habitat. <https://unhabitat.org/world-cities-report-2020-the-value-of-sustainable-urbanization>
- Kopar, İ., & Zengin, M. (2009). Coğrafi faktörlere bağlı olarak Erzurum kentinde hava kalitesinin zamansal ve mekânsal değişiminin belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 53, 51–68.
- Kök, F. (2018). *Var olan/yeni planlanacak kentlerde hava kirliliğini önleyecek/azaltacak yöntem için verilerin toplanması/değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Li, F., & Zhou, T. (2019). Effects of urban form on air quality in China: An analysis based on the spatial autoregressive model. *Cities*, 89, 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.025>
- Li, H., Zhou, T., & Lan, F. (2021). Relationships between urban form and air quality at different spatial scales: A case study from northern China. *Ecological Indicators*, 121, Article 107029. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107029>
- Li, K., & Lin, B. (2015). Impacts of urbanization and industrialization on energy consumption/CO₂ emissions: Does the level of development matter. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1107–1122. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.185>
- Lin, Y., Yang, X., Li, Y., & Yao, S. (2020). The effect of forest on PM_{2.5} concentrations: A spatial panel approach. *Forest Policy and Economics*, 118, Article 102261. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102261>
- Luo, X., Sun, K., Li, L., Wu, S., Yan, D., Fu, X., & Luo, H. (2020). Impacts of urbanization process on PM_{2.5} pollution in "2+26" cities. *Journal of Cleaner Production*, 284, Article 124761. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124761>
- McCarty, J., & Kaza, N. (2015). Urban form and air quality in the United States. *Landscape and Urban Planning*, 139, 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.03.008>
- Monkkonen, P., Guerra, E., Escamilla, J. M., Cos, C. C., & Mclung, R. T. (2023). A global of land use regulation, urban form and greenhouse gas emissions. SSRN. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4610743>
- Müezzinoğlu, A. (2000). *Hava kirliliği ve kontrolünün esasları*. Dokuz Eylül Yayınları.
- Nowak, D., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., & Pasher J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>
- Özbeyaz, A., Tufan, F., & Demirci, Y. (2016, 26–28 Ekim). *Partikül madde ile ilişkili görüntüleri kullanarak hava kirliliği tahminine ait bir model tasarımı* [Bildiri sunumu]. International Mediterranean Science and Engineering Congress, Adana, Türkiye.
- Poumanyonga, P., Kaneko, S., Dhakal, S. (2012). Impacts of urbanization on national transport and road energy use: Evidence from low, middle and high income countries. *Energy Policy*, 46, 268–277. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.059>
- Rodriguez, M. C., Dupont-Courtade, L., & Oueslati, W. (2016). Air pollution and urban structure linkages: Evidence from European cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.190>
- Sarı, E. N. (2019). *Hava kirliliği ve konut dokusu arasındaki ilişkinin analizi: Erzurum örneği* [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Sezen, I., & Yılmaz, S. (2006). Erzurum kent merkezinde 1994–2004 yılları arasındaki hava kirliliği durumu. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(2), 217–224.
- She, Q., Cao, S., Zhang, S., Zhang, J., Zhu, H., Bao, J., Meng, X., Liu, M., & Liu, Y. (2021). The impacts of comprehensive urbanization PM_{2.5} concentrations in the Yangtze River Delta, China. *Ecological Indicators*, 132, Article 108337. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108337>
- Şahin, C. (1989). Hava kirliliği ve hava kirliliğini etkileyen doğal çevre faktörleri. *Atatürk Kültür Dil ve Tarih Yüksek Kurumu Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 25–45.
- Tang, M., & Hu, F. (2023). Land urbanization and urban CO₂ emissions: Empirical evidence from Chinese prefecture-level cities. *Heliyon*, 9(9), Article e19834. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19834>
- Toros, H., Bağış, S., & Gemici Z. (2018). Ankara'da hava kirliliği mekansal dağılımının modellenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(1), 20–53.
- Travisab, C., Camagni, R., & Nijkamp, P. (2010). Impacts of urban sprawl and commuting: A modelling study for Italy. *Journal of Transport Geography*, 18(3), 382–392. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2009.08.008>
- Turalioğlu, S. (2011). Şehirleşme ve doğalgaz kullanımının Erzurum hava kalitesine etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 41–45.
- Turalioğlu, S., Nuhoglu, A., & Bayraktar, H. (2005). Impacts of some meteorological parameters on SO₂ and TSP concentrations in Erzurum, Turkey. *Chemosphere*, 59(11), 1633–1642. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.02.003>
- Turan, T., & Yalçın Çelik, B. (2012). Erzurum ilinde hava kirliliğindeki değişim. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(1), 65–68.
- Ulutaş, K., Abujayyab, S. K., & Salem, A. U. (2021). Evaluation of the major air pollutants levels and its interactions with meteorological parameters in Ankara. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1284–1295. <https://doi.org/10.21923/jesd.939724>
- Ulutaş, K., Alkarkhi, A. F., Abujayyab, S. K., & Amr, S. A. (2022). Multivariate analysis for air contamination and meteorological parameters in Zonguldak, Turkey. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 16(4), 661–671.
- Wang, Q., Wu, S. D., Zeng, Y. E., & Wu, B. W. (2016). Exploring the relationship between urbanization, energy consumption, and CO₂ emissions in different provinces of China. *Renawable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1563–1579. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.090>
- World Health Organization. (2020). *Integrating health in urban and territorial planning: A sourcebook*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240003170>
- Yang, D., Yea, C., Wang, X., Lu, D., Xu, J., & Yang, H. (2018). Global distribution and evolvement of urbanization and PM_{2.5} (1998–2015). *Atmospheric Environment*, 182, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.053>
- Yuan, M., Song, Y., Hong, S., & Huang, Y. (2017). Evaluating the effects of compact growth on air quality in already-high-density cities with an integrated land use-transport-emission model: A case study of Xiamen, China. *Habitat International*, 69, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.08.007>
- Yuan, M., Huang, Y., Shen, H., & Li, T. (2018). Effects of urban form on haze pollution in China: Spatial regression analysis based on PM_{2.5} remote sensing data. *Applied Geography*, 98, 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.07.018>

- Yuan, M., Song, Y., Huang, Y., Shen, H., & Li, T. (2019). Exploring the association between the built environment and remotely sensed PM_{2.5} concentrations in urban areas. *Journal of Cleaner Production*, 220, 1014-1023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.236>
- Zhao, X., Zhou, W., Wu, T., & Han, L. (2022). The impacts of urban structure on PM_{2.5} pollution depend on city size and locatin. *Environmental Pollution*, 292(A), Article 118302. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118302>

Kentsel Gelişme Alanlarında Deprem Riskinin Değerlendirilmesi

Seyran Büşra Gök¹, Merve Yavaş²

¹Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Tasarım Anabilim Dalı, 25240, Erzurum.

²Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 25240, Erzurum.

Özet

Bu çalışmanın amacı planlama ve jeoloji ilişkisinin göz önünde bulundurularak, makro ölçekli verilerin mikro ölçekli verilerle entegre edilmesi ve depreme karşı yerele özgü bir risk modelinin ortaya konmasıdır. Ayrıca deprem riskine yönelik planlama sisteminde eşgüdümse bir bakış açısının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Türkiye’de deprem riski yüksek kentlerden biri olan Erzurum’da, özellikle yeni gelişme alanlarında ve kentsel mekânın şekillenmesi sürecinde afetin ne kadar göz önünde bulundurulduğu araştırılmıştır. Çalışmanın yöntemini kentsel deprem risklerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemine bağlı literatür çalışmaları oluşturmuştur. Özellikle Japonya tarafından kullanılan “Birleşik Risk Modeli” kriterleri temel alınarak, Erzurum’da gelişimi imar faaliyetleriyle devam eden Osmangazi Mahallesi için Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritası oluşturulmuştur. Bu haritaya göre çalışma alanında toplam imar ada sayısının %1.39’unun çok düşük riskli, %48.59’unun düşük riskli, %41.25’inin orta riskli, %6.29’unun yüksek riskli ve %2.09’unun çok yüksek riskli olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda Erzurum’da yeni gelişme alanlarındaki imar koşulları ve yapılaşma faaliyetlerinin deprem riskini artırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler

Deprem, Afet, Kentsel Risk, Erzurum

Assessment of Earthquake Risk in Urban Development Areas

Abstract

The aim of this study is to integrate macro-scale data with micro-scale data by considering the relationship between planning and geology, and to present a locally specific risk model against earthquakes. It is also aimed to develop a coordinated perspective in the planning system for earthquake risk. In Erzurum, one of the cities with high earthquake risk in Turkey, the extent to which the disaster is taken into account in the process of shaping the urban space, especially in new development areas, was investigated. The methodology of the study was based on literature studies related to the multi-criteria decision-making method, which is frequently used in the determination of urban earthquake risks. Based on the criteria of the "Combined Risk Model" used especially by Japan, a Building Collapse Risk Rating Map has been created for Osmangazi Neighborhood, whose development continues with development activities in Erzurum. According to this map, it was determined that 1.39% of the total number of zoning lots in the study area is very low risk, 48.59% is low risk, 41.25% is medium risk, 6.29% is high risk and 2.09% is very high risk. Accordingly, it has been determined that zoning conditions and construction activities in new development areas in Erzurum increase the earthquake risk.

Keywords

Earthquake, Disaster, Urban Risk, Erzurum

1. Giriş

Yeryüzü sürekli hareket halinde olan dinamik bir yapıya sahip olup, bu dinamizm yeryüzünün doğal dengesini oluşturmaktadır. Bu doğal dengenin dinamik yapısının en temel göstergesi ise levha hareketlerine bağlı olarak kara parçalarının belirli zaman aralıklarıyla yer değiştirmesidir. Levha hareketlerinin bir sonucu olarak yeryüzüne yansıyan depremler de büyüklük ve şiddetine bağlı olarak yüzyıllar boyunca insanların can ve mal güvenliğini tehdit eden bir doğal afet olarak nitelendirilmektedir (Şen, 2023). Bu nedenle toplumları içinde barındıran şehirlerin deprem afeti karşısında dirençli olmaları büyük önem arz etmektedir.

Güvenli şehirler için en temel ihtiyaç, jeolojik duyarlılığın benimsenmesidir. Yaşanılan coğrafyanın sahip olduğu doğal karakterler ve her bir doğal eşik, ideal kentleşme için referans olmaktadır. Ancak günümüzde uygun fiziki jeolojik ortamın haricinde, nüfus artış hızı ve yer seçimi kararları kontrolsüz bir şekilde gerçekleşmeye devam etmektedir. Bu hızlı kentleşme sürecinde planlama disiplini içerisinde önemli bir yeri olan doğal eşikler göz ardı edilmektedir. Deprem afetleri sonucu meydana gelen can ve mal kayıpları bunun en büyük kanıtıdır. Bu nedenle kentsel deprem riskinin eşgüdümse bir bakış açısıyla değerlendirilmesi, planlama disiplini içerisindeki tüm kademelerin göz önünde bulundurularak planlama ve tasarım stratejilerinin oluşturulmasına bağlıdır.

Dünyada kent ve deprem ilişkisini afet yönetimi, planlama ve tasarım kapsamında uygulamaya aktarabilen en iyi çalışmalar Japonya’da karşımıza çıkmaktadır (Sekimov, 2012; Tokyo Metropolitan Government, 2022). Ancak literatür araştırmalarında görülmüştür ki, dünya üzerinde kentsel deprem riskini belirlemeye yönelik kabul görmüş bir risk belirleme yöntemi bulunmamaktadır. Ülkelerin sahip olduğu kentsel deprem riskleri, depremlerin meydana gelme periyotları, depremlerin şiddetleri ve depremlerin meydana geldiği deprem kuşakları ile kentleşme dinamikleri değişiklik gösterdiğinden zarar görebilirlik veya hasar görebilirlik dereceleri de birbirinden farklı parametrelere ve kriterlere sahiptir.

2005-2018 yılları arasında deprem afetine yönelik planlama ve jeoloji etkileşimine bağlı yapılan çalışmalar, planlama sürecinde göz ardı edilen doğal faktörlerin önemine değinmektedir. Reja ve Shajahan (2011), deprem afetine karşı kentsel risklerin en aza indirgenebilmesi için arazi kullanım ve imar planlarına katkı sağlayacak olan sismik mikro bölgeleme haritalarının çakıştırılmasıyla daha profesyonel bir şehir planlama anlayışının ortaya çıkacağını belirtmişlerdir. Biglari vd. (2015) yaptıkları çalışmayı sismik tehlike, sismik jeolojik mikro bölgeleme ve kent planlaması olarak üç ana bölüme ayırmışlardır. Araştırmalarında, jeolojik verileri planlama ve inşaat verileri ile birleştirmişler ve hangi kat yüksekliğinin kentin hangi bölgesinde yapılabileceğini mekânsal olarak tespit etmişlerdir. Aversa ve Crespellano (2016)’a göre, sismik bağlamda yapılacak olan mikro bölgeleme çalışmaları şehir planlama disiplini çerçevesinde kullanılacak olan en önemli araçtır. Kentsel kültürel kimliğin korunmasında mikro bölgeleme çalışmalarının büyük bir paya sahip olduğunu vurgulamışlardır. Bathrellos vd. (2017) ise kentsel gelişme yönlerinin belirlenmesinde uygun yer seçiminin çoklu tehlike haritalarının kullanılmasıyla oluşabileceğini, ayrıca bu sürece analitik hiyerarşi araştırmaları ve CBS verilerinin entegre edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Son olarak Kaya vd. (2018), konut alanlarının yer seçimi üzerinde yaptıkları çalışmada, zeminin taşıyabileceği yük kapasitesine bağlı incelemeler yapmıştır. Düzce’de planlı dönem sonrası 1965 yılında yapılan imar planında zeminin yapısı nedeniyle konutların kat yüksekliklerinin 3 kat olarak belirlendiği ancak daha sonraki planlarda kat sayılarının 5-6 kat arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Özetle bu çalışmalarda planlama disiplininin en temel girdisini ve altlığını oluşturan doğal eşiklerin dikkate alınmamasına ve yaşanan felaketlerin sürekli tekrar etmesine vurgu yapılmış, deprem afetine karşı jeolojik yapılanmanın planlama sürecindeki en önemli rolü üstlendiği söylenmiştir.

Ayrıca 2000’lerden sonra kentsel deprem riskinin belirlenmesinde planlama ve tasarımın önemine yönelik yapılan çalışmalar artış göstermiştir. Yalçınır (2002), kente yönelik envanter verilerinin bulunmasının deprem yönetim sürecini olumlu yönde etkileyeceğini belirtmiştir. Pendik İlçesi için yapılan analizde fay hatları üzerinde yer alan yapılar, zemin yapısı, ulaşım ağı, kritik donatı elemanları vb. kriterleri ile ele alınmıştır. Kriterlerin coğrafi bilgi sistemlerine dayanılarak çakıştırılması sonucu kentsel yerleşim bölgelerinde tehlike ve risklerin belirlenerek depreme karşı dirençli yerleşimlerin oluşturulabileceği vurgulanmıştır. Balyemez (2003), kentsel planlama ve tasarım disiplininin, kentsel deprem riski ile beraber irdelemiştir. Deprem mühendisliği bilimlerinin sunduğu verilerin planlama ve tasarım disiplinlerine aktararak anlaşılması gerektiğini belirtmiştir. Araştırmasında, bina tasarımının dışında yapının yerleştiği konuma değinmiş, uygun yer seçimi ve arazi kullanım planının önemini vurgulamıştır. Taş (2003) ise deprem afetine karşı mevcut kentsel risklerin olası afet senaryolarına bağlı hasar görebilirlik ve yerel ölçeğe indirgenebilecek yapısal düzeyde planlama stratejilerinin geliştirilerek uygulanması gerekliliğini ifade etmiştir. Balyemez ve Berköz (2005), planlama ve tasarım süreçlerinin deprem riski üzerindeki etkilerini inceleyerek yönlendirici bir dayanak oluşturmuşlardır. Yapılan çalışmada, zemin ve yapı etkileşimine bağlı olan jeolojik unsurlar ve mimari tasarım unsurları ele alınmıştır. Yapısal ve mimari unsurlarda bina formlarının simetrik ve basitlik ilkelerine uygun olarak ve bina çıkmalarının deprem yükleri düşünülerek tasarlanması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca ticaret-konut fonksiyonundaki yapıların deprem riskini artırdığı, kat yüksekliklerinin de olası hasarları artırabileceği, yapısal malzemelerin hafif olması gerektiği, yapı nizamında bitişik ve blok nizamın risk faktörü oluşturduğu belirtilmiştir. Dönertaş (2006), risk yönetimi çerçevesinde daha güvenilir yerleşim birimleri için kentsel tasarım standartlarının geliştirilmesini ve tasarım sürecinde yasal, yönetsel ve hukuki yenilenmelerin yapılması gerektiğini vurgulamıştır. Hosseini (2007)’ye göre, deprem tehlikesi bağlamında belirlenen kentsel tasarım yönergelerinden olan kentsel yoğunluk, yapı yüksekliği, yapı malzemesi, yapı kütlesi vb. detayların dışında özellikle yeniden inşa sürecinde kentin sahip olduğu kimliğin de tasarım yönergelerine eklenmesi gerekmektedir. Gerdan (2021), tehlike ve risklerin belirlenme sürecinin planlamadan bağımsız yürütülmesinin afetler karşısında yetersiz kalacağını belirtmiştir. Tüm planlama ölçeklerinde sakinim çalışmalarının planlamada esas bir adım teşkil ettiğini, risk azaltma çalışmalarının da planlama disiplininde önemli bir yer edindiğini ifade etmiştir. Özkiremitçi (2022), kentsel risk ve planlamayla olan ilişkiyi Eskişehir örneği üzerinden inceleyerek planlamanın etkinliğini ve verimliliğini değerlendirmiştir. Dirençli kentsel mekanların yaratılabilmesinde imar planlarının rolüne değinerek, hazırlanan afet riski verilerinin kullanımının artırılması gerektiğini önemle vurgulamıştır. Ayrıca kentsel risklerin belirlenmesinde planlama ve uygulama aşamalarının bütün olarak ele alınması gerektiğini belirtmiştir. Özetle bu çalışmalarda özellikle dirençli kentsel mekanlar için tasarım ölçeğinde yol gösterici birçok parametreye yönelik araçlar geliştirmek gerektiği vurgulanmıştır. Ek olarak yapılan çalışmalarda deprem afetine yönelik planlama ve tasarım parametrelerinin eşgüdümlü bir çerçevede uygulanması gerektiği belirtilmiştir. Geliştirilecek stratejilerin yalnızca konut ölçeğindeki bina formlarının tasarımına yönelik değil, kamusal alanlar, sosyal yaşam aktivitesinin yoğun olduğu ticari alanlar, kritik sosyal donatı alanlarına yönelik olması istenmektedir.

Yine 2000’li yıllardan sonra kentsel deprem riskine yönelik geliştirilen model önerileri incelenmiştir. Fähr vd. (2001), bina envanteri, mikro bölgeleme ve deprem senaryoları eşliğinde kentsel bölgelerde hasarları modelleyebilmek için hızlı bir teknik sunmuşlardır. İlgili yöntem, nüfus yoğunluğu fazla olan, birçok deprem gören ve sanayinin yoğun olduğu Basel şehrine uygulanmıştır. Ayrıca bina hasar dağılımının doğru bir şekilde ortaya çıkabilmesi için tüm şehrin bina stoku hassasiyetinin belirlenmesinde yerel zemin tepkisinin en iyi şekilde tanımlı olması gerekliliğine değinilmiştir. Goretti ve Sarlı (2006) yaptıkları çalışmada sismik aktivitenin kentsel ulaşım ağları ve binalara olan etkileri bağlamında bir model önerisi geliştirmişlerdir. İlgili model kentsel ulaşım ağlarının sismik aktivite sonrasında erişilebilirliğinin önemini ön plana çıkarmaktadır. Kundak (2006), İstanbul’un deprem riskini belirlemeye yönelik bir model önerisi geliştirmiştir. Geliştirdiği model önerisinde kullanılan doğal parametreler maksimum yer ivmesi, ivme spekturumu, fay hatlarına olan uzaklık, zemin sıvılaşması, heyelan, eğim, tsunamidir. Yapısal faktörlerde ise yerleşim dokusunun özellikleri, bina yoğunluğu, arazi kullanım şekli, demografik ve ekonomik faktörler yer almaktadır. Özellikle kentsel donatı elemanlarının kritik önemine değinilmiş ve olası bir depreme karşı bu tür yapıların hasar görebilme ihtimallerinin en az seviyeye indirilmesi gerekliliğini açıklamıştır. Motamed vd. (2020) ise depreme karşı uygun yer seçimi ve tahsisi için geliştirdikleri model ile, yeni gelişme alanlarında deprem tehlike bilgisinin arazi kullanımına entegre edileceğini ve planlama sürecine yardımcı olacaklarını ileri sürmüşlerdir. Yavuz (2013) çalışmasında, CBS baz alınarak Yalova Merkezi için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan TOPSİS ve Analitik Hiyerarşi Süreci gibi metotlar ile deprem riskini göreceli olarak tespit edilmiştir. İlgili yöntemlerde zemine bağlı olan litoloji, jeoloji, sıvılaşma gibi doğal yapı kriterleri, alt ve üst yapıya yönelik sağlık birimlerinin etki alanları, ulaşım yollarının etki alanı, yapısal nizam durumu, yapı kalitesi durumu ve yapı kat sayıları gibi yapay yerleşim düzenine yönelik kriterler dikkate alınmıştır. Yavaşoğlu ve Özden (2017) ise çok ölçütlü karar verme yöntemini kullanarak İstanbul Kadıköy İlçesi’nin deprem hasar riskini belirlemişlerdir. Çalışmalarında ulaşım ağları, yapısal kalite durumu, kat sayısı ve nüfus kriterlerini ele almışlardır. Özellikle ayrıntılı veri gerektiren yapısal kriterlerde yapının bulunduğu parselde ait jeo-teknik etütlerin parsel bazında veri olarak kullanılmasının, gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesinde önemli bir rol oynadığını ifade etmişlerdir. Erdoğan (2021), İstanbul’un tarihi Yarımadası’nın deprem odaklı kentsel zarar görebilirliğini belirlemek adına çok ölçütlü karar verme yöntemi olan analitik hiyerarşi sürecini kullanmıştır. Yaptığı çalışmada kritik kentsel hizmetlerin erişimi, sosyal ekonomik altyapı, yapısal kriterler ve altyapı tesisleri hasar görebilirlikleri olarak dört ana kriteri incelemiştir. Şehir plancılarının bu yöntemi kullanarak ve stratejik yer seçiminde risk azaltma çalışmalarını planlama sürecine entegre ederek kentsel risk azaltma politikaları geliştirebileceğini ifade etmiştir. Cremen vd. (2022), deprem riskine yönelik geliştirilen modellerin dışında geleceğe yönelik kent planlama disiplini içerisinde yer alabilecek bir model önerisi geliştirmiştir. Bu modelde sadece fiziksel ve sosyal kırılganlık değil, geleceğin kent planlamasında projeksiyonlar ve deprem riskleri göz önünde bulundurularak simülasyon tabanlı bir çerçeve sunulmuştur. Öneri olarak geliştirilen simülasyon tabanlı çerçevenin deprem riskine duyarlı kentsel mekanlarda planlama kararlarını destekleyebilecek nitelikte olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmalarda kentsel deprem risklerinin belirlenmesinde kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin afet yönetimine bağlı risk odaklı planlama araştırmalarına öncülük ettiği tespit edilmiştir.

Ülkemizde afet yönetimi üzerine yapılan çalışmalar özellikle son kalkınma planı çerçevesinde artmaya başlamıştır. Ancak depremle ilişkili yapılan çalışmalarda, zemin durumu ve yapı özelinde analizler yapılırken kentleşme problemlerinden bahsedilmemektedir. Ek olarak, planlama ve tasarım alanında özellikle veri paylaşımında yaşanan sorunlar nedeniyle ve disiplinler arası koordinasyon eksikliğinden dolayı yeterli alt yapıya sahip çalışmaların yapılamadığı görülmektedir. Kentsel deprem riski kapsamında yapılan çalışmalarda ise kabul görmüş standartlarda bir risk endeksi veya modeli bulunmamaktadır. Ayrıca ülkemizde kentsel risk kavramını belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda uygulamaya yönelik standartlar da geliştirilememiştir. Dolayısıyla kentsel deprem riskine yönelik benimsenemeyen planlama anlayışının sonuçları, 6 Şubat 2023 günü merkez üssü Kahramanmaraş’ın Pazarcık ve Elbistan ilçeleri olan 7.8 ve 7.5 büyüklüğünde yaşanan depremlerin ardından bir kez daha anlaşılmıştır.

Çalışmanın amacı, planlama, tasarım ve jeoloji ilişkisinin göz önünde bulundurulduğu makro ölçekli (zemin yapısı, sıvılaşma riski, amplifikasyon oranı vb.) verilerin mikro ölçekli (bina yapım yılı, bina formu, binaların yapı nizamı, bina yoğunluğu vb.) verilerle entegre edilerek, depreme karşı yerele özgü bir risk modelinin ortaya konması, ayrıca deprem riskine yönelik planlama sisteminde eşgüdümse bir bakış açısının geliştirilmesidir. Çalışma ile Türkiye’de deprem riski yüksek kentlerden biri olan Erzurum’da, özellikle yeni gelişme alanlarında ve kentsel mekânın şekillenmesi sürecinde bu afetin ne kadar göz önünde bulundurulduğu araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

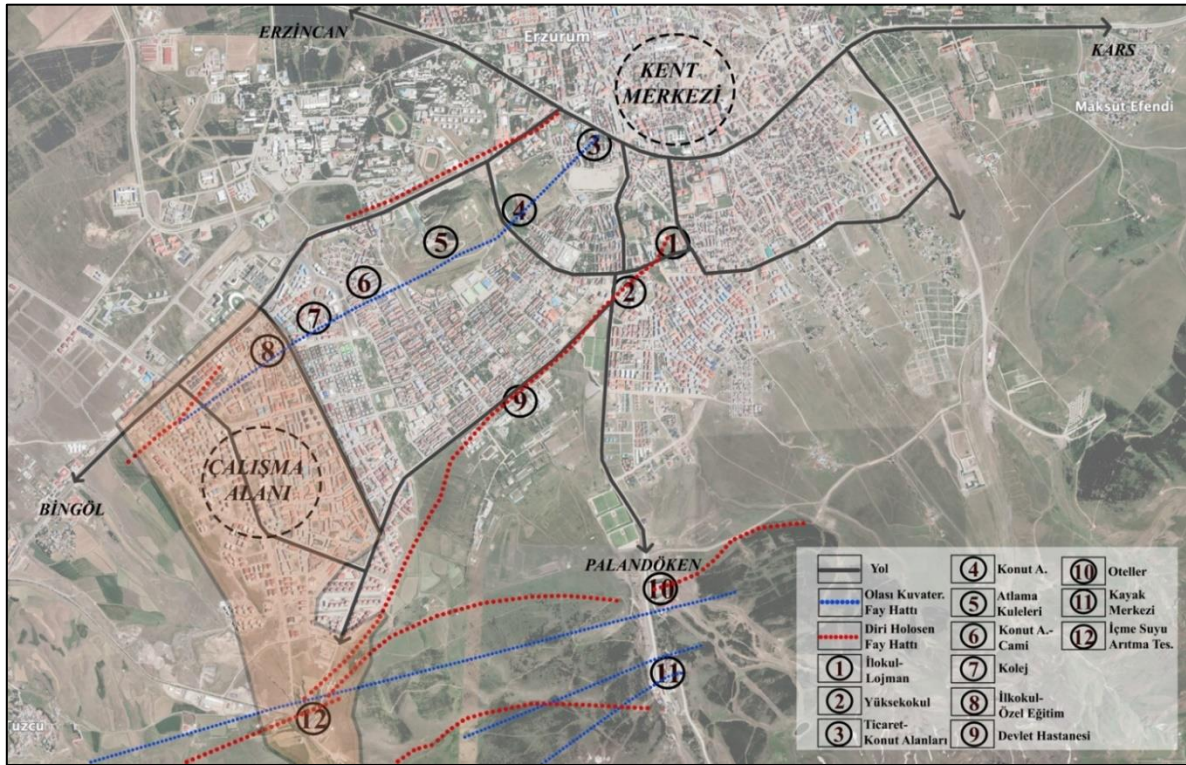
Çalışmanın ana materyalini Erzurum kenti oluşturmaktadır. Erzurum (Merkez) Palandöken ilçesinde yer alan Osmangazi Mahallesi sahip olduğu zayıf zemin yapısı, diğer mahallelere kıyasla daha fazla diri fay hatları üzerinde yer alması ve imar faaliyetleri açısından gelişme bölgesi olması nedeniyle çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu çalışmanın verileri Gök (2023)’ün yüksek lisans tezi kapsamında üretilmiştir. Erzurum Büyükşehir Belediyesi ve Palandöken Belediyesi’ne bağlı İmar ve Şehircilik Müdürlüğü’nden temin edilen mekânsal veriler ile Maden Teknik Arama Müdürlüğü’nün yer bilimleri harita görüntüleyicisinden temin edilen jeolojik veriler kullanılmıştır.

Ayrıca Erzurum İl Afet Riski Azaltma Planı ile Merkez İlçelere (Aziziye, Yakutiye, Palandöken) ait Nazım İmar Planları üzerinden seçilen örnek alanların ve depremsellik haritalarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Böylece planlar ve mevcut deprem riski arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması sağlanmıştır.

2.1 Çalışma Alanı

Doğu Anadolu’da yer alan Erzurum ili, jeolojik açıdan Doğu Anadolu sıkışma sisteminin bir sonucu olan doğrultu atımlı fayların yoğun olduğu bir coğrafyada yer almaktadır. Erzurum kent merkezinin büyük bir bölümü alüvyon zemin üzerinde yerleşmiştir. Bu nedenle geçmiş depremlerde zeminden kaynaklanan olumsuzluklar yaşanmış ve gelecekte de yaşanması muhtemel gözükmemektedir (TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 2021). Ancak Erzurum ili için merkezi ve yerel yönetim birimlerince afet ve deprem riskine karşı hazırlanan herhangi bir “Deprem Master Planı” bulunmamaktadır. Deprem Master Planı bulunmayan Erzurum için 11. Kalkınma Planı kararları doğrultusunda İl Afet Riski Azaltma Planı 2021 yılında yürürlüğe girmiştir.

Erzurum Palandöken ilçe sınırları içerisinde ise farklı büyüklüklerde deprem üretebilecek Erzurum fay zonuna ait Dumlulu ve Palandöken faylarının yer aldığı görülmektedir (Şekil 1). Söz konusu bu fay hatlarının üzerinde gelişen ve gelişmekte olan kent mekânlarının varlığı Palandöken ilçesinin diğer merkez ilçelere kıyasla daha fazla deprem riski ile karşı karşıya olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda ilçenin deprem tehlikesi ve barındırdığı kentsel riskin belirlenmesi, bu yönde kent planlama stratejilerinin geliştirilmesi ve yerel boyuta indirgenebilecek bir risk modelinin oluşturulması büyük bir önem arz etmektedir.

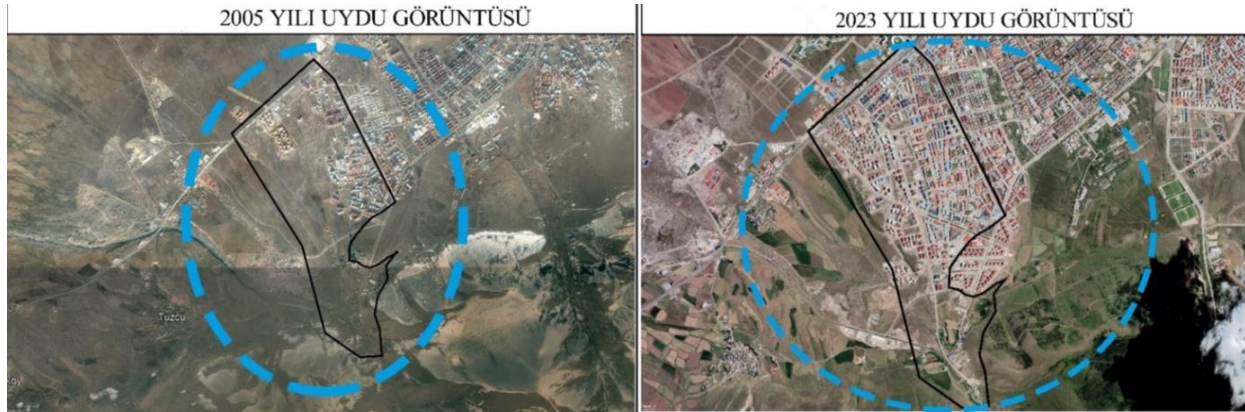


Şekil 1: Palandöken ilçesi fay hatları incelemesi

Palandöken ilçe sınırları içerisinde çalışma alanı olarak seçilen Osmangazi Mahallesi, 39°52'13.71" kuzey enlemleri 41°14'16.46" doğu boylamları arasında yer almakta olup, 371 hektarlık bir alanda gelişim göstermektedir. %0-10 arasında eğimli bir alana sahip mahallenin, 2023 yılı verilerine göre nüfusu 38.000 kişidir. Palandöken ilçesinin güney batı kesiminde yer alan Osmangazi Mahallesi ilk yapılaşmalar 1992 yılında başlamıştır. Mahallenin kuzey-güney doğrultusunda devam eden Alparslan Türkeş Bulvarı boyunca devam eden yapılaşma, 2002 yılında yapılan TOKİ ve 2004 yılında yapılan polis lojmanlarıyla kuzeye doğru kaymıştır. 2012 yılından itibaren Çat Yolu'nun güney doğu doğrultusunda ilerleyen yapılaşma günümüzde mahallenin batı ve güney kesimlerinde yoğunlaşmış olarak devam etmektedir (Şekil 2).

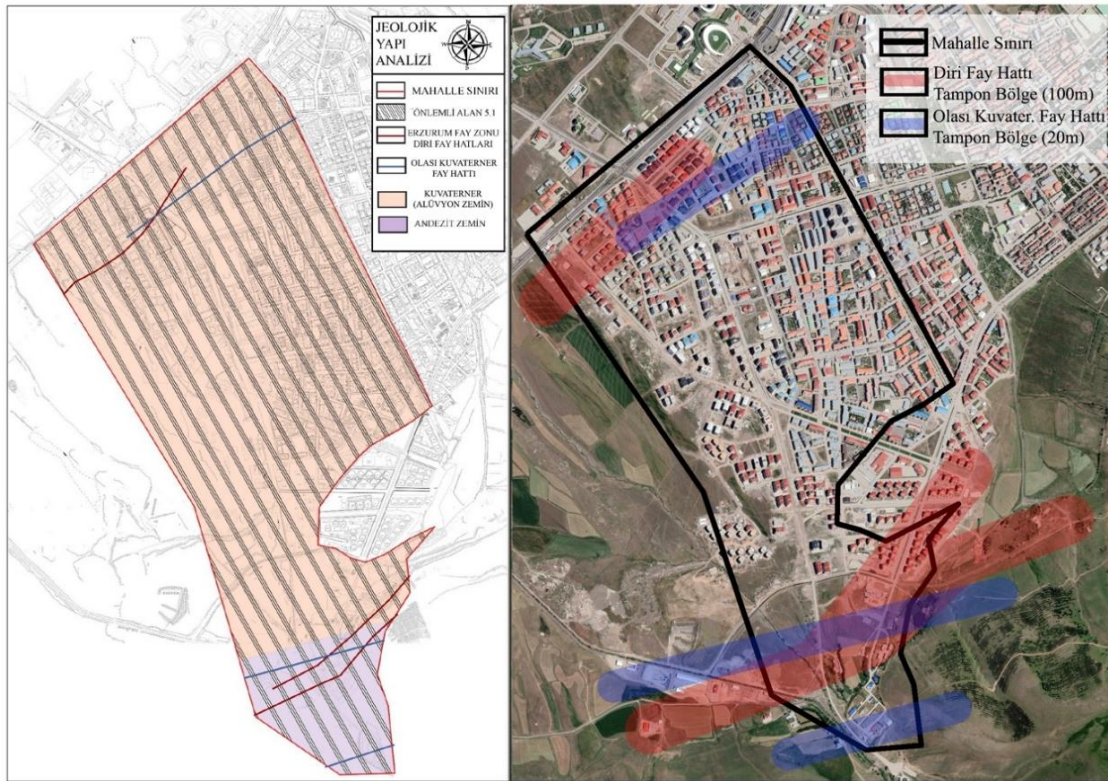
Ek olarak çalışma alanının mevcut uygulama imar planındaki durumu incelendiğinde, mahalleyi kuzeybatı yönünde kesen diri fay hattına doğru gelişme alanlarının verildiği görülmektedir. Mahallenin kuzeydoğu bölgesindeki gelişme konut alanları, blok yapı nizamında kat yükseklikleri 6 katlı ve ayrık yapı nizamında kat yükseklikleri 5 ve 6 katlı olacak şekilde belirlenmiştir. Kuzeybatı yönüne doğru gelişme konut alanı olarak belirlenen adalarda ise kat yüksekliklerinin 7 kat ile 10 kat arasında değiştiği görülmektedir.

Dolayısıyla diri fay ve olası kuvaterner fay hatlarına doğru gelişme adalarının imar planında yer alması ve belirlenen kat yüksekliklerinin 5 ile 12 kat arasında değişmesi, var olan deprem riskinin kentsel mekândaki etki derecesini artırmaktadır.



Şekil 2: Osmangazi Mahallesi mekânsal gelişim süreci

Çalışma alanının jeolojik yapısının deprem karşısındaki dayanıklılığı değerlendirildiğinde, alanın %88'inin alüvyon zemin türünde düşük bir dayanıklılığa sahip olduğu ve bu alanlarda yapılaşma sürecinin imar faaliyetleri ile devam ettiği görülmektedir (Şekil 3). Alanın yapılaşmaya uygun olup olmadığına dair elde edilen 1/1.000 ve 1/5.000 ölçekli İmar Planına Esas Mikro Bölgeleme Etüt Raporu incelendiğinde ise çalışma alanının yerleşime uygunluğu Önemli Alan 5.1 olarak değerlendirilmiştir. Önemli Alan 5.1, mühendislik problemleri açısından yapılaşmaların zeminin karakterine bağlı olarak şişme - oturma açısından sorunlu olan alanlarını ifade etmektedir (Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü, 2016). Çalışma sınırları içerisinde Erzurum Börekli Segmenti Erzurum fay zonuna ait 3 adet diri fay hattı bulunmaktadır. Doğrultu atımlı faylarda yüzey faylanması tehlike kuşağının etrafına çizilecek olan sakinim bandı mesafesi iyi tanımlanmış ve GPS ölçümleriyle doğrulanmışsa toplam 40 metre, yüzey faylanması tehlike kuşağı tahmini haritalanmışsa, toplam 100 metre olarak çizilmesi gerekmektedir (TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 2017). Alanın kuzey doğusundan geçen diri fay hattı tampon bölgesi içerisinde yer alan bina sayısı 47'dir. Bu binalar 2008 yılında yapılan polis lojmanları, 2002 yılında yapılan TOKİ'ler, 2019 ve 2020 yıllarında yapılan yeni konut ve ticaret-konut fonksiyonunda yer alan binalardır.



Şekil 3: Jeolojik yapı ve tampon analizi

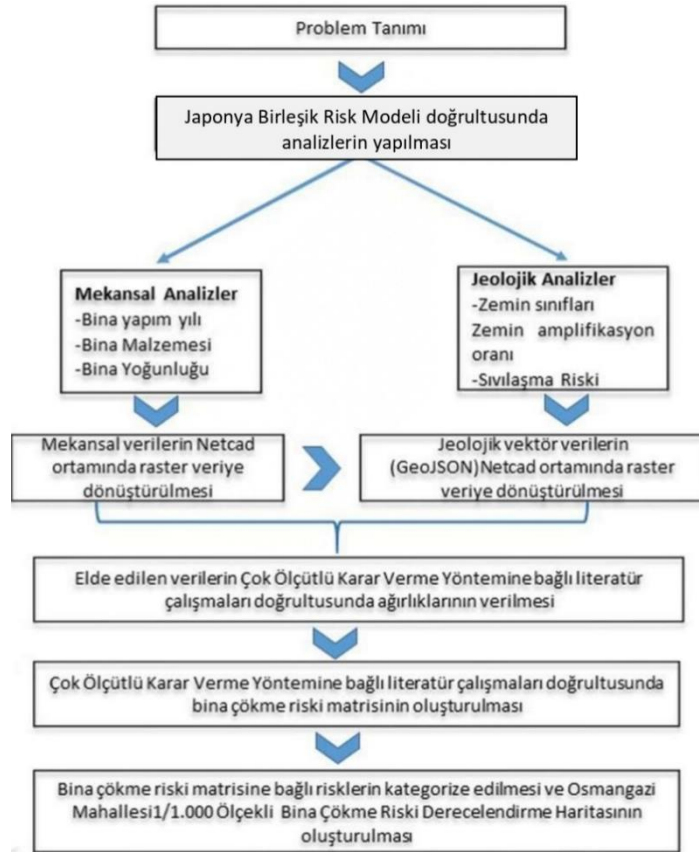
2.2 Yöntem

Bu çalışmanın yöntemini kentsel deprem risklerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan “çok ölçütlü karar verme yöntemi” ve literatür çalışmaları oluşturmaktadır. Literatür çalışmaları Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritasının oluşturulmasında kullanılan kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde, mekânsal verilerin analizinde ve bulguların değerlendirilerek önerilerin geliştirilmesine katkı sağlamıştır. Özellikle deprem riskinin belirlenmesine yönelik geliştirilen model önerileri doğrultusunda hazırlanan bu çalışmalarda, bina çökme riskinin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin ağırlık değerleri çalışmanın çok ölçütlü risk matrisinin oluşturulmasında yol gösterici olmuştur. Bu doğrultuda Osmangazi Mahallesinin Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritasının oluşturulması için de literatür çalışmaları doğrultusunda belirlenen kriterler ve ağırlıklandırmalardan faydalanılmıştır.

2.2.1 Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi

Çok ölçütlü karar verme yöntemi alternatiflerin ve kriterlerin çok fazla olması durumunda birçok seçeneğin seçilmesi, değerler verilmesi, sıraya dizilmesi, sınıflara bölünmesi ve ağırlık belirlenmesi aşamalarına bağlı olarak geliştirilen bir işlemdir (Haliloğlu & Odabaş, 2018). Çok kriterli karar verme, birden fazla olan kriterlerin aynı anda uygulanması esnasında kriterler içerisinde en doğrusunun seçilmesine olanak tanıyan bir araç mekanizmasıdır. Bu yöntemin depremi esas alan çalışmalarda özellikle planlama sürecinde daha doğru kararların alınabilmesi için merkezi ve yerel yönetim birimleri tarafından kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır (Faraji, 2015). Özellikle deprem riskinin belirlenmesinde çok ölçütlü (kriterli) karar verme yöntemine bağlı analizlerin uygulama aşamasında yapılması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca bu yöntem ile deprem riskinin belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar, risk odaklı planlama anlayışına altlık oluşturmaktadır.

Bu doğrultuda, konu özelinde literatür çalışmalarına referansla ve çok kriterli karar verme yöntemiyle veriler CBS’ye aktarılmış, çalışma alanının deprem afeti karşısında bina çökme riskinin değerlendirilmesi yapılmıştır.



Şekil 4: Çalışmanın metodolojik çerçevesi

2.2.2 Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritası

Japonya Birleşik Risk Modeli kentsel planlama ve tasarım etkileşiminde kentsel deprem riskinin belirlenmesini sağlayacak önemli bir modeldir. Model içerisindeki her bir aşamada oluşturulan risk haritaları deprem riskine karşı jeolojik verilere dayalı kentsel planlama ve tasarım ölçeğinde standartların geliştirilmesine öncülük etmektedir.

Japonya Birleşik Risk Modeli doğrultusunda risk haritalarının oluşturulmasında kullanılan tüm kriterler makro ölçekli jeolojik verilere dayalı (zemin amplifikasyon oranı, zemin sınıfları zemin büyütme oranı, sıvılaşma riski), mezo ölçekli (ulaşım ağlarının yoğunluğu, park ve açık yeşil alanlar) ve mikro ölçekli (bina yoğunluğu, bina yapım yılı, bina yapı malzemesi, binalarda kullanılan açık alevli cihaz sayısı, yol genişlikleri parklar ve açık yeşil alanlar vb.) verileri içeren, özellikle deprem afetine karşı planlama ve tasarım boyutunda kentsel deprem riskine yönelik etkin bir planlama ve tasarım anlayışının oluşmasını sağlayan parametrelerdir (Gök, 2023).

Birleşik risk modeli; toplumların bir depremden dolayı karşı karşıya kaldığı risk düzeyini anlamalarını kolaylaştırmak için, bina çökme riskini ve deprem sarsıntısından kaynaklanan yangın riskini ve acil müdahale zorluğundaki faktörleri, bunun ne kadar kolay veya zor olduğunu gösteren bir endeksi içermektedir (Tokyo Metropolitan Government, 2022). Ancak bu çalışma için sadece “bina çökme riski derecelendirme haritası” kullanılmıştır.

Bina çökme riski; bir deprem nedeniyle her semt (mahalle) için birim alan başına tamamen yıkılacak bina sayısını, yani “yıkılma riski olan binalar (bina sayısı/ha)” olarak elde edilir ve bunun göreceli bir sıralaması ile değerlendirilir. Bina çökme riski göreceli bir sıralama ile değerlendirilirken zemin yapı etkileşimini ortaya koyan beş adet parametre göz önünde bulundurulur. Bu parametreler; amplifikasyon oranı, sıvılaşma riski, bina yoğunluğu, binanın yapım yılı ve bina yapısıdır (Tokyo Metropolitan Government, 2022).

Ancak çalışma alanı içerisinde zemin özelliklerine bağlı zemin amplifikasyon oranına dair veriye erişilemediğinden kullanılacak kriterler içerisinde ele alınamamıştır. Çalışma alanının zemin yapısının sıvılaşma riski ise Palandöken İlçesi için yapılan 1/1.000 ve 1/5.000 ölçekli Mikro Bölgeleme Etüt Raporuna göre incelenmiştir. Alanda yapılan sondaj çalışmaları sonucunda yeraltı suyuna rastlanmadığından alanın tamamında sıvılaşma riskinin olmadığı belirtilmiştir (Palandöken Belediyesi, 2016). Dolayısıyla zemin yapısına bağlı olan zemin amplifikasyon oranı ve sıvılaşma riski kullanılacak kriterlere dahil edilememiştir. Sadece zeminin sahip olduğu zemin sınıfları depreme karşı gösterdikleri dayanıklılıklara göre kriterler içerisinde yer edinmiştir. Bu doğrultuda Japonya Birleşik Risk Modeli çerçevesinde Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritasının oluşturulmasında Zemin Özellikleri, Yapısal Özellikler ve Bina Yoğunluğu üç ana kriter olarak belirlenmiştir.

2.2.3 Bina Çökme Riski Derecelendirme Matrisi

Risk matrisinde belirlenen ana ve alt kriterlerin bileşenleri %100 üzerinden oranlama yapılarak ve bina çökme riskini etkileyen kriterlere, olası şiddetli bir depremde düşük veya yüksek risk oluşturmalarına bağlı olarak literatür çalışmaları doğrultusunda dağıtılmıştır. Literatür çalışmalarında 2010-2023 yılları arasında yapılan çalışmalar dikkate alınmış ve bu çalışmalarda verilen ağırlık değerlerinin ortalaması göz önünde bulundurulmuştur. Faraji (2015) ile Alam ve Haque (2022), kentsel deprem riskini çok ölçütlü karar verme yöntemi kullanarak belirledikleri çalışmalarında, zemin özelliklerine dair ana kriteri %45’lik ağırlık katsayısı ile belirlemişlerdir. Ayrıca Yavaşoğlu ve Özden (2017)’in İstanbul Kadıköy ilçesinin deprem hasar riskine yönelik yaptığı çalışma ile Çoban ve Kandemir (2023)’in deprem riskini etkileyen faktörlerin derecelendirilmesine dair çalışmada yapısal özellikler ana kriterinin %45’lik ağırlık katsayısıyla belirlendiği görülmüştür. Alam ve Haque (2022)’nin Bangladeş’te deprem güvenlik açığının çok boyutlu incelenmesine yönelik yaptıkları çalışmada ve Banica vd. (2017)’nin Romanya’nın sismik kırılganlığını belirlemek adına yaptıkları çalışmada ise bina yoğunluğu ana kriterinin %10’luk bir ağırlık katsayısıyla belirlendiği görülmüştür.

Hali hazır adalar üzerinde yer alan bina sayılarının belirlenen kriterlere verilen ağırlık katsayıları çarpılarak hesaplanmasıyla bina çökme riski derecelendirme haritası oluşturulmuştur. Japonya Birleşik Risk Modeline bağlı Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritasının oluşturulmasında belirlenen (bina sayısı/hektar) birimine benzer şekilde, Osmangazi Mahallesi Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritasının oluşturulmasında kullanılan risk derecelendirme matrisinde hâlihazır imar adaları üzerinde yer alan bina sayıları, zemin özellikleri ve yapısal özellikler ana ve alt kriterleri “çok ölçütlü karar verme yöntemi”nin risk matrisinde “bağımsız değişken” olarak belirlenmiştir. Belirlenen her bir “bağımsız değişken” imar adalarının bina çökme risk düzeylerinin “bağımlı değişken” olarak belirlenmesini sağlamıştır. Örneğin, 1997 yılı öncesinde “alüvyon” zemin üzerinde “betonarme” malzemeyle inşa edilen ve bina yoğunluğunun “çok yoğun” olduğu bir imar adasının risk derecelendirme formülü aşağıda gösterilmiştir (Gök, 2023).

Tablo 1: Örnek imar adası risk derecelendirme formülü

Ana ve alt kriterler (Bağımsız değişkenler)	Zemin özellikleri ana kriteri ağırlık katsayısı (%A)		Bina yoğunluğu ana kriteri ağırlık katsayısı (%B)	Yapısal özellikler ana kriteri ağırlık katsayısı (% C)		Toplam Risk Değeri
	"Alüvyon" zeminin ağırlık katsayısı (% d)	Andezit ağırlık katsayısı (% e)	"Çok yoğun" kategorideki imar adasının ağırlık katsayısı (% f)	"Yapı malzemesi" ağırlık katsayısı (% k)	"Yapım yılı" ağırlık katsayısı (% l)	
				Betonarme yapılar ağırlık katsayısı (% m)	"1997" öncesi binaların ağırlık kat sayısı (% n)	Risk değeri (S) (Bağımlı değişkeni)
Ada-1: Bina sayısı: (T) (Bağımsız değişkeni)	T×(%d)×(%A):X		T×(% f)×(%B):Y	T×(%m)×(%k)×(%C):Z		X+Y+Z+U=(S) Bağımlı risk değeri
	1. DEĞER:X		2.DEĞER:Y	3. DEĞER:Z		
				4.DEĞER:U		

Risk derecelendirme matrisinde ortaya çıkan risk değerlerinin (0-21) puan arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Japonya Birleşik Risk Modeli Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritası doğrultusunda ortaya çıkan risk değerleri 1. Dereceden “Çok Düşük” ile 5. Dereceden “Çok Yüksek” arasında kategorize edilmiştir. “Çok Düşük Risk” kategorisindeki imar adalarının risk puanı (0.559-0.627) arasında, “Düşük Risk” kategorisindeki imar adalarının risk puanı (1-2) arasında, “Orta Risk” kategorisindeki imar adaları ise (3-5) puan aralığında değerlendirilmiştir. “Yüksek Risk” kategorisindeki imar adaları (6-9) puan aralığında, “Çok Yüksek Risk” kategorisindeki adaları ise (11-21) puan aralığında değerlendirilmiştir. Bina çökme riskinin tüm ana ve alt kriterlerine bağlı bileşenleri aşağıda yer alan Tablo 2’de gösterilmektedir (Gök, 2023).

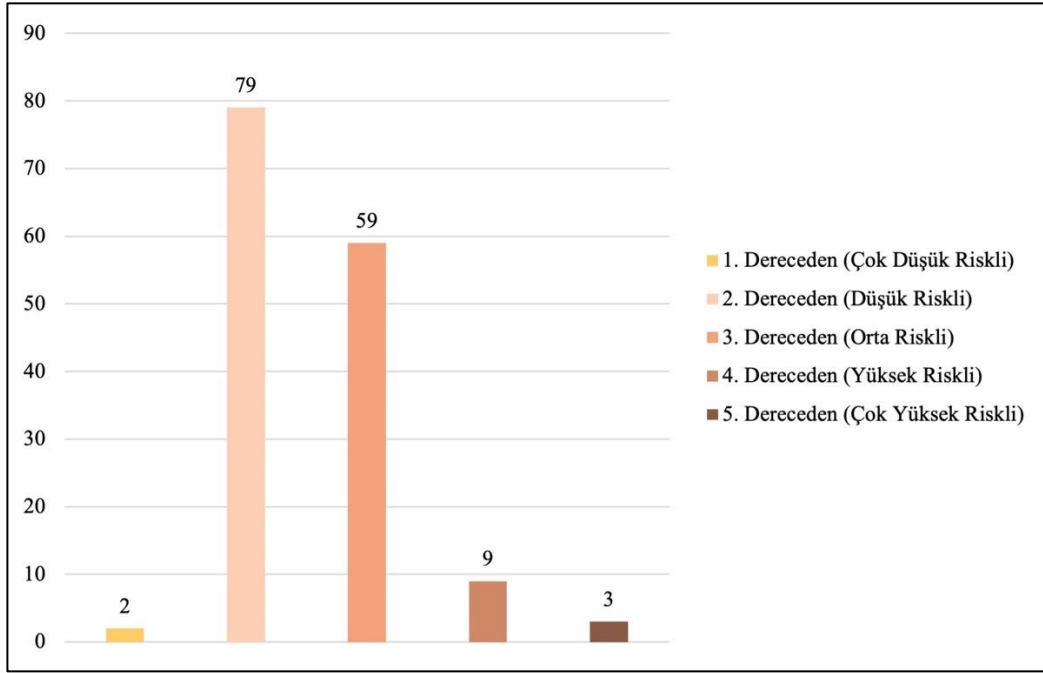
Tablo 2: Bina çökme risk matrisi kriterlerinin dağılımı

Ana kriterler ve etki oranları	1.dereceden alt kriterler ve etki oranları	Ana kriterlerin seçilme nedenleri		1.dereceden alt kriterlerin seçilme nedenleri
Zemin sınıfları %45	Alüvyon zemin (%80)	Deprem şiddetini farklı zemin sınıflarında yeryüzüne farklı olarak aktarılmaktadır. Zemin deprem riskini etkileyen en önemli faktördür. Zemin yapısına bağlı olarak zeminin taşıma gücü ve dayanıklılığı farklılık gösterdiğinden ele alınmıştır.		Alüvyon zeminler depreme karşı dayanıklı olmadığından deprem riskini artıran faktörler arasına girmektedir.
	Andezit Zemin (%20)			Andezit zeminler depreme karşı dayanıklı olduğundan deprem riskini düşüren faktörler arasına girmektedir.
	Toplam %100			
Ada bazlı bina yoğunluğu %10	Çok yoğun (%40)	Deprem riski yüksek olan kentlerde bina sayısı doğru orantılı olarak kentsel deprem riski de artmaktadır. Bina yoğunluğu yüksek olan alanlarda olası bir depremde hasar görülebilirlik ve çökme riski artacağından deprem sonrasında acil müdahale zorlukları ortaya çıkacağından bina yoğunluğu faktörü ele alınmıştır.		Herhangi bir imar adası üzerinde yer alan bina sayısı ile olası bir deprem sonrası hasar görebilme oranları artış gösterecektir. Bu bağlamda bina taban alanlarının toplamının/toplam imar adasına oranı bina yoğunluğunun ada bazlı göreceli olarak sınıflandırılmasına katkı sağlamıştır.
	Orta Yoğun (%30)			
	Yoğun (%15)			
	Seyrek (%10)			
	Çok Seyrek (%5)			
	Toplam %100			
Yapısal özellikler %45	Bina yapı malzemesi (%40)	Yapı malzemelerinin deprem karşısındaki dayanıklılıkları farklılık gösterdiğinden bu kriter ele alınmıştır.	2.dereceden alt kriterler ve etki oranları	2.dereceden yapısal alt kriterlerin seçilme nedeni
			Betonarme yapı (%100)	Betonarme binalar çelik ve ahşap yapılara göre daha ağır bir kütleye sahip olduğundan deprem risk faktörünü artıran kriterler arasında yer almaktadır.
	Bina yapım yılı (%60)		1997 Öncesi(%50)	Yapılar en eski yönetmelikle yapıldığından deprem riskini artıracak faktörler arasında yer almakta ve risk kriterine dahil edilmektedir.
			1997-2007 (%30)	Bu yapılar ikincil dereceden risk grubunda yer aldığından risk kriterine dahil edilmiştir.
			2007-2019 (%15)	Bu yapılar üçüncül dereceden risk grubunda yer aldığından risk kriterine dahil edilmiştir.
Toplam %100	Toplam %100		2019 ve sonrası (%5)	Yeni deprem yönetmeliği olduğundan risk faktörünü düşürecek kriter olarak seçilmiştir.

3. Bulgular

Risk derecelendirme matrisi ve bu matris doğrultusunda oluşturulan Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritası bu bölümde sunulmuştur. Halihazır harita üzerinde imar adalarına entegre edilen bina çökme riskleri Japonya Birleşik Risk Model'inin risk derecelendirme sınıflandırılmasına göre "1-Çok Düşük" ile "5-Çok Yüksek" aralığında değerlendirilerek oluşturulmuştur (Tablo 3).

İmar adalarının risk dağılımı incelendiğinde; toplam ada sayının %1.39'unun "Çok Düşük Riskli", %48.59'unun "Düşük Riskli", %41.25'inin "Orta Riskli", %6.29'unun "Yüksek Riskli" ve %2.09'unun "Çok Yüksek" riskli olduğu tespit edilmiştir. Halihazır harita üzerinde yer alan adalarda risk dereceleri belirlenirken bina sayısı ile doğru orantılı bir risk artışının ortaya çıktığı görülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5: Risk derecelendirme grafiği

Tablo 3: Bina çökme riski değerlendirme matrisi bir bölümü

KRİTERLER/ADA NO	ZEMİN ÖZELLİKLERİ(%45)		BİNA YOĞUNLUĞU (%10)					YAPI ÖZELLİKLERİ (%45)					TOPLAM
	ALÜVYON (%80)	ANDEZİT(%20)	ÇOK SEYREK(%5)	SEYREK(%10)	YOĞUN (%15)	ORTA YOĞUN(%30)	ÇOK YOĞUN (%40)	YAPI MALZEMESİ(%40)	YAPIM YILI(%60)				
								BETONARME (%100)	1997 ÖNCESİ(%30)	1997-2007 ARASI(%30)	2007-2019 ARASI(%15)	2019 SONRASI(%5)	
ADA-1	2.16				0.09			1.08		0.486			3.816
ADA-2	2.16				0.09			1.08			0.243		3.573
ADA-3	2.52				0.11			1.26		0.567			4.452
ADA-4	2.16					0.18		1.08		0.486			3.906
ADA-5	2.16				0.09			1.08		0.486			3.816
ADA-6	0.72					0.06		0.36		0.162			1.302
ADA-7	1.80			0.05				0.90		0.405			3.155
ADA-8	1.08			0.03				0.54	0.405				2.055
ADA-9	2.52			0.07				1.26				0.0945	3.945
ADA-10	2.52					0.21		1.26		0.567			4.557
ADA-11	1.80				0.08			0.08			0.203		2.158
ADA-12	2.16					0.18		1.08				0.081	3.501
ADA-13	1.44					0.12		0.72			0.162		2.442
ADA-14	2.52			0.07				1.26		0.284			4.134
ADA-15	4.32					0.36		2.16		0.486			7.326
ADA-16	3.60			0.10				1.80				0.135	5.635
ADA-17	4.68				0.26			3.06				0.230	8.225
ADA-18	1.800				0.075			0.900	0.675				3.450
ADA-19	1.44					0.12		0.72		0.324			2.604
ADA-20	2.88			0.08				1.44			0.324		4.724
ADA-21	2.16				0.09			1.08	0.810				4.14
ADA-22	1.80				0.08			0.90	0.675				3.45
ADA-23	2.16				0.09			1.08	0.810				4.140
ADA-24	1.80					0.15		0.90	0.675				3.53
ADA-25	1.80				0.08			0.90		0.405			3.18
ADA-26	2.16					0.18		1.08		0.486			3.906
ADA-27	2.88				0.12			1.44	1.080				5.520
ADA-28	2.52					0.21		1.26		0.567			4.557
ADA-29	12.24				0.51			6.12		2.754			21.624
ADA-30	3.96			0.11				1.98			0.446		6.496
ADA-31	6.12						0.68	3.06		1.377			11.237

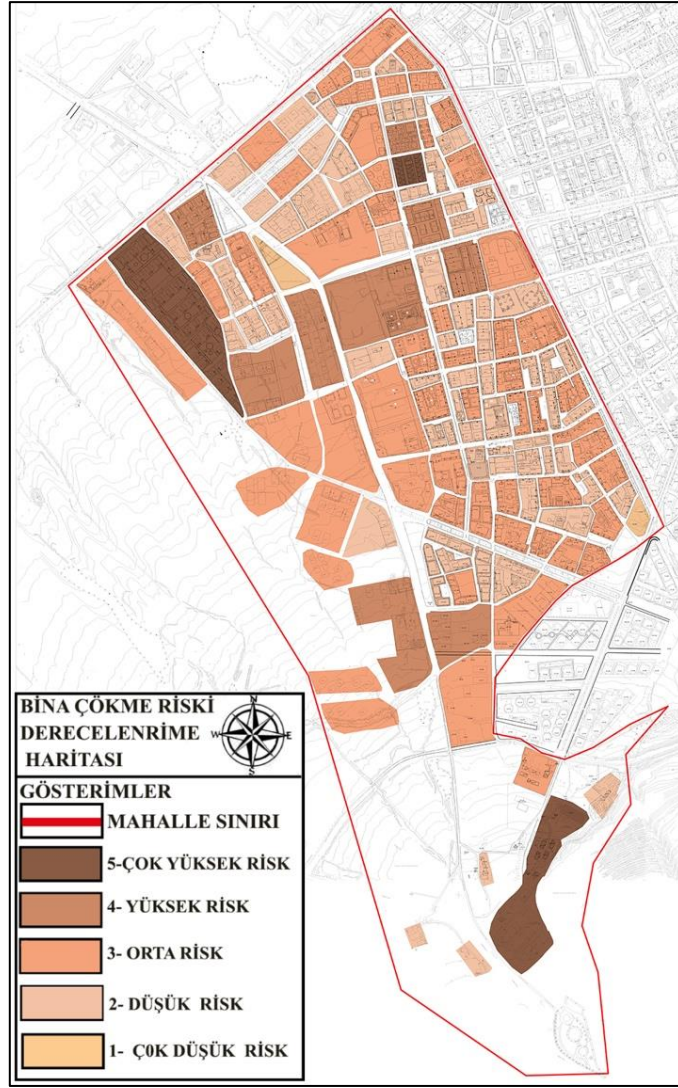
Tablo 3'devamı

ADA-32	0.72		0.01				0.36			0.081	1.171
ADA-33	2.16			0.09			1.08		0.486		3.816
ADA-34	1.8				0.15		0.90			0.203	3.053
ADA-35	1.08		0.02				0.540		0.243		1.878
ADA-36	1.08			0.05			0.540			0.122	1.787
ADA-37	2.16			0.09			1.08	0.810			4.140
ADA-38	3.24			0.14			1.62		0.729		5.72
ADA-39	1.80			0.08			0.90	0.675			3.450
ADA-40	1.08			0.05			0.540		0.243		1.908
ADA-41	1.44				0.12		0.720		0.324		2.604
ADA-42	2.88			0.12			1.440		0.648		5.088
ADA-43	1.44			0.06			0.720	0.540			2.760
ADA-44	1.44				0.12		0.720	0.540			2.820
ADA-45	1.08		0.03				0.540		0.243		1.893
ADA-46	3.24				0.27		1.620		0.729		5.859
ADA-47	2.16			0.09			1.08		0.486		3.816
ADA-48	2.88					0.32	1.440		0.648		5.288
ADA-49	3.96				0.33		1.980			0.446	6.716
ADA-50	1.8					0.20	0.900	0.675			3.575
ADA-51	1.08			0.05			0.540			0.122	1.787
ADA-52	1.8			0.08			0.900		0.405		3.180
ADA-53	2.16			0.09			1.08		0.486		3.816
ADA-54	2.16			0.09			1.08			0.243	3.573
ADA-55	1.44					0.16	0.720		0.324		2.644
ADA-56	1.44					0.16	0.720		0.324		2.644
ADA-57	2.16				0.18		1.08		0.486		3.906
ADA-58	1.44				0.12		0.720		0.324		2.604
ADA-59	1.8					0.20	0.900		0.405		3.305
ADA-60	1.44					0.16	0.592		0.324		2.516
ADA-61	1.08		0.015				0.540			0.122	1.757
ADA-62	1.08				0.15		0.540			0.122	1.892
ADA-63	1.8			0.08			0.900		0.405		3.180
ADA-64	1.8			0.08			0.900		2.43		5.205
ADA-65	1.44					0.16	0.592		0.324		2.516
ADA-66	2.52		0.07				1.26		0.567		4.417
ADA-67	2.52		0.07				1.26		0.567		4.417
ADA-68	2.16					0.24	1.08			0.081	3.561
ADA-69	3.6						1.80			0.135	5.69
ADA-70	3.24		0.09				1.620			0.122	5.072
ADA-71	3.60					0.4	1.800			0.135	5.935
ADA-72	1.44		0.04				0.720			0.054	2.254
ADA-73	2.16		0.06				1.08				3.354
ADA-74	3.24			0.135			1.620		0.365		5.360
ADA-75	2.16		0.06				1.08		0.243		3.543
ADA-76	5.04			0.21			2.520			0.189	7.959
ADA-77	1.8				0.15		0.900			0.068	2.918
ADA-78	1.08				0.27		0.540			0.041	1.931
ADA-79	1.44			0.06			0.360		0.324		2.184
ADA-80	1.08				0.09		0.540			0.122	1.832
ADA-81	1.08					0.12	0.540		0.243		1.983
ADA-82	1.8					0.20	0.900			0.068	2.968
ADA-83	1.8				0.15		0.900			0.068	2.918
ADA-84	3.6				0.30		1.80		0.81		6.51
ADA-85	1.44			0.06			0.72		0.324		2.544
ADA-86	1.08				0.09		0.54		0.243		1.953
ADA-87	0.72			0.03			0.360		0.162		1.272
ADA-88	0.72			0.06			0.360		0.162		1.302
ADA-89	1.08			0.05			0.540		0.243		1.908
ADA-90	1.8				0.15		0.900			0.203	3.053
ADA-91	0.72		0.02				0.360		0.162		1.262
ADA-92	1.08				0.09		0.540		0.243		1.953
ADA-93	0.72			0.03			0.360	0.270			1.380
ADA-94	0.72				0.06		0.360	0.270			1.410
ADA-95	1.44					0.16	0.720		0.324		2.644
ADA-96	1.08			0.05			0.540	0.405			2.070
ADA-97	1.8			0.08			0.900	0.675			3.450
ADA-98	1.08			0.05			0.54		0.243		1.91
ADA-99	1.8			0.08			0.900		0.405		3.180
ADA-100	0.72			0.03			0.2664		0.162		1.178
ADA-101	1.08				0.09		0.540			0.122	1.832
ADA-102	1.44				0.12		0.720		0.162		2.442
ADA-103	1.08					0.12	0.540			0.122	1.322
ADA-104	1.44				0.12		0.720		0.324		2.604
ADA-105	0.72				0.05		0.360	0.270			1.400
ADA-106	1.08					0.12	0.540		0.243		1.983
ADA-107	0.72				0.08		0.360		0.162		1.322
ADA-108	1.08		0.03				0.540	0.405			2.055
ADA-109	0.72				0.06		0.360		0.162		1.302
ADA-110	1.08			0.05			0.540	0.405			2.070
ADA-111	1.44					0.16	0.720		0.324		2.644
ADA-112	0.72				0.06		0.360		0.162		1.302
ADA-113	0.72			0.03			0.360	0.270			1.380
ADA-114	0.72					0.08	0.360			0.081	1.241
ADA-115	0.72		0.02				0.360			0.081	1.181
ADA-116	0.72				0.06		0.360		0.162		1.302
ADA-117	0.72				0.08		0.360		0.162		1.322
ADA-118	2.88		0.04				1.44	0.675	0.648		5.008
ADA-119	1.8				0.15		0.90				3.53
ADA-120	0.72				0.08		0.360			0.081	1.241
ADA-121	0.72			0.03			0.360		0.162		1.272
ADA-122	0.72		0.02				0.360	0.270			1.370
ADA-123	3.96			0.11			1.980				6.199
ADA-124	2.88		0.08				1.440			0.149	4.508
ADA-125	1.44				0.06		0.720		0.324		2.544
ADA-126	0.36		0.01				0.180			0.014	0.559
ADA-127	1.08			0.05			0.400		0.243		1.768
ADA-128	2.16			0.09			1.080		0.486		3.816
ADA-129	1.44			0.04			0.720		0.324		2.524
ADA-130	1.08		0.02				0.540		0.243		1.878
ADA-131	2.16				0.09		1.080		0.486		3.816
ADA-132	2.88			0.08			1.440			0.324	4.724
ADA-133	6.12				0.26		3.060				9.665
ADA-134	2.88				0.12		1.440				4.548
ADA-135		0.18			0.06		0.36				0.627
ADA-136	8.28			0.23			4.14		1.863		14.51
ADA-137	3.60				0.15		1.80		0.810		6.360
ADA-138	2.88				0.24		1.440			0.324	4.884
ADA-139		0.36			0.06		0.720		0.324		1.464
ADA-140		0.72		0.08			1.44		0.648		2.888
ADA-141	1.08			0.03			0.540		0.243		1.893
ADA-142	0.72		0.01				0.360			0.081	1.171
ADA-143	1.44				0.06		0.720				2.274

Yapılan matris sonucunda bina çökme riski değerlendirilen imar adaları içerisinde (Şekil 6);

- 1. derece “Çok Düşük” riske sahip olan ada sayısı 2 adettir. Çok düşük risk kategorisi olarak belirlenen bu imar adalarının bina yoğunluğu “Çok Seyrek Yoğunluklu” olarak belirlenmiştir. Binalar 2018 Bina Deprem Yönetmeliğine göre yapılmıştır. Ayrıca çalışma alanı için yapılan analizler neticesinde bu yapıların kalitesi “iyi” olarak belirlenmiştir. Binalar herhangi bir diri veya olası fay hattında yer almamaktadır. Alüvyon zemin olmasına rağmen, Japonya Birleşik Risk Modelinde yer alan risk matrisine göre bina yapım yılı ve bina yoğunluğu kriterleri ile düşük katsayılarının, imar adalarının çok düşük risk kategorisinde değerlendirilmesinde etkili olmuştur.
- 2. derece “Düşük” riske sahip olan ada sayısı 70, 3. derece “Orta” riske sahip ada sayısı 59 adet olarak tespit edilmiştir. 2. derece ve 3. derece riske sahip adalar çalışma alanı içerisinde genel bir yayılım göstermiştir. Yapılan jeolojik ve tampon bölge analizlerinde ilgili 2. derece ve 3. derece riskli adaların üzerinden yer yer diri ve olası kuvaterner fay hatlarının geçtiği görülmüştür. Bu adalardan diri ve olası kuvaterner fay hatları geçmesine rağmen düşük ve orta riskli olarak derecelendirilmesinin sebebi, Japonya Birleşik Risk Modeli doğrultusunda binaların yapım yılı (yapıldıkları döneme ait yönetmelikler), bina yoğunlukları (binaların imar adası içinde kapladıkları alana yönelik oran), bina sayıları ve zemin niteliğiyle belirlenen kriterlerle orantılı biçimde risk artışı veya azalışı göstermesinden kaynaklanmaktadır. Fay hatlarının varlığıyla oluşabilecek riskler göz ardı edilememiştir. Ancak bağlı kalınan Japonya Birleşik Risk Modelinin kriterleri risk derecelendirmelerinin temelini oluşturmaktadır.
- 4. derece “Yüksek” riske sahip olan adalar 9 adet tespit edilmiştir. Çalışma alanının kuzeydoğu ve kuzeybatı kesimlerinde yoğunlaşan ve güney kesimlerinde azalan 4. derece yüksek riskli bu alanlar mevcut konut, konut-ticaret fonksiyonuna sahiptir. Uygulama imar planı kapsamında değerlendirildiğinde ise genellikle gelişme konut alanı olarak planlandığı ve 10-12 kat arasında değişen yapılaşma kararlarının verildiği tespit edilmiştir.
- 5. derece “Çok Yüksek” riske sahip alanlar 3 yerde yoğunlaşmıştır. Erzurum içme suyu arıtma tesisinin bulunduğu alan, çalışma alanının kuzeybatısında yer alan polis lojmanlarının bulunduğu ada ve çalışma alanının kuzeydoğusunda yer alan konut adasının çok yüksek riske sahip olduğu tespit edilmiştir. Polis lojmanlarının bulunduğu alan ve Erzurum içme suyu arıtma tesisinin bulunduğu adalar üzerinden diri fay hattı geçmektedir. Ayrıca bahsi geçen alanlarda çok yüksek riskin ortaya çıkmasında zemin yapısı, ada içerisinde yer alan bina sayıları, bina yapım yılları ve bina yoğunlukları etkili olan faktörlerdir. Çalışma alanına yönelik yapılan teknik gezi ve analizler sonucunda bu alanlarda yer alan binaların yapı kaliteleri “orta ve kötü” olarak değerlendirmiştir.

Erzurum il geneli ve Doğu Anadolu Bölgesi içerisindeki depremselliği değerlendirildiğinde; Kuzey Anadolu, Kuzeydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Fay hatlarının yer aldığı makaslama bölgesi olarak tanımlanan yüksek deprem riskine sahip bir bölgede yer aldığı görülmektedir. Erzurum’da Cumhuriyet’in ilk yıllarında (1924) yıkıcı depremler yaşanmıştır. Daha sonra Erzurum ve çevresinde 20 Ağustos 1946, 17 Ağustos 1949, 3 Ocak 1952, 7 Mart 1966, 30 Ekim 1983 tarihlerinde yine büyük depremler yaşanmış can ve mal kaybı meydana gelmiştir (Yapıcı, 2015). İlin Muş, Bingöl gibi çevre illerde meydana gelebilecek büyük çaplı depremlerden etkilenebilme olasılığı da yüksektir. Nitekim 19 Ağustos 1966 yılında meydana gelen 6.9 büyüklüğündeki Muş Varto depreminde Erzurum’un güney kesimlerinde yer alan Tekman, Hınıs ve Çat ilçeleri büyük zarar görmüştür (Zengin, 2020). Ülkemizde son yıllarda yaşanan depremler ve 10 ili etki alanında bırakan 6 Şubat Kahramanmaraş depreminin meydana getirdiği büyük hasar göz önüne alındığında tüm risk seviyelerinin bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmesi, her risk seviyesine özgü planlama ve tasarım ölçütlerinin yasal ve yönetsel olarak oluşturulması gerektiği anlaşılmaktadır.



Şekil 6: Bina çökme riski derecelendirme haritası

4. Tartışma ve Öneriler

Japonya Birleşik Risk Modeli kapsamında üretilen bina çökme, yangın yayılma ve acil müdahale zorluğuna bağlı risk haritaları ülkemizde kullanılmamaktadır. Çünkü jeolojik açıdan Japonya'nın benimsediği zemin amplifikasyon oranı ve zemin sınıflarına dair haritalar, ülkemizin planlamaya altlık oluşturan mikro bölgeleme etüt raporlarında ve jeolojik-jeoteknik etüt raporlarında yer almamaktadır. Diğer bir sebep ise merkezi düzeyden yerel yönetim birimleri düzeyine kadar yapı stokuna bağlı envanterlerdeki veri tabanı eksikliği nedeniyle, özellikle yapısal düzeyde bina yapım yıllarına erişilememesidir. Ülkemizde jeolojik ve yapısal ölçekte veri envanterlerinin eksikliği dışında, imar planlarının oluşturulmasında başrol oynayan belediyelerde deprem afetine karşı birimlerinin oluşturulmaması, risk odaklı planlama anlayışının da benimsenemediğinin göstergesidir. Özellikle kentsel planlama ve tasarım ölçeğinde kanun, tüzük ve yönetmelik gibi hukuki yaptırımlara bağlı kılavuzların eksikliği bu tür modellerin üretilmesini engellemektedir.

Bu çalışma doğrultusunda yapılan ve risk matrisi ile oluşturulan Bina Çökme Derecelendirme Haritasında risksiz alanların olmadığı ve tüm risk kategorilerinin çalışma alanında olduğu görülmüştür. Ancak belirtilmelidir ki Bina Çökme Riski Derecelendirme Haritasında oluşturulan risk kategorileri alandaki mevcut yapı stoku ve zemin ilişkisi neticesinde oluşturulmuştur. Dolayısıyla bir adadan fay hattı geçiyor ancak bina bulunmuyorsa bina çökme riskinden bahsedemeyeceğimiz için düşük risk kategorisinde tutulmuştur. Diğer taraftan bu alan zemin yapısına bağlı olarak risk barındırmakta ve bu alanda yapılacak yeni yapıların niteliğine bağlı olarak Bina Çökme Derecelendirme Haritası değişiklik gösterecektir. Ek olarak Japonya Birleşik Risk Modeline bağlı kalınarak oluşturulan risk matrisi doğrultusunda ilgili alanların düşük veya orta dereceden riske sahip olması, Japonya Birleşik Risk Modelinde fay hatlarına yakınlık veya uzaklık gibi kriterin yer almamasından kaynaklanmaktadır. Ancak alanların zemin sınıfları kriteri dışında, üzerlerinde yer alan fay hatları dikkate alındığında müdahale edilmesi gereken önemli alanlar içerisinde olduğunu söylemek mümkündür.

Bu bilgiler ışığında öncelikle diri ve olası fay hatları üzerinden geçen ve tampon bölge içerisinde yer alan binaların kentsel dönüşüm aracılığıyla yıkılması gerekmektedir. Ayrıca fay hattı üzerinde yer alan yol ağlarının, kentsel dönüşüm faaliyetleriyle yeniden düzenlenmesi olası şiddetli bir deprem sonrasında meydana gelebilecek acil müdahale zorluğunu ortadan kaldıracak olan diğer önemli stratejiler içerisinde bulundurulmalıdır. Yıkım sürecinden sonra fay hatlarının dahil olduğu tampon bölgelerin içerisinde yapılaşma faaliyetlerinden kesinlikle kaçınılarak, ilgili alanların açık yeşil alan ve ağaçlandırılacak alan olarak kullanılması, büyük şiddetli bir deprem sonrasında geçici barınma alanı olarak değerlendirilmesine olanak sağlayacaktır. Risk kategorilerine göre bir değerlendirme yaptığımızda ise;

5. Dereceden “çok yüksek riskli” olarak belirlenen imar adalarının; deprem riskinin azaltılmasında kentsel dönüşüm aracı kullanılmalıdır. 5. Dereceden “çok yüksek riskli” imar adalarının yeniden inşa sürecinde bina formları kare, dikdörtgen veya simetrik olarak tasarlanmalıdır. Binaların yapımında hafif çelik veya ahşap malzeme kullanılmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca bina girişlerinin dışa dönük veya çift taraflı olarak belirlenmesi gereklidir. Binaların toplam oturma alanlarının imar adasına oranı gözetilerek bina yoğunluğunun “çok seyrek” olarak tasarlanması olası şiddetli bir deprem sonrasında acil müdahaleyi kolaylaştıracaktır. Ayrıca kentsel dönüşüm faaliyetleriyle açık yeşil alan miktarının artırılması ve ana ulaşım ağlarıyla bağlantılarının sağlanması gerekmektedir. Yeniden inşa edilecek yapılarının kat sayısı parsel bazlı yapılacak jeolojik etütler doğrultusunda zeminin taşıyabileceği yük kapasitesine göre belirlenmelidir. Yeniden yapılacak yapıların yapı nizamı ayrık nizam olacak şekilde belirlenmesi, deprem anında binaların çekiçleme etkisiyle birbirine zarar verme olasılığını ortadan kaldıracaktır. 5. Dereceden Çok Yüksek Riskli imar adalarının kentsel dönüşüm aracılığıyla yeniden inşası sonrasında iskân edilecek nüfusun “seyrek” yoğunluklu (50 kişi/hektar ve altı) alanlar olarak planlanması risk düzeyini azaltacak olan planlama stratejileri arasında yer almalıdır.

4. Dereceden “yüksek riskli” imar adalarında bulunan binaların yapı denetiminin sağlanarak sağlamlaştırma çalışmalarının yapılması, gerekli görülen binaların kentsel dönüşümle yıkılarak ve yeniden inşası sürecinde parsel bazlı jeolojik etütlere bağlı kat sayısının belirlenerek, simetrik formda, ayrık nizam olarak tasarlanması gerekmektedir. Yapı Denetimine bağlı olarak kentsel dönüşüm kararı verilmişse, yeniden inşa edilecek olan konut alanlarının nüfus yoğunluğunun “düşük” yoğunluklu (51 - 120 kişi/hektar) alanlar olarak belirlenmesi gerekmektedir. 4. Dereceden yüksek riskli imar adalarında, ticaret- konut fonksiyonunda, olası şiddetli bir depremde yumuşak kat düzensizliğini önlemek için yapı denetiminin sağlanması, güçlendirilmesi ve gerekli görülen durumlarda yıkılması gerekmektedir. Yıkılıp yeniden inşa edilecek olan ticaret-konut birimleri “konut” ve “ticaret” olarak ayrı ayrı planlanmalıdır. Ayrıca yüksek riskli imar adalarında bulunan boş alanlar “acil toplanma alanı” olarak tasarlanmalı, ada içerisindeki yol ağları çok yüksek riskli imar adalarının acil tahliye yollarıyla bağlantılı olacak şekilde planlanmalıdır.

3. Dereceden “orta riskli” imar adalarındaki binalarda yapı denetiminin sürekliliği sağlanmalı, gerekli görülen durumlarda binaların sağlamlaştırılması gerekmektedir. Özellikle orta riskli imar adalarında bulunan sosyal donatı elamanlarının (okul, sağlık ocağı, cami vb.) yapı denetimine tabii tutularak sağlamlaştırılması gerekmektedir. 3. Dereceden “orta ” ve 2. Dereceden “düşük” riskli imar adalarında yer alan bitişik nizamda farklı veya aynı kat yüksekliğine sahip konut, ticaret-konut gibi fonksiyona sahip binaların yapı denetiminin sağlanması, deprem anında çekiçleme etkisiyle binaların birbirlerine hasar verme oranlarını azaltmada önemli bir rol oynamaktadır.

1. Dereceden “çok düşük”, 2. Dereceden “düşük” riskli imar adalarında yapı denetiminin sürekliliğin sağlanması gerekmektedir. İmar adalarında yer alan ulaşım ağlarında acil tahliye yollarının yüksek ve çok yüksek riskli alanlarda tasarlanan acil tahliye yolları ile bağlantısının kurularak tasarlanması gerekmektedir. İmar adalarında boş alanların “afet parkları”, “acil toplanma alanı”, “afet eğitim ve bilinçlendirme parkları” veya “açık yeşil alan” gibi fonksiyonlarda tasarlanması önemlidir. Ayrıca geçici depolama alanları, afet anında geçici toplanma alanları, geçici iskân ve çadır alanları, su ve gıda temin edilecek alanlar, acil arama kurtarma ekiplerinin toplanma alanları da düşünülmelidir. Çok düşük ve düşük riskli bölgelerde bu gibi alanların tasarlanması çok yüksek, yüksek ve orta riskli bölgelerde meydana gelebilecek olası bir deprem anında ve sonrasında binaların hasar görmesi veya çökmesi durumunda insanların temel ihtiyaçlarının giderilmesinde tampon bölge niteliği kazanacaktır. Yukarıda bahsi geçen depreme duyarlı planlama ve tasarım stratejilerinin uygulamaya aktarılması ile risk odaklı bir planlama anlayışının geliştirilmesine katkı sağlanacağını söylemek mümkündür.

5. Sonuç

Çalışmada, incelenen imar planları doğrultusunda deprem riskini olumsuz yönde etkileyecek kararların verildiği tespit edilmiştir. İncelenen çalışma alanına konut-ticaret ve gelişme konut alanı olarak 10-12 kat arasında değişen yüksek yapılaşma kararları verildiği görülmüştür. Dolayısıyla deprem üretebilme potansiyellerine sahip olan fay hatları üzerinde yapılaşmaların devam ettiği, zayıf zemin yapısına rağmen yüksek katlı yapılaşmaların arttığı, jeoloji ve kentleşme arasındaki ilişkinin göz ardı edilerek ilgili çalışma alanının planlandığı ve afet riski azaltma planı doğrultusunda yapılan deprem senaryolarının göz ardı edildiği görülmüştür.

Dünya var olduğu müddetçe içerisinde barındırdığı doğal sirkülasyonunun bir sonucu olan yeryüzünün sismik aktivitesi devam edecek ve bu devamlılık beraberinde depremlerin oluşmasına neden olacaktır. Diğer doğa olaylarından farklı olarak deprem afeti geçmişten günümüze kadar medeniyetlerin ve içerisinde barındırdıkları toplumların can ve mal güvenliğini tehdit etmiş ve etmeye devam edecektir. Depremler meydana geldiklerinde sosyal, ekonomik ve kültürel kayıplara sebep olmaktadır.

Depremlerin doğal afet olarak adlandırılmasındaki en büyük neden yanlış kentleşme politikaları, hatalı planlama kararları, jeolojik yapı ve kentleşme ilişkisinin göz ardı edilmesidir. Günümüzde rant uğruna gelişen kentlerimizin jeolojik duyarlılığının belirlenerek planlama ve tasarım anlayışının geliştirilmesi, depreme karşı daha dirençli kentsel mekanların oluşturulmasını sağlayacaktır. Erzurum gibi deprem riski yüksek olan kentlerimizde jeolojik yapı, planlama ve tasarım (bina formu, kat yüksekliği, yapı nizamı, bina yoğunluğu) gibi kriterlere bağlı stratejilerin geliştirilerek yasalaştırılması, depreme duyarlı planlama anlayışının en önemli adımını oluşturacaktır.

Bu çalışma kapsamında var olan veriler çerçevesinde (sınırlılığında) gerçekleştirilen Japonya Birleşik Risk Modelinde kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemi, içerisinde barındırdığı kriterlerin çeşitlendirilebileceği esnek bir yöntemdir. Bu yöntemin yerel ölçekli alanların deprem riskinin derecelendirilmesinde, değerlendirilen alanlara özgü planlama ve tasarım stratejilerinin geliştirilmesinde katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Son olarak, Japonya Birleşik Risk Model'inin jeoloji, planlama ve tasarım bağlamında deprem riskini azaltma yollarını disiplinler arası bilim dallarıyla eşgüdümlü bir şekilde geliştirilmesine katkı sağladığı görülmektedir. Bu çalışmada özellikle yapılaşma ve tasarım parametrelerinin deprem riskini olumlu ve olumsuz yönde etkileyen yönleri ortaya çıkarılarak, kentsel deprem riskine karşı jeoloji, planlama ve tasarım olmak üzere üç ana eksen üzerinden planlama anlayışının geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Kaynaklar

- Alam, M. D., & Haque, S. M. (2022). Bangladesh'in Mymensingh Şehri'ndeki yerleşim mahallelerinin çok boyutlu deprem hassasiyeti değerlendirmesi: Mekansal çok kriterli analize dayalı bir yaklaşım. *Kent Yönetimi Dergisi*, 11(1), 37-58.
- Aversa, S., & Crespellano, T. (2016). Seismic microzonation: an essential tool for urban planning in seismic areas. *UPLAND-Journal of Urban Planning, Landscape and Environmental Design*, 1(1), 121-121. <https://doi.org/10.6093/2531-9906/5035>
- Balyemez, S. (2003). *Kentsel planlama ve tasarım değişkenlerinin deprem olgusu açısından değerlendirilmesi ve kentsel deprem davranışı* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Balyemez, S., & Berköz, L. (2005). Hasar görülebilirlik ve kentsel deprem davranışı. *İTÜ Dergisi Seri A: Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 4(1), 3-14.
- Banica, A., Rosu, L., Muntele, I., & Grozavu, A. (2017). Towards urban resilience: A multi-criteria analysis of seismic vulnerability in Iasi City (Romania). *Sustainability*, 9(2), Article 270. <https://doi.org/10.3390/su9020270>
- Bathrellos, G. D., Skilodimou, H. D., Chousianitis, K., Youssef, A. M., & Pradhan, B. (2017). Appropriateness estimation for urban development using a multiple hazard assessment map. *Total Environmental Science*, 575, 119-134. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.025>
- Biglari, M., Ashayeri, I., & Moftizadeh, R. (2015). Urban planning of Kermanshah city based on seismic geotechnical hazards. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 17(3), 203-211.
- Cremen, G., Galasso, C., and McCloskey, J. (2022). A simulation-based framework for human-centered decision-making with earthquake risk knowledge in future urban planning. *Earth's Future*, 10, Article e2021EF002388. <https://doi.org/10.1029/2021EF002388>
- Cremen, G., Galasso, C., McCloskey, J., Barcena, A., Creed, M., Filippi, M.E., & Trogrlić, R. Š. (2023). A state-of-the-art decision-support environment for risk-sensitive and pro-poor urban planning and design in Tomorrow's cities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 85, Article 103400. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103400>
- Çoban, Y. V., & Kandemir, S. (2023). Depremden zarar görülebilirlik boyutunu etkileyen faktörlerin derecelendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 49, 61-67. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1259757>
- Dönertaş, A. S. (2006). *Afet yönetimi kapsamında güvenli yerleşim yerlerinin tasarımı için kentsel tasarım standartların geliştirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Erdoğan, S. (2021). *İstanbul Tarihi Yarımada'da kentsel ölçekte deprem odaklı kentsel zarar görülebilirlik değerlendirmesi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Fäh, D., Kind, F., Lang, K., & Giardini, D. (2001). Earthquake scenarios for the city of Basel. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21(5), 405-413. [https://doi.org/10.1016/S0267-7261\(01\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0267-7261(01)00023-9)
- Faraji, R. (2015). *Deprem duyarlı planlama için deprem risk analizi Elazığ örneği* [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Gerdan, S. (2021). Kentsel planlama açısından il afet risk azaltma planlarının değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 10(4), 1006-1013.
- Goretti, A., & Sarli, V. (2006). Road network and damaged buildings in urban areas: short and long term interaction. *Earthquake Engineering Bulletin*, 4, 159-175. <https://doi.org/10.1007/s10518-006-9004-3>
- Gök, S. B. (2003). *Japonya birleşik risk modeli kapsamında Erzurum'un yeni gelişme alanlarının deprem riskinin değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Haliloğlu, M., & Odabaş, M. S. (2018). Çok ölçütlü karar vermede AHP yöntemi. *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(2), 13-18.
- Hosseini, M. (2007, June 26-29). *Rebuilding towns and cities after devastating earthquakes: challenges and possibilities for urban design* [Conference presentation]. Ninth Canadian Conference on Earthquake Engineering, Ottawa, Ontario, Canada.
- Kaya, A. T., Polat, A. H., & Özgan, E. (2018, 4-6 Mayıs). *Afete dirençli planlama ve konut yerleşim alanlarının seçimi; Düzce örneği* [Bildiri Sunumu]. 2. Uluslararası Doğal Afetler ve Afet Yönetimi Sempozyumu, Sakarya Türkiye.
- Kundak, S. (2006). *İstanbul'da deprem risk parametrelerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi* [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü. (2016). *Erzurum-Erzincan-Bayburt planlama bölgesi 1/100.000 ölçekli çevre düzeni planı*. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü. https://webdosya.csb.gov.tr/db/mpgm/editordosya/file/CDP_100000/erzurum_erbincan/EEB_PlanHukumleri_24102016.pdf

- Motamed, H., Ghafory-Ashtiany, M., Amini-Hosseini, K., Mansouri, B., & Khazai, B. (2020). Earthquake risk-sensitive model for urban land use planning. *Natural Hazards*, 103(1), 87-102. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03960-7>
- Özkiremitçi, M. (2022). *Afet risk sakınımı ve kent planlama süreci arasındaki ilişkinin analizi: Eskişehir kenti örneği* [Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Palandöken Belediyesi. (2016). *Palandöken Belediyesi 1/1.000 ve 1/5.000 ölçekli mikro bölgeleme etüt raporu*. Aydın Mühendislik, Erzurum.
- Reja, Y., & Shajahan, A.. (2011, March 12-14). *Analysis of earthquake sensitivities for urban areas: in the context of the city of Chittagong* [Conference presentation]. Disaster, Risk and Vulnerability Conference, Mahatma Gandhi University, India.
- Sekimov, A. (2012). *Comparative study of Disaster Management of Japan and Kyrgyz Republic Final Research Paper*. Asian Disaster Reduction Center Visiting Researcher Program FY2012A. https://www.adrc.asia/aboutus/vrdata/finalreport/2012A_KGZ_fr.pdf
- Şen, S. (2023, 14 Temmuz). *Levha tektoniği*. Süleyman Şen Coğrafya. 14 Temmuz 2023'de <https://www.suleymansen.com/?pnum=503&pt=Levha+Tektoni%C4%9Fi> adresinden alındı.
- Taş, N. (2003). Yerleşim alanlarında olası deprem zararlarının azaltılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1), 225-231.
- TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. (2017). *Planlama ve yapılaşma açısından yüzey faylanması tehlikesinin değerlendirilmesi kılavuzu* (Yayın No: 134). TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. (2021). *Fay üzerinde yaşayan illerimiz: Erzurum raporu-5*. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/537dc875eb4c1f0_ek.pdf
- Tokyo Metropolitan Government. (2022). *Your community's earthquake risk. The ninth community earthquake risk assessment study*. Bureau of Urban Development, Tokyo Metropolitan Government. 11 Mart 2023'de https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/bosai/chousa_6/download/kikendo_english.pdf?2302 adresinden alındı.
- Yalçın, Ö. (2002). Depreme dayanıklı kentler için coğrafi bilgi sistemleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3), 153-165.
- Yapıcı, H. (2015). *Tarih boyunca Erzurum'da meydana gelen zelzeleler*. Mavi Atlas, 5, 14-20. <https://doi.org/10.18795/ma.04319>
- Yavaşoğlu, F., & Özden, Ç. V. (2017). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi süreci kullanılarak deprem hasar riski analizi: Kadıköy örneği. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10(3), 28-38.
- Yavuz, K. (2013). *Deprem duyarlı planlamada coğrafi bilgi sistemleri odaklı çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması: Yalova kent merkezi örneği* [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Zengin, E. (2020). Cumhuriyet döneminde (Muş) Varto'da yaşanan depremler (1946-1966). *Turkish Studies-Historical Analysis*, 15(2), 791-811.

Çevresel Mikroplastik Analizlerindeki Geri Kazanımı Değerlendirmeye Yönelik Bir Ön Çalışma

İrem Öztürk¹, Dilara Cinci¹, Fatma Nur Eraslan¹, Mansoor Ahmad Bhat¹,
Eftade O. Gaga¹, Kadir Gedik^{1,2*}

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 26555, Eskişehir.

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi, 26555, Eskişehir.

Özet

Mikroplastikler (MP'ler); fizikokimyasal özellikleri, yapısal bileşenleri, kirleticilere yönelik taşıyıcı rolü ve muhtemel sağlık etkileri nedeniyle küresel bir endişe olarak dikkat çekmektedir. MP varlığı, seviyesi ve dağılımına odaklanan araştırmalarda, analizlerdeki kalite güvencesi bağlamında sertifikalı referans malzeme veya standart metod henüz oluşturulmadığından geri kazanım çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, toprak ve hava ortamındaki MP analizlerine yönelik geri kazanım verimliliğinin analit ekleme yaklaşımıyla değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Geri kazanım çalışmaları, Eskişehir Teknik Üniversitesi kampüsü bahçesinden alınan toprak ve bina iç ortamından alınan toz numunelerinin 1-5 mm boyut aralığında olacak şekilde elenerek sayı veya kütle bazında polietilen (PE) türü (<1000 µm) mikroplastiklerin eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla, yoğunluk ayırımı (NaCl, 1.2 g/cm³) ve organik giderimi (%30 H₂O₂) gibi bir dizi deneysel süreçten geçen numunelerdeki muhtemel MP'ler stereo mikroskopla görsel olarak incelenmiş ve sonrasında Zayıflatılmış toplam yansıma (ATR)-Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrometresi ile tanımlanmıştır. Toprak ve toz numunelerinde sırasıyla, 57-4989 µm ve 36.2-2636 µm arasında değişen boyutlarda, ortalama 1.43±0.574 adet/g ve 5500±2531 adet/g düzeyinde, yoğun olarak lif ve parça şeklinde, Polietilen, Tencel, Poliasetilen (>70 eşleşme oranı) türü MP tespit edilmiştir. Geri kazanım çalışmalarında, numunelere kütlece PE eklenen denemelerde ortalama %75, sayıca PE eklenen denemelerde ise %100 geri kazanım oranına ulaşılmıştır. MP analizlerine etki eden faktörler açısından değerlendirmenin de yapıldığı geri kazanım çalışmaları, güncel literatür bağlamında öneriler oluşturularak irdelenmiştir.

Anahtar Sözcükler

Polimerik Partikül, Hava, İç Ortam Toz, Toprak, FTIR, Kalite Güvencesi

A Preliminary Study to Evaluate Recovery in Environmental Microplastic Analysis

Abstract

Microplastics (MPs) have attracted attention as a global concern due to their physicochemical properties, structural components, role as vectors for pollutants and potential health impacts. In studies focusing on the occurrence, levels, and distribution of MPs, there is a need for recovery studies since certified reference materials or standard methods have not yet been established for quality assurance in analyses. In this study, it was aimed to evaluate the recovery efficiency of MP analyses in soil and air matrices using an analyte addition approach. Recovery studies were carried out by soil samples taken from the garden of Eskişehir Technical University campus and dust samples taken from the indoor environment of the building in the size range of 1-5 mm with the addition of polyethylene (PE) type (<1000 µm) microplastics on a number or mass basis. MPs in the samples, which underwent a series of experimental processes, such as density separation (NaCl) and organic removal (30% H₂O₂), were later visually inspected with a stereo microscope and then identified with an Attenuated Total Reflectance (ATR)-Fourier Transform Infrared (FTIR) spectrometer. Polyethylene, Tencel, and Polyacetylene (>70% matching rate) type MPs were detected in soil and dust samples, mainly in the form of fibers and fragments, with sizes ranging between 57.0-4989 µm and 36.2-2636 µm, with an average of 1.43±0.574 MP/g and 5500±2531 MP/g, respectively. In the recovery studies, an average recovery rate of 75% was achieved in trials where PE was added to the samples by mass and 100% in trials where PE was added by number. The recovery studies, which were also evaluated in terms of the factors affecting MP analysis, were examined in the context of current literature, and recommendations were made.

Keywords

Polymeric Particle, Air, Indoor Dust, Soil, FTIR, Quality Assurance

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (222) 2138759 - 2138141 Faks: +90 (222) 3239501
E-posta: irmozturk98@gmail.com (Öztürk İ), dilaracinci0@gmail.com (Cinci D),
fatmanureraslan@ogr.eskisehir.edu.tr (Eraslan F.N),
mansoorahmadbhat@ogr.eskisehir.edu.tr (Bhat M.A),
egaga@eskisehir.edu.tr (Gaga E.O), kgedik@eskisehir.edu.tr (Gedik M)

Gönderim Tarihi / Received : 12/04/2023

Kabul Tarihi / Accepted : 15/09/2023

1. Giriş

Düşük maliyetli, dayanıklı ve kolay işlenebilir bir malzeme olan plastiklere yönelik talep toplumsal ihtiyaçlarla orantılı olarak artmaktadır. Küresel çapta artan plastik üretimi ve buna bağlı oluşan plastik atıkların çevresel ortamlarda birikimi, plastiklerin çevre üzerindeki etkileri konusundaki endişeleri beraberinde getirmiştir. Çevresel ortamlarda biriken atık miktarı ise plastik atıkların geri dönüşümü ve işlenmesindeki sınırlılıklar (Crawford & Quinn, 2017) nedeniyle içinde yaşadığımız “plastik çağ” döneminde büyük hacimlere ulaşmıştır. Plastik malzemeler veya atıklar çevrede, özelliklerini ve yaşlanma (aging) durumlarını değiştirebilecek fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilere maruz kalabilmektedir. Makro boyutlu plastikler mekanik aşınma, oksidasyon, hidroliz, fotodegradasyon ve biyolojik bozunma gibi faktörlerin etkisi altında yapısal polimer türüne, çevresel ortama ve mikrobiyal popülasyon varlığına bağlı olarak değişebilen nitelikte bozunmaya uğrayarak daha küçük parçalara (partiküllere) dönüşmektedir (Crawford & Quinn, 2017; Bao vd., 2022; Bhat vd., 2023a). Yüzey alanı/hacim oranı artan sentetik polimerik partiküllerin çoğu ultraviyole ve görünür ışığın neden olduğu yaşlanmaya karşı hassas olduğundan ağır metal ve kalıcı organik kirleticiler gibi çevresel kirleticileri adsorbe etme ve taşıma (vektör) özellikleri gelişmektedir (Bhat vd., 2022a; Bhat vd., 2022b). Ayrıca, nano boyutlara inen polimerik partiküllerin hücre zarına daha kolay nüfuz edebildiği ve canlı dokularına girerek organizmaların fizyolojik işlevini bozabildiği, besin zincirinde birikebildiğinden muhtemel sağlık etkileri konusunda endişeler barındırmaktadır. Polimerik partiküllere yeme-içme yoluyla maruziyetin insan sağlığı üzerindeki doğrudan etkileri büyük ölçüde bilinmemekle birlikte, muhtemel risklerini anlamak ve plastik kirliliğinin ekosistem ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik çözüm önerileri geliştirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Chang vd., 2020).

Fiziksel ve kimyasal faktörlerle mikro/nano boyutlara parçalanan plastiklerle birlikte hayatımıza, yaklaşık 20 yıllık bir geçmişi olan “mikroplastik (MP<5 mm)” kavramı girmiştir (Thompson vd., 2004). Nispeten yeni bir kavram olan “nanoplastik (<1 µm)” ise henüz yaygın olarak ölçülemeyen muazzam miktarı ve olası sağlık riski barındıran nano boyutlu polimerik partikülleri ifade etmektedir (Bhat vd., 2023b). İlk defa 2004 yılında tanımlanan (Thompson vd., 2004) mikro boyutlu plastik atıklara dair bilimsel yayınlar için 2018 yılı kırılma noktası olmuş ve ekspanansiyel artışla yıllık yaklaşık %70 büyüme oranına ulaşılmıştır (Ebrahimi vd., 2022). Günümüzde, MP çalışmalarının %96’sından fazlası deniz/su ekosistemleri üzerine olup bu ortamlardaki MP’lerin büyük çoğunluğunun kara kaynaklı olduğu, ancak, karasal ekosistemdeki MP araştırmalarına yeterince odaklanılmadığı ifade edilmektedir (Xu vd., 2020). Ayrıca, MP kirliliği üzerine yapılan derleme veya yazılan kitapların ortak bulgusu dış ve iç ortam hava kirliliği, toprak kirliliği, iş sağlığı ve halk sağlığı etkilerine yönelik çalışmaların henüz yeteri düzeyde olmadığı yönündedir (Crawford & Quinn, 2017; Kelly & Fussell, 2020; Amato-Lourenco vd., 2020). MP alanındaki araştırmalar çok hızlı artış gösterse de metodolojik açıdan benzer uygulamalara sahip yoğunluk farkına ve organik madde giderimine dayalı deneysel ön işlemlerin hava, su, toprak gibi farklı çevresel matrislerde izlendiği görülmektedir. MP analizleri açısından ayrı bir önem atfedilmesi gereken bu durum, farklı matrislere yönelik standart yöntemler henüz geliştirilemediği için araştırmaya açık bir alandır. 2015 yılında su ve sediman ortamındaki MP analizlerine yönelik rehber (Masura vd., 2015) hazırlanmasıyla başlayan standartlaşma gayreti Kershaw vd. (2019), Wendt-Potthoff vd. (2020), ISO (örn. ISO/AWI 5667-27, ISO/DIS 24187, ISO/TR 21960) ve ASTM (örn. ASTM WK72349, ASTM WK74436, ASTM WK70831, ASTM WK67788) tarafından hazırlanan veya taslak aşamasında olan kılavuz ve standartlarla hala devam etmektedir. MP varlığı ve karakterizasyonu ve de buna bağlı kirlilik boyutunun ortaya konulabilmesi, güvenilir bir şekilde izlenebilmesi ve elde edilen verilerin karşılaştırılabilmesi için araştırmaların önündeki en büyük eksikliklerden olan standart (saha/laboratuvar) çalışma talimatları veya analizlerdeki kalite güvencesi gerekliliklerinden olan standart referans malzemelere (Seghers vd., 2022) yönelik adımların atılması gerekmektedir (International Standard Organization, 2023).

Kalite güvencesinin bir ölçüsü olarak “ekle-geri kazan” yaklaşımıyla sınırlı sayıda MP çalışmasında uygulanan deneysel geri kazanım yaklaşımı hususunda çevresel matris veya polimer morfolojisine bağlı değerlendirmeler yapılmıştır (Dimante-Deimantovica vd., 2022; Cui vd., 2022). Bunlar içerisinde, hava ve toprak ortamındaki MP araştırmalarına yönelik geri kazanım çalışmalarına olan ihtiyaç dikkat çekmektedir (International Standard Organization, 2020; Way vd., 2022). Çevresel MP yayınları içerisinde yavaş büyüme eğilimine sahip toprak ortamı için MP tespit/analiz süreçlerinin geliştirilmesi (Ya-di vd., 2022) ve hava ortamındaki MP’ler için geri kazanım verimliliğinin niceliğinin güçlendirilmesine (Wright vd., 2021) yönelik uygulanabilir ve tekrarlanabilir deney protokollerinden elde edilen verilerin doğrulanarak insan ve ekosistem sağlığı için tehdit unsuruna dönüşen MP’lerin bulundukları ortamdan etkin bir şekilde izole ve kantite edilmesi, analiz süreçlerinin önemli bir basamağı olan kalite kontrol/kalite güvencesi hususlarına katkı sağlanması gerekmektedir (Dorau vd. 2023). Henüz matris uyumlu referans malzemelerin olmadığı MP analizlerindeki kalite güvencesinin değerlendirildiği bu çalışmada, toprak ve hava (çöken toz) ortamı esas alınarak analit ekleme yaklaşımıyla geri kazanım verimliliğinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, geri dönüştürülmüş polietilen (PE) kullanılarak sayı veya kütle bazlı MP geri kazanım deneyleri tasarlanmış, stereo mikroskop ve Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrometresi ile değerlendirilen sonuçlar analizlerdeki kalite güvencesine etki eden faktörler bağlamında irdelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kimyasallar, Mikroplastikler ve Çevresel Ortam Numuneleri

Deneyisel süreçlerde NaCl (Chem Pure), H₂O₂ (%30, Merck) kimyasalları kullanılmıştır. Geri kazanım deneylerinde kullanılan MP parçacıkları, ortalama 0.5 cm çapındaki geri dönüştürülmüş polietilen (PE) peletlerin (0.91-0.97 g/cm³) Lavion Grinder marka cihazda öğütülmesiyle elde edilmiştir. Thermo Scientific™ Forma™ 900 Series marka derin dondurucuda -80°C’de dondurulan PE peletler öğütülerek <1000 µm boyutunda mikroplastiklere dönüştürülmüştür.

Çalışmalarda kullanılan toprak numunesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi İki Eylül Kampüsü içerisinde (39° 49' 3.42''K, 30° 32' 7.49''D) insan kullanımına nispeten uzak bir alan yüzeyinden metal aparatla alınarak cam kavanoz içerisinde muhafaza edilmiştir. Hava ortamını temsilen ise üniversite yerleşkesindeki fakülte binalarının iç ortamında çökelen veya biriken toz numuneleri süpürülerek toplanmış ve cam kavanozda saklanmıştır. Toz ve toprak numuneleri önce 5 mm açıklığa sahip elekten sonra ise 1 mm açıklığa sahip elekten geçirildikten sonra arada kalan kısım yine cam kavanozlarda muhafaza edilmiştir.

2.2. Numune Ön İşlem ve MP Analizleri

Numunelerin işlenmesinde ilk adım, hava veya toprak ortamındaki doğal partikül yükü nedeniyle ortamdaki alınan numunelerdeki polimerik partiküllerin analiz öncesi izole edilmesidir. Bu kapsamda NaCl, NaI, ZnCl₂ gibi çeşitli kimyasallar kullanılarak yoğunluk farkına dayalı ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Ayırma işlemi için yoğunluğu 1.2 g/cm³ olacak şekilde hazırlanan NaCl (≈ 400 g/L) kullanılmıştır. Beher içerisine alınan 10 g toprak numunesine 40 ml NaCl çözeltisi eklenerek üzeri alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Numuneler 100 rpm hızında 1 saat boyunca çalkalanmıştır. Çalkalayıcıdan alınan numuneler 24 saat boyunca herhangi bir işlem yapılmadan bekletilmiştir. Yoğunluk ayırma işlemi sürecinde NaCl çözeltisinin üzerinde kalan kısım metal cımbız ve kaşık yardımıyla petri kaplarına aktarılmıştır. Metal pens veya kaşığın üzerinde MP kalma ihtimaline karşı malzemeler, filtrelenmiş saf su (GF/A Whatman – 1.6 µm) ile yıkanmış ve petri kaplarının üzerine eklenmiştir. Deneyisel süreçteki MP kalıntısını minimize etmek amacıyla behere alınan toprak numunesinin üzerine tekrar 20 ml NaCl çözeltisi eklenip cam çubuk ile karıştırılmış ve 100 rpm hızında 30 dakika boyunca çalkalanmıştır. Çalkalanan numuneler 24 saat boyunca beklemeye bırakıldıktan sonra çözeltinin üst kısmında kalanlar metal kaşık ve pens yardımıyla ilk yoğunluk ayırma deneyinde elde edilen petrilerin üzerine eklenmiştir. Petri kapları etüvde 45°C’de 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Benzer şekilde toz örneklerden 3 mg alınarak 1.2 g/cm³ yoğunluğundaki NaCl çözeltisinden 30 ml eklenmiştir. NaCl eklenen toz örnekleri 24 saat bekletildikten sonra yoğunluk farkından dolayı yüzen kısım pipet yardımıyla çekilerek petri kaplarına aktarılacak şekilde etüvde 45°C’de 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır.

İkinci adımda, girişime neden olan organik bileşenleri numuneden uzaklaştırmak için kimyasal ön işlem yapılmıştır. Çevresel numunelerdeki polimerik partikül yapısının bozulmaması için %15 ila %30’luk H₂O₂ çözeltisi kullanılmaktadır (Prata vd., 2019). Petri kabında kurutulan toz veya toprak numunelerinin üzerine 10 ml %30’luk H₂O₂ eklenerek etüvde 45°C’de 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Etüvden çıkarılan toz veya toprak numuneleri üzerine filtrelenmiş saf su eklenerek glass fiber (GF/A Whatman - 1,6µm) filtre kullanılan süzme sisteminden geçirilmiştir. Parçacık yüklü filtreler, mikroskop ve FTIR’da incelenmek üzere temiz cam petri kaplarına transfer edilerek analize kadar kabin tipi desikatörde bekletilmiştir.

Numunelerdeki mikroplastiklerin görsel tespiti için AxioCam 105 renkli kamera ile birlikte Axiovision SE64 Rel.4.9.1 yazılımına sahip Carl Zeiss Stemi 508 stereo mikroskop kullanılmıştır. Mikroskop 0.6x, 0.8x, 1x, 1.25x, 1.6x, 2x, 2.5x, 3.2x, 4x ve 5x dahil olmak üzere çeşitli büyütme oranlarına sahiptir. Stereo mikroskop incelemesi sırasında istenmeyen öğeler pens (cımbız) ile uzaklaştırılmış, MP varlığı tespit edilen alanların fotoğrafları Image J 1.53t (Java 1.8.0_345(64-bit)) programıyla incelenmek üzere kaydedilmiştir. Subjektif nitelikteki görsel incelemenin Fourier transform kızılötesi (FTIR) spektrometresi gibi tanımlayıcı analizlerle desteklenmesi gerekmektedir. FTIR spektroskopisi, mikroplastiklerin polimerik bileşiminin tanımlanmasında en yaygın kullanılan tekniktir. Zayıflatılmış toplam yansıma (ATR) aksesuarı, numunelerin ATR kristali üzerine yerleştirilmesiyle FTIR’da doğrudan ölçülmesine izin veren bir yöntemdir. Bu teknikte, numuneler ATR’ye doğrudan yerleştirilerek incelenebilir. Shimadzu IR Tracer-100 marka ATR-FTIR ile elde edilen spektral ATR-Polimer 2, IRs-Polimer 2 ve T-Polimer 2 kütüphane verisiyle karşılaştırılarak mikroplastığı oluşturan polimer türü tanımlanmıştır. Kızılötesi spektrumları, 16 cm⁻¹’lik spektral çözünürlüğe sahip 4000–500 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında ölçülmüştür. Her spektrum için 32 tarama gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, analizlerden önce aynı ayarlar uygulanarak havaya karşı (filtre olmadan) arka plan ölçümleri yapılmıştır.

2.3. Geri Kazanım Deneyleri

Geri kazanım çalışmaları, analit ekleme yaklaşımıyla gerçekleştirilmiştir. Yapısındaki MP varlığı incelenen toprak ve toz numunelerine yeşil renkli pelet şeklindeki PE parçacıkları kütle veya sayı bazlı eklenmiştir. 10 g toprak numunesine 10 adet PE eklenirken, 3 mg toz numunesine yaklaşık 0.5 mg PE eklenerek filtrenin önceki ve sonraki ağırlık farkından yararlanılmıştır.

MP geri kazanım oranının hesaplanmasında belirli boyut, şekil ve renge sahip olan PE parçacıkların numunelere sayı veya kütle bazında eklendiği denemelerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Yoğunluk ayırma ve organiklerin uzaklaştırılması aşamalarından geçen PE ekli numuneler stereo mikroskop altında görsel olarak incelemiş ve FTIR analizi ile süreç tamamlanmıştır.

2.4. Kontaminasyon Kontrolü

Laboratuvar ortam havası kaynaklı veya kullanılan malzemelerden numunelere karışabilecek MP partikülleri sonuçların doğruluğunu etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, kontaminasyonu engellenmek için laboratuvar tezgâhları sürekli temiz tutulmuş, deneylerde plastik malzemeler yerine cam ve metal malzemeler kullanılmıştır. Metal ve cam malzemeler her kullanımdan önce saf su ile yıkanmış ve numunelerin üzeri daima alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Laboratuvar ortamında sentetik olmayan kıyafet kullanımına özen gösterilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toprakta Mikroplastikler ve Geri Kazanım

Toprak numunesinde mevcut olan MP'lerin morfolojik karakterizasyonu, geri kazanım çalışmaları açısından önem arz etmektedir. Numunelerdeki MP sayısı, boyut aralığı ve şekil dağılımına ait sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. Yoğunluk ayırma, organik madde giderimi ve filtrasyon gibi bir dizi deneysel süreçten geçen numune, Şekil 1'den görülebileceği üzere kompleks bir yapıya sahiptir. Söz konusu yapı nedeniyle de numunedeki MP'lerin tespiti sınırlanmaktadır.

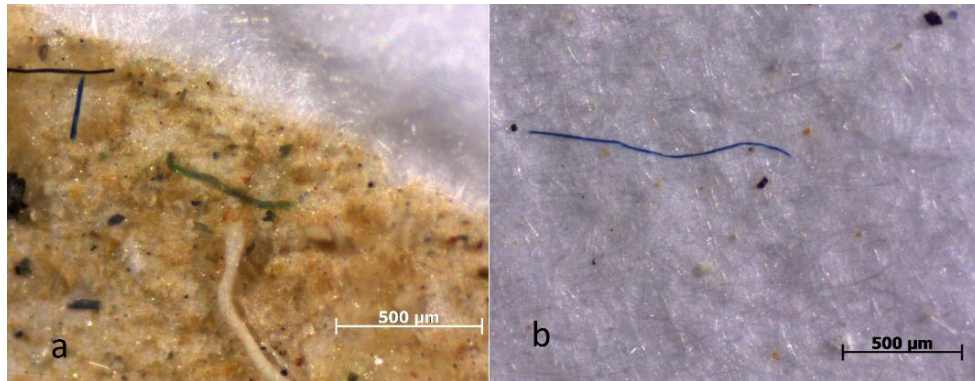
Toprak numunelerinde stereo mikroskopla yapılan görsel incelemeler sonucunda ilk numunede ortalama 1330 ± 1351 μm uzunluğa sahip 15 adet MP, ikinci numunede ortalama 578 ± 378 μm uzunluğa sahip 21 adet MP, üçüncü numunede ortalama 450 ± 411 μm uzunluğa sahip 14 adet MP ve son numunede ise ortalama 1053 ± 893 μm uzunluğa sahip 7 adet MP bulunmuştur. Tablo 1'deki MP boyut aralıkları ve ortalama değerleri incelendiğinde, numuneler deneysel süreç öncesi elenmiş (1-5 mm) olmasına karşın <1 mm boyutlu MP varlığı dikkat çekmektedir. Çevresel ortamlardan elde edilen numunelerin mikroplastik tayini için elenmesi, elekler arasındaki geçiş aşamasında istenen boyutun tutulmamasına (Bhat, 2023) veya parçacık kaybına neden olabilecek niteliktedir (Prume vd., 2021). 1-5 mm arasında olması beklenen MP'ler için <1 mm boyutlu verilere ulaşılması, küçük boyuttaki MP'lerin numune matrisine (örn. organik madde) yapışması veya tutunması ya da küçülen boyutla birlikte mikroplastikler arasında oluşan elektrostatik etkileşim sonucu birleşen/topaklaşan parçacıkların mekanik etkiyle tekrar ayrışması olarak açıklanabilir. Matristeki MP boyut farklılığına bağlı gerçekleşebilen bu durum spektroskopik analizlerde eksik değerlendirme oluşturabilmekte ve toprağın yapısal bileşenlerine dahil olabilen MP'lerin, toprağın diğer bileşenlerinden ayırt edilememesine neden olmaktadır (Thomas vd., 2020). Öte yandan, eleme işlemi sürecinde elek gözeneklerinin tıkanması sonucu daha küçük boyutta MP görmek veya morfolojik açıdan lif, pelet, parça şeklindeki MP'lerin eleme esnasındaki davranışı da farklı olabilmektedir. Sonuç olarak, toprak numunelerinde 57.0 μm ile 4989 μm boyut aralığında değişen boyutta lif, parça ve granül şeklin baskın olduğu pembe, siyah, mavi ve yeşil gibi farklı renklerde muhtemel mikroplastikler gözlemlenmiştir. Bütünsel bağlamda, stereo mikroskop incelemesi neticesinde toprak (10 g) numunesinde 7 ile 21 arasında değişen sayıda ortalama 14.3 ± 5.74 adet MP (1425 ± 574 adet/kg) bulunduğu tahmin edilmektedir.

Mikroplastikler, toprak ortamında yaygın olarak tespit edilmektedir. Kentsel alanlarda zirai faaliyetlerin yapılmadığı topraklardaki MP miktarının 0.0046 ile 719 adet/kg arasında değiştiği tahmin edilmektedir (Jacques & Prosser, 2021). Arazi kullanım amacına bağlı mekansal dağılım açısından değişken ve heterojen niteliğe sahip MP kontaminasyonunun tarım topraklarında <1 adet/kg düzeyinden 42960 adet/kg düzeyine çıkabildiği derlenmiştir (Zhang vd., 2022). You vd. (2022) tarafından yapılan toprak-MP derlemesinde mevcut literatürden hareketle üç MP kategorisi (<1 mm, 1-2 mm ve 2-5 mm) oluşturulmuş ve küresel ölçekte 1-2 mm partikül boyutlarına sahip MP'lerin toprak ortamında yaygın olarak tespit edildiği belirtilmiştir. Ayrıca, toprak ortamında karşılaşılan mikroplastiklerin yaygın türleri arasında polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polistiren (PS) öne çıkmaktadır (Yang vd., 2022).

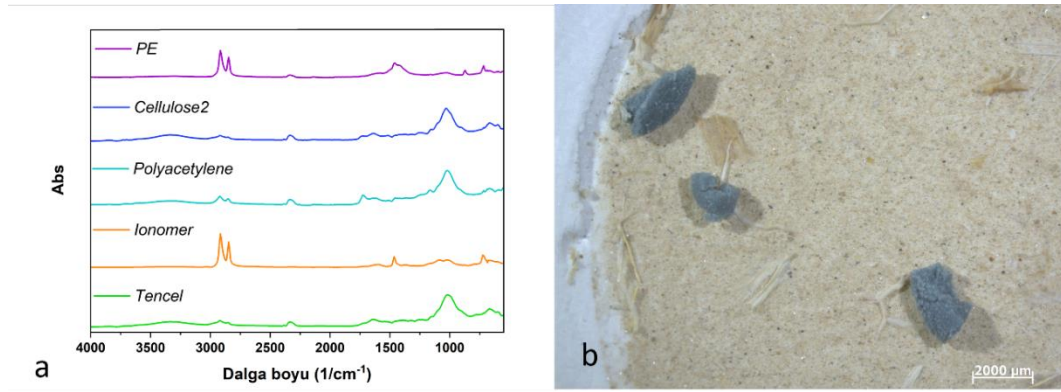
Tablo 1: Toprak numunelerindeki mikroplastiklere ait stereo mikroskop ve FTIR bulguları

	Sayı (Adet)	Boyut (Alt- Üst, μm)	Ortalama (μm) $\pm$ SS	Şekil	Renk	Polimer Türü	Benzerlik (%)
Toprak#1	15	57.0-4989	1330 $\pm$ 1351	Lif Granül	Siyah	D-PE D-Tencel D-Cellulose 2	93
					Mavi		77
					Kırmızı		79
					Pembe		
					Yeşil		
Toprak#2	21	88.1-1488	578 $\pm$ 378	Lif Parça	Beyaz	D-PE Ionomer1 D-Cellulose 2 D-Tencel	92
					Kahverengi		93
					Siyah		85
					Mavi		78
					Kırmızı		
Toprak#3	14	86.4-1324	450 $\pm$ 411	Lif Parça Granül	Pembe	D-Tencel D-Cellulose 2 D-Polyacetylene	80
					Yeşil		76
					Sarı		78
					Yeşil		
					Kahverengi		
Toprak#4	7	201-2352	1053 $\pm$ 893	Lif Granül	Siyah	D-Tencel	79
					Mavi		
					Şeffaf		
					Kahverengi		

Numunelerdeki MP türünün tanımlanması amacıyla yapılan ATR-FTIR analizi sonuçları Tablo 1’de sunulmuş olup numunelerde %76 ile %93 arasında değişen benzerlik (eşleşme) oranında Polietilen, Tencel, Cellulose2, Polyacetylene, Ionomer1 türü polimerik yapılara rastlanmıştır (Şekil 2-a). Tencel, tekstil sektöründe kullanılan botanik kökenli ve dayanıklı bir organik kumaş türüdür (Devrim, 2019; Nayak vd., 2023), Cellulose2 tekstil ürünlerinin ana kaynağı olarak kullanılmaktadır (Havstad, 2020). Organik bir polimer olan poliasetilen ince, gerilebilir film oluşturma özelliği nedeniyle iletkenliği indüklemeye özelliğinden dolayı elektronik cihazlarda esas olarak katkı maddesi olarak kullanılmış (Dagani, 1981), fakat, kaynağı kesin olarak tespit edilememiştir (Saha vd., 2021; Dagani, 1981). Çalışmada tespit edilen diğer MP türü olan iyonomerin kullanım alanları arasında ise gıda paketlenme, tıbbi cihaz ve ekipman imalatı, olta takımı, plastik borular, otomotiv ve elektrikli parçalar, ev eşyaları, mobilya, oyuncak, valiz, giyim ve spor ekipmanlarının yer aldığı daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Kumkar vd., 2021; Goswami vd., 2020; Karthik, vd. 2018; Tant vd., 2012; Zhang vd., 2018). Tablo 1’de sunulan polimerik tür bulguları çeşitliliği, MP-toprak literatürü ile kıyaslandığında sınırlı (PE sıralamasıyla 5 farklı tür) kalmaktadır. Toprak ortamında yapılan MP çalışmalarının derlendiği güncel bir yayında PE, PP, PS, PET ve PVC sıralamasıyla başlayan toplam 51 farklı türde polimerik yapının tanımlandığı bildirilmektedir (Dorau vd., 2023). Söz konusu farklılık başta örnekleme yapılırdığı yer olmak üzere pek çok faktörle ilişkilidir. Çalışmanın amacı doğrultusunda, geri kazanım deneylerinde kullanılacak numunenin mümkünse MP içermemesi, değilse girişim açısından minimum düzey ve çeşitlilikte içermesi gerekmektedir. Öte yandan, başta deneysel adımlar olmak üzere özellikle MP tanımlamasında kullanılan enstrümental cihazlar ve bu cihazların hassasiyeti önem arz etmektedir. Bu çalışmada kullanılan ATR-FTIR analizi esnasında filtredeki muhtemel MP parçacıklarının tanımlanması için pens kullanılmıştır. Pens ile ATR eklentisi altına yerleştirilme işleminde gözle görülebilen ve filtreden alınabilen parçacıkların fiziksel transferi önemlidir. Dolayısıyla pens, cımbız, pipet gibi araçlar kullanmak yerine filtre yapısında yer alan parçacıkların doğrudan incelenebileceği mikro-FTIR veya Raman gibi cihazların kullanımı önerilmektedir.



Şekil 1: Numunelere ait mikroskop görüntüleri: a) toprak, b) toz



Şekil 2: a) Tespit edilen polimer türlerinin FTIR sonuçları, b) geri kazanım için MP eklenen numune

Literatürdeki MP geri kazanım çalışmalarında sürecin etkinliğini belirleyebilmek adına sayı veya kütle bazında analit ekleme yaklaşımı izlenebilmektedir. Literatürden hareketle, toprak numunelerindeki MP analiz sürecinin etkinliğini değerlendirmek için sayı bazında PE parçacıkları eklenen numuneler hazırlanmıştır (Şekil 2-b). Geri kazanım deneylerine ait sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Sayıca 10 adet eklenerek yoğunluk ayırma ve organik uzaklaştırma basamaklarından geçen numunelerde PE türü mikroplastiklerin hepsi sayılarak %100 geri kazanım oranına ulaşılmıştır.

Sayı esaslı geri kazanım deneylerinde eklenen MP boyutundan hareketle görsel incelemede aranan hedef nettir. Literatürde, MP boyutundaki artışla orantılı olarak geri kazanım oranının da arttığı belirtilmektedir. Söz konusu artış, eklenen MP boyutu özelinde incelendiğinde >5 mm (makroplastik) ve 1-5 mm boyutundaki MP’lerin kullanıldığı geri kazanım çalışmalarında ortalama olarak sırasıyla %100 ve %84.8 oranı elde edilirken <1 mm MP’lerin kullanıldığı çalışmalarda bu oran %84.5 düzeyindedir (Way vd., 2022). Düşük yoğunluklu polimerlerden olan PE parçacıklarıyla toprak matrisinde yapılan geri kazanım çalışmaları incelendiğinde orta/yüksek yoğunluklu polimer gruplarına (PVC, PET vb.) kıyasla daha düşük geri kazanım verimine ulaşılmış (Scopetani vd., 2020), sayıca eklenen MP miktarına bağlı olarak geri kazanım veriminin arttığı gözlenmiştir. Literatürdeki geri kazanım verimlerine bakıldığında ulaşılan yüzdelere arasında sayı ve kütle bazında bir fark görülmektedir (Tablo 2). Deneysel açıdan ön işlem (eleme, yoğunluk ayırımı ve organik madde giderimi) basamaklarına ve MP boyutuna bağlı kayıplar önem arz etmektedir. Dolayısıyla, numune özelliklerine ve numunede var olan MP’lere ek olarak bütünsel bir şekilde uygulanan (yoğunluk ayırımı + organik giderimi) deney basamaklarının etkinliklerinin ayrı ayrı uygulanarak değerlendirilmesi önerilmektedir.

Tablo 2: PE türü mikroplastik özelinde toprak ve toz ortamındaki geri kazanım çalışmaları

Ortam	Metot Özeti	Polimer			Geri Kazanım		Kaynakça
		Türü	Şekil	Boyut (µm)	Ekleme	Oran (%)	
Toprak	NaCl ile yoğunluk ayırımı ve %30’luk H ₂ O ₂	PE	Parça	<1000	Sayı (10)	100	Bu çalışma
Toprak	Ultrasonikasyon	LDPE (PET, PBAT)	Film	<500	Kütle	93.9-99.9	Büks vd. (2021)
Toprak	Zeytin yağı ile ayırma	PE (PU, PS, PC, PVC, PET)	-	200-2000	Sayı (10)	89.1-95.9	Scopetani vd. (2020)
Toprak	NaCl, ZnCl ₂ ile yoğunluk ayırımı	LDPE (PMMA)	Parça	>2000	Sayı (3)	≈90-98	Corradini vd. (2019)
Toprak	H ₂ O ₂ , Fenton reaktifi, NaOH, KOH	PE (PET)	Boncuk	425-500 850-1000	Sayı (30)	85.6-97.8	Hurley vd. (2018)
Toprak	Yoğunluk ayırımı (NaCl) ve %30’luk H ₂ O ₂	PE (PP, PA, PET, PVC, PC, ABS, PMMA, PS)	-	1000-5000	Sayı (20)	100	Liu vd. (2018)
Hava (Toz)	NaCl ile yoğunluk ayırımı ve %30’luk H ₂ O ₂	PE	Parça	<1000	Kütle (0.5 mg)	70-80	Bu çalışma
Hava (Toz)	%30’luk H ₂ O ₂	PE (PS, PC, PET, PP, EPDM)	-	14-270 (d ₅₀)	Kütle (10 mg)	84.5	Song vd. (2023)
Hava (PM ₁₀)	%30’luk H ₂ O ₂ sonrası yoğunluk ayırımı	PE (PS)	Parça	-	Sayı (3)	94.4	Prata vd. (2020)

3.2. Tozda Mikroplastikler ve Geri Kazanım

Mikroplastiklerin boyutu küçüldükçe görsel inceleme ve devamındaki tanımlama sürecinde önemli zorluklar yaşanmaktadır. Görsel ve kimyasal analize hazırlanan toz numuneler öncelikle stereo mikroskop altında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen mikroskop görüntüleri Image J programı kullanılarak olası mikroplastiklerin sayısı ve boyutlandırması yapılmıştır. Numunelerdeki MP sayısı, boyut aralığı ve şekil dağılımı verileri Tablo 3’de sunulmuştur. Genel olarak lif ve parça şeklinde mikroplastikler gözlenmiştir. Morfolojik açıdan birinci numunede ortalama 1198 ± 830 μm uzunluğa sahip 10 adet, ikinci numunede ortalama 225 ± 251 μm uzunluğa sahip 17 adet, üçüncü numunede ortalama 336 ± 429 μm uzunluğa sahip 27 adet ve son numunede ise ortalama 386 ± 407 μm uzunluğa sahip 12 adet MP bulunmuştur. Tablo 1 ile kıyaslandığında, toz numunesinin içerdiği MP parçacıklarının toprak numunesindekilere kıyasla daha küçük boyutta olduğu görülmektedir. Ayrıca, Tablo 3’deki MP boyut aralıkları ve ortalama değerleri incelendiğinde, toprak numunesine benzer şekilde, 1-5 mm arasındaki numunelerde <1 mm boyutlu MP varlığı dikkat çekmekte olup benzer faktörlerin etkisinden söz etmek mümkündür. Sonuç olarak, stereo mikroskop incelemesi neticesinde toz (3 mg) numunelerinde 36.2 μm ile 2636 μm boyut aralığında 10 ile 27 arasında değişen sayıda ortalama 16.5 ± 7.59 adet MP (5500 ± 2531 adet/g) bulunduğu tahmin edilmektedir.

Tablo 3: Toz numunelerindeki mikroplastiklere ait stereo mikroskop ve FTIR bulguları

	Sayı (Adet)	Boyut (Alt- Üst, μm)	Ortalama (μm) $\pm$ SS	Şekil	Renk	Polimer Türü	Benzerlik (%)
Toz #1	10	318–2636	1198 ± 830	Lif	Mavi Kırmızı Sarı Yeşil Mor	D-Polyacetylene	75
Toz #2	17	36.2–1096	225 ± 51.2	Lif Granül Parça Film	Siyah Mavi Kırmızı Sarı	D-Tencel D-Polyacetylene	75 75
Toz #3	27	45.0–1772	336 ± 429	Lif Parça	Siyah Mavi Beyaz Kırmızı Pembe Şeffaf Mor Kahverengi	D-Polyacetylene	75
Toz #4	12	56.0–1196	386 ± 407	Lif Granül Parça	Siyah Mavi Kahverengi Beyaz Şeffaf	D-Polyacetylene	75

Mikroplastikler için yutak olarak değerlendirilen iç ortam tozunda >50 – 2500 μm (Dris vd., 2017), %45–63’ü 200–1000 μm mod boyut aralıklarında (Zhu vd., 2022) ve %32’si 500–1000 μm (Nematollahi vd., 2022) arasında değişen değerler ölçülmüştür. İç ortam kullanım alanı açısından oturma odasında ortalama 312 ± 430 μm , yurttan 670 ± 918 μm ve ofis ortamında 526 ± 628 μm aralıklarında MP tespit edilmiştir (Chen vd., 2022). İç ortam tozundaki ortalama mikroplastik sayılarının 10–635 mikroplastik/g (Nematollahi vd., 2022), 81–55830 MP/g (Abbasi vd., 2022) ve 62–3861 MP/g (Zhu vd., 2022) düzeyinde olduğu görülmektedir. MP liflerin 19000–67000 adet/g arasında değişen konsantrasyonlarda olduğu (Dris vd., 2017) ve yüzey alanına bağlı olarak MP konsantrasyonlarının 1.47×10^6 ila 21.4×10^6 MP/m² olduğu görülmektedir (Chen vd., 2022). İç ortam tozunda lif şeklindeki MP’leri inceleyen çalışmaların öne çıktığı, diğer MP şekillerinin analizine yönelik çalışmaların oldukça kısıtlı olduğu söylenebilir. Lif şeklindeki MP’ler dışında yoğun olarak parça ve film şeklindeki mikroplastikler iç ortam tozlarında belirlenmiştir (O’Brien vd., 2023).

Görsel analiz ile MP olarak tahmin edilen parçacıklar, ATR-FTIR analizi ile incelenmiştir. Numunelerdeki MP türünün tanımlanması amacıyla yapılan ATR-FTIR analizi sonuçları Tablo 3’de yer almakta olup numunelerde %75 eşleşme oranında Polyacetylene ve Tencel (lyocell) olmak üzere iki farklı polimer türü tespit edilmiştir (Şekil 2-a). Polimerlerin kullanım alanları göz önüne alındığında, fakülte/bölüm binası içindeki en büyük MP kaynaklarının tekstil ürünleri ve elektronik cihazlar olduğu sonucuna varılmaktadır. Literatürdeki iç ortam çalışmaları incelendiğinde tozdaki mikroplastiklerin polimerik yapı bakımından heterojen dağıldığı, iç mekanlarda polietilen tereftalat, polikarbonat polietilen, polipropilen, polistiren, naylon, suni ipek, selofan, poliüretan, poliakrilik nitril ve pliftalamid türü yapıların tespit edildiği belirtilmiştir (O’Brien vd., 2023). Farklı iç ortamlardan, okul (sınıf) ortamında polietilen ve polipropilen türü MP oteller, yurt ve konut gibi ortamlarda ise polyester tespit edilmiştir (Zhu vd., 2022). Çalışma bulguları (Tablo 3) ile kıyaslandığında polimerik çeşitlilik açısından sınırlı bir sonuç ile karşılaşılmıştır.

FTIR sonuçlarında sıkça karşılaşılan poliasetilen, güncel MP çalışmalarında önemli düzeyde tanımlanan (Gabriel vd., 2023), çeşitli elektronik cihazların üretiminde kullanılan iletken bir polimerdir (Dagani, 1981). Tencel ise özellikle giysilerde yaygın kullanılan ve literatürde de sıklıkla karşılaşılan biyobozunur polimer türlerinden birisidir (Nayak vd., 2023). Özellikle dış giyim ve spor malzemeleri başta olmak üzere yaygın şekilde kullanılmaktadır. Dolayısıyla, koridorlardan toplanan toz örneklerinde literatürle benzer polimerlere rastlanmaması, örnekleme ortamı ve analiz süreci ilişkilendirilebilir. Bina iç ortamının rutin olarak makinalarla temizlenmesi bulguları sınırlarken gündelik yaşamda yaygın olarak kullanılan veya literatür bulgularını destekleyici nitelikteki plastik malzemelerin (polimerik çeşitliliğin) varlığını göz ardı etmemekte, numuneden filtre yapısına alınan toz yapısındaki parçacıkların daha detaylı incelenebileceği mikro-FTIR veya Raman gibi hassasiyeti yüksek cihazların kullanımına dikkat çekmektedir.

Toz numunelerindeki MP geri kazanımını değerlendirmek için kütsel bazda PE parçacıkları eklenerek denemeler yapılmıştır. MP ekstraksiyon sürecinde kullanılan filtrelerin ilk/son tartım farklarından hareketle %70 ve %80 düzeyinde ortalama olarak ise %75 geri kazanım oranına ulaşılmıştır. Literatürde (Tablo 2), iç ortam tozuyla yapılan geri kazanım çalışmaları incelendiğinde karışım halindeki polimerlerin şahit ve matris esaslı numunelere kütle (10 mg) bazında eklendiği çalışmada yaklaşık %90 PE geri kazanımı (Song vd., 2023) ve sayı bazında PE (3 adet) parçacıklarının eklendiği bir başka çalışmada yaklaşık %95 (Prata vd., 2020) düzeyinde geri kazanım sağlanmıştır. DeneySEL süreç açısından numune yapısı, ön işlem (eleme, yoğunluk ayrımı organik madde giderimi vb.) basamakları ve mevcut/eklenen MP boyutuna bağlı etkilerin ayrı ayrı değerlendirilmesi önerilmektedir.

3.3. Geri Kazanım Verimine Etki Eden Faktörler

Mikroplastik varlığı, morfolojisi, dağılımı ve muhtemel kaynaklarının belirlenmesi hususundaki literatür çok hızlı bir şekilde ilerlerken, hedef matrislerden MP izolasyonuna yönelik analitik adımların etkinliğini belirlemek için başvuru geri kazanım çalışmalarına yeteri önem gösterilememiştir. Geri kazanım oranı, bir yöntemin mikroplastikleri belirli bir matristen izole etmede ne kadar etkili olduğunu bir göstergesi olup <%100 geri kazanım matristeki MP sayısının eksik tahmin edildiğini, >%100 geri kazanım ise fazla tahmin olasılığını göstermektedir (Shruti & Kutralam-Muniasamy, 2023). Detaylıca tasarlanan geri kazanım çalışması, uygulanan yöntemin tümünden veya aşamalarından kaynaklanabilecek sapmanın anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Nitekim Way vd. (2022) tarafından MP araştırmalarındaki geri kazanım çalışmaları üzerine yapılan meta analiz, kullanılan metoda göre değişmekle birlikte çevredeki mikroplastiklerin yaklaşık %14 oranında, olduğundan daha az tahmin edildiğini belirtmektedir. Her MP araştırmasına uyan tek bir yöntem bulunmamaktadır. Dolayısıyla, MP çalışmaları sertifikalı referans malzeme, standart çalışma talimatı veya yeterlilik testleri ile desteklenmeli, deneySEL geçerlilik için de geri kazanım gibi ek adımlar atılmalıdır. Bu bağlamda, MP analiz sürecinin doğrulanabilmesi için uygulanan geri kazanım çalışmasına etki faktörlerin irdelenmesi yerinde olacaktır. Söz konusu gereklilikler özelinde incelenen MP geri kazanım çalışmalarının (Way vd., 2022; Perez-Guevera vd., 2022; Cui vd., 2022; Dimante-Deimantovica vd., 2022; Xu vd., 2020b) ortak bulgu veya önerileri Şekil 3'de özetlenmiştir.



Şekil 3: MP geri kazanım çalışmalarında önem arz eden konu başlıkları

Mikroplastiklerin şekil (pelet, parça, lif, film, köpük vb.), renk ve genellikle 0.9-1.5 g/cm³ arasında değişen yoğunluğu, ayrıca FTIR, μ -FTIR, Raman gibi MP türü tayin yöntemlerinin hassasiyeti dikkate alındığında %100 geri kazanım oranının üzerinde veya altında elde edilen sonuçların yorumlanmasında belirsizlikler oluşacaktır. Geri kazanım oranları deney protokollerine, MP boyutuna ve polimer tipine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin MP boyutu azaldığında yoğunluk ayrımının etkinliği azalmaktadır.

Deneysel süreç açısından hava, biyofilm, bitki materyali gibi matrislerde >%95 geri kazanım oranına ulaşılabildiği, buna karşılık su, toprak ve atıksu/çamur gibi ortamlarda ise matristeki organik materyale bağlı olarak numunenin kompleks yapısından dolayı geri kazanım oranının <%80 olabildiği güncel verilerle ifade edilmektedir (Shruti & Kutralam-Muniasamy, 2023). Boşluk oranı yüksek (bağıl yoğunluğu %0-15) toprak numunelerindeki MP geri kazanımının (>100 µm parçacıklar için) toprak karbonu ile güçlü ($R^2=0.90$, $p < 0.001$) ancak negatif bir korelasyona sahip olduğu belirtilmiştir. Hesaplamalar, toprak karbon içeriğinin ≤%2 olması durumunda >%70 MP geri kazanımının sağlanabileceği, >%2 olması durumunda ise yoğunluk ayırma ve organik giderim (digestion, sindirim, özütleme) aşamalarına bağlı olarak nitel değerlendirmeyle sınırlı kalınacağı ifade edilmektedir (Forster vd., 2022).

Mikroplastikler için matris uyumlu referans malzeme henüz bulunmadığından yapılacak çalışmanın amaç ve kapsamına uygun nitelikte MP boyut aralığı (örneğin insanlar için biyoerişilebilir kabul edilen <150 µm ve daha çok çevresel ortamlarda irdelenen >150 µm - 1000 µm) belirlenerek en az iki farklı yoğunlukta (<1.0 g/cm³ ve >1.0 g/cm³) ve üç farklı şekle sahip (örn. parça-lif-pelet) MP içeren numuneler hazırlanmalıdır. Geri kazanım çalışmalarında ölçülmesi hedeflenen MP boyutu <100 µm ise kriyojenik öğütücü kullanılmalı, >100 µm ile <1000 µm aralığında ise kriyojenik şartların (sıvı azot, kuru buz, dondurma) uygulanması sonrası öğütme işlemi gerçekleştirilmelidir. Kriyojenik şartlar, polietilen ve polipropilen gibi camsı geçiş sıcaklığı (T_g) negatif olan polimerlerin boyutunun küçültülmesi için özellikle önemli ve gereklidir (Kefer vd., 2021; Tewari vd., 2022). Çevresel araştırmalarda <100 µm, özellikle de <10 µm boyutlu parçacıkların hesaba katılmaması, numunedeki MP miktarının sayısal olarak olduğundan daha az tahmin edilmesine neden olacağından antropojenik etkiden uzak ortamlardaki atmosferik çökeltme (örn. toz) etkisini belirlemeyi amaçlayan araştırmalardaki veriler, insan sağlığı ve uzun mesafeli atmosferik taşınım açısından dikkat edilmesi gereken bir husustur (Hagelskjær vd., 2023). Numuneden MP izolasyonu sürecinde örnekleme ortamı, ortama eklenecek polimerik malzemenin boyanabilmesi (Shruti vd., 2022) ve matrisin organik madde içeriği incelenerek deneysel basamaklar ayrı ayrı uygulanmalıdır. Örneğin, organik içeriği yüksek matrislerden partikül madde/aerosol eşdeğeri boyutlu MP'lerin geri kazanılması fazlar arası transfer (katıdan sıvıya) nedeniyle son derece zordur (Hagelskjær vd., 2023). Öte yandan, MP analizlerinin özünü oluşturan görsel ve tanısal filtre incelemesi sürecinde incelenen filtre alanı da dikkate alınmalı ve nicel olarak belirtilmelidir.

Mikroplastik araştırmalarına yönelik literatürün henüz kavramsal ve metodolojik olarak olgunlaşmadığı değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, MP analizlerindeki geri kazanım verimliliğinin değerlendirildiği bu çalışma, yukarıda ifade edilen sınırlılıkların (kontrol dışında gerçekleşen durum) veya sınırlamaların (kontrol edilebilir durum) bir kısmını barındırmaktadır. Çalışmanın amaç, kapsam ve hedefi bağlamında ifade edilebilecek sınırlılıklardan en önemlisi geri kazanım deneylerinde kullanılan toprak ve toz numunelerindeki MP partiküllerinin tayini hususudur. µ-FTIR veya Raman gibi cihazlarla sırasıyla 20 µm ve 1 µm mertebesine kadar MP partiküllerinin tayini (Perez-Guevera vd., 2022) mümkün iken geri kazanım deneylerinde hedeflenen MP boyutu (<1000 µm) nedeniyle ATR-FTIR cihazıyla ulaşılan bulgular, boyut açısından sınırlı sonuç vermiştir. Dolayısıyla, MP alanında tasarlanacak geri kazanım çalışmalarının genel olarak uygulanabilir nitelikte olması için araştırmanın niteliği, hedef MP morfolojisi ve deneysel süreç hakkında kapsamlı bir ön çalışma yapılması gerekmektedir.

4. Sonuçlar

Çevresel ortamlara yönelik mikroplastik (MP) çalışmaları çok hızlı artış göstermekte, ancak, özellikle analizlerdeki kalite güvencesi başlığı araştırmaya açık bir alan olarak varlığını hissettirmektedir. Söz konusu eksiklik bağlamında literatüre katkı sunmayı amaçlayan bu çalışma kapsamında, bazı sınırlılıklar dahilinde, hava (toz) ve toprak ortamındaki MP analizlerine yönelik metod geçerliliği incelenmiştir. Analit ekleme yaklaşımıyla gerçekleştirilen geri kazanım deneylerinde belirli boyut (<1000 µm), şekil (pelet) ve renge (yeşil) sahip olan polietilen (PE) türü mikroplastik sayı veya kütle bazında numunelere eklenerek verimlilik hesabı yapılmıştır. Araştırmalarda izlenen MP metodolojilerinin uygulanabilirliğini ve tekrarlanabilirliğini ölçmek adına önemli bir araç olan geri kazanım deneylerine ait bulgular, ilgili literatür ile uyumlu sonuçlanmıştır. Ancak, çalışmada kullanılan MP boyutunun geri kazanım verimi açısından öncelikli bir faktör olduğu görülmüştür. Numune yapısına göre değişmekle birlikte deneysel ön hazırlık ve enstrümental analiz süreçlerini ve dahi bulguları olumsuz etkileme potansiyeli barındıran bu faktör için çalışma amacına uygun hedef ve yöntemlerin en baştan irdelenmesi gerekmektedir. Ayrıca, geri kazanım deney tasarımı MP bulgularının (örn. adet MP/kg veya µg MP/m³) sunulma biçiminin (sayı veya kütle) dikkate alınması önemlidir. Elde edilen veriler ve ilgili literatür ışığında, geri kazanım çalışmalarının tasarımı büyük boyuttan (>1 mm) küçük boyuta (<1 mm) ilerleyen matris esaslı MP boyutu planlanması, deneysel basamakların ayrı ayrı ele alınması, matristen filtreye aktarılan MP'lerin incelenmesi sürecinde filtre alanının belirlenmesi ve subjektif nitelikteki görsel (mikroskop) incelemenin µ-FTIR/Raman gibi düşük tayin boyutlarında kimyasal karakterizasyon sağlayan analizlerle gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Metodolojik açıdan çevresel matrisler için standart çalışma talimatı veya kurumsal standartların (ISO, ASTM, TSE) henüz netleşmediği veya oluşturulmadığı MP analiz süreçlerinde, literatürdeki yeni bulgularla yakın gelecekte önemli değişiklikler yaşanabileceği değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 121Y142 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Abbasi, S., Rezaei, M., Ahmadi, F., & Turner, A. (2022). Atmospheric transport of microplastics during a dust storm. *Chemosphere*, 292, Article 133456. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133456>
- Amato-Lourenço, L. F., dos Santos Galvão, L., de Weger, L. A., Hiemstra, P. S., Vijver, M. G., & Mauad, T. (2020). An emerging class of air pollutants: Potential effects of microplastics to respiratory human health? *Science of the Total Environment*, 749, Article 141676. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141676>
- Bao, R., Fu, D., Fan, Z., Peng, X., & Peng, L. (2022). Aging of microplastics and their role as vector for copper in aqueous solution. *Gondwana Research*, 108, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.12.002>
- Bhat, M.A. (2023a). *Identification and characterization of microplastics in indoor environment* [Doktora tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Bhat, M. A., Eraslan F. N., Gaga E. O., & Gedik, K. (2023b). Scientometric analysis of microplastics across the globe. In M. Vithanage & M. N. V. Prasad (Eds.), *Microplastics in the Ecosphere: Air, Water, Soil, and Food* (pp. 1-13), John Wiley & Sons Ltd.
- Bhat, M. A., Eraslan F. N., Gedik K., & Gaga, E. O. (2022a). Impact of textile product emissions: toxicological considerations in assessing indoor air quality and human health. In J. A. Malik & S. Marathe (Eds.), *Ecological and Health Effects of Building Materials* (pp. 505-541), Springer Nature.
- Bhat, M. A., Gedik K., & Gaga E. O., (2022b). Environmental toxicity of emerging micro and nanoplastics: a lesson learned from nanomaterials. In A. H. Dar & G. A. Nayik (Eds.), *Nanotechnology Interventions in Food Packaging and Shelf Life* (pp. 311-338), Taylor & Francis (CRC Press).
- Bhat, M. A., Gedik, K., & Gaga, E. O. (2022). Atmospheric micro (nano) plastics: future growing concerns for human health. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 16(2), 233–262. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01272-2>
- Büks, F., Kayser, G., Zieger, A., Lang, F., & Kaupenjohann, M. (2021). Particles under stress: ultrasonication causes size and recovery rate artifacts with soil-derived POM but not with microplastics. *Biogeosciences*, 18(1), 159–167. <https://doi.org/10.5194/bg-18-159-2021>
- Chang, X., Xue, Y., Li, J., Zou, L., & Tang, M. (2019). Potential health impact of environmental micro- and nanoplastics pollution. *Journal of Applied Toxicology*, 40(1), 4–15. <https://doi.org/10.1002/jat.3915>
- Chen, Y., Li, X., Zhang, X., Zhang, Y., Gao, W., Wang, R., & He, D. (2022). Air conditioner filters become sinks and sources of indoor microplastics fibers. *Environmental Pollution*, 292, Article 118465. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118465>
- Corradini, F., Meza, P., Eguiluz, R., Casado, F., Huerta-Lwanga, E., & Geissen, V. (2019). Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Science of the Total Environment*, 671, 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.368>
- Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). *Microplastic Pollutants* (1st ed.). Elsevier.
- Cui, T., Shi, W., Wang, H., & Lihui, A. (2022). Standardizing microplastics used for establishing recovery efficiency when assessing microplastics in environmental samples. *Science of the Total Environment*, 827, Article 154323. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154323>
- Dagani, R. (1981). Organic battery uses polyacetylene electrodes. *Chemical and Engineering News*, 59, 39–40.
- Devrim, G. (2019). *Farklı liflerden üretilmiş kumaşların kullanım ve biyobozunurluk performansının incelenmesi*, [Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Dimante-Deimantovica, I., Suhareva, N., Barone, M., Putna-Nimane, I., & Aigars, J. (2022). Hide-and-seek: Threshold values and contribution towards better understanding of recovery rate in microplastic research. *MethodsX*, 9, Article 101603. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101603>
- Dorau, K., Hoppe, M., Rückamp, D., Köser, J., Scheeder, G., Scholz, K., & Fries, E. (2023). Status quo of operation procedures for soil sampling to analyze microplastics. *Microplastics and Nanoplastics*, 3(1), Article 15. <https://doi.org/10.1186/s43591-023-00063-5>
- Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2017). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, 221, 453–458. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013>
- Ebrahimi, P., Abbasi, S., Pashaei, R., Bogusz, A., & Oleszczuk, P. (2022). Investigating impact of physicochemical properties of microplastics on human health: A short bibliometric analysis and review. *Chemosphere*, 289, Article 133146. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133146>
- Forster, N. A., Wilson, S. C., & Tighe, M. K. (2022). Examining sampling protocols for microplastics on recreational trails. *Science of the Total Environment*, 818, Article 151813. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151813>
- Gabriel, A. D., Amparado, R. F., Lubguban, A. A., & Bacosa, H. P. (2023). Riverine Microplastic Pollution: Insights from Cagayan de Oro River, Philippines. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(12), Article 6132. <https://doi.org/10.3390/ijerph20126132>
- Goswami, P., Vinithkumar, N. V., & Dharani, G. (2020). First evidence of microplastics bioaccumulation by marine organisms in the Port Blair Bay, Andaman Islands. *Marine Pollution Bulletin*, 155, Article 111163. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111163>
- Hagelskjær, O., Le Roux, G., Liu, R., Dubreuil, B., Behra, P., & Sonke, J. (2023). The recovery of aerosol-sized microplastics in highly refractory vegetal matrices for identification by automated Raman microspectroscopy. *Chemosphere*, 328, Article 138487. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138487>

- Havstad, M. R. (2020). Biodegradable plastics. In T.M. Letcher (Ed.), *Plastic Waste and Recycling* (pp. 97-129), Academic Press.
- Hurley, R. R., Lusher, A. L., Olsen, M., & Nizzetto, L. (2018). Validation of a Method for Extracting Microplastics from Complex, Organic-Rich, Environmental Matrices. *Environmental Science & Technology*, 52(13), 7409–7417. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01517>
- International Standard Organization. (2020). *Plastics - Environmental Aspects - State of knowledge and methodologies* (ISO/TR 21960:2020). International Standard Organization (ISO). <https://www.iso.org/standard/72300.html>
- International Standard Organization. (2023). *Principles for the analysis of microplastics present in the environment* (ISO 24187:2023). International Standard Organization (ISO). <https://www.iso.org/standard/78033.html>
- Jacques, O., & Prosser, R. (2021). A probabilistic risk assessment of microplastics in soil ecosystems. *Science of the Total Environment*, 757, Article 143987. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143987>
- Karthik, R., Robin, R., Purvaja, R., Ganguly, D., Anandavelu, I., Raghuraman, R., Hariharan, G., Ramakrishna, A., & Ramesh, R. (2018). Microplastics along the beaches of southeast coast of India. *Science of the Total Environment*, 645, 1388–1399. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.242>
- Kefer, S., Miesbauer, O., & Langowski, H. C. (2021). Environmental microplastic particles vs. engineered plastic microparticles—a comparative review. *Polymers*, 13(17), Article 2881. <https://doi.org/10.3390/polym13172881>
- Kelly, F. J., & Fussell, J. C. (2020). Toxicity of airborne particles—established evidence, knowledge gaps and emerging areas of importance. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378(2183), Article 20190322. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0322>
- Kershaw, P., Turra, A., & Galgani, F. (2019). *Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean*. United Nations Environment Programme (UNEP). <http://www.gesamp.org/site/assets/files/2002/rs99e.pdf>
- Kumkar, P., Gosavi, S. M., Verma, C. R., Pise, M., & Kalous, L. (2021). Big eyes can't see microplastics: Feeding selectivity and eco-morphological adaptations in oral cavity affect microplastic uptake in mud-dwelling amphibious mudskipper fish. *Science of The Total Environment*, 786, Article 147445. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147445>
- Liu, M., Lu, S., Song, Y., Lei, L., Hu, J., Lv, W., Zhou, W., Cao, C., Shi, H., Yang, X., & He, D. (2018). Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 242, 855–862. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.051>
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments* (NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48). NOAA Marine Debris Division.
- Nayak, R., Jajpura, L., & Khandual, A. (2023). Traditional fibres for fashion and textiles: Associated problems and future sustainable fibres. In R. Nayak (Ed.), *Sustainable Fibres for Fashion and Textile Manufacturing* (pp. 3-25), Woodhead Publishing.
- Nematollahi, M. J., Zarei, F., Keshavarzi, B., Zarei, M., Moore, F., Busquets, R., & Kelly, F. J. (2022). Microplastic occurrence in settled indoor dust in schools. *Science of the Total Environment*, 807, Article 150984. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150984>
- O'Brien, S., Rauert, C., Ribeiro, F., Okoffo, E. D., Burrows, S. D., O'Brien, J. W., Wang, X., Wright, S. L., & Thomas, K. V. (2023). There's something in the air: A review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere. *Science of the Total Environment*, 874, Article 162193. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162193>
- Pérez-Guevara, F., Roy, P. D., Kuttralam-Muniasamy, G., & Shruti, V. (2022). Coverage of microplastic data underreporting and progress toward standardization. *Science of the Total Environment*, 829, Article 154727. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154727>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.029>
- Prata, J. C., Castro, J. L., da Costa, J. P., Duarte, A. C., Cerqueira, M., & Rocha-Santos, T. (2020). An easy method for processing and identification of natural and synthetic microfibers and microplastics in indoor and outdoor air. *MethodsX*, 7, Article 100762. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.11.032>
- Prume, J. A., Gorka, F., & Löder, M. G. (2021). From sieve to microscope: An efficient technique for sample transfer in the process of microplastics' quantification. *MethodsX*, 8, Article 101341. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101341>
- Saha, M., Naik, A., Desai, A., Nanajkar, M., Rathore, C., Kumar, M., & Gupta, P. (2021). Microplastics in seafood as an emerging threat to marine environment: a case study in Goa, west coast of India. *Chemosphere*, 270, Article 129359. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129359>
- Scopetani, C., Chelazzi, D., Mikola, J., Leiniö, V., Heikkinen, R., Cincinelli, A., & Pellinen, J. (2020). Olive oil-based method for the extraction, quantification and identification of microplastics in soil and compost samples. *Science of the Total Environment*, 733, Article 139338. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139338>
- Seghers, J., Stefaniak, E. A., La Spina, R., Cella, C., Mehn, D., Gilliland, D., Held, A., Jacobsson, U., & Emteborg, H. (2021). Preparation of a reference material for microplastics in water—evaluation of homogeneity. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 414(1), 385–397. <https://doi.org/10.1007/s00216-021-03198-7>
- Shruti, V., & Kuttralam-Muniasamy, G. (2023). Blanks and bias in microplastic research: Implications for future quality assurance. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 38, Article e00203. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2023.e00203>
- Shruti, V., Pérez-Guevara, F., Roy, P. D., & Kuttralam-Muniasamy, G. (2022). Analyzing microplastics with Nile Red: Emerging trends, challenges, and prospects. *Journal of Hazardous Materials*, 423, Article 127171. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127171>
- Song, S., Cai, L., Liu, Y., Peng, Z., Liu, C., Jiao, H., Li, P., Liu, Q., Yu, M., Zhou, T., Zhang, Q., Hollert, H., Zhao, X., & Jiang, G. (2023). Development of a solubility parameter calculation-based method as a complementary tool to traditional techniques for indoor dust microplastic determination and risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 459, Article 132189. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132189>
- Tant, M. R., Mauritz, K. A., & Wilkes, G. L. (2012). *Ionomers: synthesis, structure, properties and applications*. Springer Science & Business Media.

- Tewari, A., Almuhtaram, H., McKie, M. J., & Andrews, R. C. (2022). Microplastics for use in environmental research. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(10), 4320–4332. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02519-w>
- Thomas, D., Schütze, B., Heinze, W. M., & Steinmetz, Z. (2020). Sample preparation techniques for the analysis of microplastics in soil—a review. *Sustainability*, 12(21), Article 9074. <https://doi.org/10.3390/su12219074>
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, 304(5672), 838–838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- Way, C., Hudson, M. D., Williams, I. D., & Langley, G. J. (2022). Evidence of underestimation in microplastic research: A meta-analysis of recovery rate studies. *Science of the Total Environment*, 805, Article 150227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150227>
- Wendt-Pothoff, K., Avellán, T., van Emmerik, T., Hamester, M., Kirschke, S., Kitover, D., & Schmidt, C. (2020). *Monitoring plastics in rivers and lakes: Guidelines for the harmonization of methodologies*. United Nations Environment Programme. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35405/MPRL.pdf>
- Wright, S. L., Guin, T., Koelmans, A. A., & Scheuermann, L. (2021). Development of screening criteria for microplastic particles in air and atmospheric deposition: critical review and applicability towards assessing human exposure. *Microplastics and Nanoplastics*, 1(1), Article 6. <https://doi.org/10.1186/s43591-021-00006-y>
- Xu, B., Liu, F., Cryder, Z., Huang, D., Lu, Z., He, Y., Wang, H., Lu, Z., Brookes, P. C., Tang, C., Gan, J., & Xu, J. (2020a). Microplastics in the soil environment: Occurrence, risks, interactions and fate – A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(21), 2175–2222. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1694822>
- Xu, C., Zhang, B., Gu, C., Shen, C., Yin, S., Aamir, M., & Li, F. (2020b). Are we underestimating the sources of microplastic pollution in terrestrial environment? *Journal of Hazardous Materials*, 400, Article 123228. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123228>
- Ya-di, Z., Tian-jie, S., Yan-hua, W., & Rui-yuan, W. (2022). Review and future trends of soil microplastics research: visual analysis based on Citespace. *Environmental Sciences Europe*, 34(1), Article 122. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00703-2>
- Yang, H., Yumeng, Y., Yu, Y., Yinglin, H., Fu, B., & Wang, J. (2022). Distribution, sources, migration, influence and analytical methods of microplastics in soil ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 243, Article 114009. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114009>
- You, X., Wang, S., Li, G., Du, L., & Dong, X. (2022). Microplastics in the soil: A review of distribution, anthropogenic impact, and interaction with soil microorganisms based on meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 832, Article 154975. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154975>
- Zhang, L., Brostowitz, N. R., Cavicchi, K. A., & Weiss, R. A. (2018). Perspective: Ionomer Research and Applications. *Macromolecular Reaction Engineering*, 8(2), 81–99. <https://doi.org/10.1002/mren.201300181>
- Zhang, Z., Zhao, S., Chen, L., Duan, C., Zhang, X., & Fang, L. (2022). A review of microplastics in soil: Occurrence, analytical methods, combined contamination and risks. *Environmental Pollution*, 306, Article 119374. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119374>
- Zhu, J., Zhang, X., Liao, K., Wu, P., & Jin, H. (2022). Microplastics in dust from different indoor environments. *Science of the Total Environment*, 833, Article 155256. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155256>

Su ve Kanalizasyon İdareleri için Mevcut Durum Analizi ile Uygun Performans Göstergelerinin Web Tabanlı Hesaplama Aracı ile Değerlendirilmesi

Cansu Bozkurt^{1*}, Mahmut Fırat², Abdullah Ateş³

¹Ardahan Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 75002, Ardahan.

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44210, Malatya.

³İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 44210, Malatya.

Özet

Su idareleri, su kayıplarını yönetmek ve su hizmetlerini kesintisiz bir şekilde sürdürebilmek için gelir getirmeyen su performansını düzenli izlemeli ve kontrol altına almalıdır. Etkin ve sürdürülebilir su kayıp yönetimi, içme suyu dağıtım sistemlerinde su, enerji ve finansal verimliliğin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada geliştirilen web tabanlı yazılım aracılığıyla su kayıp yönetimi bileşenlerinin değerlendirilmesi, gerçekçi bir yaklaşım ile mevcut durum analiz edilmesi ve idarelerin zayıf ve güçlü yönleri ile karşılaşılabilecekleri potansiyel riskler tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda çalışmada öncelikle idarenin personel, teknik, ekipman ve finansal açıdan yeterliliğini ifade eden mevcut durum bileşenleri çalışma kapsamında 0'dan 5'e kadar geliştirilen 6 kademeli özgün puanlandırma matrisi ile analiz edilmekte, güvenilir ve kaliteli olan veriler elde edilmekte ve sonrasında ölçülebilir, uygulanabilir ve karşılaştırılabilir olan performans göstergelerinin analizi sistematik bir biçimde yapılacak şekilde üç modül birbiri ile entegre bir biçimde dinamik olarak çalışmaktadır. Böylece iyileştirilmesi gereken öncelikli alanlar tespit edilerek kısa-orta ve uzun vadeli gerçekçi ve ulaşılabilir hedefler tanımlanmakta, geliştirilen modüller ile idarelerin boşluk analizine fırsat tanınmaktadır. Su kayıp oranının azaltılması ve kontrol altına alınması ve sistem performansının iyileştirilmesi için, idarelerin mevcut durumu ve hedefleri göz önüne alınarak en uygun göstergeler ve süreç belirlenmektedir. Geliştirilen su kayıp yönetimi aracı sahayı temsil etmekte ve ekonomik bileşenleri de göz önünde bulundurarak bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Aynı zamanda bu araç işlemlerin hızlı ve sistematik bir şekilde yapılmasına olanak tanımakta ve su kaybı azaltma faaliyetlerinde verimli analizler yapılmasını sağlamaktadır.

Anahtar Sözcükler

Su Kayıp Yönetimi, Mevcut Durum Analizi, Performans Değerlendirme, Hesaplama Aracı

Current Situation Analysis and Evaluation of Appropriate Performance Indicators with Web Based Calculation Tool for Water and Sewerage Administrations

Abstract

Water utilities should regularly monitor and control non-revenue water performance to manage water losses and maintain uninterrupted water services. Effective and sustainable water loss management is crucial for ensuring water, energy and financial efficiency in drinking water distribution systems. In this study, it is aimed to evaluate the water loss management components, analyze the current situation with a realistic approach, and identify the weaknesses and strengths of the administrations and the potential risks they may encounter through the web-based software developed in this study. In this context, in the study, firstly, the current situation components, which express the competence of the administration in terms of personnel, technique, equipment and financials, are analyzed with the 6-stage original scoring matrix developed from 0 to 5 within the scope of the study, reliable and quality data are obtained, and then the three modules work dynamically in an integrated way with each other so that the analysis of measurable, applicable and comparable performance indicators is done systematically. Thus, priority areas that need improvement are identified, short-medium and long-term realistic and achievable targets are defined, and the gap analysis of the administrations is provided with the developed modules. In order to reduce and control the water loss rate and to improve the system performance, the most appropriate indicators and processes are determined by considering the current situation and targets of the administrations. The developed water loss management tool represents the field and provides a holistic approach, taking into account the economic components. At the same time, this tool allows for processes to be carried out quickly and systematically, and provides efficient analysis in water loss reduction activities.

Keywords

Water Loss Management, Current Condition Assessment, Performance Evaluation, Calculation Tool

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (478) 2117575 Faks: +90 (478) 2117509

E-posta: cansubozkurt@ardahan.edu.tr (Bozkurt C), mahmut.firat@inonu.edu.tr (Fırat M),
abdullah.ates@inonu.edu.tr (Ateş A)

Gönderim Tarihi / Received : 03/06/2023

Kabul Tarihi / Accepted : 15/09/2023

1. Giriş

Artan nüfus, hızlı kentleşme sebebiyle su talebinin artması ve azalan su kaynakları nedeniyle mevcut kaynaklarının optimum kullanımını sağlamak için kaçınılmaz hale gelmiştir (De Paola vd., 2014). Su dağıtım şebekeleri hidrolik ve çevresel yüklerin etkisiyle çeşitli streslere maruz kalmakta ve kayıplar oluşmaktadır. Bu kayıplar borular, servis bağlantıları ve depolarda oluşan sızıntıları içeren fiziki kayıplar ve abone ölçüm hataları ve kaçak kullanımdan kaynaklanan idari kayıplardan oluşmaktadır (Lambert A.O., 2002; Pearson, 2019; Tsitsifli vd., 2017). Gelir getirmeyen su (GGS), dağıtım sistemine verilen fakat şebeke içinde kaybolan ve ücreti alınamayan su olarak tanımlanmaktadır (Al-omari, 2013; Mukherjee vd., 2015; Zaini vd., 2017). GGS; idareler için ticari kayıp, su temini kapasitesinin artırılmasında yıllık maliyet ve üretim kapasitesinin talebi karşılayamaması gibi sorunları oluşturmaktadır (Arregui vd., 2018; Wyatt, 2010). Su kayıpları su temin sisteminin teknik durumunu, işletme maliyetlerini, şebeke ömrünü, su kalitesini ve su hizmetlerini doğrudan etkilemektedir (Dighade vd., 2014; Okeola & Sule, 2012; Wyatt, 2010). Ayrıca sızıntıların su kaynaklarını kirlmesi ve su güvenliği tehlikesine neden olması da muhtemeldir (Hu vd., 2021). Su idarelerinin su kayıp yönetimi kapsamında temel amacı yeterli miktarda ve uygun kalitedeki suyu, uygun basınçla zamanında tüketicilere ulaştırmaktır. Su idarelerinin kayıpları kabul edilebilir ekonomik düzeye indirerek dağıtım sisteminin performansını artırmak ve sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla hedefleri doğrultusunda stratejilere ihtiyaç duymaktadır (Chimene, 2013; Gunawan vd., 2017).

Sürdürülebilir su temini için sistem performansının verimlilik ve üretkenlik açısından değerlendirilmesi, sistemlerin kıyaslanması ve ekonomik etkileri ile ilgili sektördeki araştırmalar önem kazanmıştır (Cetrulo vd., 2019). Maziotis vd. (2023), su idarelerinde kayıplar için sağlam çözümler geliştirebilmenin idarelerin dinamik performanslarının kıyaslanması ve güvenilir yöntemler uygulayabilmenin veri kalitesine bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmada Şili'deki bir su idaresinin eko-verimlilik değişimini değerlendirebilmek için stokastik sınır analizi ve veri zarflama yöntemi uygulanmış ve idarenin hizmet kalitesi ve değişkenlerin su idaresinin dinamik eko-verimliliği üzerindeki etkilerinin analizi yapılmıştır. Tourinho vd. (2022), suyun kullanılabilirliği ve sürdürülebilir yönetimi için çalışmalarında Brezilya'daki su temini ve sanitasyonu hizmetlerinin performansını verimlilik ve ulaşılabilirlik açısından değerlendirebilmek için kıyaslamalı bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu amaçla yerel, bölgesel ve özel olmak üzere tüm su hizmetleri kuruluşlarının yönetim modellerinin verimlilik düzeyleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada geliştirilen kıyaslama aracı su temini ve sanitasyon hizmetlerinin performansını entegre bir maliyet verimliliği ve ulaşılabilirlik açısından değerlendirme özellikleri bakımından su hizmetleri uygulayıcıları, denetleyiciler ve araştırmacılar için fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Sala-Garrido vd. (2023), abonelere uygun ücretlendirme yapılabilmesi, su ve sanitasyon hizmet kalitesinin iyileştirilmesi, su hizmetleri arasında adil rekabetlerin oluşturulmasının sağlanması gibi sebeplerle su hizmetlerinin performanslarını kıyaslayabilmek için çeşitli yaklaşımlar uygulamışlardır. Bu çalışmada su denetleyicileri için en uygun karşılaştırma tekniğinin seçilmesi için literatürde yaygın olarak kullanılan veri zarflama yöntemi ile ortak ağırlık seti yöntemleri entegre 23 su idaresine uygulanmış ve kıyaslanma yapılmıştır. Mbuvi vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, Afrika'da bulunan kentsel su idaresinin performansını değerlendirmek için iki aşamadan oluşan bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışmanın ilk aşamasında su idarelerinin teknik verimliliği tahmin edilmekte ve ikinci aşamasında idarelerin içme suyu hizmetleri kapsamında mevcut abone taleplerini karşılamadaki etkinliği incelenmektedir. Çalışma su idarelerinde uygulanan yöntemlerin verimliliğinin artırılması ile idarenin etkinliğinin de artacağını ve bunu yapmak için de en iyi uygulamaların tespit edilmesinin gerektiğini göstermiştir. Loureiro vd. (2023), yaşlanan altyapı, sistemde meydana gelen su kayıpları, pompalama enerji verimsizlikleri gibi birçok etkenin sulama sistemlerinin hizmet kalitesini düşürdüğünü dile getirmiştir. Sistemde su ve enerji verimliliği ve sistem performansını değerlendirebilmek amacıyla su kayıpları, enerji verimliliği, altyapı durumu, hizmet kalitesi, ekonomik ve yapısal boyutlar arasında karşılaştırmalara olanak tanıyan kapsamlı bir çerçeve önerilmiştir. Bu çerçeve sistemleri tanıma ve analiz etme, karar verme ve farklı boyutlar doğrultusunda sistemleri kıyaslayabilme modüllerini içermektedir. Berg (2020) tarafından yapılan çalışmada, gelişmekte olan ülkelerdeki su idarelerinin uygulamalarını performans göstergeleri ile değerlendirmek, mevcut performansı geliştirmek ve idari eğilimleri artırmak hedeflenmiştir. Bu amaçla idarelerde mevcut performansın ve gerçekçi hedeflerin belirlenmesinde veri analizinin önemi vurgulanmış. Doğru, güvenilir ve performansla ilgili olan verileri sağlayan bilgi sistemleri geliştirilmiştir. Çalışmada su idarelerinin bütçelerini kontrol altına alma, hizmet kalitesini iyileştirme ve uzun vadede su temini çalışmalarını teşvik etmeye yönelik uygulamaların önemi vurgulanmıştır. Su dağıtım şebekelerinin performansının değerlendirilmesi abone talebini karşılamak ve su temininin sürdürülebilirliğini sağlamak için oldukça önemlidir. Literatürde performans ölçümü ve verimlilik analizi için yaygın olarak veri zarflama yönteminin uygulandığı görülmektedir. Parametrik olmayan bu yöntemin karar noktalarının performansının ölçülmesinde başarı sağlamanın yanı sıra ölçüm hataları ve değişken seçiminde çok duyarlı olması, karar biriminin girdi ve çıktıların farklı boyutlarda olması gibi durumlarda etkinlik puanları gerçeği yansıtmadan uzaklaşmaktadır (Sala-Garrido vd., 2023; Sari, 2015).

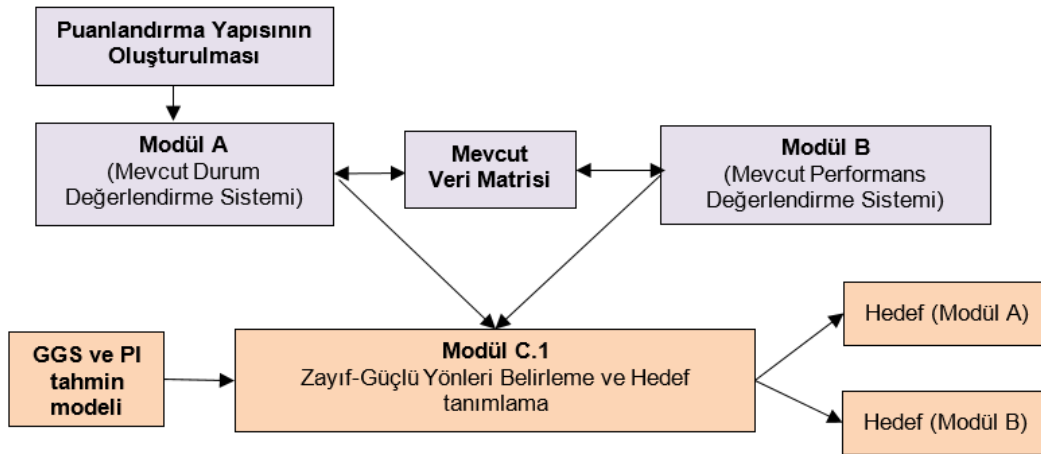
Su dağıtım sistemlerini korumak ve performans düzeylerini anlamak amacıyla çeşitli göstergelerin ölçülmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında su idarelerinde "idare yönetim, temel veri ölçüm, bilgi yönetim sistemleri veri tabanları, su dengesi yönetimi, idari kayıp yönetimi, fiziki kayıp yönetimi, su kayıp süreç ve performans izleme ve ekonomik analiz" bileşenlerinin uygulama düzeylerinin belirlenmesi amacıyla bir puanlandırma modülü oluşturulmuştur.

Bu modül aracılığıyla elde edilen puanlar doğrultusunda sistemde ölçülebilir, ulaşılabilir ve güvenilir veriler elde edilmiş ve sonrasında bu veriler kullanılarak uygulanabilir ve karşılaştırılabilir olan performans göstergelerinin sistematik biçimde hesaplanmasına olanak tanıyan web tabanlı hesaplama aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen hesaplama aracının her idare için mevcut durum analizi yaparak o idarenin karşılaştığı zorluk ve kısıtlarını göz önünde bulundurup, idarenin zayıf ve güçlü yönleri doğrultusunda karşılaşılabileceği potansiyel riskleri önceden tespit etmesi ve zayıf yönlerin iyileştirilmesine yönelik performans göstergelerinin sistematik bir biçimde hesaplanmasına olanak tanınması nedeniyle su idareleri, belediyeler ve araştırmacılar için katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Su Kayıp Yönetimi Modelinin Oluşturulması ve Web Tabanlı Hesaplama Aracının Geliştirilmesi

Ülkemizde 2014 yılında İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinin yayınlanması ve su kayıp oranları ile ilgili hedeflerin belirlenmesi, 2021 yılında İçme Suyu Sistemlerinde Su Kayıplarının Azaltılmasına Yönelik İş Termin Planı Genelgesinin yayınlanması ve yine aynı yılda 1. Su Şurası Çalışmaları ve Sonuç Bildirgesi'nin yayınlanması ile su kayıpları ile mücadele ön plana çıkmıştır. Böylece Su ve Kanalizasyon İdareleri için etkinlik, verimlilik ve üretkenlik çalışmaları hız kazanmış ve su kayıpları ile mücadelede bir strateji modelinin varlığı önemli rol oynamaktadır. Bu kapsamında öncelikle bir idarenin mevcut koşullarını analiz ederek idare için ölçülebilir, uygulanabilir, ulaşılabilir ve gerçekçi hedeflerin belirlenmesi amacıyla her idarenin mevcut durumuna yönelik çözüm stratejileri üreten bir model geliştirilmiştir (Bozkurt, 2022). Bu model Mevcut Durum Değerlendirme Matrisi (Modül A), Veri Matrisi ve Mevcut Performans Değerlendirme Sistemi (Modül B)'nin dinamik bir şekilde çalışması mantığı ile kurulmuştur.

Modül A, bir su ve kanalizasyon idaresinde mevcutta uygulanabilen yöntem ve süreçlerin analiz edilebilmesi ve idarenin mevcut durumunun iyileştirilebilmesi amacıyla eksik ve zayıf olduğu uygulamaların ortaya konulduğu modüldür. Bir idarenin mevcut durumunun tam anlamıyla değerlendirilebilmesi için bu sistem idare yönetim, veri ölçüm, bilgi yönetim sistemleri veri tabanları, su dengesi yönetimi, idari kayıp yönetimi, fiziki kayıp yönetimi, su kayıp süreç ve performans izleme ve ekonomik analiz ana başlıklarını içermektedir (Bozkurt, 2022; Bozkurt vd., 2022b). Modül A, veri matrisi ve Modül B yapısı 8 ana başlık ve her ana başlık idarenin mevcut koşullarını, dinamik yapısını esas alan 18 alt bileşenlerden oluşmaktadır. Buna göre sistemde idarenin mevcut durumunu ifade eden 144 bileşen, idarelerde ölçülebilir, ulaşılabilir 144 veri ve bu verilerin sayısal değerlerinin kullanılması ile hesaplanan 144 performans göstergesi bulunmaktadır. Tüm bu bileşenler İdarelerde uygulanabilme durumuna göre temel, orta ve ileri seviye GGS uygulamalarından oluşmaktadır. Modül A, veri matrisi ve performans matrisi ile entegredir (Şekil 1).



Şekil 1: Performans değerlendirme modeli bileşenleri (Bozkurt, 2022)

Web tabanlı hesaplama aracı mimarisinde karmaşık uygulamaların yönetimini kolaylaştıran bir mimari yaklaşım olan NET Core tabanlı Etki alanı güdümlü tasarım (Domain Driven Design-DDD) katmanlı mimari ile tasarlanmıştır. Aynı zamanda kodun esnek, kolay ve uzun ömürlü olmasının sağlanması amacıyla tek sorumluluk ilkesi, açık-kapalı prensibi, Liskov yer değiştirme ilkesi, arayüz ayırma ilkesi ve bağımlılığı ters çevirme ilkelerini oluşturan iyi kod (Single-responsibility principle, Open-closed principle, Liskov substitution principle, Interface segregation principle, Dependency Inversion Principle-SOLID) prensiplerine uygunluğa dikkat edilmiştir. Servisler arası geçişte uygulamanın test edilebilir ve esnek olmasına imkan tanıyan Bağımlılık Enjeksiyonu (Dependency Injection-DI) kullanılmıştır.

Veri tabanı entegrasyonunda işlemleri kolaylaştıran bir Nesne ile İlişkisel Eşleşme (Object Relational Mapping-ORM) aracı olan Varlık Çerçevesi (Entity Framework) ve veri tabanı şemasını kodla tanımlayarak geliştirme sürecini hızlandıran ve bakımı kolaylaştıran Öncelikle Kod (Code First) kullanılmıştır. Bilindiği gibi Varlık Çerçevesi mimarisindeki yaklaşımlardan biri olan Öncelikle Kod yaklaşımı bulunmaktadır.

Veri tabanı şemasını kodla tanımlayarak geliştirme sürecini hızlandıran ve bakımı kolaylaştıran Öncelikle Kod kullanılmıştır. Öncelikle Kod veri tabanı ile programlama dilleri arasında bağ kuran bir tekniktir. Veri tabanı arayüzü ile yazılımcı arasındaki ilişki en aza indirgenmektedir. Öncelikle Kod veri tabanı ile Programlama dili arasında bağ kuran bir tekniktir. Bu yaklaşım sayesinde veri tabanı arayüzü ile yazılımcı arasında ilişki minimize edilmektedir. Öncelikle Kod yapısında programlama dili ile veri tabanı arasında bir benzerlik ve ilişki bulunmaktadır. Programlama dillerindeki sınıf “(class)” yapıları veri tabanındaki “tablo” yapılarına, özellik “(property)” yapıları ise veri tabanındaki “kolon” yapılarına karşılık gelmektedir.

Önyüz (Frontend) tarafında modern ve hızlı bir Javascript çerçevesi olan Vue.js kullanılmıştır. Vue.js kullanıcı arayüzü ve uygulamalar oluşturmayı sağlayan yani önyüz tasarımında kullanılan bir javascript kütüphanesidir. Bu kütüphane ile küçük, orta ve büyük ölçekli uygulamalar yapmak mümkündür. Bu kütüphane web uygulamalarını hızlı geliştirmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu kütüphanenin kolay dokümantasyonu ve kolay bir söz diziminin olması en önemli avantajıdır. Bundan dolayı ciddi bir popülerliğe sahiptir.

Veri tabanı tasarımında ilişkisel veri tabanı olarak MySQL kullanılmış ve verilerin düzenlenmesi, tekrar eden bilgilerin minimuma indirilmesi amacıyla normalizasyon teknikleri uygulanmıştır. Böylece veri bütünlüğünün korunması ve veri tabanının etkin çalışması sağlanmış, tabloların performanslı çalışması için indeksler kullanılmıştır.

Çalışmada, veri tabanı entegrasyonu için kullanılan Varlık Çerçevesi, Önyüz ve Backend (Arkayüz) katmanlarında .NET Core MVC (Model-View-Controller) yapısı kullanılarak geliştirilmiştir. Aynı zamanda .NET Core'un kullanılması, uygulamanın çoklu platform (cross-platform) olarak çalışmasını hedeflemektedir. Yani, bu uygulama farklı işletim sistemlerinde (Windows, Linux) sorunsuz bir şekilde çalışabilmektedir.

İdarelerde mevcut durumun daha sistematik ve hızlı bir şekilde analiz edilmesi ve zaman içinde performans değişiminin izlenmesi amacıyla geliştirilen web tabanlı uygulamada Şekil 1’de gösterilen her bir modül tanımlanmaktadır. Tanımlanan bu modüller arasındaki ilişki yazılıma eklenmiştir. Böylece Modül A’da bir değişkenin alacağı puana göre diğer modüllerdeki ilişkili olduğu bileşenler bu puan esas alınarak değerlendirilmektedir. Böylece oldukça fazla sayıda olan Modül A bileşenlerinin dinamik puan yapısına göre diğer modüllerdeki bileşenlerin süreci dinamik olarak yürütülmektedir. Geliştirilen uygulama “https://sukayipyonetimi.com” adresinde tanımlanmıştır.

Şekil 2’de “sukayipyonetimi.com” hesaplama aracında Modül A modülünde yer alan ana başlıklarının tanımlanması için oluşturulan ekran yer almaktadır.



Şekil 2: Modül A ana başlıklarının yazılıma tanımlanması (Bozkurt, 2022)

Çalışmada bahsedilen su kayıp yönetim modeli (Bozkurt, 2022) tarafından yapılan doktora tezi kapsamında özgün olarak geliştirilmiştir. Bu modeldeki ana bileşen sayısı 8 ve her bir ana başlık altında 18 olmak üzere toplam 144 bileşen yer almaktadır. Ancak bilindiği üzere kentsel su yönetimi ve su kayıp yönetimi dinamik bir süreçtir. Zaman içinde su kayıp yönetimi parametreleri, etkili faktörler veya değişkenler azalabilir ya da artabilir. Bu nedenle web tabanlı yazılımda bu dinamik yapı göz önünde bulundurularak ana başlık sayısı ve ana bileşenler altında yer alacak bileşen sayısı kullanıcı tarafından değiştirilebilir ve yeni koşullara göre güncellenebilir şekilde tasarlanmıştır. Şekil 2’den de görüldüğü gibi mevcut durumda 8 ana başlık web tabanlı yazılıma tanımlanmış ve bu başlıklar için süreç yönetilmektedir.

Su ve Kanal İdarelerinin mevcut durumunun belirlenmesi, zayıf ve güçlü yönlerinin tespit edilmesi ve potansiyel riskler ile mücadelesinin sağlanabilmesi için öncelikli olarak Modül A'da bulunan ve bir idarenin tüm özelliklerini kapsayabilecek nitelikte olan bileşenlerin puanlandırılması gerekmektedir. Bu çalışmada her bir bileşen 0 ile 100 puan arasında puanlandırılmakta, 0 puan çok kötü, 20 puan kötü, 40 yetersiz, 60 puan başlangıç düzey, 80 puan iyi ve 100 puan çok iyi koşulu ifade edecek şekilde derecelendirilmiştir (Bozkurt, 2022). Tablo 1'de puanların idareler için temsil ettiği koşullar ve modelleme sürecinde sistem için bileşenin aldığı puan sonucu aktif ve pasif olma durumları ifade edilmiştir. Değerlendirmelerin objektif ve gerçekçi bir biçimde yapılabilmesi için puanlandırmalar kurum dışından uzman bir ekip tarafından yapılmaktadır. Böylece İdareler gerçek durumu yansıtan ölçülebilir ve doğru bileşenlerle analiz edilmektedir.

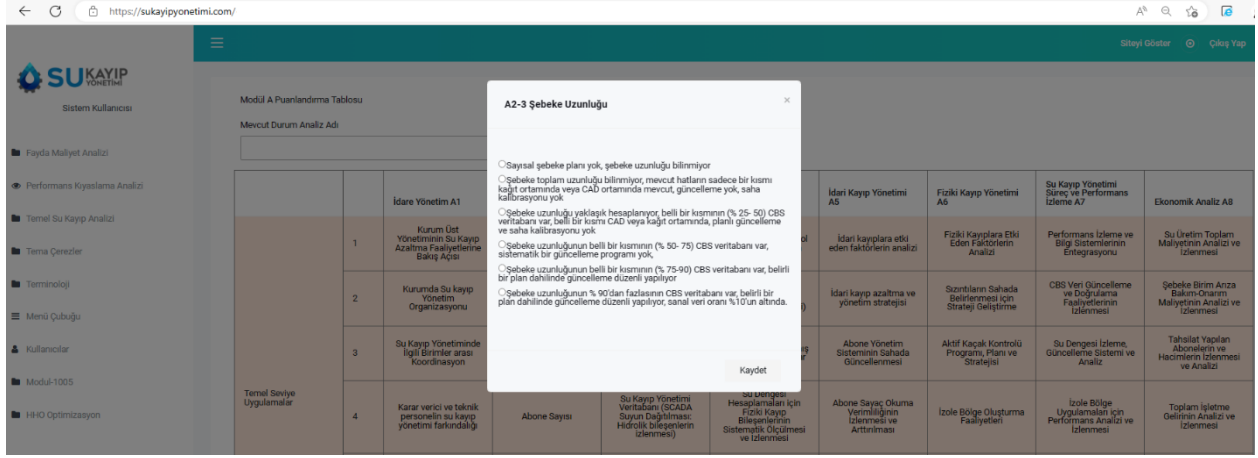
Tablo 1: Puanların temsil ettiği koşullar

0 puan	İdarede bileşene ait planlama, analiz ve veri toplama gibi faaliyetler için herhangi bir çalışma olmadığını ifade eder.	Bu bileşen idarenin zayıf yönünü oluşturmaktadır. Bu bileşenin bağlantılı olduğu veri matrisindeki değişkenler için “veri kalitesi kötü, öncelikli iyileştirilmesi gereken bileşen” şeklinde ifade edilmekte ve herhangi bir analizde kullanılmamaktadır. Böylece “sadece kalitesi iyi olan veya düzenli ölçülen veriler” su kayıp yönetimi analizlerinde kullanılır.
20 puan	İdarede faaliyetler ve analizler için alt yapı, veri, bilgi ve tecrübe eksikliği var, iyileştirme için farkındalık var ve planlama yapılıyor.	
40 puan	İdarede bileşene ait, planlama, analizler çok sınırlı, veri toplama ve izleme faaliyetleri yetersiz ancak iyileştirme için çalışma yapılıyor.	Bu bileşenin idarenin zayıf yönü olduğu ifade edilir. Bu bileşenin bağlantılı olduğu veri matrisindeki değişkenler için “veri kalitesi şüpheli, iyileştirilmesi gereken veri” şeklinde tanımlanmakta ve analizde kullanılmaktadır.
60 puan	İdarede bileşenlere ait planlama, analiz ve uygulamalar Başlangıç düzeyinde veya pilot bölgelerde yapılıyor, veri ölçüm ve izleme en temel seviye için uygun ancak iyileştirme için çalışmalar yapılıyor.	
80 puan	İdarede bileşenlere ait planlama, analiz ve uygulamalar sistem genelinde veya birçok bölgede yapılıyor, veri ölçüm ve izleme faaliyetleri için alt yapı iyi durumda, daha sistematik bir sistem oluşturmak için çalışmalar yapılıyor.	Böylece bu bileşenin idarenin güçlü yönü olduğu ifade edilir. Bu bileşenin bağlantılı olduğu veri matrisindeki değişkenler için “veri kalitesi iyi, iyileştirme için ekonomik ve teknik ölçütler göz önünde bulundurulmalıdır” şeklinde ifade edilmekte ve analizde kullanılmaktadır.
100 puan	İdarede bileşenlere ait planlama, analiz ve uygulamalar sistem genelinde veya alt bölgede yapılıyor, veri ölçüm ve izleme faaliyetleri için alt yapı iyi durumda, faaliyetler bilgi sistemlerin entegrasyonu ile sistematik yapılıyor.	Böylece bu bileşenin idarenin güçlü yönü olduğu ifade edilir. Bu bileşenin bağlantılı olduğu veri matrisindeki değişkenler için “veri kalitesi çok iyi, mevcut durum korunmalıdır” şeklinde tanımlanmakta ve analizde kullanılmaktadır.

Su kayıp yönetimi modeli için önerilen özgün puanlandırmaların sistematik bir şekilde yapılması için web tabanlı yazılıma kullanışlı ve uygulanabilir bir puanlandırma yapısı tanımlanmıştır. Bu puanlandırma sayfası Modül A'daki 144 bileşen için idaredaki mevcut durumu temsil edecek şekilde puanlandırma imkanı sunmaktadır. Web tabanlı yazılımda oluşturulan puanlandırma sayfasının genel görünümü Şekil 3'te verilmektedir. Buna göre şebeke uzunluğu değişkeni için idarede sayısal şebeke planı yok ve şebeke uzunluğu bilinmiyor ise 0 puan, şebeke uzunluğunun %90'dan fazlasının CBS veri tabanı var, belirli bir plan dahilinde güncelleme düzenli olarak yapılıyor, sanal veri oranı %10'un altında ise 5 puan alacak şekilde derecelendirilmiş ve Modül A'da bulunan 144 bileşenin tamamı için 0'dan 5'e kadar 6 kademeli, her bileşenin idarelerde uygulanma düzeyini ifade eden planlama tabloları hazırlanmıştır (Şekil 4).

Modül A'da bulunan tüm bileşenlerin idarelerde uygulama düzeyi puanlandırma tabloları kullanılarak belirlenmektedir. Buna göre idarede örneğin Modül A'da şebeke uzunluğu bileşeni hakkında sayısal şebeke planı yoksa veya toplam uzunluklar bilinmiyor, verilerin sadece bir kısmı kağıt üzerinde tutulmuş ve saha kalibrasyonu da yapılmıyorsa bu durumda şebeke uzunluğu bileşeni için doğru ve güvenilir bilgiler idarede bulunmadığından mevcut durum matrisinde 0 veya 1 puan alacaktır. Şebeke uzunluğu bileşeni ile veri matrisinde doğrudan veya dolaylı yoldan ilişkisi bulunan “izole bölge yapılan şebeke uzunluğu(km), verisi doğrulanmış CBS veri tabanı olan şebeke uzunluğu (km), minimum gece debisi izlenen şebeke uzunluğu (km), yenilenen şebeke uzunluğu (km), akustik yöntemlerle denetim yapılan şebeke uzunluğu (km)” gibi bileşenler için de yeterli ve güvenilir veri bulunmayacağı için pasif hale getirilirler. Performans gösterge formüllerinde yer alan verilerin sayısal değerleri veri matrisinden elde edilemediği için veri matrisinde pasif durumda kalan bileşenler için de Modül B'de hesaplama yapılamaz. Dolayısı ile Modül A'da pasif durumda bulunan bileşenlerin bağlantılı olduğu bileşenler veri matrisi ve Modül B'de de pasif durumda bırakılmaktadır.

Bu mantıkla Modül A, Veri ve Modül B'nin birbiri ile entegre bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Böylece verisi güvenilir olan değişkenler için performans analizi yapılmakta ve sistem için çözümlerin uygulanabilirliği ve güvenirliliği artmaktadır.



Şekil 3: Modül A puanlandırma yapısı örneği (Bozkurt, 2022)

		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Temel Seviye Uygulamalar	1	100	60	40	60	40	40	40	80
	2	80	60	100	60	60	80	60	40
	3	80	80	60	60	40	60	40	60
	4	100	60	60	60	40	80	40	60
	5	80	60	80	40	60	80	40	60
	6	60	80	80	60	40	80	40	60
Orta Seviye Uygulamalar	7	40	40	80	40	60	80	60	40
	8	80	40	40	40	80	60	60	40
	9	100	20	80	40	100	60	60	40
	10	80	80	80	80	100	100	60	60
	11	80	80	60	80	20	100	40	60
	12	60	80	80	60	20	60	60	60
İleri Seviye Uygulamalar	13	60	60	60	40	20	40	60	60
	14	80	80	60	60	20	100	40	60
	15	40	60	80	60	60	80	80	60
	16	60	20	40	60	60	60	60	60
	17	60	80	40	60	20	40	20	60
	18	60	20	80	60	40	80	20	60

Şekil 4: Puanlandırma tablosu örneği (Bozkurt, 2022)

3. Ağırlık Katsayılarının Belirlenmesi ve Tanımlanması

Mevcut durum değerlendirme sisteminde bulunan değişkenlerin ağırlık katsayılarının belirlenmesinde etki düzeyi hesabı yapılmıştır. Bu amaçla Modül A'da bulunan bir değişkenin öncelikle doğrudan Modül A'da kaç değişkeni etkilediği belirlenmiş daha sonra veri matrisi ile dolaylı yoldan etki düzeyi ilişkisi tanımlanmış ve değişkenlerin ağırlıklı katsayıları hesaplanmıştır. Bu ağırlık katsayıları matrisi web tabanlı uygulamaya tanımlanarak idarelerin ağırlıklı ortalama puanlarının hesaplanması sağlanmaktadır (Şekil 5). Su kayıp yönetimi modeli kapsamında yapılan etki katsayıları çalışması sonucuna göre (Bozkurt, 2022);

A1 İdare Yönetim ana başlığı altında ağırlık katsayısı en yüksek olan değişkenler A1-1 “Kurum üst yönetiminin Su Kayıp azaltma faaliyetlerine bakış açısı”, A1-2 “Kurumda Su kayıp yönetim organizasyonu” ve A1-4 “Karar verici ve teknik personelin su kayıp yönetimi farkındalığı” olarak belirlenmiştir.

A2 Temel Veri Ölçüm ana başlığında A2-3 “Şebeke Uzunluğu”, A2-7 “Ortalama Basınç” ve A2-6 “Bilinen/kontrol edilen vana sayısı” ve

A3 Bilgi Yönetim Sistemleri Veri Tabanları ana başlığında A3-1 “Bilgi Yönetim Sistemlerinin Planlanması”, A3-3 “Abone Yönetim ve Faturalama Sistemi”, A3-13 “Veri tabanlarının Birbiri ile Entegrasyonu (CBS-SCADA-ABYS-Arıza)”, A3-5 “CBS Tabanlı Dağıtım Sistemi” değişkenleri yüksek katsayıdır.

A4 Su Dengesi Yönetimi başlığında, A4-3 “Yasal Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanımlar”, A4-1 “Su Dengesinin Uygulanabilirliği ve yol haritası (yukarıdan aşağı)”,

A5 İdari Kayıp Yönetimi başlığında, A5-2 “İdari kayıp azaltma-yönetim stratejisi”, A5-1 “İdari kayıplara etki eden faktör analizi” ve A6 Fiziki Kayıp Yönetimi başlığında A6-2 “Sızıntıların sahada belirlenmesi için strateji geliştirme”,

A6-3 “Aktif Kaçak Kontrolü programı-planı-stratejisi”, A6-4 “İzole Bölge Oluşturma Faaliyetleri” değişkenlerinin yüksek katsayı aldıkları görülmektedir.

A7 Su Kayıp Süreç ve Performans İzleme başlığında A7-1 “Performans izleme ve Bilgi Sistemlerinin Entegrasyonu”, A7-4 “İzole Bölge Uygulamaları için performans analizi ve izlenmesi”, A7-14 “Su Kayıpları Önleme-Kontrol-İzleme-Analiz Faaliyetlerinin Verimlilik -Ekonomik Açından analizi ve izlenmesi” ve

A8 Ekonomik Analiz ana başlığında ise A8-3 “Tahsilat Yapılan Abonelerin ve hacimlerin izlenmesi ve analizi”, A8-1 “Su üretim toplam maliyetinin analizi ve izlenmesi”, A8-7 “Sayaç hatalarından kaynaklı idari kayıp maliyetinin analizi ve izlenmesi” değişkenleri yüksek katsayılara sahiptir.

Sistem için etki düzeyi en yüksek olan değişkenler ise 124 katsayı ile A6-2 “Sızıntıların sahada belirlenmesi için strateji geliştirme”, 113 katsayı ile A6-3 “Aktif Kaçak Kontrolü programı-planı-stratejisi”, 107 katsayı ile A3-1 “Bilgi Yönetim Sistemlerinin Planlanması” ve 93 katsayı ile A6-4 “İzole Bölge Oluşturma Faaliyetleri” olarak belirlenmiştir.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Temel Seviye Uygulamalar	1	165	15	214	93	54	38	98	28
	2	120	63	95	21	135	496	12	6
	3	104	300	237	135	34	339	6	27
	4	140	27	72	27	8	372	98	6
	5	96	96	252	10	6	136	10	6
	6	60	144	156	75	24	4	42	3
Orta Seviye Uygulamalar	7	28	74	208	90	15	116	30	12
	8	52	34	8	62	4	27	18	10
	9	65	4	24	16	75	36	45	6
	10	64	40	172	8	65	10	27	9
	11	16	8	18	40	2	60	36	3
	12	27	12	4	42	1	27	33	3
İleri Seviye Uygulamalar	13	24	9	198	26	1	40	18	6
	14	28	20	42	9	1	15	96	3
	15	10	39	16	6	27	12	8	3
	16	9	3	40	9	15	9	9	3
	17	6	20	10	3	2	4	1	3
	18	3	13	136	3	2	36	1	3

Şekil 5: Ağırlıklı puanlar tablosu örneği (Bozkurt, 2022)

4. Mevcut Duruma Yönelik Ölçülebilir, İzlenebilir Verilerin Sisteme Girilmesi

Modül A’da bulunan her bileşen problemin yapısı gereği Veri matrisi ile ilişkilendirilmiştir. Burada mevcut durum analizi sonucunda bir bileşen 0 (çok kötü) veya 20 (kötü) puan almışsa bu bileşenle ilişkili olan verilerin kalitesi kötüdür ve iyileştirilmesi gerekmektedir. Benzer şekilde 40 (yetersiz) veya 60 (orta) puan alan bir bileşenin veri matrisinde ilişkili olduğu veriler de kalitesi şüpheli ve iyileştirilmeli şeklinde değerlendirilmektedir. Bileşen 80 (iyi) veya 100 (çok iyi) puan almışsa bu bileşenin veri matrisinde ilişkili olduğu veriler veri kalitesi iyi veya çok iyi şeklinde değerlendirilmekte ve bu verilerin kalitesinin de korunması gerektiği vurgulanmaktadır (Tablo 1). Böylece Modül A matrisindeki bileşenler puanlandırıldığında bileşenlerin İdaredeki mevcut seviyeleri görülmekte ve veri kaliteleri dinamik bir şekilde tanımlanmaktadır (Bozkurt, 2022; Bozkurt vd., 2022a, 2022c). Dolayısıyla Modül A’daki bileşenlerin puanları veri matrisini üzerinde oldukça etkilidir. Tablo 1’de açıklandığı gibi bir değişken 0 ve 20 puan almışsa Modül A’da pasif durumda kalacak ve veri matrisinde bu değişkenle ilişkili olan tüm veriler veri kalitesinin kötü olması nedeniyle pasif hale gelecektir (Şekil 6) (Bozkurt, 2022).

ID	Description	Value
V2.1	Üretilen su hacmi (m³/yıl) 0 0 0	100000000
V2.2	Giriş debisi (m³/s) 0 0 0	2.5
V2.3	Şebeke Uzunluğu (km) 0 0 0	4000
V2.4	Abone Sayısı (adet) 0 0 0	350000
V2.5	Servis Bağlantı Sayısı (adet) 0 0 0	200000
V2.6	CBS veritabanı olan ve yer bilinen vana Sayısı (adet) 0 0 0	2000
V2.7	Ortalama Basınç (m) 0 0 0	55
V2.8	toplam sayıç sayısı (adet) 0 0 0	350000
V2.9	Yasal faturalandırılmamış kullanıcı sayısı (adet) 0 0 0	1000
V2.10	10 Yaş Üzeri sayıç sayısı (adet) 0 0 0	18000
V2.11	5-10 yıl arası sayıç sayısı (adet) 0 0 0	55000
V2.12	5 Yaşından küçük sayıç sayısı (adet) 0 0 0	75000
V2.13	Yenilenen (yeni yapılan) servis bağlantı sayısı (adet) 0 0 0	18000
V2.14	toplam vana sayısı (adet) 0 0 0	2500
V2.15	Yasal Ölçülmüş ticari abone kullanım hacmi (m³/yıl) 0 0 0	100000000
V2.16	Büyük ve özel tüketimli toplam abone sayısı (adet) 0 0 0	1000
V2.17	Toplam Servis Bağlantı Uzunluğu (km) 0 0 0	1000
V2.18	Kaynaklı potansiyel olarak alınabilecek su hacmi (m³/yıl) 0 0 0	100000000

Şekil 6: Temel veri ölçüm ana başlığı için veri seti örneği (sukayipyonetimi.com)

Veri matrisinde tanımlanan 144 bileşene ait verilerin sisteme girilmesi gerekir. Ancak burada en önemli husus bu verilerin idarede hangi sıklıkta ve doğrulukta ölçüldüğünün kontrol edilmesidir. Ayrıca sisteme girilen bu verilerin su kayıp yönetimi analizlerinde kullanılabilir nitelikte olup olmadığının sorgulanması gerekir. Ancak 144 bileşenin bu kapsamda sürekli kontrolünün yapılması oldukça zor ve zaman alıcıdır. Bu nedenle web tabanlı uygulamada Modül A ile Veri matrisleri arasında tanımlanan ilişki esas alınarak Modül A'daki dinamik puan yapısına göre yeterli puana sahip bileşenlerin Veri Matrisinde verilerinin girilmesine izin verilmektedir. Böylece mevcut durumda düşük puana sahip bileşenler için sisteme veri girişi mümkün değildir. Bu şekilde hem iyi kalitede verilerin dikkate alınması hem de idarede veri ölçümünde sorun belirlenen bileşenlerin iyileştirilmesi mümkün olmaktadır.

5. Performans Değerlendirme

Performans göstergeleri bir kurumun performansının veya hizmet seviyesinin belirli kriterlerle nicel bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Su ve Kanalizasyon İdareleri için performans değerlendirmesinin uygulanan yöntemlerin etkinliğini ölçme, bütçe harcamalarının doğru planlanması, karar vermeyi destekleme, gelişme için stratejik planlamayı sağlama, kurumun hizmet kalitesinin değerlendirilmesi, abone memnuniyetinin sağlanması, kurumda motivasyonu ve performansı artırma, öncelik planlarını belirleyebilme ve kıyaslanabilirliği sağlama gibi büyük katkıları bulunmaktadır (Fırat vd., 2021; Franceschini vd., 2006; Vilanova & Balestieri, 2015).

Ölçülebilir ve güvenilir veriler kullanılarak performans göstergesi analizleri yapılmakta ve bulunan değerler uluslararası kabul gören değerler ile kıyaslanarak öncelikli olarak iyileştirilmesi gereken göstergeler her idare için Modül B aracılığı ile belirlenebilmektedir (Şekil 7).

Modül B'de İdarelerin su kayıp yönetiminde uygulayabildiği faaliyetleri ve bu faaliyetlerin uygulanma düzeyini kapsayan ve kıyaslanabilir olan 8 ana başlık ve her ana başlık altında 18 bileşen bulunmaktadır. Bu bileşenler;

B1: GGS yönetimi ve şebeke işletme ana başlığı altında “Su üretimi=Üretilen su hacmi/kişi/gün”, “Su talep verimliliği=Giriş hacmi/kişi/gün”, “GGS oranı= (GGS hacmi/Giriş hacmi) *100” gibi idarenin su kayıp yönetimi hakkında kıyaslanabilir durumunu ifade eden 18 gösterge bulunmaktadır.

B2: Arıza onarımı ve bakım yönetimi başlığı altında “Toplam rapor edilen arıza sayısı / şebeke uzunluğu 100 km / yıl”, “Rapor edilen arızalara müdahale verimliliği (%) = (Tamiri yapılan rapor edilen arıza sayısı /Toplam rapor edilen arıza sayısı) *100” gibi idarenin arıza onarımı ve bakımı sürecindeki durumu, müdahale verimliliği gibi 18 alt bileşen bulunmaktadır.

B3: Abone yönetimi başlığında “Yasal tüketim= yasal faturalandırılmış tüketim hacmi / kişi / gün”, “Op 36= Abone okuma verimliliği: (Tahakkuk yapılan abone sayısı / Abone sayısı) *100 ya da (Okunmayan abone sayısı/Abone sayısı) *100” gibi idari su kayıplarını azaltmaya yönelik 18 alt bileşen bulunmaktadır.

B4: İdari kayıp ve bileşenlerinde “Op26: İdari kayıp oranı (%) = (İdari kayıp hacmi / Giriş hacmi) *100/yıl”, “(Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp hacmi / Yasal faturalandırılmış tüketim hacmi) *100/yıl”, “(Kaçak kullanım (yasal olmayan) hacmi / Yasal faturalandırılmış tüketim hacmi) *100 / yıl” gibi idari kayıpları oluşturan bileşenlerin idarelerde yönetim sürecini ve durumunu kapsayan 18 alt bileşen bulunmaktadır.

B5: Fiziki kayıp ve bileşenlerinde “WR1 Su kaynağı verimliliği= (Fiziki kayıp hacmi / Giriş hacmi) *100/yıl”, “Fiziki kayıp oranı (%) = (Fiziki kayıp hacmi / Üretilen su hacmi) *100/yıl”, “Op28: Fiziki kayıp hacmi / Şebeke uzunluğu (km) /gün ya da Op27: Fiziki kayıp hacmi / Servis bağlantı sayısı /gün” gibi fiziki kayıpları oluşturan bileşenlerin performans göstergeleri bulunmaktadır.

B6: Fiziki kayıp önleme ve izleme faaliyetleri başlığında “Op 4: Akustik yöntemler ile yapılan toplam denetim sayısı / Şebeke uzunluğu 100 km / yıl”, “İzole bölge yoğunluğu= (İzole bölge yapılan şebeke uzunluğu (km) / şebeke uzunluğu (km))*100/yıl”, “Minimum gece debisi izleme oranı= (Minimum gece debisi izlenen şebeke uzunluğu (km) / şebeke uzunluğu (km))*100/yıl” gibi fiziki kayıp yönetiminde uygulanacak faaliyetlerin uygulanma düzeylerini ifade eden kıyaslanabilir 18 gösterge bulunmaktadır.

B7: Aktif kaçak kontrolü ve performans izleme başlığı altında “(Akustik yöntemler ile tespit edilen-onarılan toplam sızıntı sayısı / Akustik yöntemler ile tespit edilen potansiyel sızıntı sayısı)*100/ Yıl”, “(CBS tabanlı su dengesi doldurulan-izlenen izole bölge sayısı/ Toplam izole bölge sayısı)*100/yıl”, “Basınç yönetimi uygulanan bölgede arıza sayısı / Basınç yönetimi uygulanan şebeke uzunluğu/yıl”, “Hidrolik model ile tespit edilen sızıntı hacmi / şebeke uzunluğu (km)/yıl” gibi su kayıp yönetiminde uygulanan aktif kaçak kontrolü ile ilişkili 18 gösterge bulunmaktadır.

B8: Su kayıp ekonomik performans ana başlığı altında “Su üretim toplam maliyeti / üretilen su hacmi/yıl veya Su üretim maliyeti / Yasal faturalandırılmış tüketim hacmi/yıl”, “Toplam işletme geliri / üretilen su hacmi/yıl veya Toplam işletme geliri / Yasal faturalandırılmış tüketim hacmi/yıl”, “Tahsilat/tahakkuk oranı: (Tahsilat yapılan hacim / Yasal faturalandırılmış tüketim hacmi)*100/yıl, (Tahsilat yapılan abone sayısı / Tahakkuk yapılan abone sayısı)*100/yıl”, “İşletme verimliliği (%): (Toplam işletme geliri /(Su üretim toplam maliyeti+(Şebeke birim arıza- bakım-onarım maliyeti* Toplam rapor edilen arıza sayısı))) *100/yıl” gibi ekonomik performans göstergeleri bulunmaktadır.

Şekil 7’de Modül B’de bulunan 144 performans göstergesi için formülasyonlar, birimler sırası ile modele tanımlanmıştır. Şekil 8’de Modül A puanlandırması sonucu sistemde aktif durumda kalan veriler aracılığı ile hesaplanabilecek performans göstergeleri belirlenmiş ve analizler yapılmıştır.

B1	1	Su Üretimi : üretilen su hacmi / kişi / gün
2	Su talep verimliliği : giriş hacmi / kişi / gün	
3	Gelir Getirmeyen Su Oranı (%): (Gelir Getirmeyen Su (GGS) hacmi / Giriş Hacmi)*100	
4	Su kayıp Oranı (%): (Su Kayıp hacmi / Giriş Hacmi)*100	
5	Op24: Gelir Getirmeyen Su (GGS) hacmi / Şebeke Uzunluğu (100)km / Gün	
6	Su Kayıp Hacmi / Şebeke Uzunluğu (100km) / Gün	

B8-2

Adı
(Şebeke birim arıza bakım-onarım maliyeti*Toplam Rapor Edilen Arıza Sayısı)/

Formülü
(V8-2 * V5-1)/ V2-1

Birimi
%

Opsiyon Formül

Adı
(Şebeke birim arıza bakım-onarım maliyeti*Toplam Rapor Edilen Arıza Sayısı)/

Formülü
(V8-2 * V5-1)/#V4-

Birimi
%

Kaydet

Şekil 7: Modül B formülasyon giriş ekranı (sukayipyonetimi.com)



Gösterge Kodu	Performans Göstergesi	Birim	Değer	Değerlendirme	Düşük Puanlı Modül A Bileşeni
B1.1	Su Üretimi : Üretilen su hacmi / kişi / gün	litre/kişi/gün	273,97	🟢	
B1.2	Su talep verimliliği : giriş hacmi / kişi / gün	litre/kişi/gün	273,97	🟢	
B1.3	Gelir Getirmeyen Su Oranı (%): (Gelir Getirmeyen Su (GGS) hacmi / Giriş Hacmi)*100	%	20	🟢	
B1.4	Su kayıp Oranı (%): (Su Kayıp hacmi / Giriş Hacmi)*100	%	15	🟢	
B1.5	Q _{g24} Gelir Getirmeyen Su (GGS) hacmi / Şebeke Uzunluğu (100)km / Gün	m ³ /şebeke uzunluğu (100km)/gün	1369,86	🟢	
B1.6	Su Kayıp Hacmi / Şebeke Uzunluğu (100)km / Gün	m ³ /şebeke uzunluğu (100km)/gün	1027,40	🟢	
B1.7	((Yasal-Faturalandırılmamış ölçümüş hacmi-yasal faturalandırılmamış ölçümüş hacmi) / (Yasal Faturalandırılmamış Ölçümüş Hacmi)*100)yıl	%	5,62	🟢	
B1.8	(Yasal Faturalandırılmamış ölçümüş kullanım hacmi / giriş hacmi)*100)yıl	%	2,5	🟢	
B1.9	(Yasal Faturalandırılmamış ölçümüş hacmi / giriş hacmi)*100)yıl	%	2	🟢	
B1.10	Yasal-Faturalandırılmamış (%): ((Yasal-Faturalandırılmamış ölçümüş hacmi-yasal faturalandırılmamış ölçümüş hacmi) / giriş hacmi)*100)yıl	%	4,5	🟢	
B1.11	Q ₅₂₇ : Düşük basınç şikayet sayısı / abone sayısı(1000) / yıl	şikayet/1000abone/yıl	0,29	🔴	A5-13
B1.12	Q ₅₂₈ : (Düşük basınç şikayet sayısı / toplam şikayet sayısı)*100	%	0,83	🔴	A5-13

Şekil 8: Modül B performans değerlendirme örneği (sukayipyoneti.com)

Su kayıp yönetimi modelinde yer alan Modül B’de toplam 144 performans göstergesi tanımlanmıştır. Bu performans göstergelerinin hesaplanması için Veri matrisinde yine 144 bileşen yer almaktadır. Bu kadar fazla sayıda verilerin ve performans göstergelerinin doğru verilerle analiz edilip edilmediğinin kontrolü oldukça zor olmaktadır. Ancak web tabanlı uygulamaya tanımlanan kontrol mekanizması ile Modül A’daki bileşenlerin aldığı puana göre Veri matrisindeki bileşenlerin veri kalitesi otomatik olarak yazılım tarafından belirlenmektedir. Böylece Modül B’deki performans göstergelerinin hesabında kullanılan verilerin kalitesi yazılım tarafından kontrol edilmektedir. Bu şekilde sadece idarede veri kalitesi iyi olan verilerin dikkate alınması ve buna göre en uygun performans göstergelerinin hesaplanması sağlanmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışmada geliştirilen web tabanlı uygulama ile su kayıp yönetimi çalışmalarının daha doğru ve sistematik bir şekilde ölçülen veriler dikkate alınarak gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca idarenin mevcut durumunun 144 bileşene göre sistematik olarak ortaya konulması da sağlanmaktadır. İdarelerin dinamik yapısına göre oluşturulan puanlandırma yapısı ile en uygun performans göstergelerinin hesaplanması ve izlenmesi de mümkün olmaktadır. Bu çalışmada önerilen su kayıp yönetimi için web tabanlı uygulamanın idarelerde teknik personeller ve karar vericiler için önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada Su ve Kanalizasyon İdarelerinin suyun toplanması, arıtılması, depolanması, dağıtılması ve yeterli suyu uygun basınçla kaliteli bir biçimde iletmesi gibi zor ve karmaşık olan işlevlerin yürütülmesi, sistemin arızalanması durumunda su güvenliğinin sağlanması, sürdürülebilirlik, halk sağlığı ve toplum refahı üzerinde oluşabilecek olumsuz etkilerin önlenmesi amacıyla uygulanabilecek tüm performans göstergeleri belirlenmiştir. İdarelerin bulunduğu bölgenin coğrafi ve fiziki yapısı, nüfus hareketliliği, personel ve teknik altyapısı, ekonomik ve finansal yapısı farklılık gösterdiği için su kayıp yönetimi süreçlerinin planlanmasında bu faktörler de dikkate alınarak en uygun göstergelerin belirlenmesi amacıyla web tabanlı hesaplama aracı geliştirilmiştir. Su temin ve dağıtım sistemlerinin performanslarının iyileştirilmesi; ulaşılabilir fiyatlarla güvenilir şekilde içme suyunun sağlanması ve sürdürülebilirliği açısından önemlidir.

Performans göstergelerinin düzenli aralıklarla uygulanması, verimliliğin izlenmesi ve kurumların etkinlik düzeyinin analiz edilmesinin yanı sıra, gelişim ve ilerlemelerini de yansıttığı için aynı zamanda motivasyon artırıcı özellik de taşımaktadır. Su ve Kanalizasyon idareleri performans iyileştirme aşamalarında yönetimsel, ekonomik ve teknik yeterlilik gibi çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Aynı zamanda performans göstergeleri analizinin uygulanması güçlü bir veri tabanı ve bilgi yönetim sistemi gerekmektedir.

Bu nedenle bu çalışmada öncelikle İdarelerin mevcut koşullarının analiz edilmesi ve böylece her idare için güçlü ve zayıf yönlerinin tespiti ve karşılaşılabilecek potansiyel risklerin önceden tahmin edilmesi ile sistemin mevcut sorunlarına yönelik en uygun stratejik yaklaşımların sunulmasını sağlayan bir model geliştirilmiştir. Çalışmada sunulan web tabanlı hesaplama aracı İdarelerin zayıf yönleri ve potansiyel riskleri doğrultusunda hedef atamaları yapan, mevcut durum, veri kalitesi ve performans değerlendirme sistemlerinin dinamik bir şekilde çalışmasını sağlayan, hızlı ve sistematik bir araçtır.

Web tabanlı performans göstergeleri analizi aracı İdarelerin su kayıpları ile mücadelede stratejik hedefler ile güçlü adımlarla yol alabilmesi, birbirleri ile kıyaslanabilmesi, ekonomik performans göstergeleri ile yatırımlarını planlayabilmesi, su kayıp oranlarını belirlenen hedeflere ulaştırabilmesi gibi büyük katkılar sunmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (İÜBAP-FBA-2021-2457) ve TÜBİTAK (Proje No: 220M091) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Al-Omari, A. (2013). A methodology for the breakdown of NRW into real and administrative losses. *Water Resources Management*, 27, 1913–1930. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0262-y>
- Arregui, F. J., Cobacho, R., Soriano, J., & Jimenez-Redal, R. (2018). Calculation proposal for the economic level of apparent losses (ELAL) in a water supply system. *Water*, 10(12), Article 1809. <https://doi.org/10.3390/w10121809>
- Berg, S. V. (2020). Performance assessment using key performance indicators (KPIs) for water utilities: a primer. *Water Economics and Policy*, 6(02), Article 2050001. <https://doi.org/10.1142/S2382624X20500010>
- Bozkurt, C. (2022). *Su kayıp yönetimi ve kontrolü için optimizasyon tabanlı en uygun strateji modelinin geliştirilmesi* [Doktora tezi, Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Bozkurt, C., Fırat, M., & Ates, A. (2022a). Development of a new comprehensive framework for the evaluation of leak management components and practices. *AQUA-Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 71(5), 642–663. <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.031>
- Bozkurt, C., Fırat, M., Ateş, A., Yılmaz, S., & Özdemir, Ö. (2022b). Strategic water loss management: Current status and new model for future perspectives. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 40(2), 310–322. <https://doi.org/10.14744/sigma.2022.00035>
- Bozkurt, C., Fırat, M., Yılmaz, S., & Ates, A. (2022c). Development of current condition assessment and target definition model for water balance practices in sustainable water loss management. *Water Supply*, 22(5), 5028–5043. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.176>
- Cetrulo, T. B., Marques, R. C., & Malheiros, T. F. (2019). An analytical review of the efficiency of water and sanitation utilities in developing countries. *Water Research*, 161, 372–380. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.044>
- Chimene, C. (2013). *Strategies and methods for apparent water loss management in developing countries a case study of Mozambique Catine António Chimene* [MSc dissertation, UNESCO-IHE Institute for Water Education]. Repository IHE Delft Institute for Water Education. <https://ihedelftrepository.contentdm.oclc.org/digital/collection/masters1/id/42757/>
- De Paola, F., Fontana, N., Galdiero, E., Giugni, M., Degli Uberti, G.S., & Vitaletti, M. (2014). Optimal design of district metered areas in water distribution networks. *Procedia Engineering*, 70, 449–457. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.050>
- Dighade, R. R., Kadu, M. S., & Pande, A. M. (2014). Challenges in Water Loss Management of Water Distribution Systems in Developing Countries. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(6), 13838–13846.
- Fırat, M., Orhan, C., Yılmaz, S., & Özdemir, Ö. (2021). Su idarelerinin su kayıp yönetim performansının analizi ve temel performans gösterge hesaplama aracının geliştirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 75–88. <https://doi.org/10.21324/dacd.784488>
- Franceschini, F., Galetto, M., Maisano, D., & Viticchi, L. (2006). The Condition of Uniqueness in Manufacturing Process Representation by Performance/Quality Indicators. *Quality and Reliability Engineering International*, 22(5), 567–580. <https://doi.org/10.1002/qre.762>
- Gunawan, I., Schultmann, F., & Zarghami, S.A. (2017). The four Rs performance indicators of water distribution networks: A review of research literature. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 34, 720–732. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2016-0203>
- Hu, Z., Tan, D., Chen, B., Chen, W., & Shen, D. (2021). Review of model-based and data-driven approaches for leak detection and location in water distribution systems. *Water Supply*, 21, 3282–3306. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.101>
- Lambert A. O. (2002). International Report: Water losses management and techniques. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(4), 1–20.
- Loureiro, D., Beceiro, P., Moreira, M., Arranja, C., Cordeiro, D., & Alegre, H. (2023). A comprehensive performance assessment system for diagnosis and decision-support to improve water and energy efficiency and its demonstration in Portuguese collective irrigation systems. *Agricultural Water Management*, 275, Article 107998. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107998>
- Maziotis, A., Molinos-Senante, M., Sala-Garrido, R., & Mocholí-Arce, M. (2023). Evaluation of dynamic eco-efficiency of water companies: the influence of non-revenue water and water supply interruptions. *npj Clean Water*, 6, Article 20. <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00233-1>
- Mbuvi, D., De Witte, K., & Perelman, S. (2012). Urban water sector performance in Africa: A step-wise bias-corrected efficiency and effectiveness analysis. *Utilities Policy*, 22, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2012.02.004>
- Mukherjee, M., Chindarkar, N., & Grönwall, J. (2015). Non-revenue water and cost recovery in urban India: The case of Bangalore. *Water Policy*, 17, 484–501. <https://doi.org/10.2166/wp.2014.304>
- Okeola, O. G., & Sule, B. F. (2012). Evaluation of management alternatives for urban water supply system using Multicriteria Decision Analysis. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 24(1), 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2011.07.004>
- Pearson, D. (2019). *Standard Definitions for Water Losses, Standard Definitions for Water Losses*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781789060881>
- Sala-Garrido, R., Mocholí-Arce, M., Maziotis, A., & Molinos-Senante, M. (2023). Benchmarking the performance of water companies for regulatory purposes to improve its sustainability. *npj Clean Water*, 6, Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00218-6>

- Sarı, Z. (2015). *Veri zarflama analizi ve bir uygulama*, [Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Tourinho, M., Santos, P. R., Pinto, F. T., & Camanho, A. S. (2022). Performance assessment of water services in Brazilian municipalities: An integrated view of efficiency and access. *Socio-Economic Planning Sciences*, 79, Article 101139. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101139>
- Tsitsifli, S., Kanakoudis, V., Kouziakis, C., Demetriou, G., & Lappos, S. (2017). Reducing non-revenue water in urban water distribution networks using DSS tools. *Water Utility Journal*, 16, 25-37.
- Vilanova, M. R. N., & Balestieri, J. A. P. (2015). Modeling of hydraulic and energy efficiency indicators for water supply systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 540–557. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.024>
- Wyatt, A. S. (2010). *Non-revenue water: financial model for optimal management in developing countries*. RTI Press. <https://doi.org/10.3768/rtipress.2010.mr.0018.1006>
- Yazid, N.A.M., Zaini, N., Chelliapan, S., Othman, N.R.M., Albati, S., & Nasri, N.S. (2017). Economic and efficiency indicators in non-revenue water performance. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 8(10), 1419–1431.

Did Turkey Experience Reductions in Air Pollution During The Covid-19 Lockdown and Partial Lockdown?

İsmet Yener^{1,*}, Kazım Onur Demirarslan²

¹Artvin Çoruh University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, 08100, Artvin.

²Artvin Çoruh University, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, 08100, Artvin.

Abstract

Air pollution, one of humanity's essential environmental problems due to the increasing population and urbanization, negatively affects the ecosystem and public health. During reduced human activity, such as martial law, war, and pandemics like COVID-19, improvements in air quality may be observed due to diminished anthropogenic impact. The novel coronavirus, COVID-19, has caused widespread illness and fatalities. The World Health Organization (WHO) declared a state of emergency at the end of December 2019 following the first recognition of the virus in Wuhan. The Turkish government declared this state on March 11, 2020, and implemented some measures, including a lockdown (LD) and a partial lockdown (PLD), to protect public and human health. The present study aims to determine the impact of LD and PLD on the air quality of fourteen selected cities in Turkey that participated in all LDs during the state of emergency on weekends and national and religious holidays. The hourly air quality data used in the study were collected from 105 air monitoring stations in fourteen cities. The non-parametric Kruskal Wallis test, followed by the Dunn's Bonferroni test for pairwise comparison, was employed to determine the differences in air quality between years. The findings indicated significant reductions in air pollution during LD and PLD: 21.1-40.3% and 8.9-29.8% in PM₁₀, respectively, and 30.2-50.8% and 2.6-22.4% in NO_x, respectively. SO₂ and CO also varied significantly. While the changes in SO₂ during LD and PLD went from 0.0% to 5.7% and -2.4% to 1.2%, respectively, those in CO ranged from -6.6% to 29.6% and 1.3% to 33.2%, respectively.

Keywords

Pandemic, COVID-19, Air Quality, Lockdown, Air Pollutants

Türkiye, Covid-19 Kapanma ve Kısmi Kapanma Dönemlerinde Hava Kirliliğinde Azalmalar Yaşadı mı?

Özet

Artan nüfus ve kentleşmeye bağlı olarak ortaya çıkan ve insanlığın temel sorunlarından biri olan hava kirliliği ekosistem ve halk sağlığını olumsuz etkilemektedir. Sıkıyönetim, savaş, COVID-19 gibi salgın hastalıkların yarattığı bazı koşullarda insanların çevre üzerindeki olumsuz etkisinin azalması nedeniyle hava kalitesinde de iyileşmeler görülebilmektedir. Yeni keşfedilen korona virüsün neden olduğu COVID-19 dünya çapında bir çok insanın hastalanmasına ve ölümüne neden olmuştur. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), virüsün ilk kez Wuhan'da tanınmasının ardından Aralık 2019'un sonunda olağanüstü hal ilan etmiştir. Türkiye ise bu durumu 11 Mart 2020'de ilan etti ve ardından halk ve insan sağlığını korumak için karantina (LD) ve kısmi karantina (PLD) dahil olmak üzere bazı önlemler aldı. Bu çalışma, LD ve PLD'nin hafta sonları ile ulusal ve dini bayramlardaki olağanüstü hal sırasında LD'lere dahil olan on dört ilde hava kalitesi üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada kullanılan saatlik hava kalitesi verileri, on dört ildeki 105 hava izleme istasyonundan toplanmıştır. Yıllar arasında hava kalitesindeki farklılıkları belirlemek için parametrik olmayan Kruskal Wallis testi ve ardından ikili karşılaştırma için Dunn's Bonferroni testi kullanılmıştır. Bulgular, LD ve PLD sırasında hava kirliliğinde önemli azalmalar olduğunu göstermiştir: LD ve PLD için sırasıyla PM₁₀'da %21,1-40,3 ile %8,9-29,8 ve NO_x'te %30,2-50,8 ile %2,6-22,4 şeklinde değişimler gözlenirken SO₂ ve CO konsantrasyonlarında da anlamlı değişiklikler tespit edilmiştir. Bu değişimler LD ve PLD için sırasıyla SO₂'de %0,0 ile %5,7, %2,4 ile %1,2 arasında değişirken, CO'de %6,6 ile %29,6 ve %1,3 ile %33,2 arasında ortaya çıkmıştır.

Anahtar Sözcükler

Pandemi, COVID-19, Hava Kalitesi, Karantina, Hava Kirleticileri

1. Introduction

Human activity has adversely affected air quality. As industrial, technological, and urban development has progressed, the negative pressure on environmental resources has increased. Suspended particles (PM_{2.5} and PM₁₀) and gases such as carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen oxide, and ozone emitted into the atmosphere by various sources comprise air pollution (Liu et al., 2019). All these changes and adverse effects on air quality are based on an increasing population.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (462) 2151035, Faks: +90 (462) 2151034

E-posta: yener@artvin.edu.tr (Yener İ), onurdemirarslan@artvin.edu.tr (Demirarslan K.O)

Gönderim Tarihi / Received : 08/08/2023

Kabul Tarihi / Accepted : 29/10/2023

Most countries around the world suffer from air pollution and related diseases. New air-pollution-based respiratory diseases have emerged daily, and poor air quality is a globally important mortality risk factor (Heft-Neal et al., 2018). Therefore, the public and governments have noticed air pollution threatening the environment and human health. Many people die yearly from this problem, including seven million premature deaths (Plaia and Ruggieri, 2011; World Health Organization, 2020a). Furthermore, Vohra et al., (2021) estimated premature deaths worldwide as 10.2 million people yearly. While Burnett et al., (2018) attributed 4 million deaths in 2015 to increased PM_{2.5} concentrations, Heft-Neal et al. (2018) reported that this pollutant is responsible for 9 to 22% of infant mortality. Increased air pollution in Istanbul, Turkey, was found to be correlated with both increased respiratory-related hospital admissions (Çapraz et al., 2017) and higher mortality rates from cardiovascular, respiratory, and non-accidental diseases (Çapraz et al., 2016).

The increasing population has caused air pollution through rapid industrial and urban development, increasing motor vehicle use, and fossil fuel consumption (Mamtimin & Meixner, 2011). The removal of one or more factors causing air pollution could enhance the quality of air. An air policy implemented during an Olympics, an economic recession, or a lockdown (LD) due to a situation such as martial law, war, or a pandemic could improve air quality (Agrawala et al., 2020). COVID-19, an epidemic and one of the mentioned situations, is an infectious disease caused by a newly discovered coronavirus. Most people experiencing this illness have mild to moderate respiratory symptoms and recover without special treatment. People with medical issues, such as cardiovascular disease, diabetes, chronic respiratory disease, or cancer, are more likely to develop severe illnesses (World Health Organization, 2020b).

The state of emergency due to COVID-19 was declared by the World Health Organization (WHO) at the end of December 2019 after the virus was first recognized in Wuhan, China. Then, the pandemic spread to a few countries outside China (Sahin, 2020). As of September 29, WHO (World Health Organization, 2020b) reported the number of confirmed cases of COVID-19 and deaths as 33,206,004 and 999,239 in the world, and 314,239 and 7997 in Turkey. The Ministry of Health in Turkey declared a state of emergency on March 11, 2020. After this date, the Turkish government took some economic and social precautions, as most countries have done, to protect public and human health, including LD and partial lockdown (PLD). The LD enforces rigorous measures, such as closing non-essential businesses, restricting movements, and issuing stay-at-home orders to curb social activities and movement. In contrast, the PLD permits a limited range of actions, enabling some economic and social activities to proceed while imposing restrictions in certain areas.

Regulation of working hours of banks and other associations, a curfew for those over 65, flight bans, restrictions on restaurants, barbers and beauty centers, entertainment, art, culture, and social activities, and closure of schools and universities are also among the precautions declared by the government (Kanat et al., 2020). In addition to a curfew for those over 65, the government ordered an LD for everyone on weekends and national and religious holidays. This period lasted from April 11 to May 31. Starting June 1, the LD and PLD ended, except for older individuals (Ministry of Interior, 2020).

During the COVID-19 period, some studies regarding the effect of COVID-19 on air quality were performed. Institutions such as NASA and the ESA reported NO₂ reductions of about 30% in China for the LD period (Arafat et al., 2020). The decline in air pollution was observed not only in China but also all over the world. For example, with the COVID-19 period measures, air pollution levels dropped by 50% in New York (Saadat et al., 2020). Significant contaminant reductions have also been observed in water and the environment (Arora et al., 2020; Zambrano-Monserrate et al., 2020).

The present study aims to determine the impact of the LD and PLD implemented by the Turkish government to protect the public and human health on air quality in fourteen cities in Turkey, considering meteorological parameters.

2. Material and Method

2.1. Study Area

This study was performed in fourteen cities in Turkey, located between Asia and Europe continents. The study area was situated from 36°-42° N and 26°-45° E, covering an area of 777,000 km² (Figure 1). The population of Turkey was 83,154,997 in 2019 (Turkish Statistical Institute, 2020). The climate in the country varies among regions. While the dry summer subtropical Mediterranean climate is dominant in the country's southern and western parts, with mid-to-high drought risk, the Black Sea region, with low drought risk, experiences a mid-latitude temperate climate (Turkes, 2020).

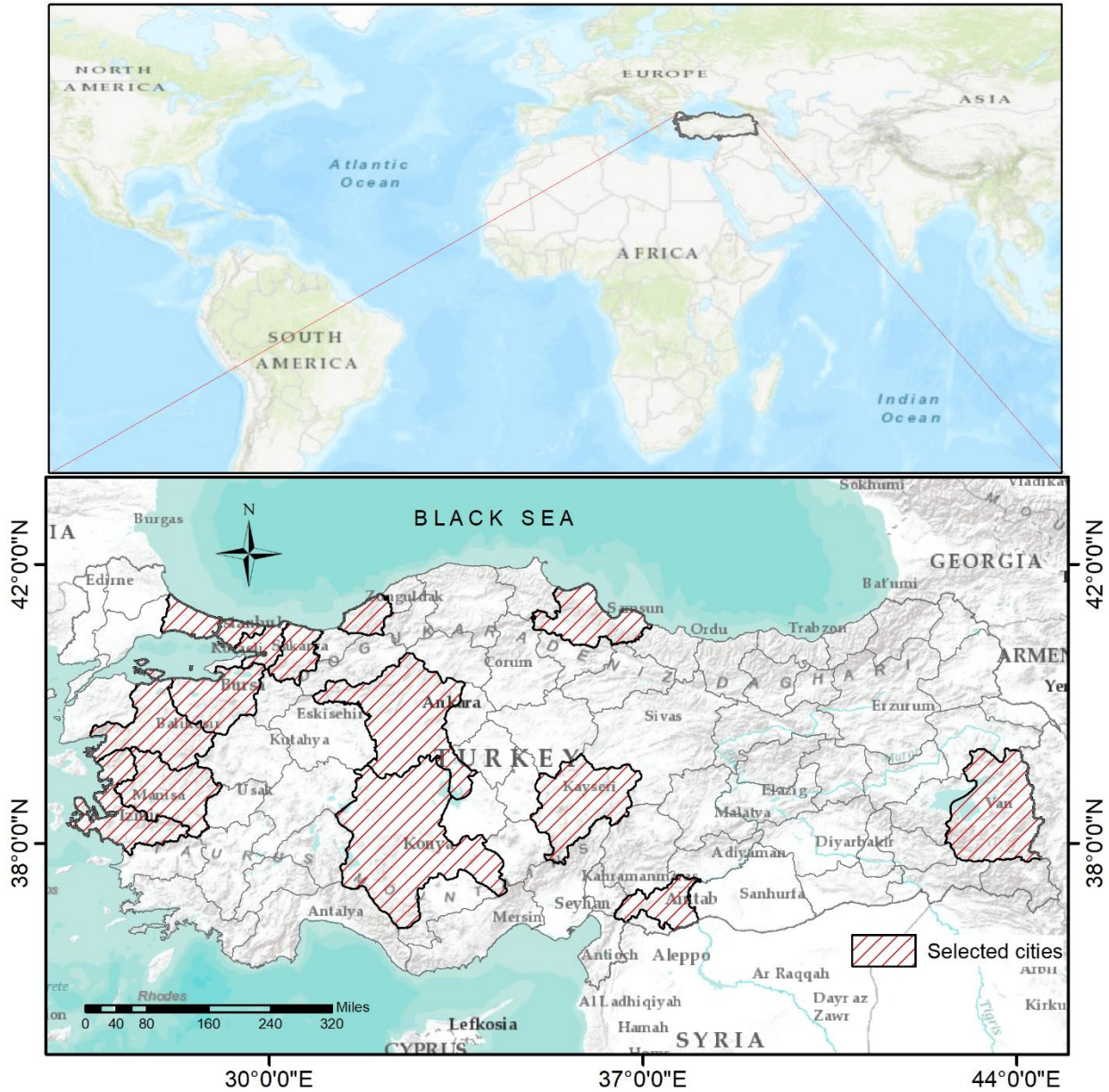


Figure 1: Location of selected cities with full lockdown in Turkey

2.2. Data and Methodology

Thirteen large cities and Zonguldak, included in all full LDs declared by the government between April 11 and May 31, 2020, were selected due to more confirmed cases of COVID-19 and more deaths in direct proportion to their population. (Full) LDs covered only weekends and national and religious holidays in a given period. Turkish Ministry of Health reported the highest number of confirmed cases in Istanbul, with 807.1 per 100,000 people, which is 40% of the total cases in the country (Ahsan & Sadak, 2021). It was followed by 436 cases in western Anatolia, 391 cases in southeastern Anatolia, 353 cases in eastern Marmara, and 310 cases in central Anatolia (Özvarış et al., 2020). Some selected provinces were among the most densely populated and significant industrialized cities (Goren et al., 2021).

Data from Eskişehir, another large city, could not be used because they were insufficient. Air quality data such as particulate matter ≤ 10 microns (PM_{10}), sulfur dioxide (SO_2), nitrogen oxides (NO_x), and carbon monoxide (CO) were derived from 105 air quality stations monitored by the Turkish Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change (<http://www.havaizleme.gov.tr/hava.html>). The amount of hourly air pollutant data used in the study were 519,553, 472,321, 236,161, and 226,321 for PM_{10} , SO_2 , NO_x , and CO. According to the EPA, the following methods have been used: Beta-Attenuation Control for particulate matter (PM_{10}), UV fluorescence for SO_2 , Non-Dispersive Infrared Photometry for CO, and Gas-Phase Chemiluminescence for NO_x (Gilliam & Hall, 2016).

In this study, meteorological data regarding mean temperature, precipitation, relative humidity, air pressure, and wind speed over given periods were gathered from NASA (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>). These data were used to assess air quality to decide whether restrictions imposed in lockdown and partial lockdown were the only factors affecting air quality. The air quality data in LD and PLD were compared to those in 2018 and 2019. One-way ANOVA and Kruskal Wallis analyses followed by Tukey and Dunn's Bonferroni tests were performed using SPSS version 20.0 (IBM Corp., 2011) to determine the differences in meteorological variables and air pollutants, respectively, among years (Leech et al., 2005).

3. Result and Discussion

This study compared and assessed air quality data for fourteen selected cities in Turkey during the LD and PLD periods.

3.1. Effect of lockdown and partial lockdown on air quality

PM₁₀, SO₂, NO_x, and CO concentrations constituted air quality data regarding the LD and PLD periods in the fourteen selected cities in Turkey. We presented some descriptive statistics related to air quality data during LD and PLD in Tables 1 and 2, respectively.

The average PM₁₀ concentrations during the LD period for selected cities were 53.3±0.3, 40.3±0.3, and 31.8±0.3 µg/m³ in 2018, 2019, and 2020, respectively. The PM₁₀ concentrations for the PLD period were 52.7±0.1, 40.6±0.1, and 37.0±1.1 µg/m³.

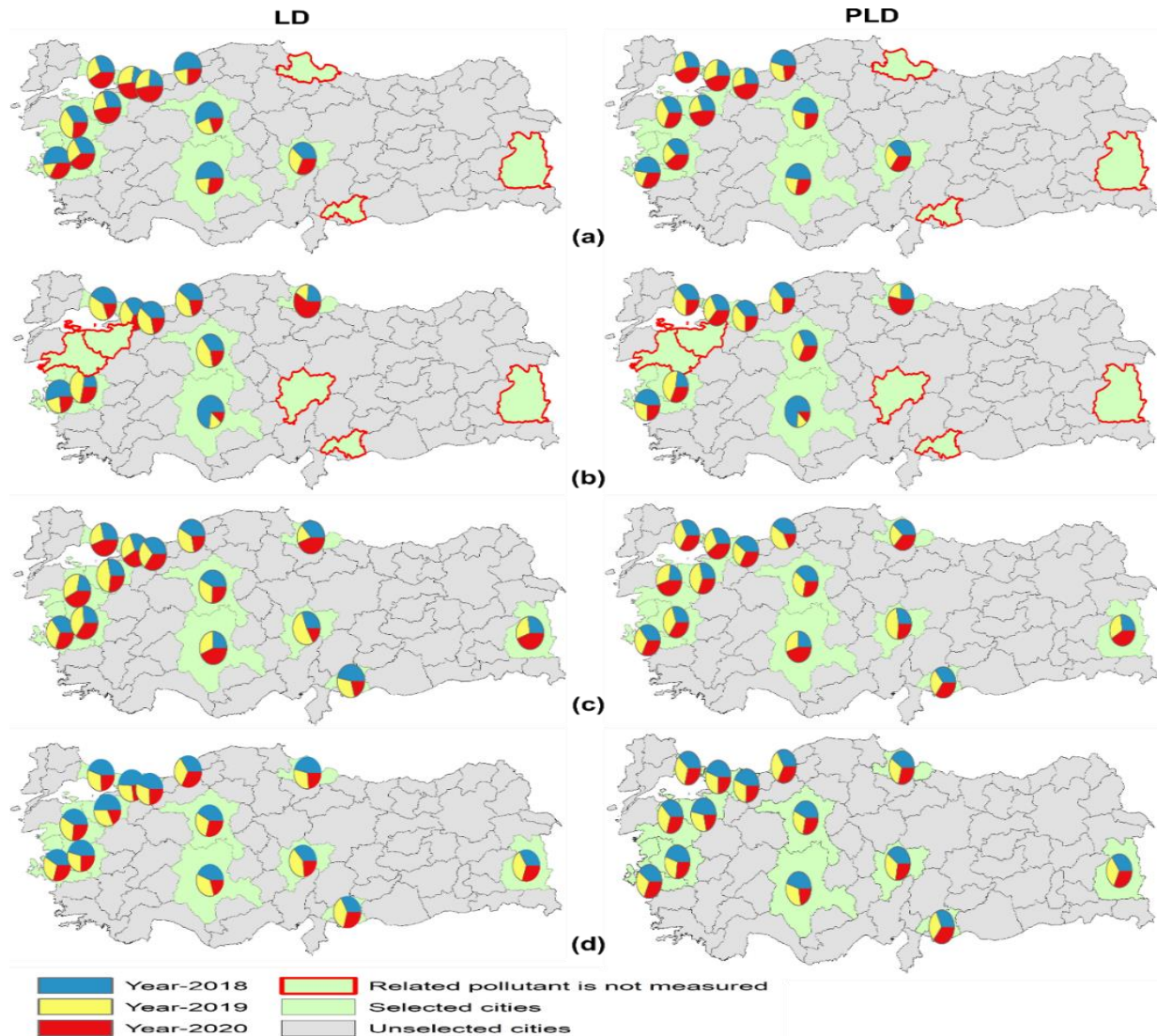


Figure 2: Air quality data in selected 14-city of Turkey in LD vs. that in PLD, according to years (a: CO, b: NO_x, c: SO₂, d: PM₁₀)

Table 1: Some descriptive statistics for air pollutants in LD according to years

Province		PM ₁₀ (µg/m ³)			SO ₂ (µg/m ³)			NO _x (µg/m ³)			CO (µg/m ³)		
		2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Ankara	$\bar{X} \pm SE$	61.6±0.8	43.2±0.9	42.8±1.5	7.0±0.1	5.2±0.2	4.3±0.1	51.1±0.7	62.3±2.0	31.4±1.2	1213.3±26.0	533.3±13.3	420.8±12.8
	M	57.7a	39.8b	30.3c	7a	3.8b	4b	48a	49.6a	21.6b	1259.2a	456.7b	335.4c
Balıkesir	$\bar{X} \pm SE$	45.6±0.6	34.2±0.5	29.1±0.7	5.4±0.2	8.9±0.3	10.5±0.7				859.6±16.1	942.3±19.4	648±14.1
	M	43.5a	32.9b	25.2c	3.4a	7.3b	8.4c				762.6a	821b	596.3c
Bursa	$\bar{X} \pm SE$	88.9±1.5	56.8±1.0	32.0±0.8	5.7±0.2	8.9±0.3	5.4±0.1				1162.0±20.0	902.1±20.5	1812.9±22.4
	M	82.3a	53.9b	25.7c	4a	7.1b	5c				1063.3a	831.9b	1706.9c
Gaziantep	$\bar{X} \pm SE$	31.1±0.8	36.4±1.8	28.2±1.0	6.6±0.1	4.6±0.0	2.9±0.1						
	M	26.2a	31.1b	23c	6.4a	4.6b	3c						
İstanbul	$\bar{X} \pm SE$	52.5±1.1	35.8±0.5	28.7±0.6	4.5±0.1	4.1±0.1	6.9±0.1	138.2±5.4	128.4±3.4	62.7±2.1	543.8±9.0	455.7±5.0	717.3±9.0
	M	42.4a	33.4b	25.4c	3.3a	3.5a	58b	95.4a	113.1b	49c	466.5a	421.8b	677.7c
İzmir	$\bar{X} \pm SE$	42.1±0.6	29.9±0.7	29.9±0.9	9.6±0.1	9.2±0.2	8.3±0.0	35.8±1.0	15.0±0.3	15.3±0.3	558.4±5.2	157.9±3.7	363.8±3.2
	M	39.6a	25.4b	21.9c	8.6a	8.4a	8.2b	29.5a	12.2b	14.6c	562.5a	141.5b	345.7c
Kayseri	$\bar{X} \pm SE$	46.0±1.0	51.1±1.4	29.5±1.0	4.1±0.1	7.2±0.2	2.3±0.2				517.3±12.0	400.7±11.4	427.3±12.8
	M	41.3a	44.1a	20.8b	3.6a	6.1b	1.5c				474.2a	327.9b	379.2b
Kocaeli	$\bar{X} \pm SE$	61.1±1.2	35.1±0.5	28.2±0.6	8.3±0.3	7.5±0.2	11.2±0.5	54.5±1.7	52.0±1.2	46.8±1.2	608.6±13.5	822.9±14.2	1315.8±18.7
	M	54.8a	34.8b	24.0c	5.5a	5.5a	7.1b	43.2a	46.1a	37.1b	523.1a	766.1b	1206.2c
Konya	$\bar{X} \pm SE$	47.6±0.9	39.4±1.0	21.8±0.8	6.4±0.2	7.8±0.1	11.0±0.3	179.7±15.1	38.9±1.0	27.6±0.9	830.0±14.8	344.4±9.4	441.7±15.9
	M	41.7a	33.5b	15.2c	4.3a	7.2b	9.6c	20.6a	31.4b	22.5a	778a	274.1b	324.7c
Manisa	$\bar{X} \pm SE$	85.0±1.0	52.9±0.8	46.9±1.1	22.7±1.1	32.7±1.3	30.1±1.7	24.9±1.2	52.4±1.5	31.3±1.0	1143.0±31.0	904.6±18.5	1372.3±85.6
	M	80.3a	49.6b	38.7c	13a	20.6b	20.9b	23.9a	42.7b	26.9a	1034.8a	881.9b	1004.0a
Sakarya	$\bar{X} \pm SE$	58.9±0.9	40.6±0.8	32.4±0.9	6.7±0.3	5.2±0.2	6.5±0.1	53.5±1.3	53.5±1.2	29.6±0.8	776.7±14.5	939.6±18.7	1531.1±25.0
	M	53.1a	37.7b	25.0c	4.5a	3.8b	5.9c	45a	47.0a	23.2b	702.2a	834.5b	1324.3c
Samsun	$\bar{X} \pm SE$	55.1±0.8	36.2±0.6	28.1±0.7	11.2±0.2	5.8±0.2	13.6±0.2	55.7±1.3	41.8±1.2	139.9±6.4			
	M	50.9a	33.9b	24.5c	10.3a	5b	12.6c	50a	35.6b	138.6c			
Van	$\bar{X} \pm SE$	27.9±0.8	31.1±0.9	24.9±0.8	6.1±0.3	6.2±0.1	9.8±0.1						
	M	23a	25.4a	19.2b	4.6a	5.3b	9.3c						
Zonguldak	$\bar{X} \pm SE$	43.2±0.7	41.5±0.8	41.1±1.0	12.1±0.5	10.4±0.5	6.3±0.2	26.6±0.8	26.2±0.7	14.2±0.2	1380.6±9.4	577.4±16.0	660.4±8.0
	M	40.4a	38.5b	33c	9a	6.8b	5.5c	22.9a	23.3a	12.7b	1396.6a	436.3b	621.8c
Average	$\bar{X} \pm SE$	53.3±0.3	40.3±0.3	31.8±0.3	8.3±0.1	8.8±0.1	8.8±0.1	73.8±2.0	52.0±0.7	36.3±0.6	870.9±6.4	627.7±5.6	813.5±8.6
	M	47.9a	36.3b	25.3c	6.3a	5.9a	7.3b	41.9a	38.0b	23.5c	753.7a	536.4b	614.1c

 $\bar{X}$: Mean, SE: Standard error of mean, M: Median* Lowercase letters attaching to values show significant ($p < 0.001$) differences in years according to Kruskal Wallis, followed by Dunns Bonferroni test.

Table 2: Some descriptive statistics for air pollutants in PLD according to years

Province		PM ₁₀ (µg/m ³)			SO ₂ (µg/m ³)			NO _x (µg/m ³)			CO. (µg/m ³)		
		2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Ankara	$\bar{X} \pm SE$	68,6±0,5	45,2±0,5	45,0±0,5	6,1±0,1	5,1±0,1	4,4±0,0	52,3±0,5	56,6±0,7	52,0±0,5	969,1±12,8	590,6±8,5	549,4±8,1
	M	57,1a	34,9b	34,1b	4,3a	3,4b	3,9c	42,8a	35,9b	36,3a	840,5a	428,8b	401,1c
Balıkesir	$\bar{X} \pm SE$	42,9±0,3	37,1±0,2	34,1±0,3	6,5±0,1	9,1±0,2	12,7±0,4				942,9±11,5	958,4±11,3	852,8±10,3
	M	37,5a	32,2b	28,3c	3,6a	4,9b	7,2c				788,6a	819,9a	750,9b
Bursa	$\bar{X} \pm SE$	85,5±0,7	57,7±0,4	39,0±0,3	6,2±0,1	8,7±0,1	6,6±0,1				1278,9±14,3	913,6±12,7	1943,5±12,7
	M	74,1a	50,1b	33c	3a	5,3b	4,9c				1114,9a	801,1b	1823,6c
Gaziantep	$\bar{X} \pm SE$	35,1±0,4	34,4±0,5	39,4±0,4	5,5±0,1	4,5±0,0	5,4±0,1						
	M	28,6a	29,8a	33,9b	5,5a	4,3b	3,9b						
İstanbul	$\bar{X} \pm SE$	48,7±0,2	41,1±0,1	37,2±3,3	4,3±0,0	4,5±0,0	4,5±0,0	122,6±2,7	121,6±2,1	84,3±1,4	558,4±2,4	495,0±2,0	831,2±4,9
	M	36,6a	33,6b	25,9c	2,8a	3b	3b	85,8a	102,8b	64,2c	467,8a	425,6b	724,8c
İzmir	$\bar{X} \pm SE$	41,5±0,3	29,7±0,2	32,5±0,2	9,9±0,1	8,9±0,0	8,9±0,0	27,8±0,4	17,4±0,3	15,2±0,2	559,5±3,4	234,5±3,2	372,2±2,0
	M	33,7a	25b	25,6c	8,8a	7,9b	7,9b	19,9a	10,4b	10,6c	529a	196,6b	360,5c
Kayseri	$\bar{X} \pm SE$	53,8±0,5	43,8±0,4	37,3±0,4	4,5±0,1	7,4±0,1	4,3±0,2				580,7±8,2	418,2±6,9	540,1±8,7
	M	44,1a	37,1b	30,1c	4a	6b	2,3c				496,5a	341,5b	437,9c
Kocaeli	$\bar{X} \pm SE$	56,3±0,3	38,5±0,2	31,2±0,2	8,4±0,1	7,6±0,1	10,5±0,2	50,5±0,4	47,8±0,4	56,9±0,6	662,4±7,9	864,1±7,9	1231,9±10,7
	M	45a	32,8b	25,7c	4,8a	4,1b	4,9c	29,3a	29,6b	26,1b	542,5a	794,7b	1262,5c
Konya	$\bar{X} \pm SE$	46,8±0,4	33,8±0,3	23,2±1,1	7,0±0,1	8,1±0,1	12,3±0,2	234,7±9,1	43,1±0,5	37,7±0,4	825,8±7,7	408,4±5,0	492,9±8,4
	M	36,4a	26,9b	12c	4,4a	6,8b	7,1c	28,2a	33b	28,94c	718,4a	298,7b	323,9c
Manisa	$\bar{X} \pm SE$	87,8±0,8	55,2±0,4	53,0±0,5	34,2±0,9	40,9±0,9	39,4±1,0	25,7±0,7	51,5±0,7	36,1±0,4	1223,5±13,6	736,2±10,2	1313,2±28,6
	M	79,5a	50,7b	47,6c	13,1a	21b	18,1c	23,7a	44,2b	32,5c	1132,0a	719,9b	1097c
Sakarya	$\bar{X} \pm SE$	63,4±0,7	43,1±0,3	37,1±0,3	8,2±0,2	5,6±0,1	6,7±0,1	51,4±0,6	50,7±0,5	33,9±0,4	906,2±13,9	906,2±13,9	1546,1±11,9
	M	52,1a	38,6b	31,7c	4,1a	3,5b	6,5c	39,9a	39a	27,2b	743,5a	743,5a	1406,1b
Samsun	$\bar{X} \pm SE$	53,6±0,4	39,7±0,3	39,2±0,3	12,1±0,1	7,7±0,1	11,7±0,1	55,4±0,8	44,4±0,5	112,9±2,5			
	M	46,8a	36,4b	34,1c	8,8a	5,2b	9,8c	38,7a	31,7b	34,6a			
Van	$\bar{X} \pm SE$	30,8±0,9	29,2±0,6	28,2±0,6	9,3±0,3	10,9±0,3	14,1±0,2						
	M	25,5a	20,9b	20b	5,2a	7,1b	10,7c						
Zonguldak	$\bar{X} \pm SE$	46,9±0,4	47,0±0,4	45,9±0,4	14,3±0,2	14,6±0,3	6,2±0,1	27,1±0,4	27,7±0,4	18,4±0,2	1236,6±6,0	843,6±7,8	607,0±4,2
	M	38,3	38,2	37,6	7,5a	7b	4,3c	14,5a	14,2a	11,2b	1206,6a	580,1b	499,4c
Average	$\bar{X} \pm SE$	52,7±0,1	40,6±0,1	37,0±1,1	8,2±0,0	7,9±0,0	8,0±0,0	58,8±0,6	46,8±0,2	45,6±0,3	766,4±2,3	582,2±1,9	776,0±2,8
	M	41,3a	33,5b	28,3c	4,5a	4,7b	4,9c	31,2a	30,7b	24,5c	618,6a	451,9b	584,1c

$\bar{X}$: Mean, SE: Standard error of mean, M: Median

* Lowercase letters attaching to values show significant ($p < 0.001$) differences in years according to Kruskal Wallis, followed by Dunns Bonferroni test.

While the Bursa, Bursa, and Manisa provinces had the highest PM₁₀ levels in 2018, 2019, and 2020, respectively (Figure 2d), Van had the lowest PM₁₀ level in all years for LD. Manisa and Van had the highest and lowest PM₁₀ levels for the PLD period.

According to the Kruskal Wallis test followed by the Dunn's Bonferroni test, PM₁₀ during both LD and PLD periods statistically varied among years ($p < 0.001$). PM₁₀ in 2020 for LD and PLD was statistically lower than in 2019 and 2020 (Table 1, Table 2). The reductions in PM₁₀ level were 40.3% and 21.1% for LD and 29.8% and 8.9% for PLD, respectively, compared to 2018 and 2019 (Figure 3b). The PM₁₀ levels in 2020 were statistically lower than those in previous years in almost all provinces. The reductions in concentrations of PM₁₀ may be attributed to decreasing transportation, industry, and commercial activities as part of COVID-19 measures. Xu et al. (2020) reported that human activity is the primary contributor to PM₁₀ emissions. Biomass combustion and traffic, among anthropogenic factors, have increased the PM₁₀ level by 39% and 12-70%, respectively (World Health Organization, 2020a; Sicard et al., 2020). Our results (21.1-40.3% in LD and 8.9-29.8 in PLD) are consistent with the findings of researchers in Turkey (Alemdar et al., 2021; Celik & Gul 2022; Dursun et al., 2022; Efe, 2022; Orak & Ozdemir, 2021; Ozbay & Koc, 2022, Sari & Esen 2022). They found PM₁₀ concentrations during COVID-19 1.2-67.0% lower than the previous year and attributed the reductions in PM₁₀ to traffic, household heating, and fossil fuel combustion restrictions. Some other researchers over the world (Arora et al., 2020; Jain & Sharma, 2020; Kanniah et al., 2020; Kumari & Toshniwal, 2020; Mahato et al., 2020; Otmami et al., 2020) also found drastic reductions in PM₁₀ levels due to LD or PLD implemented during the COVID-19 period. For example, Otmami et al. (2020) correlated a 75% reduction in PM₁₀ with restricting road traffic, industrial exhaust emissions, and construction works due to COVID-19. Unlike the majority, despite the curfew, Shakoor et al. (2020) and Nadzir et al. (2020) found increased PM₁₀ during COVID-19.

The average SO₂ concentrations during the LD period for selected cities were 8.3±0.1, 8.8±0.1, and 8.8±0.1 µg/m³ in 2018, 2019, and 2020, respectively. The SO₂ concentrations for the PLD period were 8.2±0.0, 7.9±0.0, and 8.0±0.0 µg/m³. The Zonguldak, Manisa, and Manisa provinces had the highest SO₂ levels, and Van, Istanbul, and Kayseri had the lowest in 2018, 2019, and 2020, respectively, during LD. For the PLD period, Zonguldak, Zonguldak, and Van had the highest, and Istanbul, Istanbul, and Kayseri had the lowest SO₂ levels in 2018, 2019, and 2020, respectively (Figure 2c). The change in the average SO₂ level during LD and PLD was statistically significant but slight. The determined SO₂ changes were 0.0% to 5.7% during LD and -2.4% to 1.2% during PLD (Figure 3d, Table 1, Table 2). Although the average shift during LD and PLD was slight, considering the individual provinces, the differences between the LD period and previous years increased. SO₂ levels during LD and PLD statistically increased 4.7-134.5% in Balikesir, Istanbul, Kocaeli, Konya, Manisa, Samsun, and Van compared to the previous two years. However, 3% to 57.5% reductions in SO₂ were determined in the remaining provinces. Celik and Gul (2022) also found similar findings, such as reductions in half of the stations and increases in the remaining attributable to household heating.

Many researchers (Arora et al., 2020; Kumari & Toshniwal, 2020; Bao & Zhang, 2020; Chen et al., 2020; Collivignarelli et al., 2020; Ghosh & Ghosh 2020; He et al., 2020) worldwide have reported SO₂ reductions of up to 29% due to LD and PLD measures during the COVID-19 period. Average decreases in SO₂ in studies implemented in Turkey (Alemdar et al., 2021; Celik & Gul 2022; Orak & Ozdemir, 2021; Sari & Esen 2022) ranged from 16.6% to 59.0%. Power plants, heating systems, industrial processes, fossil fuel combustion, and sulfur-containing ore smelting have contributed 70% to 90% of SO₂ emissions (Xu et al., 2020; Collivignarelli et al., 2020). Some provinces' unexpected increase in SO₂ emissions during LD and PLD may correlate with fossil fuel combustion in residential areas and emissions from fertilized agricultural areas, animal husbandry operations, and continued industrial activity. Meteorological parameters such as decreasing relative humidity and low temperature reinforced the influence of these factors on SO₂ emissions. Relative humidity (Figure 4d) and temperature (Figure 4c) during LD and PLD were significantly ($p < 0.001$) lower than in the previous years (Table 3, Table 4). The decreasing effect of increasing relative humidity and temperature on SO₂ may be attributed to the cleansing effect of water vapor and reduced use of fuels, especially coal, on warmer days (Holzworth, 1974). Similar results were also found by Chen et al. (2020), who attributed the increases in SO₂ to biomass burning.

The average NO_x concentrations during the LD period for selected cities were 73.8±2.0, 52.0±0.7, and 36.3±0.6 µg/m³ for 2018, 2019, and 2020, respectively. NO_x concentrations for the PLD period were 58.8±0.6, 46.8±0.2, and 45.6±0.3 µg/m³. Konya, Istanbul, and Istanbul had the highest, and Manisa, Izmir, and Izmir had the lowest NO_x levels in 2018, 2019, and 2020, respectively, during both LD and PLD (Figure 2b, Table 1, Table 2).

The average NO_x levels during LD and PLD were significantly ($p < 0.001$) lower than those in 2018 and 2019. The reductions in NO_x were between 30.2% and 50.8% during LD and 2.6% and 22.4% during PLD (Figure 3c). Significant declines were observed in all selected provinces except Kocaeli, Samsun, and Manisa. While the reductions may be primarily attributed to restrictions in human activities such as transportation and industrial manufacturing due to COVID-19, the increase may be related to not shutting down industries such as natural gas plants and power conversion plants. The increases in the three provinces can also be associated with the increasing effect of decreasing relative humidity (Figure 4d, Table 3, Table 4). Other researchers (Arafat et al., 2020; Sicard et al., 2020; Kumari & Toshniwal, 2020; Collivignarelli et al., 2020; Adams, 2020; Krecl et al., 2020; Pei et al., 2020; Alemdar et al., 2021; Celik & Gul, 2022) also found reductions ranging between 30% and 77.3%. They related the decrease in NO_x to the combustion of fossil fuels in vehicles, industries, and households. Sicard et al. (2020), for example, reported a decline of 49% in NO_x in EU cities, which was attributed to transportation (47%) and combustion.

Han and Naeher (2006) and World Health Organization, (2020a) reported that up to 71.5% of atmospheric NO_x emissions came from traffic. In support of this, it was stated that the traffic in Ankara was reduced by 82% and in Istanbul by 80.5% during the pandemic (Sahraei et al., 2021).

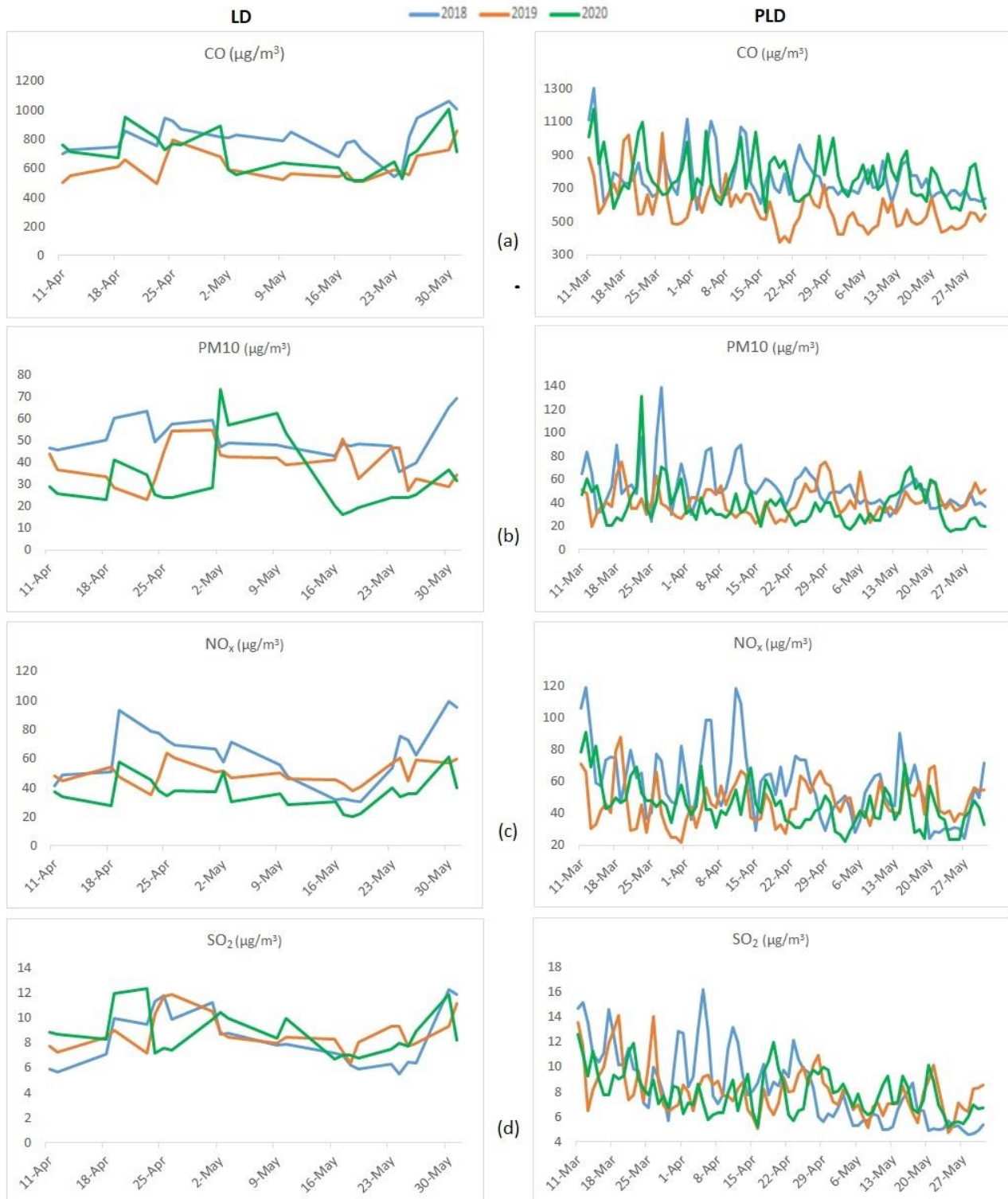


Figure 3: Air pollutants in LD vs. those in PLD according to years (a: CO., b: PM₁₀, c: NO_x, d: SO₂)

Table 3: Some meteorological data regarding selected cities in LD according to years

Provinces	Prec (mm)			RH (%)			Press (Kpa)			Temp (°C)			WS (m/s)		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Ankara	1.6a	1.3a	0.8a	57.5ab	61.6a	51.8b	89.6a	89.6a	89.7a	23.4a	19.9a	20.1a	1.5a	1.9b	1.9b
Balikesir	0.5a	1.4a	0.8a	63.4a	68.5a	57.1b	97.1a	97.2a	97.3a	25.6a	21.8b	23.1ab	2.0a	2.0a	2.2a
Bursa	1.0a	2a	0.8a	67.2a	68.6a	60.3b	95.1a	95.2a	95.3a	23.4a	20.0b	20.2b	1.4a	1.6a	1.6a
Gaziantep	1.1ab	0.2a	1.7b	52.7a	61.4b	61.5b	92.0a	92.1a	91.9a	25.7a	23.2a	22.2a	1.7a	1.8ab	2.2b
Istanbul	1.0a	1.7a	0.8a	80.9a	78.0a	72.5b	100.9a	100.9a	101.1a	19.9a	17.9ab	17.4b	2.4a	2.8a	2.8a
Izmir	0.3a	0.1a	0.5a	58.3a	67.3b	53.6a	99.0a	99.2a	99.2a	27.6a	23.1b	25.7ab	1.9a	2.2a	2.3a
Kayseri	1.2a	1.2a	1.1a	55.7a	57.8a	56.0a	86.6a	86.6a	86.6a	22.1a	19.5ab	17.9b	1.6a	2.0ab	2.3b
Kocaeli	1.3a	1.9a	0.7a	71.7a	71.8a	65.4b	98.1a	98.2a	98.3a	23.7a	20.4b	20.1b	1.4a	1.6a	1.6a
Konya	1.0a	0.8a	1.2a	54.0a	59.4a	56.3a	88.5a	88.5a	88.5a	23.6a	20.7ab	19.1b	1.4a	2.0b	2.2b
Manisa	0.2a	0.3a	0.6a	58.4a	68.2b	53.0a	98.6a	98.8a	98.8a	27.4a	22.7b	25.5ab	2.1a	2.1a	2.4a
Sakarya	1.4a	2.1a	0.6a	70.4ab	71.6a	64.4b	96.9a	97.0a	97.1a	23.7a	20.2b	19.9b	1.2a	1.3a	1.3a
Samsun	0.9a	1.4a	0.7a	71.4a	72.4a	66.7b	96.5a	96.6a	96.7a	21.6a	19.0ab	17.5b	1.4a	1.7ab	1.9b
Van	1.5a	1.1a	2.9a	59.4a	63.4a	66.4a	78.4a	78.3ab	78.1b	15.0a	13.4a	13.5a	1.9a	2.3ab	2.6b
Zonguldak	1.1ab	0.5a	3.5b	72.5ab	67.4a	74.4b	96.3a	96.5a	96.4a	21.3a	17.5b	18.1b	1.0a	1.1a	1.2a
Average	1.0a	1.2a	1.2a	63.8a	67b	61.4c	93.8a	93.9a	93.9a	23.1a	20.0b	20.0b	1.6a	1.9b	2.0c

Prec: Precipitation, RH: Relative humidity, Press: Air Pressure, Temp: Temperature, WS: Wind speed

Lowercase letters attaching to values show significant ($p < 0.001$) differences in years according to one-way ANOVA followed by the Tukey test.

Table 4: Some meteorological data regarding selected cities in PLD according to years

Provinces	Prec (mm)			RH (%)			Press (Kpa)			Temp (°C)			WS (m/s)		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Ankara	1.8a	1.2a	1.2a	60.6a	62.7a	60.5a	89.5a	89.5a	89.6a	20.0a	17.2b	17.2b	1.9a	2.1a	2.2b
Balikesir	1.3a	1.5a	1.5a	68.5ab	70.8a	65.4b	97.1a	97.2ab	97.3b	21.8a	18.8b	19.2b	2.5a	2.6a	2.8a
Bursa	1.7a	1.4a	1.6a	69.5a	70.1a	68.6a	95.0a	95.2ab	95.2b	20.0a	17.6b	16.8b	1.6a	1.8ab	1.9b
Gaziantep	1.4a	2.4a	2.1a	59.3a	70.1b	66.8b	91.9a	92.0a	91.9a	22.4a	18.9b	19.7b	1.9a	2.0ab	2.2b
Istanbul	1.7a	1.4a	1.8a	81.7a	77.8b	75.9b	101.0a	101.0ab	101.1b	16.7a	15.5ab	14.7b	3.0a	3.2a	3.9b
Izmir	0.7a	1.5a	1.4a	65.6a	70.7b	63.4a	99.0a	99.1b	99.1b	23.8a	20.4b	21.8b	2.4a	2.6a	2.6a
Kayseri	1.4a	1.1a	1.7a	57.6a	62.2b	62.6b	86.5a	86.5a	86.5a	19.1a	16.2b	15.8b	2.2a	2.3a	2.3a
Kocaeli	2.0a	1.6a	1.8a	73.1a	72.8a	71.9a	98.0a	98.2ab	98.3b	20.4a	18.1b	17.0b	1.7a	1.8a	2.1b
Konya	1.0a	1.1a	1.4a	57.4a	64.9b	64.3b	88.4a	88.4a	88.4a	20.5a	17.1b	16.8b	2.0a	2.2a	2.3a
Manisa	0.8a	1.4a	1.4a	65.5a	70.9b	62.1a	98.6a	98.7b	98.7b	23.6a	20.0b	21.6b	2.5a	2.7a	2.8a
Sakarya	2.1a	1.7a	1.9a	71.4a	72.3a	71.4a	96.8a	97.0ab	97.1b	20.5a	18.0b	16.9b	1.4a	1.5a	1.7b
Samsun	1.2a	1.7a	1.1a	72.2a	73.9a	73.1a	96.5a	96.6ab	96.7b	18.8a	16.1b	15.4b	1.8a	2.1ab	2.2b
Van	1.7a	2.5a	2.6a	61.4a	71.1b	68.4b	78.2a	78.1a	78.1a	12.7a	9.2b	10.9b	2.3a	2.2a	2.3a
Zonguldak	1.9a	1.8a	2.0a	72.8a	73.9a	73.7a	96.3a	96.5b	96.4ab	18.3a	15.0b	16.0b	1.2a	1.5b	1.3a
Average	1.5a	1.6a	1.7a	66.9a	70.3b	67.7a	93.8a	93.9a	93.9a	19.9a	17.0b	17.1b	2.0a	2.2b	2.3c

Prec: Precipitation, RH: Relative humidity, Press: Air Pressure, Temp: Temperature, WS: Wind speed

Lowercase letters attaching to values show significant ($p < 0.001$) differences in years according to one-way ANOVA followed by the Tukey test.

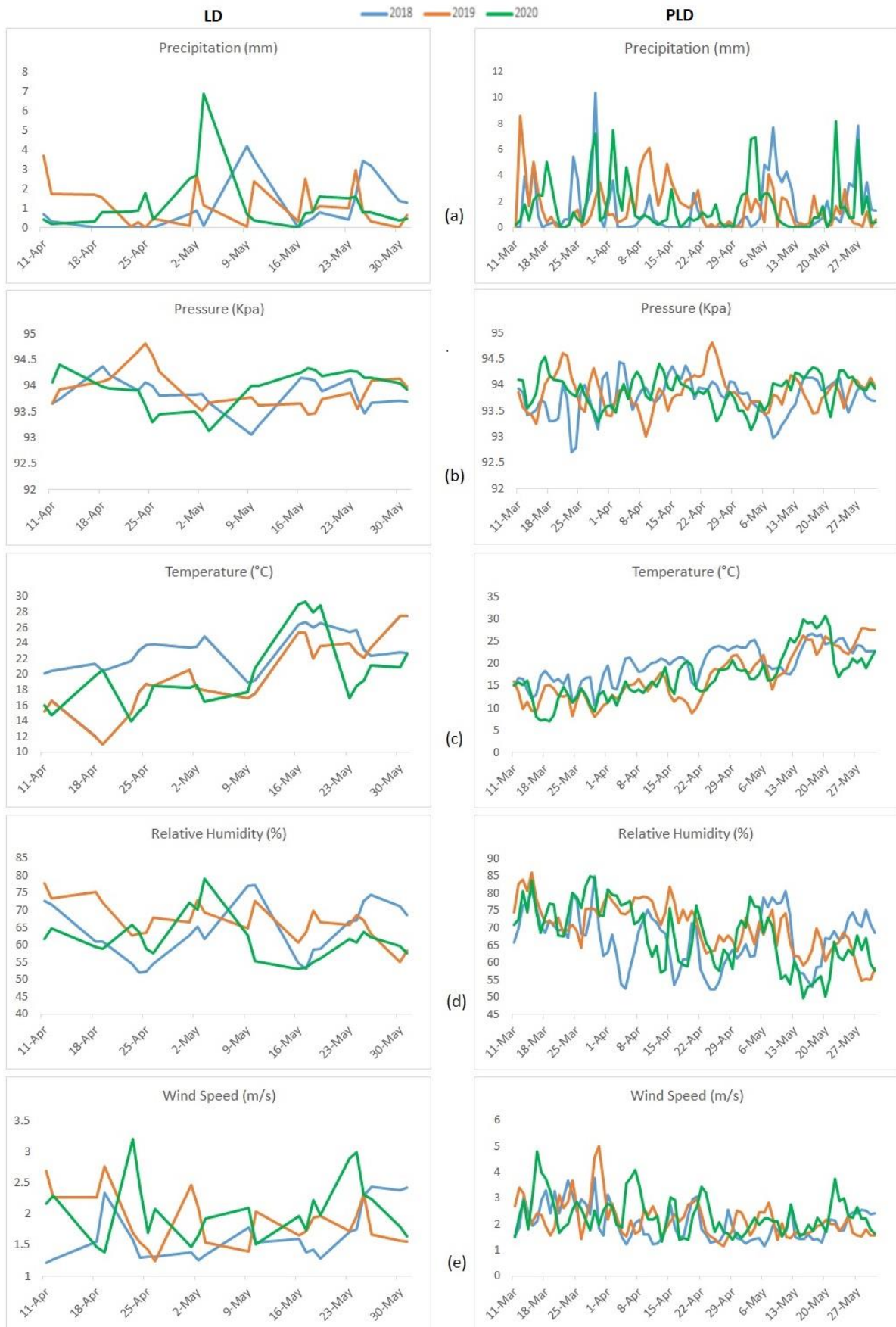


Figure 4: Meteorological data in LD vs. that in PLD according to years (a: Precipitation, b: Pressure, c: Temperature, d: Relative humidity, e: Wind speed)

The average CO concentrations during the LD period for the selected cities were 870.9 ± 6.4 , 627.7 ± 5.6 , and 813.5 ± 8.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for 2018, 2019, and 2020, respectively. The CO concentrations for the PLD period were 766.4 ± 2.3 , 582.2 ± 1.9 , and 776.0 ± 2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Zonguldak, Ankara, and Balıkesir had the highest, and Kayseri, İzmir, and İzmir had the lowest values of CO in 2018, 2019, and 2020, respectively, during LD (Figure 2a, Table 1). Bursa, Balıkesir, and Bursa had the highest, and İstanbul, Konya, and İzmir had the lowest CO values in 2018, 2019, and 2020, respectively (Figure 2a, Table 2).

The average CO levels during LD and PLD were significantly ($p < 0.001$) higher than those in 2018 and 2019. The changes in CO during LD and PLD were between -6.6% and 1.3% and between 29.6% and 33.3%, compared to 2018 and 2019 (Figure 3a). Considering the provinces individually, CO emissions during LD and PLD significantly increased compared to 2018 and 2019. A large part of the unexpected CO increase during LD and PLD can be attributed to heating systems in residential areas and a small part due to not shutting down industries such as natural gas plants and power conversion plants. Unlike our findings, CO level declines in LD and PLD periods due to restrictions have been found by other researchers (Kanniah et al., 2020; Mahato et al., 2020; Chen et al., 2020; Collivignarelli et al., 2020; Connerton et al., 2020; Dantas et al., 2020; Kerimray et al., 2020).

4. Conclusion

In this study, we determined the effects of LD and PLD implemented by the Turkish government during the COVID-19 pandemic on air quality in fourteen selected cities in Turkey. Our findings indicate that human mobility-related activities, like traffic and coal combustion, significantly reduced PM_{10} and NO_x levels during LD and PLD. On the other hand, we determined partially decreasing trends in CO and SO_2 because of not shutting down industries such as oil refineries, natural gas plants, power conversion plants, and power plants in some provinces and household coal combustion. The meteorological variables in the curfew period were also examined, but no significant changes were determined except slightly increased wind speed in a few provinces. However, as expected, the reduction rates in air pollutants during LD were higher than during PLD because of the denser restrictions in human activities. Reductions in air pollutant emissions observed during LD and PLD demonstrate the close relationship between human activities and air pollutants emitted into the atmosphere from transportation and industries.

Decreasing air pollution during COVID-19 is vital for preventing air pollutant deaths during LD periods. The results of this study suggest that using public transportation instead of private vehicles and using natural gas or other cleaner energy systems instead of coal can significantly improve air quality. In extreme cases of air pollution characterized by elevated PM_{10} and NO_x levels, a temporary lockdown or partial lockdown could be implemented.

Acknowledgment

The authors would like to thank the Turkish Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change and The Ministry of Health in Turkey for providing the database of this study.

References

- Adams, M. D. (2020). Air pollution in Ontario, Canada during the covid-19 state of emergency. *Science of The Total Environment*, 742, Article 140516. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140516>
- Agrawala, S., Amann, M., de Raga, G. B., Borgford-Parnell, N., Brauer, M., Clark, H., ... Wongwangwatana, S. (2020). Call for comments: climate and clean air responses to Covid-19. *International Journal of Public Health*, 65(5), 525–528. <https://doi.org/10.1007/s00038-020-01394-3>
- Ahsan, M. M., & Sadak, C. (2021). Exploring housing market and urban densification during covid-19 in Turkey. *Journal of Urban Management*, 10(3), 218–229.
- Alemdar, K. D., Kaya, O., Canale, A., Codur, M. Y., & Campisi, T. (2021). Evaluation of air quality index by spatial analysis depending on vehicle traffic during the COVID-19 outbreak in Turkey. *Energies*, 14(18), Article 5729. <https://doi.org/10.3390/en14185729>
- Arafat, S. M. Y., Tripathy, S., Kar, S. K., & Kabir, R. (2020). Climate and clean air responses to covid-19: a comment. *International Journal of Public Health*, 65, 715–716. <https://doi.org/10.1007/s00038-020-01415-1>
- Arora, S., Bhaukhandi, K. D., & Mishra, P. K. (2020). Coronavirus lockdown helped the environment to bounce back. *Science of The Total Environment*, 742, Article 140573. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140573>
- Bahar Özvarış, Ş., Kayı, İ., Mardin, D., Sakarya, S., Ekzayez, A., Meagher K., & Patel, P. (2020). covid-19 barriers and response strategies for refugees and undocumented migrants in Turkey. *Journal of Migration and Health*, 1-2, Article 100012. <https://doi.org/10.1016/j.jmh.2020.100012>
- Bao, R., & Zhang, A., (2020). Does lockdown reduce air pollution? Evidence from 44 cities in northern China. *Science of The Total Environment*, 731, Article 139052. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139052>
- Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., ... Spadaro, J. V. (2018). Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *PNAS*, 115(38), 9592–9597.
- Çapraz Ö., Deniz, A., & Doğan, N. (2017). Effects of air pollution on respiratory hospital admissions in İstanbul, Turkey, 2013 to 2015. *Chemosphere Chemosphere*, 181, 544–550. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.105>

- Çapraz, Ö., Efe, B., & Deniz, A. (2016). Study on the association between air pollution and mortality in İstanbul, 2007–2012. *Atmospheric Pollution Research*, 7(1), 147–154.
- Celik, E., & Gul, M. (2022). How Covid-19 pandemic and partial lockdown decisions affect air quality of a city? The case of Istanbul, Turkey. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 1616–1654. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01328-w>
- Chen, Q. X., Huang, C. L., Yuan, Y., & Tan, H. P. (2020). Influence of covid-19 event on air quality and their association in Mainland China. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(7), 1541–1551.
- Collivignarelli, M. C., Abba, A., Bertanza, G., Pedrazzani, R., Ricciardi, P. & Miino, M. C. (2020). Lockdown for CoViD-2019 in Milan: What are the effects on air quality? *Science of The Total Environment*, 732, Article 139280. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139280>
- Connerton, P., de Assuncao, J. V., de Miranda, R. M., Slovic, A. D., Perez-Martinez, P. J., & Ribeiro, H. (2020). Air quality during covid-19 in four megacities: lessons and challenges for public health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), Article 5067. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145067>
- Dantas, G., Siciliano, B., Franca, B. B., da Silva, C. M., & Arbilla, G. (2020). The impact of covid-19 partial lockdown on the air quality of the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Science of The Total Environment*, 729, Article 139085. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139085>
- Dursun, S., Sagdic, M., & Toros, H. (2022). The impact of covid-19 measures on air quality in Turkey. *Environmental Forensics*, 23(1–2), 47–59. <https://doi.org/10.1080/15275922.2021.1892876>
- Efe, B. (2022). Air quality improvement and its relation to mobility during covid-19 lockdown in Marmara Region, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, Article 255. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09889-7>
- Ghosh, S., & Ghosh, S. (2020). Air quality during covid-19 lockdown: Blessing in disguise. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*, 57(4), 420–430.
- Gilliam J. H., & Hall, E. S. (2016, June). *Reference and equivalent methods used to measure national ambient air quality standards (NAAQS) criteria air pollutants-volume I* (EPA/600/R-16/139). US Environmental Protection Agency.
- Goren, A. Y., Genisoglu, M., Okten, H. E., & Sofuoglu, S. C. (2021). Effect of covid-19 pandemic on ambient air quality and excess risk of particulate matter in Turkey. *Environmental Challenges*, 5, Article 100239. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100239>
- Han, X., & Naeher, L. P., (2006). A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. *Environment International*, 32(1), 106–120. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.05.020>
- He, G. J., Pan, Y. H., & Tanaka, T. (2020). The short-term impacts of covid-19 lockdown on urban air pollution in China. *Nature Sustainability*, 3, 1005–1011. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0581-y>
- Heft-Neal, S., Burney, J., Bendavid, E., & Burke, M. (2018). Robust relationship between air quality and infant mortality in Africa. *Nature*, 559, 254–258. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0263-3>
- Holzworth, G. C. (1974). *Climatological aspects of the composition and pollution of the atmosphere* (No 139). Secretariat of the World Meteorological Organization.
- IBM Corp. (2011). *IBM SPSS statistics for Windows, version 20.0*. IBM Corp, Armonk, NY. <https://www.ibm.com/support/pages/spss-statistics-20-available-download>
- Jain, S., & Sharma, T. (2020). Social and travel lockdown impact considering coronavirus disease (covid-19) on air quality in megacities of India: present benefits, future challenges and way forward. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(6), 1222–1236.
- Kanat, B. B., Kinsiz, A., & Yalcin, Y. (2020). *Precautions & measures taken against Covid-19 pandemic*. Retrieved August 31, 2020, from https://www.bcct.org.tr/wp-content/uploads/20200327_Precautions-And-Measures-Taken-Against-Covid-19.pdf
- Kannah, K. D., Zaman, N. A. F. K., Kaskaoutis, D. G., & Latif, M. T. (2020). COVID-19's impact on the atmospheric environment in the Southeast Asia region. *Science of The Total Environment*, 736, Article 139658. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139658>
- Kerimray, A., Baimatova, N., Ibragimova, O. P., Bukenov, B., Kenessov, B., Plotitsyn, P., & Karaca, F. (2020). Assessing air quality changes in large cities during covid-19 lockdowns: The impacts of traffic-free urban conditions in Almaty, Kazakhstan. *Science of The Total Environment*, 730, Article 139179. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139179>
- Krecl, P., Targino, A. C., Oukawa, G. Y. C., & Junior, R. P. C. (2020). Drop in urban air pollution from COVID-19 pandemic: Policy implications for the megacity of São Paulo. *Environmental Pollution*, 265(B), Article 114883. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114883>
- Kumari, P., & Toshniwal, D. (2020). Impact of lockdown measures during covid-19 on air quality- A case study of India. *International Journal of Environmental Health Research*, 32(3), 503–510.
- Leech, N. L., Barrett, K. C., & Morgan, G. A. (2005). *SPSS for intermediate statistics: Use and interpretation* (3rd Edition). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781410616739>
- Liu, B., Shi, C., Li, J., Li, Y., Lang, J., & Gu, R. (2019). Comparison of different machine learning methods to forecast air quality index. In J. Hung, N. Yen & L. Hui (Eds.), *International conference on frontier computing* (pp. 235–245). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3648-5_27
- Mahato, S., Pal S., & Ghosh, K. G. (2020). Effect of lockdown amid covid-19 pandemic on air quality of the megacity Delhi, India. *Science of The Total Environment*, 730, Article 139086. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139086>
- Mamtimin, B., & Meixner, F. X. (2011). Air pollution and meteorological processes in the growing dryland city of Urumqi (Xinjiang, China). *Science of The Total Environment*, 409(7), 1277–1290.
- Ministry of Interior. (2020, April 16). *Curfew in 30 Metropolitan and Zonguldak Provincial Borders between April 17-19*. Ministry of Interior, Republic of Turkey. Retrieved April 11, 2020, from <https://www.icisleri.gov.tr/17-19-nisan-tarihleri-arasinda-30-buyuksehir-ve-zonguldak-il-sinirlari-icerisinde-sokaga-cikma-yasagi>
- Nadzir, M. S. M., Ooi, S. M. C. G., Alhasa, K. M., Abu Bakar, M. A., Mohtar, A. A. A., Nor, M. F. F.M., Latif, M. T., Hamid, H. H. A., Ali, S. H. M., Ariff, N. M., Anuar, J., Ahamad, F., Azhari, A., Hanif, N. M., Subhi, M. A., Othman, M., & Nor, M. Z. M. (2020). The Impact of Movement Control Order (MCO) during pandemic covid-19 on local air quality in an urban area of Klang Valley, Malaysia. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(6), 1237–1248.
- Orak, N. H., & Ozdemir, O. (2021). The impacts of covid-19 lockdown on PM10 and SO2 concentrations and association with human mobility across Turkey. *Environmental Research*, 197, Article 111018. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111018>

- Otmani, A., Benchrif, A., Tahri, M., Bounakhla, M., El Bouch, M., & Krombi, M. (2020). Impact of Covid-19 lockdown on PM10, SO2 and NO2 concentrations in Salé City (Morocco). *Science of The Total Environment*, 735, Article 139541. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139541>
- Ozbay, B., & Koc, Y. (2022). Impact of covid-19 lockdown period on variations of air pollutants around an industrialized city of Turkey, Izmit. *Environmental Forensics*, 23, 198–207. <https://doi.org/10.1080/15275922.2021.1892882>
- Pei, Z., Han, G., Ma, X., Su, H., & Gong, W. (2020). Response of major air pollutants to covid-19 lockdowns in China. *Science of The Total Environment*, 743, Article 140879. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140879>
- Plaia, A., & Ruggieri, M. (2011). Air quality indices: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 10(2), 165–179.
- Saadat, S., Rawtani, D., & Hussain, C. M. (2020). Environmental perspective of covid-19. *Science of The Total Environment*, 728, Article 138870. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138870>
- Sahin, M. (2020). Impact of weather on covid-19 pandemic in Turkey. *Science of The Total Environment*, 728, Article 138810. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138810>
- Sahraei, M. A., Kuskapan, E., & Codur, M. Y. (2021). Impact of Covid-19 on public transportation usage and ambient air quality in Turkey. *Traffic & Transportation*, 33, 179–191. <https://doi.org/10.7307/ptt.v33i2.3704>
- Sari, M. F., & Esen, F. (2022). Effect of covid-19 on PM10 and SO2 concentrations in Turkey. *Environmental Forensics*, 23(5–6), 445–454.
- Shakoor, A., Chen, X. Y., Farooq, T. H., Shahzad, U., Ashraf, F., Rehman, A., Sahar, N. E., & Yan, W. (2020). Fluctuations in environmental pollutants and air quality during the lockdown in the USA and China: two sides of covid-19 pandemic. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 13(11), 1335–1342.
- Sicard, P., De Marco, A., Agathokleous, E., Feng, Z., Xu, X., Paoletti, E., Rodriguez, J. J. D., & Calatayud, V. (2020). Amplified ozone pollution in cities during the covid-19 lockdown, *Science of The Total Environment*, 735, Article 542. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139542>
- Turkes, M. (2020). Climate and Drought in Turkey. In H. Harmancioglu & D. Altinbilek (Eds.), *Water Resources of Turkey* (Vol 2, pp. 85–125). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11729-0_4
- Turkish Statistical Institute. (2020). *Turkish Statistical Institute Provincial in-migration, out-migration, net migration, rate of net migration, 1980-2019*. Retrieved September 22, 2020, from <http://tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>
- Vohra, K., Vodonos, A., Schwartz, J., Marais, E. A., Sulprizio, M. P., & Mickley, L. J. (2021). Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem. *Environmental Research*, 195, Article 110754. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110754>
- World Health Organization. (2020a). *Air pollution*. Retrieved January 9, 2020, from https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_2.
- World Health Organization. (2020b). *Coronavirus*. Retrieved September 29, 2020, from <https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab>
- Xu, K. J., Cui, K. P., Young, L. H., Wang, Y. F., Hsieh, Y. K., Wan, S., & Zhang, J. (2020). Air quality index, indicator air pollutants and impact of covid-19 event on the air quality near Central China. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(6), 1204–1221.
- Zambrano-Monserrate, M. A., Ruano, M. A., & Sanchez-Alcalde, L. (2020). Indirect effects of covid-19 on the environment. *Science of The Total Environment*, 728, Article 138813. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138813>

Evaluation of Drought Using Meteorological Drought Indices, a Case Study: Alanya (Türkiye)

Redvan Ghasemlounia^{1*}, Mustafa Utlu²

¹Istanbul Gedik University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 34906, İstanbul, Türkiye.

²Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Letter and Science, Department of Geography, 15030, Burdur, Türkiye.

Abstract

Drought is one of the most important challenges that many countries, especially countries in the Middle East region, are struggling with. Based on this, the study and monitoring of hydrological and drought factors is an important issue that can have a significant impact on management decisions in the field of water resources, especially in crisis management. Therefore, investigating the drought parameters is very important to understand the drought situation of a region. In this study, Alanya region, which is located on the southern coast of Turkey, was selected as a case study for drought analysis. Four drought indices for the selected region including: China Z-Index (CZI), Standardized Precipitation Index (SPI), Modified China Z-Index (MCZI) and Z-Score Index (ZSI) have been investigated. All these indicators have been investigated and evaluated using time scales of 1, 6, 12 and 24 months, the coefficient of determination (R^2) has been calculated for each drought index with a different time scale and their results have been compared. The findings of the research showed that SPI and CZI drought indices performed better than other selected drought indices in identifying and effectively tracking drought severity. In addition to the study of dry events, wet events were also investigated, which indicates the presence of consecutive floods in the last years of the studied period in the region. The results indicated similar very dry events for the selected indicators in the 6-month period. Also, the rainfall trend for the period of 2015-2022 was taken into consideration to examine the rainfall of the last eight years. The results show that precipitation has decreased in recent years and has a downward trend in most months of the period in question, and the possibility of flood events due to sudden showers in the region has increased due to the continuation of droughts experienced in the years before 2015. Investigating soil moisture and vegetation for the selected period in the study area is also important for the evaluation of the drought level. Evaluation of the available land (vegetation) cover maps of the years 1975, 1985, 2000, 2010, 2020 and 2022 show that the vegetation cover has weakened over the years, and it has been evaluated as an indicator that the danger of drought in the region has increased.

Keywords

Drought, Z-Score Index (ZSI), Modified China Z Index (MCZI), Standardized Precipitation Index (SPI), China Z Index (CZI)

Meteorolojik Kuraklık İndeksleri Kullanarak Kuraklık Değerlendirmesi: Alanya (Türkiye) Vaka Çalışması

Özet

Kuraklık, başta Orta Doğu bölgesi ülkeleri olmak üzere pek çok ülkenin mücadele ettiği en önemli sorunlardan biridir. Buradan yola çıkarak hidrolojik ve kuraklık faktörlerinin incelenmesi ve izlenmesi, su kaynakları alanında, özellikle kriz yönetiminde yönetim kararlarını önemli ölçüde etkileyebilecek önemli bir konudur. Bu nedenle kuraklık parametrelerinin araştırılması bir bölgenin kuraklık durumunun anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada Türkiye'nin güney kıyısında yer alan Alanya bölgesi kuraklık analizi için örnek vaka çalışması olarak seçilmiştir. Seçilen bölge için Çin Z-İndeksi (CZI), Standart Yağış İndeksi (SPI), Modifiye Çin Z-İndeksi (MCZI) ve Z-Score İndeksi (ZSI) dahil olmak üzere dört kuraklık indeksi araştırılmıştır. Tüm bu göstergeler 1, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçekleri kullanılarak incelenmiş ve değerlendirilmiş olup, her bir kuraklık indeksi için farklı zaman ölçeği için R^2 hesaplanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Araştırmanın bulguları, SPI ve CZI kuraklık endekslerinin, kuraklık şiddetini belirleme ve etkili bir şekilde izleme konusunda seçilen diğer kuraklık endekslerinden daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Kurak olayların incelenmesinin yanı sıra, bölgede incelenen dönemin son yıllarında art arda taşkınların varlığına işaret eden ıslak olaylar da araştırılmıştır. Sonuçlar, seçilen göstergeler için 6 aylık dönemde benzer çok kuru olayların yaşandığını gösterdi. Ayrıca son sekiz yılın yağışlarının incelenmesinde 2015-2022 dönemi yağış eğilimi de dikkate alınmıştır. Sonuçlar, son yıllarda yağışların azaldığı ve söz konusu dönemin çoğu ayında düşüş eğiliminde olduğunu, 2015 yılı öncesi yıllarda yaşanan kuraklıkların devam ettiği nedeniyle bölgede ani sağanaklardan dolayı taşkın olaylarının yaşanma olasılığının arttığını göstermektedir. Çalışma alanında seçilen döneme ait toprak nemi ve bitki örtüsünün araştırılması kuraklık düzeyinin değerlendirilmesi açısından da önemlidir. 1975, 1985, 2000, 2010, 2020 ve 2022 yıllarına ait bitki örtüsü haritalarının incelenmesi sonucu, bitki örtüsünün yıllar geçtikçe zayıfladığı görülmekte olup, bölgedeki kuraklık tehlikesinin arttığının bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler

Kuraklık, Z-Skor İndisi (ZSI), Modifiye Çin Z İndisi (MCZI), Standart Yağış İndisi (SPI), Çin Z İndisi (CZI)

1. Introduction

Natural disasters are one of the main obstacles to sustainable development. Global warming has a major impact on climate of the special region (Angelidis et al., 2012). Therefore, most of extreme events need got attention. In the case of drought evaluation, trend analysis on precipitation and flow data is one of the most important methods in order to understand the magnitude of the drought. Drought is one of the major challenges relevant to weather in all around the world (Shah et al., 2015), and governments and international organizations are trying to identify and manage it. In the past few decades, lots of examples are available for devastating drought events. The concept of aridity is quite different from drought. The aridity is only confined to areas with low rainfall and is a permanent state of the climate. While, drought can usually occur in any climate, even humid. Drought has four types including: i) hydrological, ii) meteorological, iii) agricultural and iv) socio-economic (Shah et al., 2015; Zarch et al., 2015). Drought monitoring has an important role to predicting and analyzing drought impacts (Guttman, 1988; Bonaccorso et al., 2003). The main manifestation of meteorological drought is a decrease in rainfall below normal (long-term average). A decrease in rainfall is expected to lead to reduced soil moisture, runoffs, and groundwater levels in the future. A large-scale analyzed comparison of dry and moist summers in the midwest USA was done by Weaver et al. (2023). A comprehensive statistical assessment of SPI and SPEI drought indices using was done to monitor drought status in Bangladesh by Uddin et al. (2020). In another research, CZI and SPI drought indices were compared for evaluation of the drought in the Hirfanli Dam basin of Turkey by Zeybekoğlu and Aktürk (2021). A case study was done 52 years data using five drought indices including the Standardized Precipitation Index (SPI), Statistical Z-Score Index (ZSI), Rainfall Anomaly Index (RAI), Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), and Reconnaissance Drought Index (RDI) on the Euphrates basin by Katipoğlu et al. (2020).

In a study conducted in a Semi-Arid River Basin of India, Wable et al. (2019) determined that the most appropriate time frame for comparing drought indices is the 9-month scale, with the SPEI-9 being the most suitable drought index for monitoring drought conditions in their chosen study area. They assessed five meteorological drought indices, which included Percent Departure from Normal (PDN), Effective Drought Index (EDI), Standardized Precipitation Index (SPI), Reconnaissance Drought Index (RDI), and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Wable et al., 2019). Salehnia et al. (2017) conducted an evaluation of eight precipitation-based drought indices, which included SPI (Standardized Precipitation Index), PNI (Percent of Normal Index), DI (Deciles index), EDI (Effective Drought Index), CZI (China-Z index), MCZI (Modified CZI), RAI (Rainfall Anomaly Index), and ZSI (Z-score Index). These indices were calculated using both observed precipitation data and AgMERRA gridded precipitation data. The purpose of their study was to assess historical drought events that occurred in the Kashafrud Basin of Iran during the period 1987- 2010 (Salehnia et al., 2017). Guttman (1988) made a comparison between SPI and PDSI in 1998, using spectral analysis. Wu et al. (2001) designate China-z Index (CZI), SPI and statistical Z-Score indices four, 1, 3-, 6-, 9- and 12-month time scales for four states in China from January 1951 to December 1998 for presenting dry and wet climates, flood and earthquake events. Bonaccorso et al. (2003) worked on spatial variability of drought. They evaluated on the analysis of the SPI in Sicily, Italy. Loukas et al. (2008) compared three drought indices in Greece. The using data were collected from 28 stations for 40 years (1960-2000). The Standardized Precipitation Index (SPI) was applied to 3 month and 12-month time scales using monthly mean precipitation data for the time series of over 60 years by Rahmat et al. (2012).

The main purpose of this study is to evaluate and compare the performance of multiple drought indices using different time-scales for indicating the number and magnitude of drought events and indicating the level of drought danger. Considering that drought has started to show its effects in Turkey in recent years, it shows the importance of researching drought throughout Turkey. In this study, the Alanya region in Türkiye, a touristic region that has not been examined in terms of drought before, was investigated.

2. Study area

Alanya is situated along the southern coast of Turkey, at an elevation of approximately 14 meters above sea level. This coastal region encompasses a total area of 175,658 hectares, spanning between 36° 30' 07" and 36° 36' 31" north latitudes and 31° 38' 40" and 32° 32' 02" east longitudes (Figure 1).

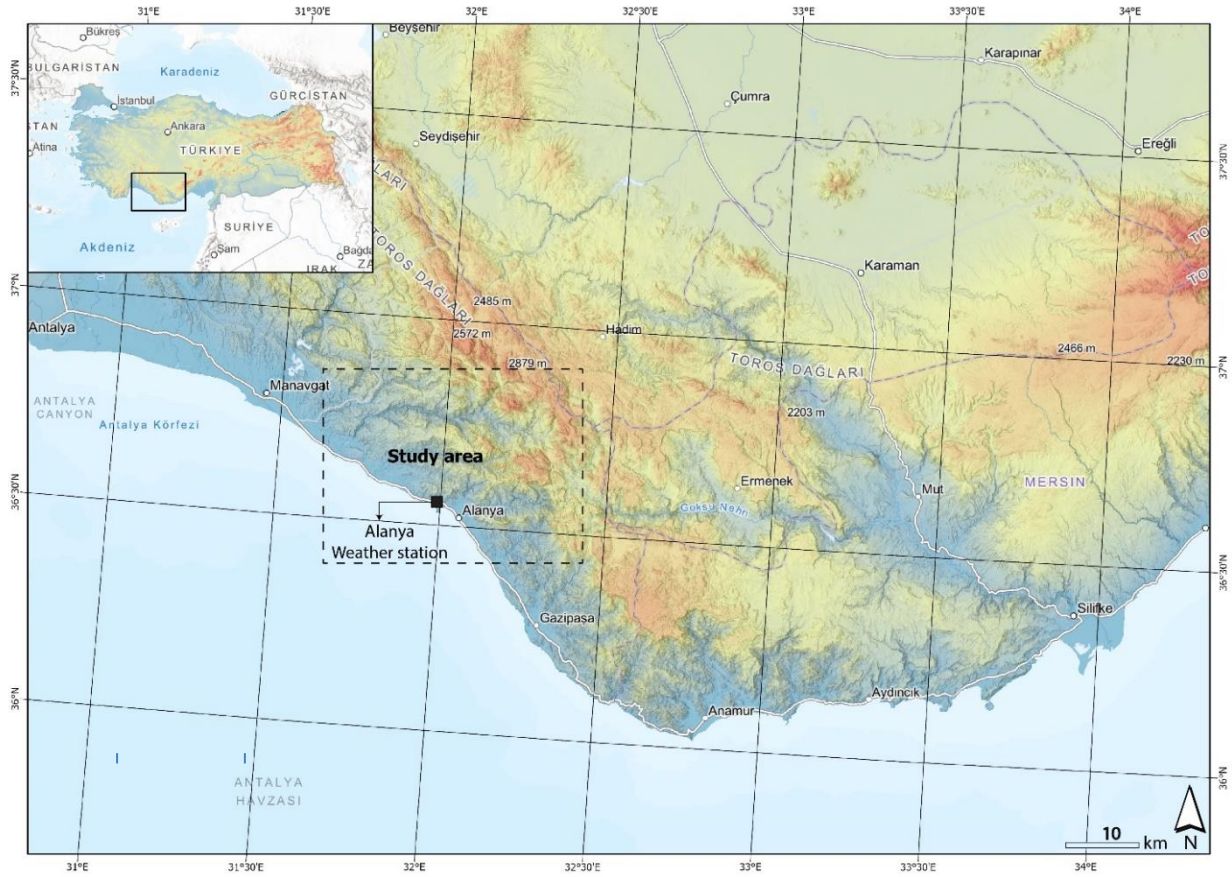


Figure 1: Location of the study area

Alanya is located in the Mediterranean thermal climate zone, characterized by specific weather patterns. This area experiences mild and rainy winters, while summers tend to be hot and dry. The region has a warm and temperate climate overall, with significantly more rainfall during the winter months compared to the relatively dry summers. During the summer, the streams in the region often see reduced flow rates, and in some cases, some rivers may even completely run dry. However, in autumn, water levels gradually rise. The warmest and coldest months in Alanya are August and January, with average temperatures around 26.4°C and 11.8°C, respectively. The approximate average annual temperature is around 18.7°C. The highest recorded temperature reached 41.9°C, while the lowest recorded temperature dipped to -3.1°C. Average temperature (°C) and total annual precipitation (mm) maps for the study area are shown in Figure 2.

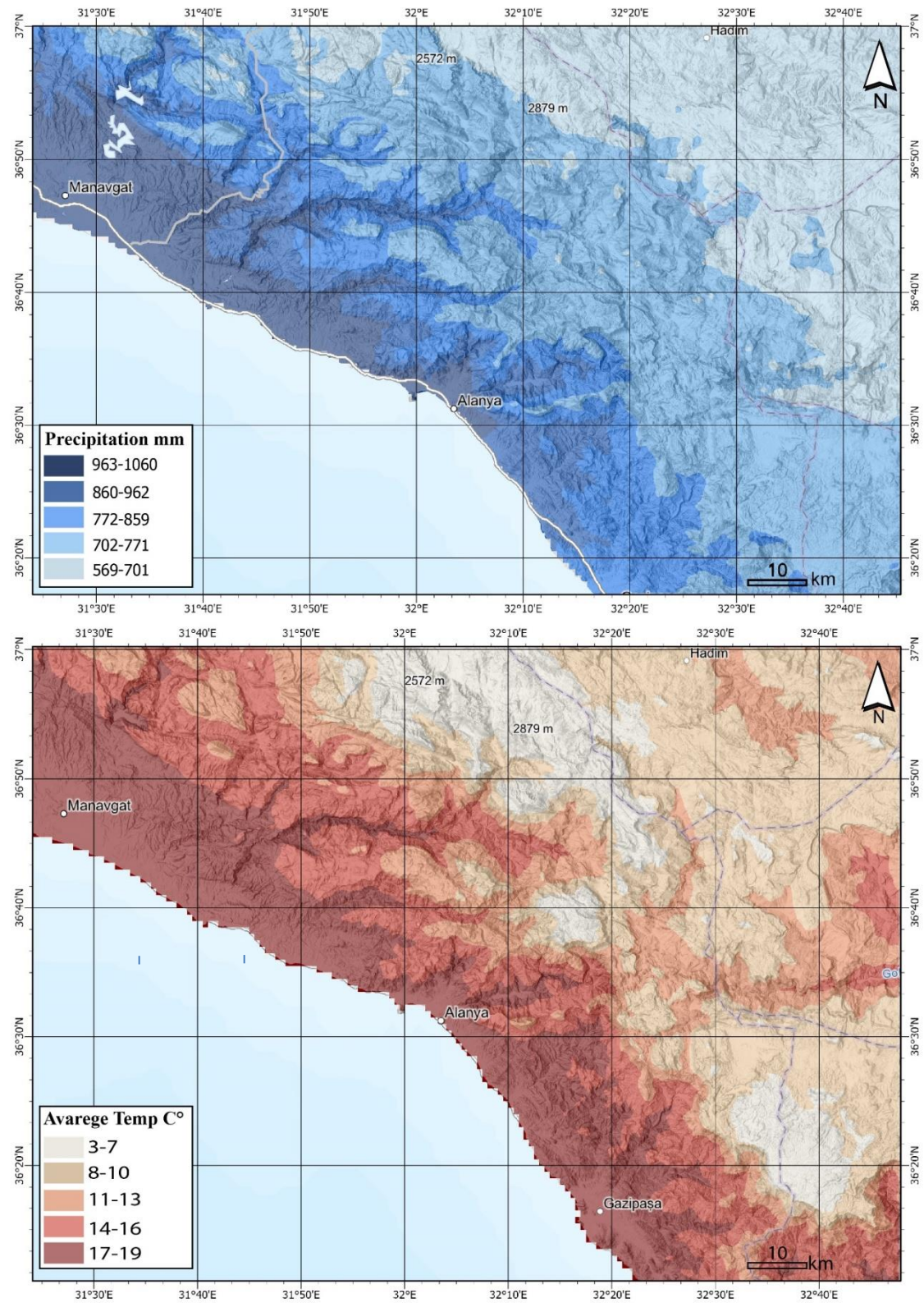


Figure 2: Average temperature (°C) and total annual precipitation (mm) in study area (Fick & Hijmans, 2017)

3. Material and Methods

In Antalya, annual rainfall per square meter is approximately 946 kg/m². The maximum rainfall is 237 kg (in December), the lowest precipitation is 0.2 kg (in August). Minimum and maximum values for yearly average flows are 13.9 m³/sec and 55.6 m³/sec, respectively.

In addition, the measured minimum and maximum values for daily precipitation in the selected area are 0 and 205.7 mm. These measurements about the precipitation show that the selected area experienced the annual average precipitation equal to 1081.7 mm, approximately. 16.9% of annual precipitation occurs in spring (March-May), 1.2% in summer (June-August), 24.4% in fall (September-November) and 57.5% in winter (December-February) (General Directorate of Water Management, 2016). Measurements show that the Alanya has dry periods in June, July, August and September, mostly. The measured yearly average precipitation (mm) and monthly mean total precipitation for the period 1954-2022 is presented in Figure 3a and 3b, respectively.

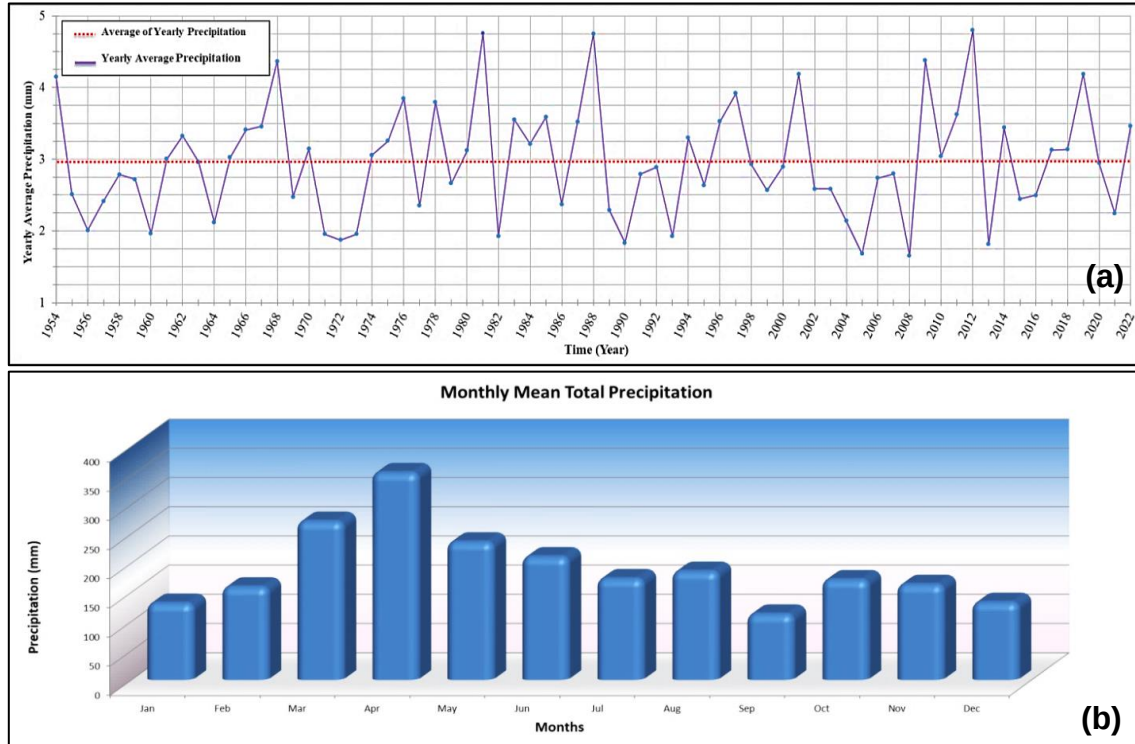


Figure 3: a) Yearly average precipitation (mm) for the period 1954-2022, and b) Monthly mean total precipitation in the study area

Type of data used for obtaining of the drought indices are monthly average precipitations, which were calculated from the total daily precipitations. The selected data are the recorded data from the selected station (Alanya Station presented in Figure 1) between 1954-2022, which covers 69 years (828 months), totally. The recorded data show that the 78% (19967 days) of the days of the 69-year period had no rainfall. By examining the available data for the selected station, some calculated statistical descriptions are given in the Table 1.

Table 1: Observed statistics from Alanya station

No. of years	No. of months	No. of data	Type of data	Min.	Max.	Avg.	Median	SD	σ^2	Skewness	Kurtosis
69	828	25613	Daily	0	205.7	2.96	0	10.38	107.84	6.03	53.61

Selected data must follow the normal distribution to be able to perform any parametric test on the data. In this regard, to understanding that the data used in the this study is normally distributed or not, the Kolmogorov-Smirnov Normality test was used. The result of this test is given in Table 2a. Based on the results of this test, as it is clear, the calculated Asymp. Sig value is greater than 0.05 (Asymp. Sig. > 0.05). It shows that the data used in this study is normally distributed. In addition to the Kolmogorov-Smirnov normality test, Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors, and Jarque-Bera Normality tests were done for the data (Table 2b). Based on the calculated p-value for these tests, it can be seen that the p-value was greater than 0.05 for all four tests, which means that the data is normal distributed. The Mann-Kendall trend test is used for the used data of the study area to determine whether the data value is increasing over time or decreasing, and whether the trend in either direction is statistically significant. Test statistic value is important parameter, in which the positive Mann-Kendall statistic value means that the trend is increasing. While, the negative values of this parameter show that the trend is decreasing. By evaluating the results of Mann-Kendall test given in Table 3, it is obvious that the trend is positive for the used data of this study, which presents an increasing trend.

Table 2: Normality tests based on a) Kolmogorov-Smirnov Test, and b) Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors, and Jarque-Bera Normality tests

(a)		Normal Parameters		Most Extreme Differences			Test Statistics	Asymp. Sig.
No. of data	Type of data	Mean	Std. D.	Absolute	Positive	Negative		
69	Yearly	2.96	0.79	0.061	0.061	-0.05	0.061	0.2

(b)		p-value			
Variable\Test	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bara	
Rainfall	0.075	0.285	0.758	0.266	

Table 3: Mann-Kendall Test

Statistics							
Variable	Observations	Obs. with missing data	Obs. without missing data	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
Rainfall	69	0	69	1.658	4.800	2.963	0.787
Mann-Kendall trend test					Sen's Slope		
Kendall's tau	S	Var(S)	p-value	Alpha	Slope	Intercept	
0.046	108	37275.33	0.576	0.05	0.003	-2.72	

In scientific literature, droughts are commonly classified into four main categories: meteorological, hydrological, agricultural, and socio-economic (Wilhite & Glantz, 1985; Mishra & Singh, 2010; Tallaksen & Lanen, 2004). For this particular study, meteorological drought was the focus, with an emphasis on analyzing drought using rainfall data. In this research, four distinct drought indices were chosen for the initial 61 years of the study, spanning 732 months. These indices included the Standard Precipitation Index (SPI), China Z-Index (CZI), Modified China Z-Index (MCZI), and Z-Score Index (ZSI). These selected indices each assessed various aspects of drought solely based on precipitation data. Furthermore, data from 96 monthly total precipitation measurements (in millimeters) and 8 yearly total precipitation measurements (in millimeters) covering the period from 2015 to 2022 were incorporated to evaluate trends in precipitation over the last eight years, focusing on short-term trends. All calculations related to drought indices and statistical analysis were done using Microsoft Excel and SPSS software.

3.1. Standard Precipitation Index (SPI)

Standardized Precipitation Index (SPI) was developed by McKee et al. (1993), which is based on the probability of precipitation for any time scale. The only required input parameter in calculation of SPI is precipitation, that made it the powerful, practical and flexible index. In this method, the statistical distribution of the recorded rainfall data is converted to the normal distribution, and then the normalized data are used with relation (Wable et al., 2019). The SPI is calculated by Equation 1.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{\delta} \quad (1)$$

Where in, P_i and $\bar{P}$ are amount of precipitation and the average long-term precipitation for the intended period, respectively. δ is the standard deviation of precipitation. The calculated value of this index varies between -2 and +2, and the smaller value of SPI indicates the more severe of drought in the study area. Figure 4 shows this state.

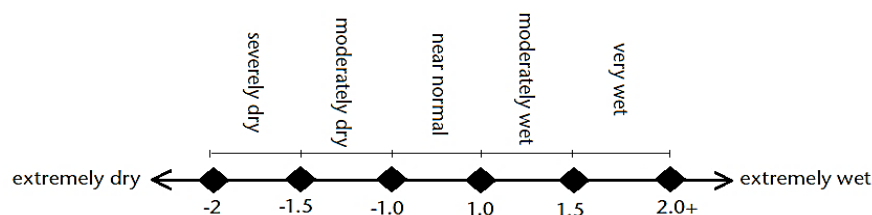


Figure 4: Values and classification of SPI

Accordingly, SPI with calculated values equal to or less than -1 indicates the start of the drought and, in contrast, the drought ends with positive values of the SPI. On the other hand, calculated values less than -2 and more than +2 for this index, indicate extreme drought and extreme wet conditions, respectively.

3.2. China Z-Index (CZI)

The CZI is based on the Wilson-Hilferty cube-root transformation (Kendall & Stuart, 1977). This index is calculated using Equation 2 with assuming that the precipitation data follow the Pearson Type III distribution.

$$CZ_{ij} = \frac{6}{C_{si}} \left[\frac{C_{si}}{2} \varphi_{ij} + 1 \right]^{1/3} - \frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6} \quad (2)$$

In which, CZ_{ij} is the China Z-Index, j is the current month, C_{si} and φ_{ij} are the skewness coefficient and standard variation, which could be calculated using Equations 3 and 4, respectively.

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^3}{n \sigma_i^3} \quad (3)$$

$$\varphi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (4)$$

Where, n is the total number of recorded months and x_{ij} is precipitation in month j . The same SPI classification is used to classify this index.

3.3. Modified China Z-Index (MCZI)

To calculate the MCZI, the median of precipitation is used instead of the mean of precipitation in the calculation of the CZI (Mahmoudi et al., 2019).

3.4. Z Score Index (ZSI)

The Z-score index was suggested by Heim & Kotil (Morid et al., 2006). It is calculated by subtracting the long-term mean from an individual precipitation value and then divided the difference by standard deviation (S). In addition, when rainfall data is incomplete, use of CZI index can be preferred over SPI index. ZSI is calculated using Equation 5. In this equation, P_i is the precipitation in a specific month, S is the standard deviation, and $\bar{P}$ is the mean monthly precipitation.

$$ZSI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (5)$$

4. Results and Discussion

In this research, considering the importance of the subject, drought analysis was carried out in the area using four indices including SPI, ZSI, CZI and MCZI. Besides using of these indices, the use of different time scales were be useful, because it allows the effects of a precipitation deficit on different water resource components such as reservoir storage, groundwater, stream flow and soil moisture to be assessed (Morid et al., 2006).

Drought characteristics including duration, severity, and intensity were analyzed at selected station for period of 1954-2014. The number of drought months with different magnitude classes at short and long timescales such as 1-, 6-, 12- and 24-months for the mentioned defined indices are shown as Figure 5.

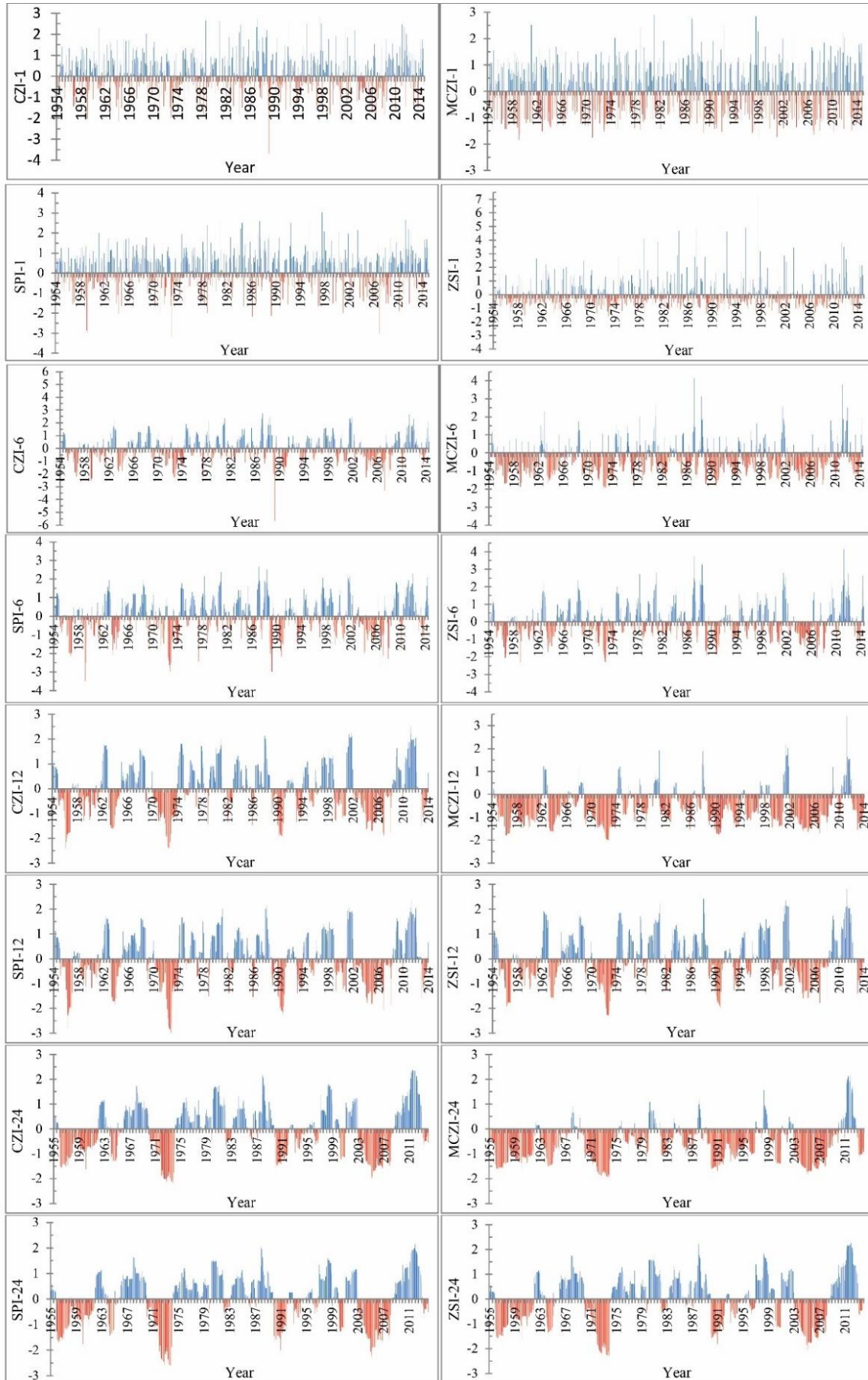


Figure 5: Calculated drought indices (1955-2014)

With evaluating Figure 5, it is clear that major extreme drought events occurred during the periods 1956-1958, 1972-1974, 1989-1992 and 2005-2008, in the selected time period. Whereas, major extreme wet events occurred during the period 1988-1990, 2001-2002 and 2011-2013. From Figure 1, Tables 6 and 7 in years between 2005 and 2008 the region experienced one of the longest drought events. For 1-, 6-, 12- and 24-months time scales, selected stations showed statistically significant upward trend for whole the period.

Table 4: Slope of trend lines for different indices and time-scales for the period of 1955-2014.

	Time Scale (1954-2014)			
	1-	6-	12-	24-
SPI	+0.0001	+0.0003	+0.0004	+0.0006
ZSI	+0.0002	+0.0004	+0.0004	+0.0007
CZI	+0.0001	+0.0004	+0.0004	+0.0007
MCZI	+0.0006	+0.0004	+0.0004	+0.0006

From the Table 4 it is obvious that the slopes are positive. Investigating Table 3 shows that the CZI and ZSI have the highest slope of trendline in the term of 24-months time scale, which is equal to 0.0007 for these calculated drought indices. While the SPI and CZI have the lowest slope of trend line in the term of 1-month time scale with a slope value equal to 0.0001. It is also clear from this table that all calculated drought indices have a same slope of trend line for 12-months time scale, which are equal to 0.0004 for the selected time period.

Pearson correlation coefficient (R^2) between each calculated drought index versus the others were estimated for selected station. The results showed that the SPI and CZI have a better relationship in terms of the time scale for one month than other calculated indices ($R^2=0.97$). Obtained results also showed the CZI and ZSI, for one-month time scale, have a good relationship, in which the correlation coefficient has a value equal to 0.80. The results for the terms of time scale for six months showed that the SPI have a good relationship versus CZI and ZSI, respectively. In this time scale, MCZI has a weak relationship versus SPI and CZI. Totally, comparison of obtained results shows that the MCZI drought index indicated the weakest correlation with comparing all indices for all time scales (Table 5).

Table 5: Correlation coefficient (R^2) between calculated drought indices

	SPI-1	ZSI-1	CZI-1	MCZI-1		SPI-6	ZSI-6	CZI-6	MCZI-6
SPI-1	1.00	0.75	0.97	0.39	SPI-6	1.00	0.96	0.98	0.69
ZSI-1	0.75	1.00	0.80	0.37	ZSI-6	0.96	1.00	0.95	0.75
CZI-1	0.97	0.80	1.00	0.42	CZI-6	0.98	0.95	1.00	0.69
MCZI-1	0.39	0.37	0.42	1.00	MCZI-6	0.69	0.75	0.69	1.00
	SPI-12	ZSI-12	CZI-12	MCZI-12		SPI-24	ZSI-24	CZI-24	MCZI-24
SPI-12	1.00	0.99	0.99	0.89	SPI-24	1.00	0.99	0.99	0.90
ZSI-12	0.99	1.00	1.00	0.94	ZSI-24	0.99	1.00	1.00	0.94
CZI-12	0.99	1.00	1.00	0.93	CZI-24	0.99	1.00	1.00	0.95
MCZI-12	0.89	0.94	0.93	1.00	MCZI-24	0.90	0.94	0.95	1.00

Scatter Diagram of SPI, ZSI, CZI and MCZI for 1-, 6-, 12- and 24-months Time scales are presented in Figure 6 for the period of 1955-2014.

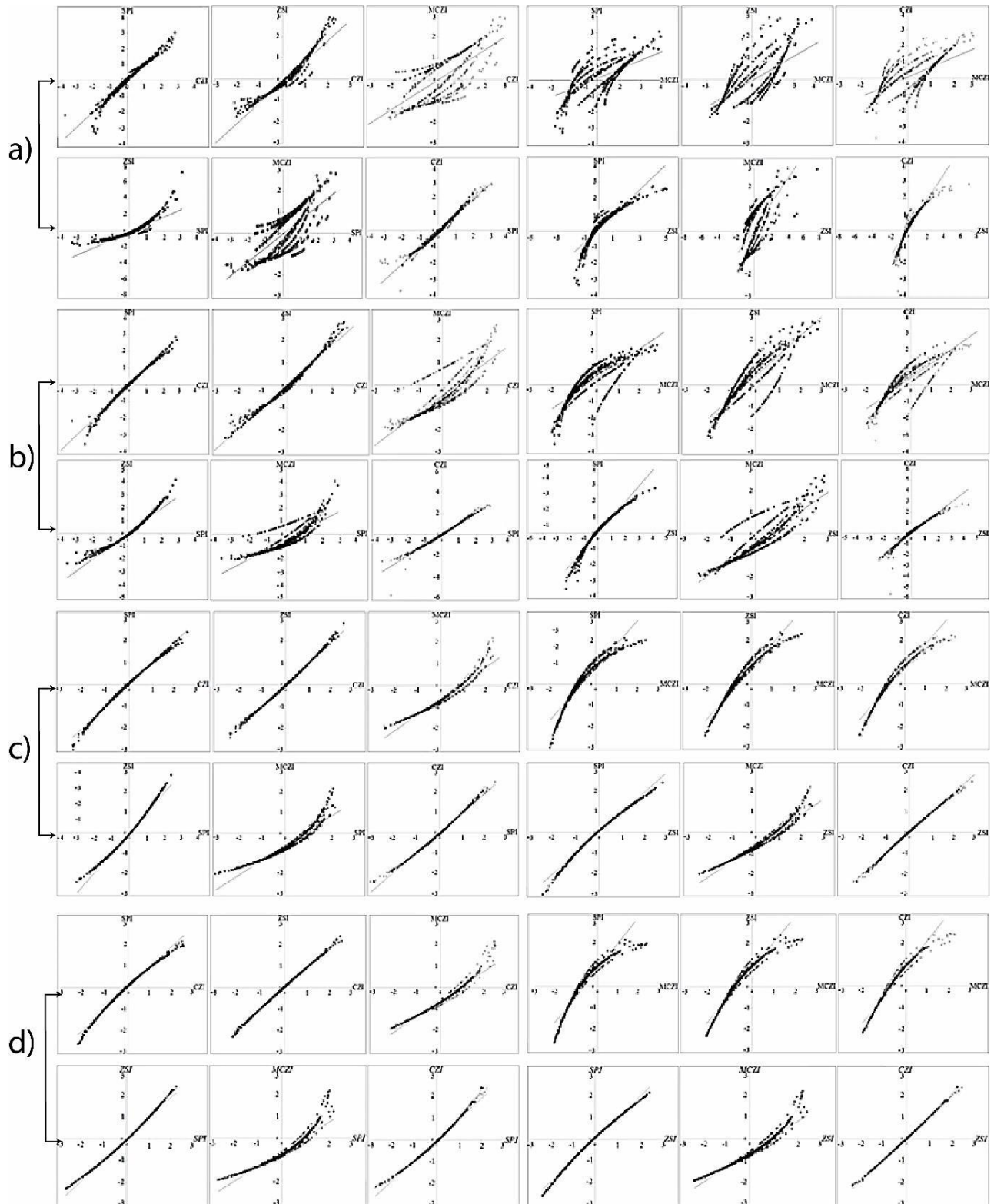


Figure 6: Scatter Diagram of SPI, ZSI, CZI and MCZI for a) 1-, b) 6-, c) 12- and d) 24-months Timescales from 1954 to 2014.

With comparing the obtained results for different selected drought indices and time scales, it was clear that total number of events for selected period were approximately equal for SPI and CZI indices. This state is presented in Figure 7. Based on this figure, selected station mostly had normal or near normal drought classes with the total percentage of between 62% and 79% for all time scales for the period 1955-2014, approximately. The obtained MCZI showed different results in comparison with other drought indices. CZI and ZSI drought indices gave closer results in terms of total percentage of each event in comparison of other indices.

From Figure 7, all calculated drought indices estimated the similar values for severe wet events for all time scales in the study period, exceed MCZI, which estimated different values for severely wet event. MCZI for any time scale conditions estimated an inappropriate value for drought classes in comparison other indices. With analyzing Figure 7, it also turns out that the trends indicated that with increasing in time scale the ZSI tend to be more severe dry events. The trends also indicated that with decreasing in time scale the MCZI, ZSI, SPI and CZI tend to be more extreme dry events. Also, as the time scale increases, the normal events in all indicators, except for the MCZI index, decrease.

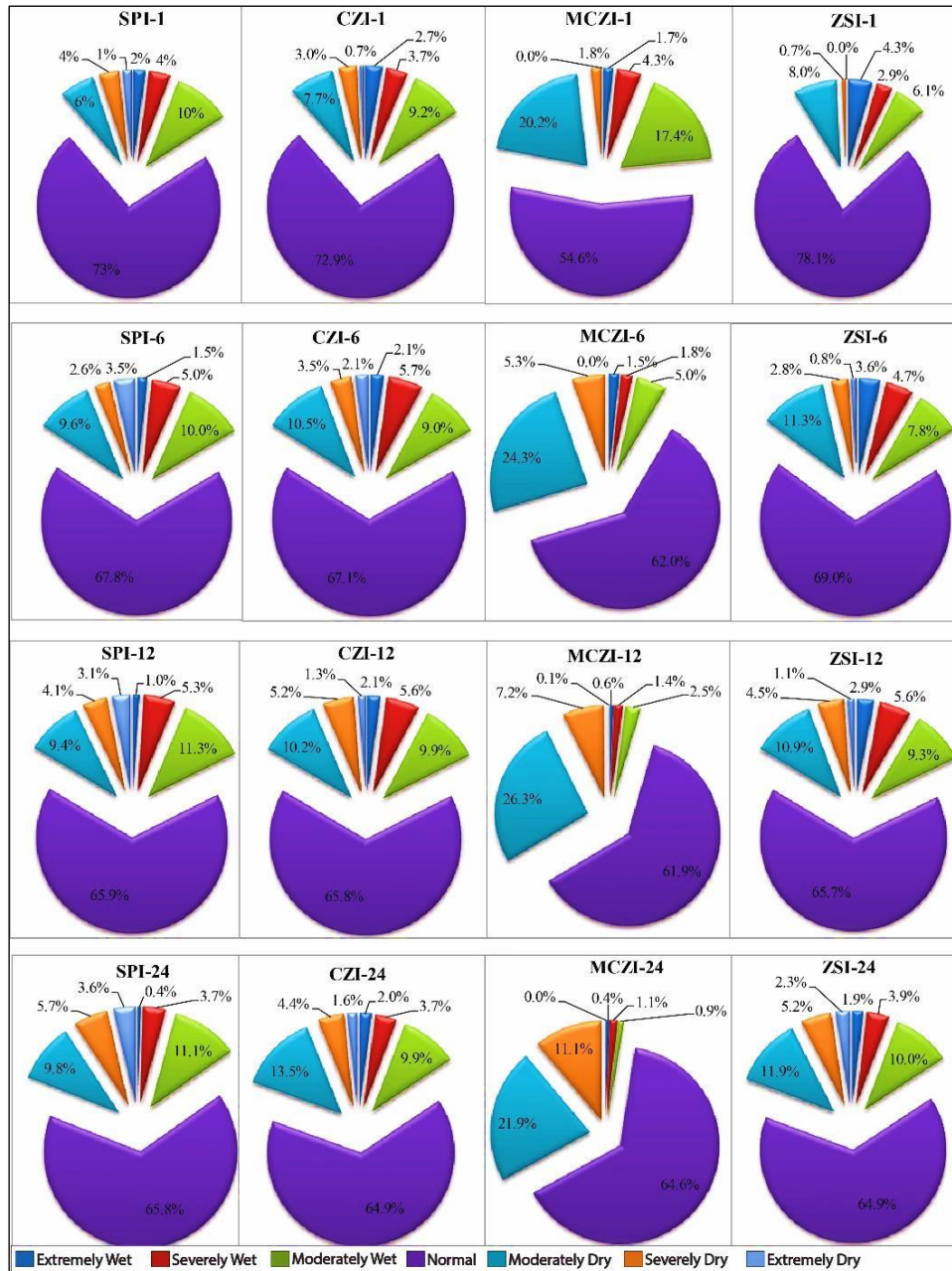


Figure 7: Total Number of Drought Classes for years 1954 to 2014

Based on the results show in Table 7, the number of severe wet months has increased in recent years and after 2010, specially. The total severe dry months for years were increases between years 2005 and 2008. After 2012, increasing in number of extreme wet months were obvious from Table 6. Evaluation of historical recorded flood events show that flood occurred in year 1999 at the Manavgat station, which located near Alanya. All the calculated drought indices show the high number of severe wet months for 1999. It seems 1999 was a wet year for this area. All calculated indices show the extreme wet months happened for 2002, in which flood was occurred in Antalya region. From recorded measurements, it is also seen that the momentary maximum current with a discharge equal to 620 cubic meter per second was occurred in 1981 at Dim cay Stream, a stream that located near Alanya (General Directorate of State Hydraulic Works, 2014).

All drought indices for all different time scales show numerous severely and extreme wet events in this year (except the indices with 24-month time scale for extreme events). All indices with 6-month time scales estimated the December in 1997 as an extremely wet month. According to recorded observations, the significant increase in flow of the Obaçay stream with a discharge of 186 cubic meters per second indicates excessive rainfall in this area in this date. It is important to mentioned that the streams Obaçay and Dim are located near Alanya. From Table 6, all drought indices with 6-month time scale estimated same years for extremely wet events, approximately. It is also seen that the region has experienced the driest year in 1973 in the chosen period, because of number of extremely dry months in a year.

Table 6: Extremely dry and wet events occurred in the selected period for all indices

Extreme Events												
Time Scale	SPI			ZSI			CZI			MCZI		
	Year	No. of Dry month(s)	No. of Wet month(s)	Year	No. of Dry month(s)	No. of Wet month(s)	Year	No. of Dry month(s)	No. of Wet month(s)	Year	No. of Dry month(s)	No. of Wet month(s)
6-month	1956	1	-	1957	1	-	1957	1	-	1978	-	1
	1957	3	-	1959	1	-	1959	2	-	1981	-	2
	1959	2	-	1963	-	1	1963	-	1	1987	-	1
	1964	1	-	1968	-	1	1973	5	-	1988	-	1
	1972	1	-	1973	3	-	1977	1	-	1997	-	1
	1973	5	-	1975	-	1	1978	-	1	2001	-	1
	1977	2	-	1978	-	1	1981	-	1	2002	-	1
	1978	-	1	1981	-	2	1987	-	2	2011	-	1
	1981	-	1	1987	-	3	1988	-	2	2012	-	1
	1987	-	1	1988	-	5	1989	2	-			
	1988	-	1	1997	-	1	1997	-	1			
	1989	3	-	2001	-	1	2001	-	1			
	1991	2	-	2002	-	4	2002	-	3			
	1997	-	1	2007	-	1	2004	1	-			
	2001	-	1	2009	-	1	2007	2	-			
	2002	-	2	2011	-	3	2008	1	-			
	2004	2	-	2012	-	1	2011	-	1			
	2007	2	-	2014	-	1	2012	-	1			
	2008	1	-				2014	-	1			
	2011	-	1									
	2012	-	1									
	2014	-	1									
12-month	1957	5	-	1957	1	-	1957	2	-	1973	1	-
	1973	9	-	1973	7	-	1973	7	-	2002	-	2
	1981	-	1	1981	-	1	1981	-	1	2012	-	2
	1988	-	1	1988	-	2	1988	-	2			
	1989	-	1	1989	-	1	1989	-	1			
	1991	6	-	2002	-	8	2002	-	7			
	2002	-	1	2012	-	9	2012	-	4			
	2007	2	-									
	2012	-	3									
24-month	1972	1	-	1973	7	-	1973	5	-	2012	-	3
	1973	11	-	1974	7	-	1974	5	-			
	1974	9	-	1988	-	2	1988	-	2			
	1988	-	1	2006	2	-	2006	-	1			
	1991	1	-	2012	-	9	2012	-	10			
	2005	1	-	2013	-	2	2013	-	2			
	2006	2	-									
	2012	-	2									

Table 7: Severely dry and wet events occurred in the selected period for all indices

Severe Events												
Time Scale	SPI			ZSI			CZI			MCZI		
	Year	No. of Dry month(s)	No. of Wet month(s)	Year	No. of Dry month(s)	No. of Wet month(s)	Year	No. of Dry month(s)	No. of Wet month(s)	Year	No. of Dry month(s)	No. of Wet month(s)
6-month	1956	1	-	1956	1	-	1956	2	-	1956	2	-
	1957	1	-	1957	3	-	1957	3	-	1957	4	-
	1963	-	3	1959	1	-	1959	1	-	1959	2	-
	1964	1	-	1963	-	3	1963	1	3	1963	1	-
	1968	-	1	1964	1	-	1964	2	-	1964	3	-
	1969	-	1	1968	-	1	1968	-	2	1968	-	2
	1971	1	-	1969	-	2	1969	1	2	1969	1	-
	1973	1	-	1972	1	-	1972	1	-	1972	2	-
	1975	-	2	1973	2	-	1973	1	-	1973	6	-
	1981	-	4	1975	-	3	1975	-	4	1975	-	1
	1984	-	1	1977	1	-	1977	1	-	1977	1	-
	1985	-	1	1981	-	3	1981	-	3	1988	-	2
	1987	-	3	1984	-	3	1984	-	2	1989	4	-
	1988	-	4	1985	-	1	1985	-	1	1991	4	-
	1989	1	-	1987	-	2	1987	-	3	1997	-	1
	1991	2	-	1989	2	1	1988	-	3	2002	-	3
	1993	1	-	1991	3	-	1989	2	1	2004	2	-
	1997	-	1	1994	-	1	1991	3	-	2005	1	-
	1998	-	1	1997	-	1	1997	-	1	2007	4	-
	1999	1	-	1998	-	1	1998	-	1	2008	3	-
	2001	-	1	1999	-	2	1999	-	2	2009	-	1
	2002	-	2	2001	-	1	2001	-	1	2011	-	1
	2004	1	-	2004	1	-	2002	-	1	2012	-	1
	2005	1	-	2006	3	1	2004	2	-	2014	-	1
	2006	-	1	2007	2	-	2006	-	1			
	2007	2	-	2008	2	-	2007	2	-			
	2008	2	-	2009	-	1	2008	3	-			
	2009	-	2	2011	-	2	2009	-	2			
	2010	1	-	2012	-	4	2010	1	-			
	2011	-	4	2014	-	1	2011	-	4			
	2012	-	3				2012	-	3			
	2014	-	1				2014	-	1			
12-month	1957	5	-	1957	8	-	1957	8	-	1957	10	-
	1963	-	6	1963	-	8	1963	-	8	1964	8	-
	1964	8	-	1964	6	-	1964	7	-	1973	10	-
	1968	-	1	1968	-	2	1968	-	2	1979	1	-
	1969	-	2	1969	-	3	1969	-	2	1981	-	1
	1973	2	-	1973	3	-	1973	4	-	1986	1	-
	1975	-	4	1975	-	7	1975	-	6	1988	-	1
	1978	-	1	1978	-	2	1978	-	2	1990	1	-
	1979	1	-	1981	-	6	1981	-	5	1991	9	-
	1981	-	2	1989	-	1	1989	-	1	2002	-	4
	1986	1	-	1991	8	-	1991	9	-	2005	5	-
	1989	-	1	1999	-	1	1999	-	1	2006	3	-
	1990	1	-	2001	-	1	2002	-	3	2007	2	-
	1991	3	-	2002	-	2	2005	4	-	2008	1	-
	2002	-	9	2005	3	-	2006	3	-	2012	-	4
	2005	5	-	2006	1	-	2007	2	-	2013	1	-
	2006	1	-	2007	2	-	2009	-	1			
	2009	-	1	2008	1	-	2010	-	1			
	2010	-	1	2009	-	1	2011	-	3			
	2011	-	3	2010	-	1	2012	-	5			
	2012	-	8	2011	-	3						
	2013	1	-	2012	-	2						
24-month	1957	8	-	1957	5	-	1957	4	-	1957	11	-
	1958	1	-	1958	1	-	1961	1	-	1958	1	-
	1961	1	-	1961	1	-	1968	-	2	1961	1	-
	1968	-	2	1968	-	2	1969	-	1	1972	2	-
	1969	-	1	1969	-	1	1972	1	-	1974	11	-
	1973	1	-	1972	1	-	1973	7	-	1990	1	-
	1974	2	-	1973	5	-	1974	6	-	1991	11	-
	1981	-	4	1974	4	-	1981	-	10	1999	-	1
	1988	-	1	1981	-	11	1989	-	2	2005	8	-
	1989	-	2	1989	-	2	1990	1	-	2006	9	-
	1990	1	-	1990	1	-	1991	2	-	2007	9	-
	1991	4	-	1991	3	-	1999	-	8	2008	2	-
	1999	-	6	1999	-	8	2005	1	-	2012	-	5
	2005	6	-	2005	3	-	2006	8	-	2013	-	2
	2006	7	-	2006	7	-	2007	1	-			
	2007	9	-	2007	7	-	2011	-	1			
	2008	1	-	2012	-	2	2012	-	1			
	2012	-	8	2013	-	1	2013	-	1			
	2013	-	3									

4.1. Trend Analysis of the precipitation during 2015-2022

With evaluating the trend of the yearly precipitation of the last eight years (2015-2022) shows that the precipitation in the last eight years have increasing trends in total (Figure 8). On the other hand, trend analysis of the total monthly precipitation of the period 2015-2022 in the study area shows that some months have upward trends and some have decreasing trends. Five months including January, February, May, June and December show a positive (rising) trend. While the remaining seven months including March, April, July, August, September, October and November present a falling trend. Monthly trend lines are presented in Figure 9.

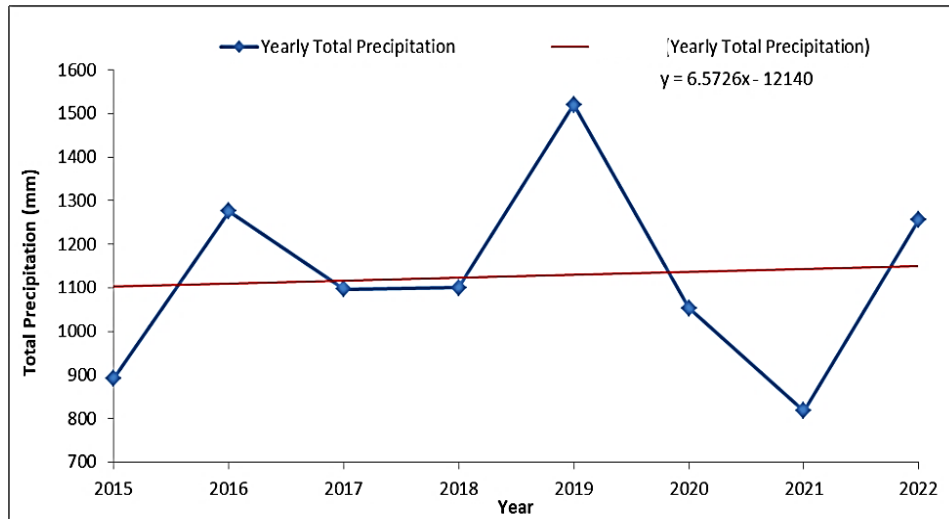


Figure 8: Yearly total precipitation for period of 2015-2022

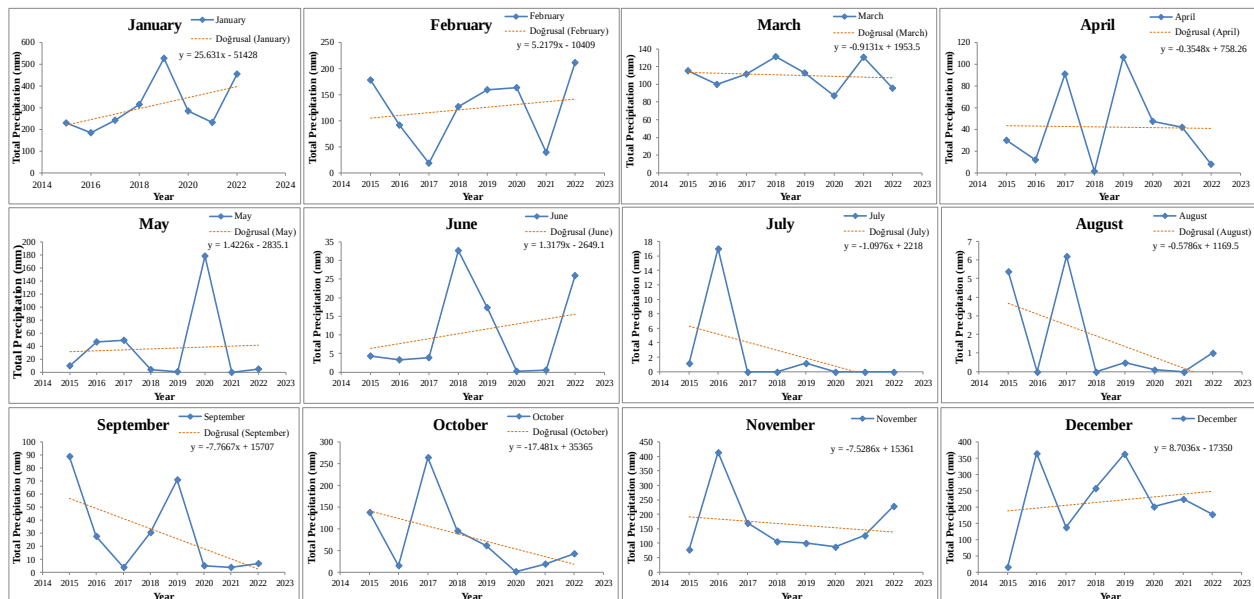


Figure 9: Monthly trend analysis of precipitation for period of 2015-2022

4.2. Investigation of soil moisture and vegetation in the study area

Examining soil moisture data for the years 2000, 2010, 2020 and 2022 in the study area, indicates that the soil moisture in 2022 has decreased significantly compared to 2000 and 2010. The soil moisture maps for the years 2000, 2010, 2020 and 2022 are presented in Figure 10.

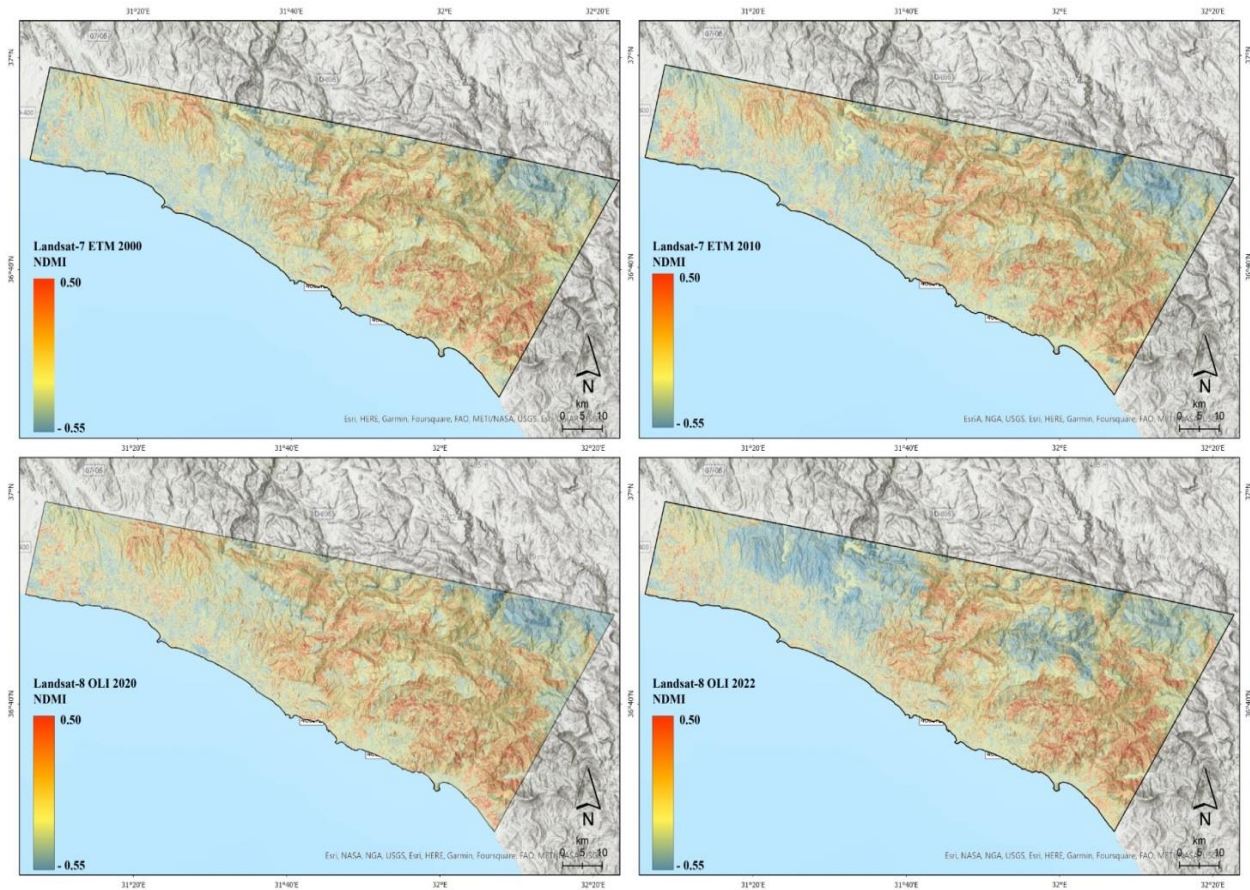


Figure 10: Soil moisture for the years 2000, 2010, 2020 and 2022

The values measured in the years 2000, 2010, 2020 and 2022 for the amount of soil moisture in different parts of the selected region, as shown in Figure 11, show a decrease in the value of this parameter in 2022 compared to 2000, 2010 and 2020, which indicates the beginning of a drought event in the region. However, in some points, the increase in soil moisture in 2022 compared to 2000, 2010 and 2020 is evident.

According to the data shown in Figure 11, it can also be seen that the soil moisture recorded in 2000 had a much lower rate compared to years 1974 and 2020, and this was caused by drought events experienced in 2000 and previous years. In addition, the map prepared from the available vegetation data for the years 1975, 1985, 2000, 2010, 2020 and 2022 in the area (Figure 12) shows the increase in vegetation. As can be seen from Figure 12, vegetation started to decrease in the selected region from 1975 and was at its lowest level in 2022, and this is due to drought, thus indicating that the region is in a dry period. It seems to be normal considering the increase in soil moisture in recent years and the decrease in the number of droughts after 2007 according to Tables 6 and 7.

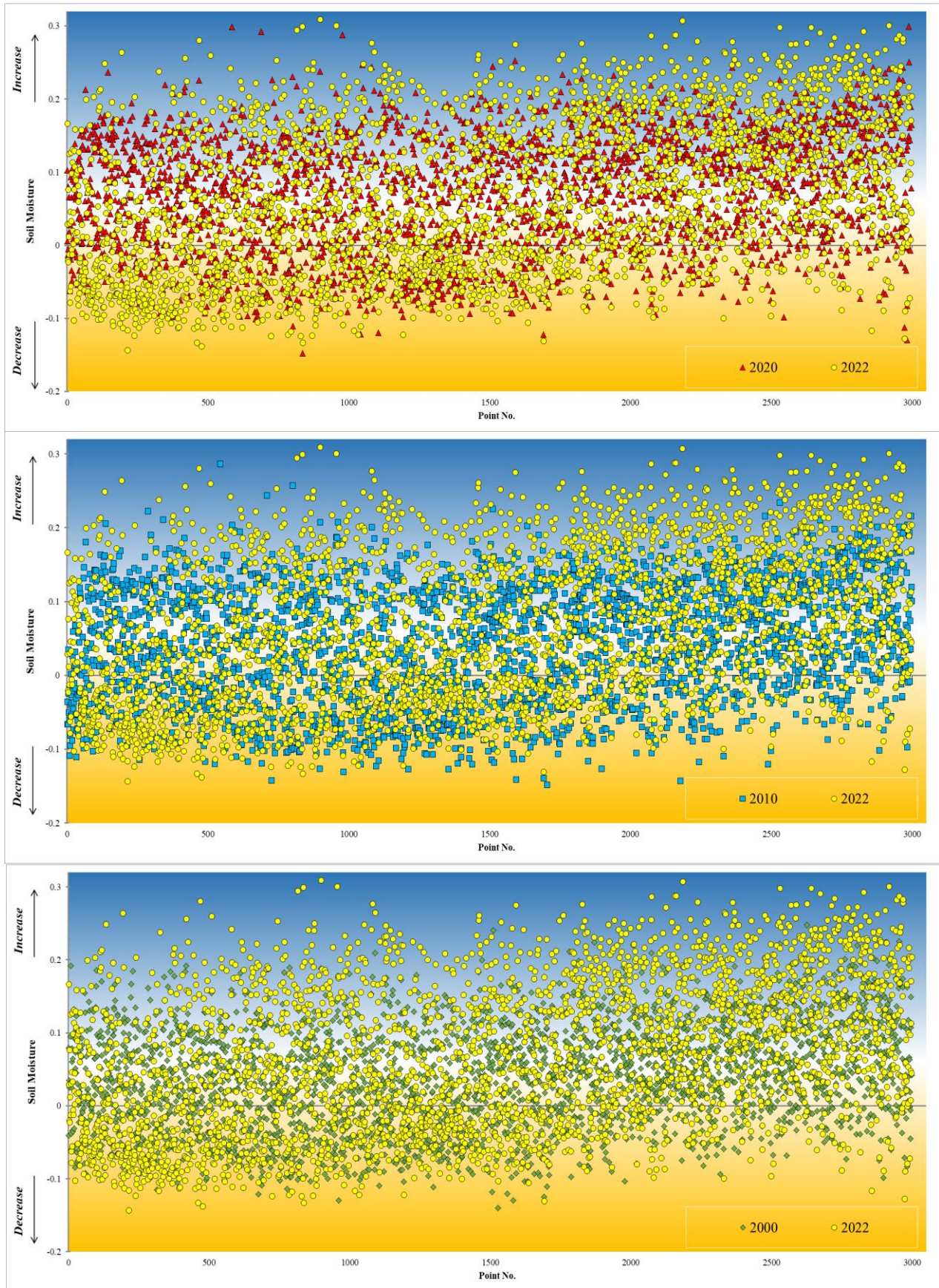


Figure 11: Soil moisture variations during the years 1975, 2000, 2020, and 2020

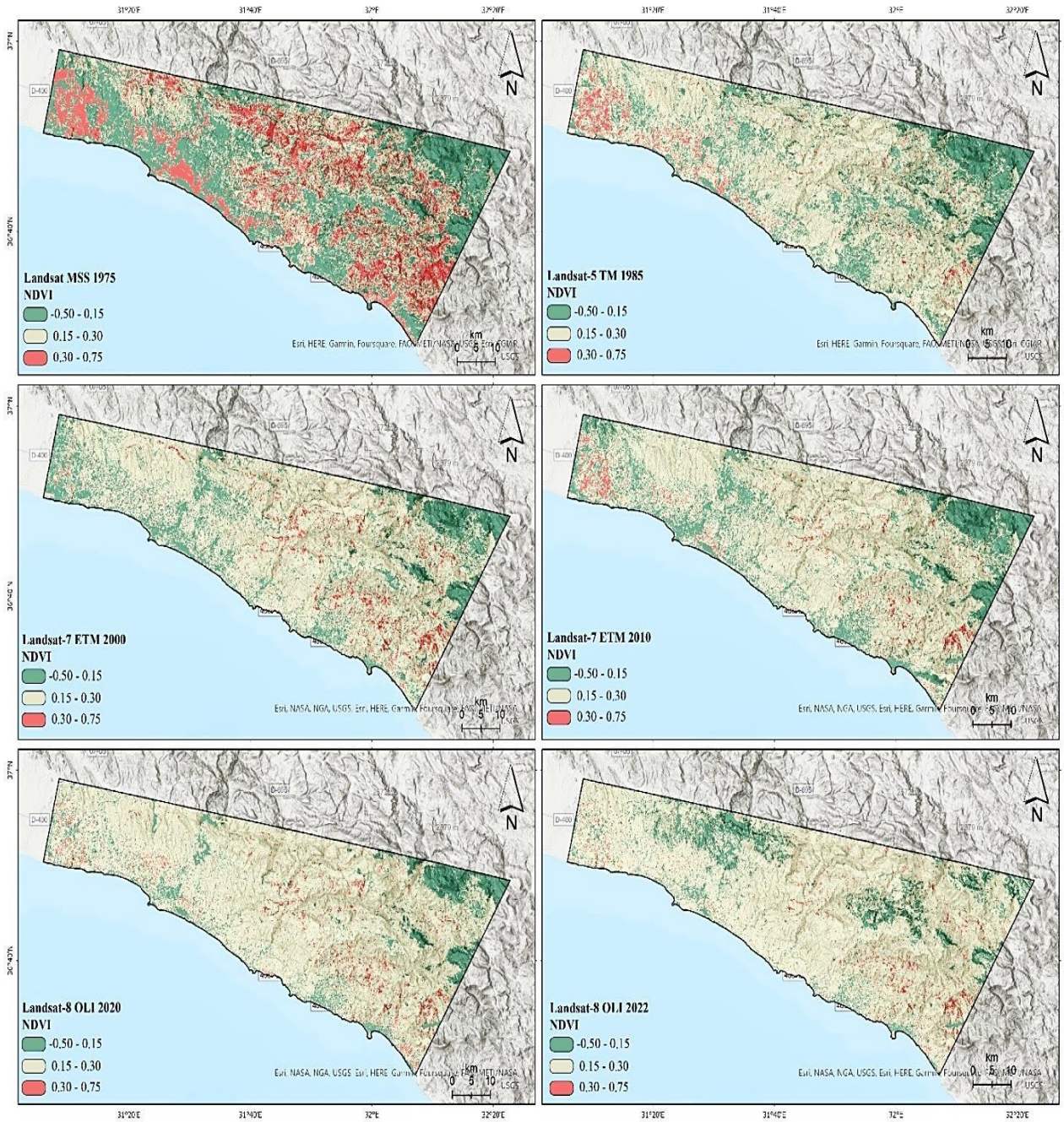
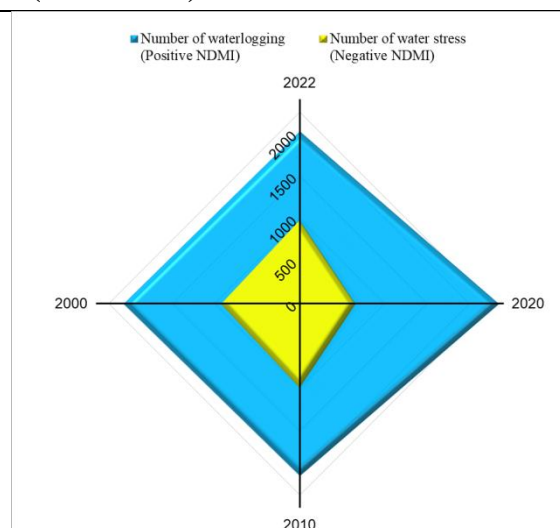


Figure 12: Vegetation data for the years 1975, 1985, 2000, 2010, 2020 and 2022 in the study area

Based on the given data in Figures 11 and 12, the number of Water stresses is presented for years 2000, 2010, 2020, and 2022 in the Table 8, which are indicated by the negative values of the Normalized Difference Moisture Index (NDMI). From this table it is obvious that years 2010 and 2012 have a greater number of water stress NDMI than the other two years, which shows the dry situation of the soil and vegetation cover. The values obtained from NDVI and NDMI analyses conducted for the years 1975, 1985, 2000, 2010, 2020, and 2022 consistently align with the results of the Standard Precipitation Index. Understanding these changes, especially in relation to precipitation patterns and climate characteristics, is essential. The observed decreases, particularly in connection with the Standard Precipitation Index, are largely attributed to changes in precipitation regimes. Climate changes can influence the quantity, distribution, and seasonal patterns of precipitation, which is reflected in the results of NDVI and NDMI analyses. Comparing this result with NDMI and NDVI analyses, it's evident that the indices align with the overall trend of increased drought conditions and changes in vegetation and soil moisture. The correlation between precipitation data and these remote sensing indices provides a comprehensive understanding of the evolving environmental conditions in the Alanya region. The increasing water stress points in 2010 and 2022, as indicated by soil moisture data, further support the signs of drought occurrence observed in the study.

Table 8: Number of water Stress and waterlogging

Year	2022	2020	2010	2000
Number of water stress (Negative NDMI)	976	653	979	922
Number of water logging (Positive NDMI)	2022	2345	2019	2076



5. Conclusion

The study utilized 69 years of precipitation data to investigate drought conditions of the Alanya, which was collected from Alanya station in the Antalya province. The first 61 years data was used to calculate various drought indices, including SPI, CZI, MCZI, and ZSI. These indices were employed to assess drought events at different time scales of 1, 6, 12, and 24 months. Over the entire study period, the Alanya station exhibited a statistically significant upward trend in all these time scales, indicating an increase in drought conditions. The research findings revealed that the SPI, CZI, and Z-Score indices performed similarly in identifying and monitoring drought severity. Specifically, the SPI and CZI indices stood out for their high effectiveness in this regard when compared to the other drought indices considered in the study. Notably, the SPI and CZI indices exhibited the strongest correlations. On the other hand, the MCZI was found to be less suitable for detecting drought in the chosen station. In addition to analyzing dry events, the study also examined wet events, which showed a series of wet periods in the later years of the study period in the region. The findings highlighted that the year 1973 was the driest within the chosen period due to an unusually high number of extremely dry months in that year. Consequently, similar extremely dry events were observed for the 6-month time scale. The variability in the responses of the selected indices underscores the importance of considering other indices and factors when detecting drought events at the Alanya station.

Based on the available data and the maps prepared for the study area, it is clear that in the period 2007-2014 the number of extremely and severely dry events decreases. Although the total yearly rainfall for the last eight years (2015-2022) shows an upward trend, but the analysis of the monthly rainfall for the mentioned last eight years indicates the downward trend of rainfall in most months. The map of vegetation and soil moisture also confirm this issue. It seems that dry events in the region will not be far from expected in the coming years. However, it should not be forgotten that droughts themselves will cause flood events after sudden rains. In this way, the probability of flooding in the region in the coming years seems very high. Investigating the available soil moisture data showed that the number of points with Water stress was higher in 2010 and 2022 comparing the years 2000 and 2020, which is one of the signs of the occurrence of drought.

References

- Angelidis, P., Maris, F., Kotsovinos, N., & Hrissanthou, V. (2012). Computation of drought index SPI with alternative distribution functions. *Water Resources Management*, 26, 2453–2473. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0026-0>
- Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., & Sutera, A. (2003). Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily. *Water Resources Management*, 17, 273–296. <https://doi.org/10.1023/A:1024716530289>

- General Directorate of Water Management. (2016). *Antalya basin flood management plan*. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1%2026.12.2022/ANTALYA%20%20HAVZASI%20TA%C5%9EKIN%20YONETIM%20PLANI%20Y%C3%96NET%C4%B0C%C4%B0%20%C3%96ZET%C4%B0.pdf>
- General Directorate of State Hydraulic Works. (2014). *2014 Annual Report*. <https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/KonuLcerik/759/1107/DosyaGaleri/dsi-2014-faaliyet-raporu.pdf>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Guttman, N. B. (1998). Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 113–121. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.x>
- Wu, H., Hayes, M. J., Weiss, A., & Hu, Q. (2001). An evaluation of the standardized precipitation index, The China-Z Index and the statistical Z-Score. *International Journal of Climatology*, 21, 745–758. <https://doi.org/10.1002/joc.658>
- Katipoğlu, O. M., Acar, R., & Şengül, S. (2020). Comparison of meteorological indices for drought monitoring and evaluating: a case study from Euphrates basin, Turkey. *Journal of Water and Climate Change*, 11(S1), 29–43. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.171>
- Kendall, M. G., & Stuart, A. (1977). *The advanced theory of statistics* (4th ed.). Charles Griffin & Company.
- Loukas, A., Vasiliades, L., & Tzabiras, J. (2008). Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*, 17, 23–29. <https://doi.org/10.5194/adgeo-17-23-2008>
- Mahmoudi, P., Rigi, A., & Miri Kamak, M. (2019). A comparative study of precipitation-based drought indices with the aim of selecting the best index for drought monitoring in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3–4), 3123–3138. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02778-z>
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January 17–23). *The relationship of drought frequency and duration to time scales* [Conference presentation]. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Anaheim, California.
- Morid, S., Smakhtin, V., & Moghaddasi, M. (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*, 26(7), 971–985. <https://doi.org/10.1002/joc.1264>
- Rahmat, S. N., Jayasuriya, N., & Bhuiyan, M. (2012, November 19–22). *Trend analysis of drought using standardised precipitation index (SPI) in Victoria, Australia* [Conference presentation]. 34th Hydrology and Water Resources Symposium, Sydney, Australia.
- Salehnia, N., Alizadeh, A., Sanaeinejad, H., Bannayan, M., Zarrin, A., & Hoogenboom, G. (2017). Estimation of meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. *Journal of Arid Land*, 9, 797–809. <https://doi.org/10.1007/s40333-017-0070-y>
- Weaver, S. M., Guinan, P. E., Semenova, I. G., Aloysius, N., Lupo, A. R., & Hunt, S. (2023). A case study of drought during summer 2022: A large-scale analyzed comparison of dry and moist summers in the Midwest USA. *Atmosphere*, 14(9), Article 1448. <https://doi.org/10.3390/atmos14091448>
- Shah, R., Bharadiya, N., & Manekar, V. (2015). Drought index computation using standardized precipitation index (SPI) method for Surat District, Gujarat. *Aquatic Procedia*, 4, 1243–1249. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.162>
- Tallaksen, L. M., & Van Lanen, H. A. (2004). *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03464-X>
- Uddin, M. J., Hu, J., Islam, A. R. M. T., Eibek, K. U., & Nasrin, Z. M. (2020). A comprehensive statistical assessment of drought indices to monitor drought status in Bangladesh. *Arabian Journal Geosciences*, 13, Article 323. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05302-0>
- Zarch, M. A. A., Sivakumar, B., & Sharma, A. (2015). Droughts in a warming climate: A global assessment of standardized precipitation index (SPI) and reconnaissance drought index (RDI). *Journal of Hydrology*, 526, 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.071>
- Zeybekoğlu, U., & Aktürk, G. (2021). A comparison of the China-Z Index (CZI) and the standardized precipitation index (SPI) for drought assessment in the Hirfanli Dam basin in central Turkey. *Arabian Journal Geosciences*, 14, Article 2731. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09095-8>
- Wable, P. S., Jha, M. K., & Shekhar, A. (2019). Comparison of drought indices in a semi-arid river basin of India. *Water Resources Management*, 33, 75–102. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2089-z>
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10(3), 111–120.

Su Kaynakları Yönetiminin Geleceği, Su Güvenliği ve Ortaya Çıkan Sorunlar

Cengiz Koç^{1,*} 

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 48000, Muğla.

Özet

Entegre Su Kaynakları Yönetimi (ESKY) gereksinimine ilişkin uluslararası anlaşmalar birçok ülkede önemli politik girişimlere ve çalışmalara neden olmuştur. ESKY, uluslararası kuruluşlar tarafından geniş çapta kabul görmektedir. ESKY, canlı ekosistemlerin sürdürülebilirliğinden ödün vermeksizin ekonomik ve sosyal refahı adil bir şekilde en üst düzeye çıkarmak için su, toprak ve ilgili diğer kaynakların koordineli gelişimini ve yönetimini destekleyen bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda küresel su güvenliğinde artan krize ilişkin uluslararası kaygılar giderek artmaktadır. Burada güvenlik, içme, gıda üretimi, enerji, ekosistem vb. için yeterli miktar ve kalitede suyun temin edilmesi anlamına gelmektedir. Bu çalışmada; su kaynakları yönetiminin geleceği, su güvenliği, ortaya çıkan zorluklar ve su kaynakları yönetimi ile bağlantısı, su güvenliği ve iklim değişikliği, su yönetimi bağlamında su güvenliği, politik kararlar ve su güvenliği, su güvenliği için finansman, altyapı ve mühendislik, sürdürülebilir su tasarruflu tarım için sulama konuları incelenmiş, değerlendirilmiş ve bazı sonuçlar çıkarılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Su Kaynakları Yönetimi, Su Güvenliği, İklim Değişikliği, Su Yapıları ve İklim Değişikliği, Sulama

The Future of Water Resources Management, Water Security and Emerging Problems

Abstract

International agreements on the need for Integrated Water Resources Management (IWRM) have led to important political initiatives and studies in many countries. IWRM is widely accepted by international organizations. IWRM is defined as a process that supports the coordinated development and management of water, land and other related resources to maximize economic and social well-being fairly, without compromising the sustainability of living ecosystems. International concerns about the increasing crisis in global water security have been growing in recent years. Here, water security means providing water in sufficient quantity and quality for drinking, food production, energy, ecosystem, etc. In this study, the future of water resources management, water security, emerging challenges and their connection with water resources management, water security and climate change, water security in the context of water management, political decisions and water security, financing, infrastructure and engineering for water security, irrigation for sustainable water-efficient agriculture issues were examined, evaluated and some conclusions were drawn.

Keywords

Water Resources Management, Water Security, Climate Change, Water Structures and Climate Change, Irrigation

1. Giriş

Su Kaynakları Yönetimi (SKY), su sistemlerinin mevcut ihtiyaçları karşılaması, gelecekteki ihtiyaçların aksatılmadan rasyonel ve sürdürülebilir bir duruma dönüştürülmesi ve topluma maksimum faydanın sağlanması için gerekli tüm yöntem ve uygulamaları içermektedir (Akhtar vd., 2021; Quitzow vd., 2021; Koç, 2018a). Su yöneticileri, daha belirgin iklim değişikliğinin etkileri, Covid-19, ekonomik durgunluk, savaşlar, nüfus hareketleri, artan enerji ve kaynak talebi gibi yeni zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorluklar, su yönetimi ve enerji, yakıtlar, sanayi, tarım, uluslararası ilişkiler ve ticaret, ekonomi, su, beşeri ve doğal sermaye kaynaklarını içeren çeşitli sektörleri etkilemektedir (Pande vd., 2020; Alamanos vd., 2022; Li vd., 2019). Bu durum, geleneksel yönetim yaklaşımlarının yeniden gözden geçirilmesini önermekte, karşılaşılan yönetim başarısızlıklarını ve gecikmelere neden olan derin belirsizliklerin ortaya konmasını önermektedir. Su kaynakları yönetiminin geleceği için üç araştırma sorusu tartışılmaktadır, Bunlar; çok disiplinli bilimi yeniden tanımlamak, yenilikçi iş birliklerini analiz etmek ve karmaşık problemleri çözmek; bilim destekli politikalar için kültür oluşturmak ve politikacıların araştırma ve teknolojik ilerlemeleri kavraması ve benimsemesi için tepkilerini hızlandırmak amacıyla etkili iletişim ve sürekli katılım; derin belirsizlik altında karar vermektir.

Bu bağlamda, su kaynakları yönetimi hidroelektrik ve tarımsal üretimi destekleyerek, mevcut altyapı sorunlarının, su kıtlığının, su kalitesi bozulmasının, ekstrem doğa olaylarının, insani, ekonomik ve kurumsal açıdan kötü yönetimin ve iklim değişikliği etkilerinin üstesinden gelmek zorundadır. Bu çalışmada; su kaynakları yönetiminin geleceği; su güvenliği; ortaya çıkan zorluklar ve su kaynakları yönetimi ile ilişkisi; su güvenliği ve iklim değişikliği; su yönetimi bağlamında su güvenliği, siyasi kararlar ve su güvenliği; finansman, altyapı ve mühendislik için su güvenliği; sürdürülebilir su etkin tarım için sulama konuları incelendi, değerlendirildi ve bazı sonuçlara ulaşıldı.

2. Metot

İnceleme süreci iki adımdan oluşmaktadır. İlk olarak Google Akademik'te (<https://scholar.google.com/>) “su kaynakları yönetimi”, “su güvenliği” arama dizelerini kullanarak makaleler aranmıştır. Sadece dergi makaleleri, bildiriler ve raporlar seçilmiştir. 2018'den önce yayınlanan makaleler için yalnızca ikiden fazla atıf yapılan makaleler değerlendirmeye alınmıştır. 2018'den sonra yayınlananlar için yalnızca Web of Science ve/veya Engineering Village tarafından indekslenen makaleler dikkate alınmıştır. Seçilen her makalenin özeti okunduktan sonra, özeti “su kaynakları yönetimi ve su güvenliğiyle” ilgili olması durumunda makalenin tam metni indirilmiştir. İndirilen makalelerin referans bölümü daha sonra incelenen konu başlıklarıyla ilgili olası makaleler için taranmıştır. Özetlerin okunması ve referansların taranması süreci, “su kaynakları yönetimi ve su güvenliği” konusuyla ilgili başka dergi makalesi, tutanak ve rapor bulunmayana kadar tekrarlanmıştır. Daha sonra seçilen her makale dikkatle okunmuştur. Su kaynakları yönetimi ve su güvenliğine yönelik konular, ortaya çıkan zorluklar ve su kaynakları yönetimi ile bağlantısı, su güvenliği ve iklim değişikliği, su yönetimi bağlamında su güvenliği, politik kararlar ve su güvenliği, sürdürülebilir su tasarruflu tarım için sulama, alt başlıkları altında incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

3. Ortaya Çıkan Zorluklar ve Su Kaynakları Yönetimi ile Bağlantısı

Su yönetimi sorunlarıyla ilgilenen birçok politik organ ve paydaş, geleneksel yönetim yaklaşımlarının yeniden gözden geçirilmesini öneren karmaşık sorunlarla giderek daha fazla ilişkilendirilen yeni zorluklarla yüzleşmeye başlamıştır. Kaynakların aşırı kullanımı ve üretimin yoğunlaşmasıyla artan ihtiyaçlar, kıtlık, çevresel bozulma ve iklim değişikliğini artıran sera gazı emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Enerjiye dayanan çeşitli insan faaliyetlerinin hızla yaygınlaşması da artan enerji talebine katkıda bulunmaktadır.

İklim değişikliğinin karşılıklı sonuçları arasında, yenilenebilir (rüzgar) enerji sistemlerine çok fazla yatırım yapan, ancak yeterli enerji depolama kapasitesine sahip olmayan Kuzey Avrupa bölgelerinde hakim olan düşük yoğunluklu rüzgarlar bulunmaktadır (Akhtar vd., 2021). Enerji arz ve talep desenindeki küresel değişimler, büyük talep artışlarına, arz ve mevcut stokların azalmasına, fiyatların (elektrik, doğalgaz vb.) ve enflasyonun artmasına neden olmuştur. Covid-19 ve ardından Ukrayna'daki savaş, Avrupa'da bu etkileri daha belirgin ve çok daha vurgulu hale getirmiştir (Quitrow vd., 2021). Bu durum, birbiriyle etkileşim halinde ve öngörülmesi son derece güç olan çeşitli zorluklardan oluşan benzeri görülmemiş bir olguyu oluşturmakta ve bir belirsizlik yaratmaktadır. Bu durum, yatırımlar, altyapı ve yönetim kararlarını ve su kaynaklarıyla bağlantılı olan sistemleri etkilemektedir (Tablo 1).

Su yönetimi ve ilgili sistemleri, mevcut altyapı, su kıtlığı, su kalitesinin bozulması ve insani, ekonomik, kurumsal açıdan kötü yönetim sorunlarına ek olarak bu zorluklarla da başa çıkmak zorundadır. Bu nedenle, bilgi eksikliklerini belirlemek ve bilim destekli politikaların benimsenmesini hızlandırmak için yenilikçi çözümler uygulamak ve bu zorlukların sürdürülebilir yollarla üstesinden gelmek çok önemlidir (Şekil 1). Karmaşık krizler, farklı sistemleri (su-gıda-enerji-yakıt-kaynaklar-ekonomi) rekabetçi olarak ele alarak çatışmalar yaratabilir ve bu nedenle iyileştirme fırsatlarını kaçırabilir.

3.1. Karmaşık Sorunları Analiz Etmek ve Çözmek İçin Çok Disiplinli Bilimi ve Yenilikçi İş Birliklerini Yeniden Tanımlamak

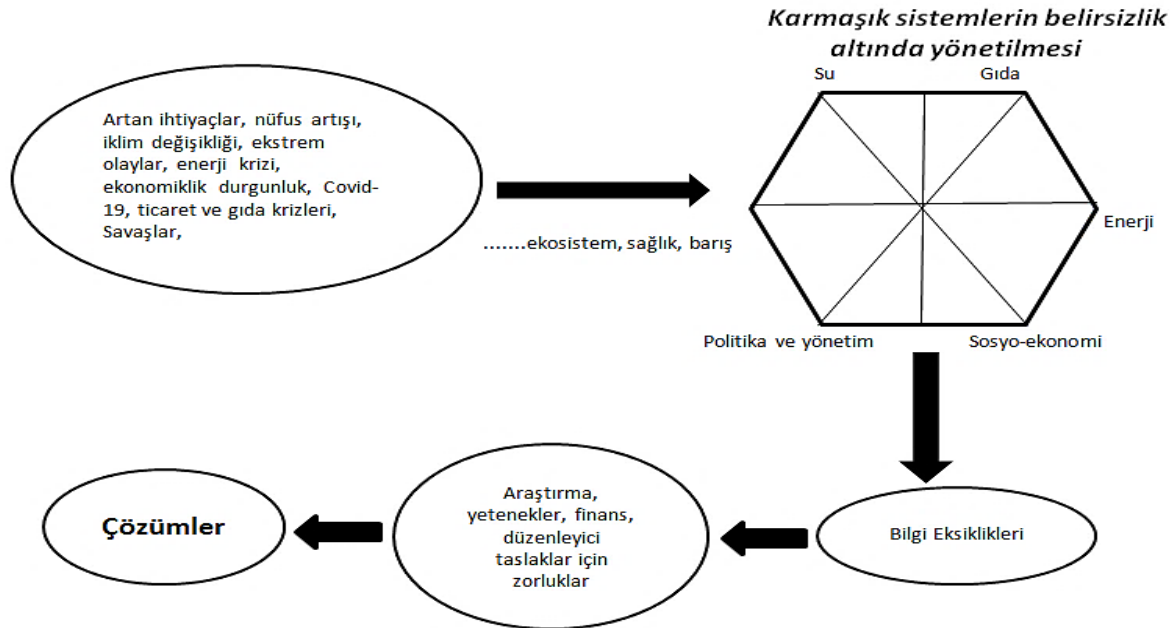
Son yıllarda çok disiplinli su sistemleri yönetimine geçiş açıkça görülmektedir. Çok disiplinliğin yeniden tanımlanması, farklı disiplinlerin eşit katkısı, modelleme ve uygulamada uyumlaştırılma üzerine inşa edilmelidir (tek bir disipline dayalı ana çalışma grubuna eklentiler yapma yerine, birleştirilmiş bilimsel alanlar). Bu tür bir yaklaşım pratikte temel ilerlemeler sağlayabilir. Bilgi tabanı geliştirilmeli ve bu geçiş zemin hazırlanmalıdır.

Bu durum, sistem dinamikleri, çok disiplinli yaklaşımlar, daha sosyal ve politik yönleri temsil eden karmaşık entegre modellere ilişkin çeşitli örneklerle (entegre su kaynakları yönetimi, entegre nehir havza yönetimi) doğrulanmaktadır (Koç, 2018b). Kültür, ilgili tüm aktörler için kendi disiplinlerinden ve diğer disiplinlerden mevcut sorunlara yenilikçi çözüm ve yaklaşımları tetikleyebilecek öğrenmeler yoluyla bu kültürü inşa etmenin bir eksiklik olarak görülmesidir. Doğal, insani (sosyal ve davranışsal) ve ekonomik alt sistemleri analiz etmek, kurumsal/politika düzenleyici alt sistemi uygun ve proaktif bir şekilde geliştirmek ve/veya değiştirmek için bunların tüm arz ve talep bileşenlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Üst düzey bir örnek Şekil 2'de sunulmuştur. Arz tarafı, kontrol edebileceğimiz veya daha iyi yönetebileceğimiz şekilde analiz edilmesi ve varlık olarak değerlendirilmesi gereken çevresel, sosyal ve ekonomik faktörleri içermektedir.

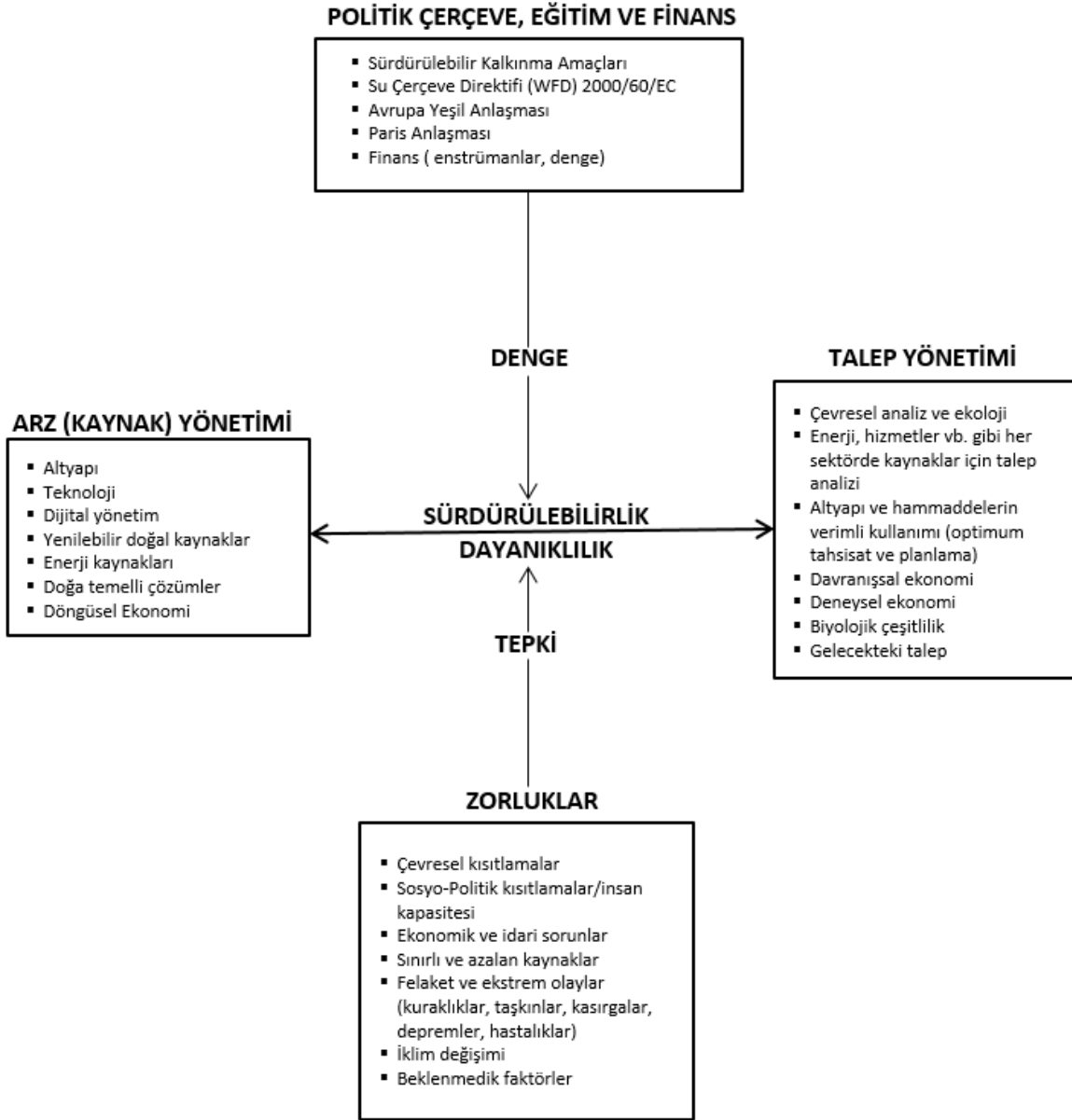
Varlıklarımızın daha verimli ve daha akıllı kullanımıyla arz sürdürülebilir bir şekilde artırılabilir. Talep tarafı, optimize edilebilecek ve verimli bir şekilde kullanılacak çok sayıda parametre ve disiplini (çevresel, sosyal, ekonomik) içermektedir. Kurumsal/politika-düzenleyici alt sistem, sistemlerin sürdürülebilir (hem çevresel hem de ekonomik) olarak işlemlerini sağlamak için arz ve talebi dengelemeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle çeşitli zorlukların üstesinden gelmek ve dayanıklılığa ulaşmak için gerekli zemin hazırlanırsa daha fazla çözüm sağlanabilir.

Tablo 1: Artan zorluklarla karşı karşıya olan gösterge niteliğindeki su yönetim alanları (Alamanos & Koundouri, 2022)

Alanlar	Açıklamalar
Afet yönetimi (taşkınlar, kuraklıklar, kirlilik, kirlilik olayları)	Değişen koşullar ve davranışlar altında tahmin, koruma, uyarı, önleme, değerlendirme, iyileştirme, farkındalık,
Sınır ötesi yönetim Su hakları	Değişen koşullar ve çatışmalar altında farklı talep ve baskıların kontrolü ve adil yönetimi,
Kaynakların dağılımı	Sınırlı ve kötüleşen (kalite ve miktar) mevcut yüzey ve yer altı su kaynakları ile rekabetçi talepleri karşılama
Su altyapısı (depolama, dağıtım, arazi, ıslah işleri, hidroelektrik vb.)	Altyapının tasarımı, işletilmesi, performansı ve verimliliği için farklı hedefler ve yatırımlar dikkate alan farklı stratejiler
Su kalitesi	Tüm kullanımlardan kaynaklanan noktasal ve noktasal olmayan kirlilik kaynaklarının planlanması, karar verilmesi, yönetimi, performansı, korunması, uyarısı, önlenmesi, restorasyonu ve kontrolü
Su kaynakları (toprak, arazi, peyzaj, hava, atmosfer, iklim, okyanuslar, biyolojik çeşitlilik, ekoloji vb.) ile birbirine bağlı fiziksel sistemler.	İzleme, tahmin, koruma, uyarı, önleme, değerlendirme, iyileştirme vb. çoklu etki, maliyet ve faydaları dikkate alan yönetim eylemleri
Sosyal ve ekonomik yönler (davranışsal, dinamikler, çevresel ekonomi, yatırım kararları vb.)	Hak ve payların değişen hedefleri, masraf ve faydaların dağılımı, toplumsal kabul ile başa çıkmak için farklı strateji, yöntem ve uygulamalar
Diğer disiplinler arası, birbirine bağlı dinamik sistemler (Ekohidroloji, Sosyo-hidroloji, Su-Enerji-Gıda Bağlantısı, Su Etiği vb.)	Tanımlama – 'en iyi' yönetim uygulamalarının yürütülmesi, belirli kriterler altında verimliliğin ve performansın optimize edilmesi
Politika ve Yönetim	Yukarıdakilerin tümünü stratejiler, eğitim, halk katılımı ve paydaş katılımı, güçlü kurumsal mekanizmalar ve finansman mekanizmaları ve yönetmeliklerle birleştirmek



Şekil 1: Yenilikçi çözümler talebi, insan-çevre sistemlerinin yönetimini zorlayan derin belirsiz koşulları yaratma, karmaşık ve birbirine bağlı problemler.



Şekil 2: Entegre sistemlerde değişik zorluklara hitap eden, arz ve talebi dengeleyen dayanıklılık ve sürdürülebilirlik (Alamanos vd., 2022).

3.2. Bilim Destekli Politikalar İçin Kültür Oluşturmak Amacıyla Etkin İletişim ve Sürekli Katılım

Açıklanan tüm süreç, politikacıların gerekli katılımı olmadan sağlıklı ve entegre bir şekilde işleyemez. Diğer aktörler gibi çözümlerin geliştirilmesi ve uygulanmasına yönelik iki yönlü bir bilgilendirme sürecinin parçası olmalıdırlar. Politikacılar, araştırmacıları bilgilendirerek insan-çevre sistemlerinin daha iyi yönetimine ilişkin somut eylemler ve adımları görmek için gerekli kültürü geliştirebilirler.

Teknolojik ve bilimsel ilerlemelerin hızı, yöneticilerin bu bilgiyi kavramak, uygun ilerleme ve çözümleri benimsemek ve bunları destekleyecek esnek düzenleyici çerçeveler geliştirmek için gereksinim duyduğu hızdan çok daha fazladır. Bu hız farkı olgusunun basit bir örneği, politikacıların tepkisinin özel sektörle karşılaştırıldığında yavaş olduğu ve sunulan çözümlerin hâlâ tam anlamıyla kullanılmadığı Dijital Su Yönetimi'dir. Hızla dijitalleşen dünyamızda yaşamsal bir kaynak olan suyun korunmasından sürdürülebilir yönetimine kadar birçok alanda dijital teknolojilerin sağlayacağı avantajlar artmaktadır. Bu anlamda 'Dijital Su' kavramı herkesin yeterli ve temiz suya ulaşımını sağlamak üzere bu kaynağın korunması ve en verimli şekilde yönetimi için büyük önem taşımaktadır. Gelişmiş sensörlerin, veri analizlerinin, blockchain entegrasyonunun ve yapay zeka teknolojilerinin su yönetimine uygulanması dijital su yönetim kavramını ortaya çıkarmıştır (Hydro Politic Academy, 2019).

Araştırmacılar bilimsel sonuçlar sağlamak için çaba harcarken, politikacılar da bu sonuçlardan verimli bir şekilde yararlanmak ve sosyo-politik engelleri aşmak için gayret göstermelidir. Yeni zorluklara verilecek yanıtlar, bilgiler, mevcut teknolojiler ve çözümler, gelecekte toplumların zorlukların üstesinden gelebilmesi için bir odak alanı olmalıdır.

3.3. Derin Belirsizlik Altında Karar Vermek

Başlangıçta açıklanan zorluklar ve krizlerin birleşimi karar vericilerin işini daha karmaşık hale getirmektedir. Çünkü, değişiklikler ve değişikliklerin ne kadar süreceği, nasıl etkileşimde bulunacaklarını tahmin etmek ve gelecek senaryolarında birçok faktörün yer değişimini başarılı bir şekilde ortaya koymak oldukça güçtür. Ayrıca, belirsizlikleri daha fazla artıran başka bir faktör, yukarıda belirtildiği gibi politikacıların yeni zorluklara ve yeni bilgilere yanıt verme yöntemidir. Gelecekteki araştırmalar, karmaşık sistemleri analiz ederken yeni bilgilere verilen tepkilerin nasıl karşılanacağı konusunda daha fazla fikir sağlayabilir.

Bu tür koşullar, derin bir belirsizlik- veya ekonomi terminolojisine göre belirsizlik (Li vd., 2019) ve onun temel parametrelerini ve/veya eş zamansızlık etkilerini temsil etmek için bilinmeyen olasılık dağılımlarına sahip olmalıdır. Derin belirsizlik altında karar vermek henüz net bir yanıt olmayan daha geniş bir endişe konusudur. Bu sorunun kökleri, karar vericinin rasyonelliğinin gerçekleştirilemediği sorunları ve tasarımları anlamaya yönelik mevcut yaklaşımların zayıflıklarında bulunabilir. Özellikle, başlangıçta riskle başa çıkmak için geliştirilen standart ekonomi ve mühendislik yaklaşımları derin belirsizlik içeren sorunları açıklamada yetersiz kalmaktadır (Bossaerts vd., 2019). Rasyonel karar vermeyi araştırmak için kullanılan fayda teorisinin klasik çerçeveleri veya refahı maksimuma çıkaran sürdürülebilir yatırım tahsis kararlarında yararlanılan sosyal Maliyet Fayda Analizi ve diğer optimizasyon yaklaşımları yeterli değildir. Çünkü karşılaşılan karmaşık zorluklar, insanların risk ve kesinliği rasyonel varsayımlardan farklı şekillerde algılamasına neden olmaktadır. Standart mühendislik tasarımı ve karar verme yaklaşımları, belirsizlik altında geçerli olmayan rasyonellik varsayımı (aktörlerin tarafsız, tutarlı ve tamamen kişisel çıkarlarıyla karar vermesi) üzerine inşa edilmiştir (Klotz vd., 2019).

Bu durum, politika oluşturma net bir mekanizma veya süreç olarak hareket etmediği, araştırmacıların kararları etkilemek için bilimsel kanıtlarla sürecin hangi aşamasında devreye girebileceğini bildiği gerçek hayattaki uygulamalarda gözlemlenmektedir.

Literatürde bu endişenin su yönetimi (örneğin Su-Enerji-Gıda bağı) veya iklim kararları konularını nasıl etkileyeceği ve nasıl açıklanacağına ilişkin çeşitli örnekler bulunmaktadır (Yung vd., 2019; Trindade vd., 2019).

Mevcut yaklaşımların derin belirsizliği ele almada hala yetersiz olduğu ve su ile ilgili yatırım kararları da dahil olmak üzere politika esnekliği ve belirsiz yollara uyum sağlama konusunda mevcut yaklaşımların ve eleştirel düşünmenin tamamlayıcı kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Algoritmayı yeniden eğitmek için bir modelin çıktılarını yeni girdi olarak değerlendiren, karmaşık sistemleri analiz ederken yeni kanıtlara veya karar sonuçlarına bir yanıtı kısmen içselleştiren Yapay Zekanın (YZ) yetenekleri, politikacıların yeni bilgilere nasıl tepki vereceğine dair bazı bilgiler sağlayabilmektedir. Ancak, bu tür sorunlar (su yönetimi, yatırım kararları ve yönetim) sadece yeni teknolojilere ve bilgi-işlem ilerlemelerine güvenerek çözülemeyeceği için insan ve teknoloji içeren verimli işbirlikçi zekaya ulaşılması gerekmektedir (Martínez-García, 2022). Bu durum, her bir kararın çok faktörlü karakterinin yanı sıra yerelden bölgesel ölçekteki etkilere ilişkin daha derin ve kapsamlı düşünmeyi gerekli kılmaktadır. Diğer iki araştırma alanı olan disiplinler arası çalışma ve bilim destekli politikalar için iletişim sadece bu yönü destekleyecek şekilde hareket edebilir.

4. Su Güvenliği ve İklim Değişikliği

Su güvenliği, dünya çapında birçok karar verici ve politikacının konuşma konusu haline gelmiştir. Bu bağlamda, “su güvenliği” nedir? Uygulanma kararlarının ve su altyapısının inşaatı/işletilmesi riski azaltılmış bir yaklaşımı benimsemesi gerektiği konusunda hepimiz hemfikir olabiliriz. İklim kaynaklı risklerin azaltılması, küresel, ulusal, bölgesel ve yerel istikrarı artırarak ve kamu güvenliğini geliştirerek ulaşım, gıda üretimi, ekonomik kapasite, kamu güvenliği ve ekosistem hizmetleri kapasitesinin korunmasını sağlayacaktır. Su güvenliği, su riski ve stres olmak üzere iki bileşenle karakterize edilmektedir. Su riski, kuraklıktan kaynaklanan su kıtlığı, taşkınlar ile zarar verme, altyapının bozulması veya sınır aşan anlaşmazlıklar gibi suyla ilgili bir zorluğun yaşanma olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Su riskinin kapsamı belirli bir zorluğun ortaya çıkma olasılığının ve etki şiddetinin bir fonksiyonudur (Goodwin & Wagner, 2022). Su stresi, tatlı suyun insan ve ekolojik talebi karşılama yeteneğini ifade etmektedir. Su stresi, su mevcudiyeti, kalitesi ve erişimin fiziksel yönlerini içermektedir. Su talebi, mekansal veya zaman bağlamında su arzını aştığında su stresi oluşabilir.

Küresel su kaynağı, mekansal dağılım, mevcudiyet ve kalite açısından farklılık göstermektedir. Küresel hidrolojik döngü; sızma, çökme, buharlaşma ve süblimleşme ile birbirine bağlanan yüzey ve yeraltı sularından oluşmaktadır. Dolaşımdaki suyun %90'ından fazlası okyanuslar, denizler, göller, nehirler ve akarsular arasındaki sürekli su alışverişi ile ilişkilidir. Sirkülasyonda kalan %10'luk suyun çoğu, bitki terlemesinden su buharı, yüzey suyundan buharlaşma ve dağ kar yığınlarından süblimleşme şeklini alır. Dünya önemli miktarda suya sahip olmasına karşın, tamamı insan tüketimi için uygun değildir. Su, insanları ve çevreyi desteklemek için kritik öneme sahiptir.

Ancak, tatlı su, toplam küresel su kaynağının %3'ünden daha azını oluşturur. Kalan %97 ise tuzlu sudur. Tatlı suyu oluşturan %3'lük kısım ise buzullar ve buzlar, yer altı, nehirler, göller ve atmosfer gibi pek çok farklı yere dağılmış durumdadır (Borden vd., 2017). İnsanlar ve ekosistemler için mevcut olan tatlı su, iklim değişikliğinden etkilenmekte ve küresel su güvenliğini sağlamanın odak noktasını oluşturmaktadır. Mevcut tatlı su kaynakları aşırı kullanım, kirlilik ve atık nedeniyle sürekli tehdit altında kalmaktadır. Kamu ve ekosistem hizmetleri için tatlı suyun işlevsel kapasitesini korumak, küresel topluluk için kritik öneme sahiptir. Yeterli temiz su kaynağına sahip olmamak, su yoksulluğuna yol açacaktır. İklim değişikliği, küresel su güvenliğini başta “*altyapı, karar alma, yönetim ve su adaleti*” olmak üzere birçok düzeyde etkilemektedir.

Altyapı; iklim ve ilişkili döngüler, küresel hidrolojik döngünün artan değişkenliği ve yoğunluğunda açıkça görülmektedir. Artan deniz seviyelerini, aşırı yağış olaylarını, kuraklığı ve artan sayıdaki kıyı fırtınalarını ve bunun sonucunda iç kesimlere doğru ilerleyen dalgalanmaları görebilir ve ölçebiliriz. Bunların tümü yeni veya iyileştirilmiş altyapıyı gerektirmektedir. Etkiler endişe verici oranlarda artmakta, maliyetler insan hayatı ve finansal etkiler açısından ölçülmektedir.

Karar verme; su altyapısının inşasını belirlemek ve finanse etmek, politikacıların, kurum liderlerinin, yerel su kuruluşlarının ve kamu güvenliği kurumlarının sorumluluğundadır. Karar vericiler, eylemlerini fayda-masraf oranlarına, kamu güvenliğine ve genellikle siyasi desteğe dayandırmaktadır. Karar vericiye göre su güvenliği, riski azaltma şeklini almaktadır.

Yönetim; su altyapısı yöneticileri için su güvenliği, hizmet kesintisi ve kamu güvenliği riskini azaltırken su altyapısı ve sistemlerin işletimi ve yönetimini sağlama kapasitesini sürdürmeyle ilgilidir. Riski yönetmek ve altyapı işlevini sürdürmek, yönetsel su güvenliğinin başlıca itici güçleridir

Su Adaleti; tarihsel olarak su altyapısının geliştirilmesi siyasi destek, finansal kapasite ve fırsatların birleştiği noktada meydana gelmektedir. Küresel toplum, su altyapısı geliştirme çalışmalarının genellikle düşük ekonomik durumdaki toplulukları, yerli kültürleri ve haklarından mahrum toplulukları dışarıda bıraktığının giderek daha fazla farkına varmaktadır. Ekonomik duruma veya etnik kökene bağlı olarak, bazı düşük gelir grupları iklim değişikliğinin ani etkilerine karşı daha savunmasızdır. Bu topluluklar için su güvenliği, güvende olmak ve hayatta kalabilmek için temiz suya erişime sahip olmak, bazı topluluklar için ise suya bağımlı kültürel kaynakların sürdürülmesini sağlamaktır (Goodwin & Wagner, 2022).

4.1. Değişen Bir İklimde Su Güvenliğini Nasıl Ele Alabiliriz?

Su güvenliği, ulusların, bölgelerin, toplulukların ve bireylerin iklim değişikliği altında su ile ilgili geleceklerine nasıl yaklaşmaları gerektiğini göstermektedir. Su güvenliği, iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artıracak ve su yoksulluğu riskini azaltacak eylemlerin geliştirilmesi ve uygulanmasına bağlıdır. Mühendislik ve bilim topluluklarının uzmanlığının ve kapasitesinin uygulanabileceği üç alan vardır. Bunlar; *adaptasyon, hafifletme ve yönetimdir*. Bu eylemler ve ortaya çıkan çerçeve, bilgi, entegrasyon ve teşvikler etrafında inşa edilmelidir.

Adaptasyon; iklime dayanıklı ve su açısından güvenli bir yol geliştirmenin ilk adımı, değişen iklim koşullarına yerel olarak uyum sağlamamıza olanak tanıyan prosedürlerin geliştirilmesine rehberlik edecek eylemlerin belirlenmesi ve uygulanmasıdır. Bazı örnekler aşağıda verilmektedir:

- Arazi Kullanımı ve Şehir Planlaması: Fırtınanın neden olduğu etkilerde tampon görevi görebilecek alanların belirlenmesi ve korunması/iyileştirilmesi. Buna, oluşan fırtına dalgalarının tamponlanmasına yardımcı olabilecek kritik kıyı şeridi alanlarının kısıtlanması ve korunması da dahildir. Bugün dünya nüfusunun yaklaşık %56'sı (4,4 milyar kişi) şehirlerde yaşamaktadır. Bu eğilimin devam etmesi beklenmekte olup, kentsel nüfus, 2050 yılına kadar mevcut boyutunun iki katından fazla artacak ve bu noktada yaklaşık 10 kişiden 7'si şehirlerde yaşayacaktır (World Bank, 2023).
- Tatlı su sistemlerinin kullanımına ilişkin protokoller. Yer altı ve yer üstü su sistemlerinin yönetimi için ortak kullanım programlarının geliştirilmesini içermeli.

Hafifletme; Gelecekteki su güvenliği için hafifletme, iklim değişikliğine ilişkin küresel gelecek senaryolarının anlaşılmasını ve dayanıklılığı artırabilecek politika ve eylemlerin geliştirilmesini gerektirir.

- Su güvenliği üzerindeki küresel etkileri ele alacak politikaların uygulanmasına yönelik modeller ve gözlemler geliştirmek ve iyileştirmek,
- Küresel topluma iklim ve su güvenliği konusunda bilgi ve yaklaşımlar sunmak için bilgi dağıtım sistemlerini geliştirmek,

Yönetim; Yararlı adaptasyon ve hafifletme yöntemlerine dayanan su güvenliği, karar vericilerin ve politika geliştiricilerin bilgiye, eylemlerin entegrasyonuna, teşviklere ve izlemeye dayalı karar almayı uygulaması ve desteklemesi durumunda başarılı olabilir. Bir örnek:

- İster bilim ister öğrenilen dersler olsun, yeni bilgilerin karar çerçevesine geri alınmasını sağlayan uyarlanabilir bir yönetim yaklaşımının uygulanması,

4.2. Geniş Kabul Görmüş Üst Düzey Su Yönetimi İlkeleri Bağlamında Su Güvenliği

Su güvenliğine yönelik eski ve yeni tehditlerin farkına varılması son on yılda su hakkındaki düşüncelerimizi değiştirmiştir. Dünyanın birçok yerinde su güvenliği, hızlı artan nüfus ve ekonomik büyümeden kaynaklanan su kıtlığı; taşkın ve kuraklık gibi ekstrem hava ve iklim koşullarından kaynaklanan iklim değişikliği; su kirliliği; su ve kara ekosistemlerinin bozulması gibi faktörlerin birleşimi nedeniyle tehdit altındadır. Yıllar içinde bu tehditlere yanıtla ilgili birçok üst düzey ilke ve kavram ortaya çıkmıştır. Bu fikirler arasında su kaynaklarının sınırlı olduğunun kabul edilmesi, sürdürülebilir kalkınma kavramı, arzın arttırılmasından talep yönetimine geçiş ihtiyacı, suya ilişkin insan hakkı, suyun ekonomik değeri ve su yönetiminde kadınların rolü yer almaktadır. Bu fikirlerin etrafındaki üst düzey ilkeler, Lahey'in 21. yüzyılda su güvenliğine ilişkin bakanlık beyanı, Bin Yıllık Kalkınma Hedefleri ve daha sonra Gündem 2030'un Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri gibi uluslararası kuruluşlar tarafından birçok belge ve beyanda ifade edilmiştir (Falconer & Mynett, 2022). Bu bildirgelerin üst düzey ilkeleri ve hedefleri evrensel olarak benimsenmiş olmasına ve dilleri çoğu ülkenin birçok su politikası belgesinde bulunabilmesine karşın, bu ilkelerin eyleme nasıl dönüştürüleceği konusundaki zorluklar devam etmektedir.

Su güvenliğini artırmak için bu ilkelere uygun bir dizi çözüm mevcuttur. Bunlar, suya bağımlı ekonomik faaliyetlerin yeniden değerlendirilmesini (kuru iklimlerde susuz ürünlerin yetiştirilmesi); arzın arttırılmasını (yeni büyük altyapı projelerinin inşa edilmesi); talep yönetiminin dengelenmesini (koruma ve kamu eğitimi, akıllı sayaçların kullanımı ve eşitlik temelinde fiyatlandırma); geleneksel olmayan su kaynaklarının kullanımını (arıtılmış atık su, tuzdan arındırma, yağmur suyu hasadı, vb.); artan su kullanım verimliliğini (sızıntıların/kayıpların azaltılması/ortadan kaldırılması, etkili sulama yöntemleri, su tasarruflu ev aletleri, vb.); doğa bazlı çözümleri ve akıllı arazi kullanım planlamasını içermektedir (UN-Water, 2013).

Su güvenliğini geliştirmeye yönelik bu üst düzey ilkelerin uygulanmasının önündeki engeller; başarısı suya bağlı olan farklı politikalarla çatışmaları, yasal ve kurumsal engeller, finansal kısıtlamalar, düzenleme eksikliğinden faydalananların düzenlemeye karşı çıkmaları, bazı durumlarda seçilmiş yetkililerin siyasi irade eksikliği, çoğunlukla seçmenlerinin kısa vadeli çıkarları doğrultusunda hareket etmesi, eylemsizliğin sonuçlarını göz ardı etmeyi içermektedir. OECD (2013) raporunda belirtildiği gibi, su güvenliğine yönelik özel bir zorluk, su, enerji, gıda, iklim ve biyolojik çeşitlilik arasındaki bağın doğru şekilde değerlendirilmesi ve tüm bu sektörlerdeki politikalar arasında tutarlılığın sağlanmasıdır. Ülkelerin tüm bu sektörlerde tutarlı politikalarla sahip olmaları ve tüm sektörlerin (tarım, sanayi, enerji, sağlık, turizm) başarısının temel bileşeni, sektörler arası karar alma mekanizmasının geliştirilmesidir. Su güvenliği sadece gıda güvenliğiyle değil aynı zamanda ulusal güvenlikle de yakından ilgilidir. 88 ülkeden ulusal su liderleriyle yapılan görüşmelere dayanan su politikası üzerine yakın tarihli bir rapor (Water Policy Group, 2021), çoğu ülkedeki en önemli zorlukların yönetim sorunları ve parçalanmış su kurumlarıyla ilgili olduğunu bildirmektedir. Aynı rapor, en yüksek su risklerinin su kaynaklarını tehdit eden iklim değişikliği, artan talep, taşkın ve kuraklık gibi ekstrem olaylardaki artışlarla ilgili olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, daha zengin ve daha düşük gelirli ülkeler arasındaki politik zorluklar farklı öncelikler ortaya koymaktadır. Örneğin, Afrika'da su liderleri, yetersiz ve erişilemez veri ve bilgilerin yanı sıra yetersiz altyapının üstesinden gelme ihtiyaçlarına daha fazla öncelik vermektedir.

4.3. Politik Tutarsızlık Su Güvenliğini Zayıflatıyor

Bazı politikaların su güvenliğini nasıl zayıflatabileceğini anlamak için aşağıda verilen uygulamaların dikkate alınması gerekmektedir.

- Kısa vadeli çıkarları hedefleyen, uzun vadeli sonuçlarını göz ardı eden politikalar,
- Geçmişte belirli bir amaç için uygulamaya konulan politikaların asıl amacına uzun süre önce ulaşılmış olmasına karşın zaman içinde neredeyse donmuş halde kalması,
- Su haklarını tesis eden ve genellikle uzun zaman önce yasalaştırılan politikaların bugün uygulandığında sürdürülebilirliği engellemesi,

Bu politikaların birçoğu, dünyanın en büyük su kullanıcısı olan enerji, sanayi ve tarım gibi diğer sektörlerle de doğrudan veya dolaylı olarak ilgilidir. OECD'nin geleceğe yönelik öngörülleri, enerji üretimi ve imalattan kaynaklanan su eksikliğinin geçmişe göre oransal olarak çok daha belirgin hale gelmesiyle küresel su çekme ve su tüketimi desenlerinde önemli bir değişimin olduğuna işaret etmektedir (OECD, 2013). Su için rekabetin yükselme potansiyeli ve artan talep, sektörler arasında ve zaman ölçeğinde amaca uygun su kullanımını iyileştirmek için uygulayıcıları ve karar vericileri yönlendiren ve özendiren politik tutarlılığı gerektirir.

Uzun süreli su güvenliğini engelleyen, yenilenemeyen su kaynaklarının tükenmesine yol açan öngörüsüz tarım politikalarının birçok örneği vardır. Bu tür politikalar bazen çiftçiliğin tek istihdam fırsatı olabildiği ve genellikle geçimlik tarıma dayalı olduğu kırsal alanlarda sosyo-ekonomik kalkınmayı sağlamayı veya gıda güvenliğini gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Her ne kadar kısa vadede sosyal fayda sağlasalar da bu alanlarda sulu tarımın uzun dönemli sürdürülebilirliğini dikkate almazlarsa geleceği göremeyebilirler. Bu durum, Suudi Arabistan'ın 1980'li yıllardaki tarım politikasına bir örnektir. Ülke ekonomisini çeşitlendirme ve gıdada kendi kendine yeterliliği sağlama ihtiyacından hareketle, yenilenemeyen su kaynaklarının önemli bir kısmını hızla kullanarak birkaç yıl içinde bir çöl ülkesini buğday ihracatçısı yapan kuyulara, pompalara ve fosil yeraltı suyunun kullanılması için enerjiye yönelik devlet

destekleri, mahsul fiyat desteği gibi çeşitli önlemleri uygulamaya koydu. Ancak, bu tür yeraltı suyu kullanımının sürdürülebilir olmadığını fark ederek birkaç yıl sonra bu politikadan vazgeçildi (Sadoff vd., 2015).

Yüz yılı aşkın bir süre önce benimsenen, ancak amacına ulaşıldıktan sonra uzun süre yürürlükte kalan bir politikaya örnek olarak, Amerika Birleşik Devletleri hükümetinin Batı Amerika'ya büyük ölçüde devlet destekli su sağlama politikası, yirminci yüzyılın başlarında bölgeyi geliştirme ve nüfusu artırma çabasının bir parçası olarak uygulamaya konulmuştur. Birçok büyük su altyapı projesi, bu politikanın amacına ulaşıldıktan çok sonra bile sulu tarımı desteklemeye devam etmiştir. Bu durum, bölgenin kurak ve yarı kurak kısımlarında pamuk ve yonca gibi çok su tüketen bazı ürünleri yetiştirmeye devam etmek için çiftçileri teşvik etmiştir (Findikasis & Soo, 2022).

Su güvenliği, bazı su hakları çeşitleri için yasalaşan politikalar ile de tehdit edilebilir. Bunların arasında, arazi sahiplerinin çıkarabilecekleri su miktarında herhangi bir kısıtlama olmaksızın mülklerinin altındaki su üzerinde mutlak hakka sahip oldukları için mutlak mülkiyet doktrinine dayanan yeraltı suyu hakları da yer almaktadır. Dünyanın bazı yerlerinde bu tür yeraltı suyu haklarının kontrolsüz kullanımı yöresel akiferlerin ciddi şekilde tükenmesine yol açmıştır (Paleologos & Mertikas, 2013). Özellikle, ülkemizin önemli turizm bölgelerinden biri olan Bodrum yarımadasına içme suyu sağlamada kullanılan yeraltı suyu kuyularından yaz aylarında aşırı su çekimi nedeniyle akiferler tüketilmekte, akiferlere deniz suyunun girmesiyle suyun kalitesi bozulmaktadır (Koç, 2017a).

Uzun dönemli su güvenliğini aynı derecede tehdit eden bir diğer husus ise değerli su kaynaklarının korunmasını amaçlayan hükümet müdahalesinin veya düzenlemelerin uygulanmamasıdır. Su kaynaklarının sürdürülemez kullanımı, (örneğin yeraltı suyunun aşırı kullanımından kısa dönemde fayda sağlayan büyük ve küçük çiftçiler gibi) mevcut uygulamaların sürdürülmesinde çıkarları olan kişiler tarafından desteklenmektedir. Bunun bir örneği, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki High Plains akiferinin birçok bölümünde, özellikle Kuzey Teksas'ta, yeraltı suyu çıkarılmasında yıllardır herhangi bir kontrolün bulunmamasıdır (Water Policy Group, 2021).

4.4. Su Güvenliği İçin Finansman, Altyapı ve Mühendislik

Geleneksel olarak yeterli su sağlamayı güvence altına almaya yönelik politikalar, mühendislik altyapı projeleri aracılığıyla su kaynaklarının geliştirilmesine odaklanmıştır. Dünyanın birçok yerinde bu durum artık bir seçenek değildir. Bunun nedeni, bazı ülkelerde tüm su kaynaklarının mevcut durumda geliştirilmiş olması değil, su politikasının, altyapı çözümlerinin çevre, jeo-politik çıkarlar ve sosyo-ekonomik refah ile sahip olduğu karşılıklı ilişkileri tanıması gerektiğidir.

Bazı durumlarda tek alternatif, sürdürülebilir su kullanımı için su arzı sınırlamalarını talep yönetimiyle dengelemeyi amaçlayan politikaları benimsemektir. Bunun bir örneği, Kaliforniya'da birçok akiferin aşırı kullanımıyla mücadele etmek için 2014 yılında uygulamaya konulan Sürdürülebilir Yeraltı Suyu Yönetimi Yasasıdır. Bu yasa, 20 yıllık bir zaman dilimi içinde yeraltı suyunun sürdürülebilir kullanımına yönelik planlar geliştirme ve uygulama sorumluluğuna sahip yerel kurumların oluşturulmasını zorunlu kılmıştır. Bu kurumların her biri, yeraltı suyu kuyularının kayıt altına alınmasını talep etme, yıllık su çıkarma raporlarını zorunlu kılma ve yeraltı suyu çıkarma oranına sınırlama getirme yetkisine sahiptir (Findikasis & Soo, 2022).

Çok amaçlı, çevreyle ve diğer sektörlerle uyumlu çalışan su altyapısı ve mühendislik çözümleri su güvenliği için mutlaka gereklidir. Dünyadaki birçok ülkenin kalkınma potansiyelini hayata geçirmek için daha yeni hidrolik çözümlerin acilen tasarlanması ve uygulanması gerekmektedir. Örneğin Afrika'da, Sahra altı nüfusun üçte ikisi hala güvenli bir şekilde yönetilen içme suyuna erişimden yoksun olup, sulama potansiyeli büyük ölçüde az gelişmiş ve hidroelektrik potansiyelinin neredeyse %90'ı henüz kullanılmamıştır. Kore, Singapur veya İspanya gibi birçok gelişmiş ülke, kamu politikasını geleneksel hidrolik işleri dijital altyapıyla tamamlamaya yönlendirmektedir. İspanyol Hükümeti tarafından, kentsel ve endüstriyel düzenlemeler, sulamayı dijitalleştirme, idari düzenlemeleri dönüştürme ve eğitim, araştırma ve inovasyonu kolaylaştırmada yeni teknolojilerin kullanımını içeren ve ülkede su yönetimini dijitalleştirmeyi amaçlayan 3 milyar Avro'luk bir program başlatılmıştır (United Nations, 2021).

Uygulanacak politika aynı zamanda mevcut hidrolik işlerin yenilenmesini, değiştirilmesini veya hizmetten çıkarılmasını da teşvik etmelidir. Birleşmiş Milletler Üniversitesi (Perera vd., 2021) tarafından yapılan bir araştırma, dünya çapındaki 58.700 büyük barajın çoğunun 1930 ile 1970 yılları arasında inşa edildiğini ve tasarım ömrünün 50 ila 100 yıl olduğunu bildirmektedir. 2050 yılına kadar, dünya nüfusunun büyük bir kısmının bu altyapılardan birinin aşagısında yaşayacağı varsayıldığında; gelecek on yıllarda iklim değişikliği senaryolarının derin belirsizlikler sunması nedeniyle politikacılar ve tasarımcıların sadece tarihsel verilere dayalı olmayan gelecek senaryolarını entegre etmelerine acil bir ihtiyaç vardır. Ancak, küresel su güvenliğini sağlayacak su işlerinin planlanması, tasarımı ve inşası için bütüncül bir yaklaşım izlenmelidir (Perera vd., 2021).

Herkes için su güvenliğini sağlamanın kritik yollarından biri suyla ilgili altyapının finansmanıdır. Su güvensizliğine bağlı küresel ekonomik kayıpların yıllık miktarının yetersiz su temini ve sanitasyonla yılda 260 milyar ABD Doları, kentsel mülklerdeki taşkın hasarlarından yılda 120 milyar ABD Doları ve mevcut sulama tesislerindeki su güvensizliği nedeniyle yılda 94 milyar ABD Doları olduğu tahmin edilmiştir (Sadoff vd., 2015). Buna karşın, gelecekteki yatırım ihtiyaçlarına ilişkin öngörüler, 2030'da 6,7 trilyondan 2050'de 22,6 trilyon ABD Dolarına kadar değişen küresel tahminler ile mevcut finansman önlemlerinden çok daha ağır basmaktadır (High-Level Panel on Water, 2018).

Bu ihtiyaçları karşılamak için özellikle politikacıların katıldığı Üst Düzey Su Panellerinde bazı amaçlara yönelik özel politika önerilerinde bulunmuştur. Bunlar, su ile ilgili yatırımlar için mevcut mülklerin değerinin en üst düzeye çıkarılması; uzun vadede faydaları en üst düzeye çıkaracak yatırım yöntemlerinin tasarlanması; diğer sektörlerdeki yatırımlarla sinerji ve tamamlayıcılık sağlanması; su yatırımlarının risk-getiri profilini iyileştirerek daha fazla finansmanın çekilmesidir ([High-Level Panel on Water, 2018](#)).

Çok ihtiyaç duyulan altyapı ve mühendislik çözümlerini destekleyecek politik seçeneklere ulaşmak zordur. Uygun teknik çözümler, jeo-politikalar, toplumsal talepler ve çevrenin korunmasıyla uyumlu sürdürülebilir finansman ve "güvenilir" yatırımlara yönelik karmaşık talepler politikacılar için zorlu bir görevi oluşturmaktadır. Karar vericiler arasında ortak zorlukların, yaklaşımların ve çözümlerin paylaşılması, yerel bağlamlara uyarlanmış zor karar alma sürecini destekleyecek bir "politika iskelesi" sağlayabilecektir.

4.5. Su Mühendisliğinde İklim Değişikliğine Uyum

Su mühendisliği sektöründeki profesyoneller, paydaşlar ve son kullanıcılar topluluğu, küresel ısınmanın ve ilgili değişikliklerin ([Masson Delmotte vd., 2018](#)) su döngüsü üzerinde gözlemlenen ve öngörülen etkisi konusunda endişe duymaktadır. Gözlemlenen küresel sıcaklık artışının mevcut durumda hidrosferin bazı bileşenlerini etkilediği konusunda çok az şüphe olmasına karşın, en belirgin olanı buz kütlelerinin geri çekilmesiyle birlikte kriyosferdir. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve Alman Havacılık ve Uzay Merkezi (Deutsches Zentrum für Luftund Raumfahrt, DLR) tarafından 2002 yılında başlatılan Yerçekimi Geri Kazanımı ve İklim Deneyi (GRACE), Grönland ve Antarktika'nın 2002'den 2016'ya kadar sırasıyla 281 Gigaton/yıl ve 125 Gigaton/yıl buz kütlesi değişiklikleri yaşadığını göstermektedir ([NASA, 2018](#)).

Bu durum, önümüzdeki on yıllarda öngörülen küresel ısınma ve okyanus suyunun termal genişmesi dikkate alındığında, deniz seviyesinde yüzyılda 11 cm'lik bir artışa karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, iklim değişikliğinin yıllık su akışı ([Su vd., 2018](#)) ve dünya çapındaki taşkınların yoğunluğu ([Blöschl vd., 2018](#)) üzerindeki etkisi hala belirsizdir. Bunun nedeni, kısmen bu tür değişikliklere neden olan doğal ve antropojenik zorlamalar arasındaki ayrımı yapmanın kolay olmamasıdır. Bu durum, kıyılar ve adalar, dağlık alanlar, hızla gelişen mega şehirler ve sürekli donmuş yüksek enlem tundraları gibi iklime en duyarlı ortamlarda hidrolik yapıları tasarlama ve su kaynaklarını yönetme yaklaşımımızı yeniden gözden geçirmemiz gerektiğini göstermektedir. Aynı zamanda, küresel ısınmanın su sistemleri üzerindeki etkisini izleme ve anlama konusundaki bilimsel çabalarımızı güçlendirmemiz gerekmektedir.

Dünya Bankası Grubu (2019) ve Asya Kalkınma Bankası (2013) gibi finansman kuruluşları büyük su projelerinin mühendislik tasarımına iklim değişikliği senaryolarının dahil edilmesini giderek daha sık talep etmektedir. Ancak, küresel ısınmanın, kuraklık ve taşkınların yoğunluğu ve zamanlaması gibi su döngüsünün çeşitli yönlerini nasıl ve ne ölçüde etkileyeceği konusundaki belirsizlik nedeniyle zaman serisi analizlerine durağan olmamayı dahil etme kriterleri, bilim ve mühendislik camiasındaki fikir birliğine dayalı olarak daha da geliştirilmelidir. Umarız bu fikir birliğine kısa sürede ulaşılır. İklim değişikliğinin etkisini doğru şekilde hesaba katan tasarım kriterleri ([Ranzi, 2020](#)), önceden inşa edilen hidrolik yapıların dayanıklılığını değerlendirmek, bakımlarını iyileştirmek veya değişiklik ihtiyacını tekrar gözden geçirmek için de kullanılmalıdır. İklime en duyarlı ortamlarda hidrolik yapılar tasarlama ve su kaynaklarını yönetme yaklaşımını yeniden değerlendirilmelidir. Su mühendisliğinde iklim değişikliğine uyumda anahtar konular; küresel ısınmanın su döngüsüne etkisinin bölgesel ölçekte değerlendirilmesi, bilim adamları ve profesyoneller arasında iklim değişikliği senaryoları da dahil olmak üzere tasarım kriterlerinin iyileştirilmesi konusunda fikir birliğine varılması, sürdürülebilir su etkin tarım için ileri teknolojiler ve geleneksel sulama sistemlerinin harmanlanması, kıyı savunmasında güncel geleneksel 'gri' mühendislik ile 'yeşil' doğa temelli çözümlerin birleştirilmesi, taşkın ve sıcak hava dalgalarına karşı daha dayanıklı, yeşil "sünger" şehirlerin planlanması ve yenilenmesi, sanal su ticareti ve su-gıda-enerji iklim arasında ilişki kurmak olarak sıralanmaktadır.

5. Sürdürülebilir Su Tasarruflu Tarım İçin Sulama

Değişen bir iklimde, tarım için su kullanımında verimliliğin artırılmasına özel önem verilmelidir. İklim değişikliği ve arazi kullanımıyla ilgili Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporu ([Shukla vd., 2020](#)), değerlendirilen tüm sosyoekonomik yolların su talebinde artışlara ve su kıtlığını şiddetlendirmeye yol açtığını göstermektedir. Aynı rapor, iklim değişikliğine uyum sağlamaya ve etkilerini hafifletmeye yardımcı olan ve aynı zamanda çölleşmeyle mücadelede katkıda bulunan çözümlerin su hasadı ve mikro sulama gibi sulama tekniklerini içerdiğini belirtmektedir. Uydu izleme veya insansız hava araçlarıyla desteklenen, su verilmesinin zamanlaması ve miktarının uzaktan kontrolüne yönelik teknolojiyle mikro sulamanın doğru şekilde geliştirilmesi ve iyileştirilmiş sulama yönetimi, yalnızca suyun kıt olduğu bölgelerde su tüketiminin verimliliğini ve gıda güvenliğini artırmakla kalmayacak, aynı zamanda toprağın organik fonksiyonlarının korunmasına, çölleşmeyle mücadelede, toprakta karbon depolanmasına ve iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına da katkıda bulunacaktır. [FAO \(2018\)](#)'ya göre, sulama, peyzajın dayanıklılığını artırmak için çiftçileri, genel halkı, toplulukları ve diğer paydaşları içeren ekosistemik (bütüncül) bir yaklaşımı gerektiren sürdürülebilir tarımın daha genel bağlamda çerçevelenmesini gerektirmektedir.

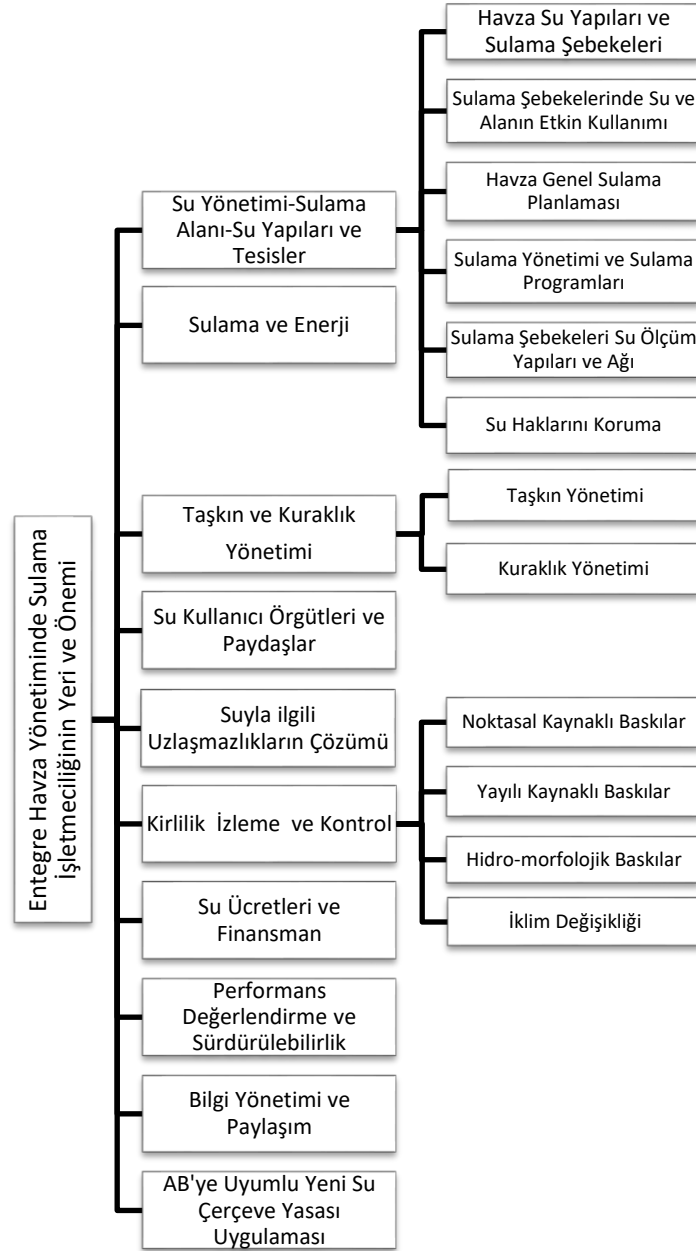
Suyun küresel ölçekte verimli kullanımı, su ve gıda güvenliği üzerinde güçlü etkileri olan su-gıda-enerji-iklim bağının önemli bir bileşeni olan sanal su ticaretini de (D'Odorico vd., 2019) içermektedir. Sulamanın sürdürülebilir tarımın daha genel bağlamında çerçevelendirilmesi gerekmektedir.

Sulamanın gelişmesi, toplam üretimin ekili alandan çok daha hızlı büyümesine olanak sağlayan yoğun tarımın bir sonucudur. Dünyada sulama için şebeke inşa edilmiş küresel arazi alanı 2000 yılında 289 milyon hektar iken 2020 yılında 349 milyon hektara ulaşmıştır (FAO, 2022). Sulama alanlarının büyük çoğunluğu, sulamanın yeşil devrimin önemli bir bileşeni olduğu Asya'da (% 70) yer almakta (FAO, 1999) olup; dünya toplamının % 16'sı Amerika'da ve % 8'i Avrupa'da bulunmaktadır. Çin (75 milyon hektar) ve Hindistan (73 milyon hektar) sulama için en geniş ekipmanlı alanlara sahip olup, Amerika Birleşik Devletleri'nin (27 milyon hektar) önündedir. Çin ve Hindistan 2000 ile 2020 yılları arasında sulama şebekesi inşa edilen alanda en büyük net kazanıma sahip ülkelerdir (Çin +21 milyon hektar ve Hindistan +12 milyon hektar). Avrupa dışındaki tüm bölgelerde sulamaya uygun alanlarda artış görülmüştür. En hızlı büyüyen Afrika (% +28), Okyanusya (% +23), Asya (% +23) ve Amerika'dır (% +19). Mevcut durumda, yağmur ile beslenen tarımda kullanılan ve sulu tarıma uygun araziler açısından sulu tarımın yaygınlaştırılma potansiyeli bulunmaktadır. Ancak, fiziksel ve ekonomik açıdan yeni sulama alanlarını geliştirmek için en büyük engel su kıtlığıdır. Fiziksel su kıtlığı birçok nehir havzasında, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın bir sorundur. Bu sorun gelecekte iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri nedeniyle daha da ağırlaşacaktır (Conforti, 2011). Kuzey Afrika, Orta Doğu ve Orta Asya artan su kıtlığıyla karşı karşıyayken, Sahra altı Afrika'da su kaynakları fiziksel olarak mevcut olmasına karşın gerekli hidrolik altyapıdan yoksundur.

Drenaj suyu ve arıtılmış atık su gibi geleneksel olmayan su kaynakları su kıtlığından fiziksel olarak etkilenen alanlarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ancak, bu kullanım, ilkin tuzluluk riski ve ikinci olarak sağlık riskleri nedeniyle kapsamlı bir kontrolü gerektirmektedir. Günümüzde arıtılmış atık su, bu amaçla kullanılan suyun yaklaşık %1'ini oluşturan küçük bir sulama suyu kaynağı olup, kentsel çevre tarımında önem kazanmaktadır. Yağmur hasadı ve toplanan ve arıtılan suyun sulama için kullanılması, gelişmekte olan ülkelerde kent çevresindeki nüfusun gıda ihtiyacını iyileştirmek için de kullanılmaktadır. Tuzdan arındırılmış su, maliyetleri nedeniyle geleneksel ürünlerin sulanması için henüz uygun değildir (Koç, 2008). Ancak, maliyetler düşürülürse, özellikle tuzlu su arıtmanın iç bölgelere göre daha az çevresel etkiye sahip olduğu kıyı bölgelerde ürünlerin sulanması için düşünülebilir.

Sulamanın genişletilmesi için kısıtlamalar iki yönlüdür, bunlar; sulama şebekesinin inşaatı için ihtiyaç duyulan yatırımlar ile gelişmekte olan bazı ülkelerde sulama sektörünü güçlendirmek için gerekli kurumsal ve yasal gelişme eksikliğidir (Koç, 2011). Bu nedenle, düşük gelirli ülkelerde küçük ölçekli sulama ile birlikte kapasite geliştirme ve sulamanın geliştirilmesi önemli adımlar olarak değerlendirilmelidir. Belirtilen kısıtlamalar nedeniyle sulama geliştirme programlarında öncelik sulanan alanlarda su verimliliğinin artırılması olmalıdır. İşletme halindeki sulama sistemlerinin modernizasyonu ve rehabilitasyonu bu amaca yönelik temel faaliyetlerdir. Modernizasyon, su kayıplarını azaltmak ve suyun esnekliğini, güvenilirliğini ve zamanında ulaşmasını iyileştirmek için sulama suyunun taşınması ve dağıtılmasına yönelik sistemlerde yapılan iyileştirmeleri içermektedir. Bu durum, ana kanalları kaplayarak, su akışını kontrol edecek yapılar inşa ederek ve ana kanallarda küçük yan düzenleme rezervuarları yaparak, dağıtım şebekesinde açık kanalları borulu sistemlerle değiştirerek gerçekleştirilebilir. Modernizasyon aynı zamanda çiftçilerin yenilenen hidrolik altyapıyı su kullanıcı organizasyonları (Sulama Birlikleri, Kooperatifler) aracılığıyla işletme ve bakımını yapma kapasitelerinin geliştirilmesini de içermektedir (Koç, 2007; Koç & Bayazit, 2015). Su verimliliğinin artması, sulama suyunun uygulama etkinliğini iyileştirilmesine de bağlıdır. Bu nedenle, su tasarrufu yapmak ve boşaltılacak drenaj suyu hacmini azaltmak için yüzey akışın ortadan kaldırılması ve derine sızmanın azaltılması gerekmektedir. Yağmurlama ve damla sulamaya geçiş sulama uygulama verimliliğini artırmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Hem sulamanın genişletilmesi hem de modernizasyonu için, kurumsal güçlendirmenin yanı sıra hükümetler tarafından belirlenen politikaların uygulanması, sulama gelişimini ileriye götürmek için temel eylemlerdir. Bu nedenle, gelişmekte olan ülkelerde gıda güvenliğini sağlamak için tarımsal üretimin artırılması mümkün olabilecektir. Gelişmekte olan ülkelerde şimdiye kadar uygulanan başarılı sulama ve drenaj pilot projelerinin ölçeğinin yükseltilmesi için kamu desteğinin yanı sıra en yoksul çiftçilerin teknik kapasitelerinin artırılmasına da ihtiyaç vardır. Havzalarda mevcut su kaynaklarının büyük bir oranı sulama amaçlı kullanıldığı için entegre havza yönetiminde sulama işletmeciliği önemli bir yer tutmaktadır (Şekil 3). Birçok havzada su kaynaklarının önemli bir kısmı tarım tarafından kullanıldığı için sulama işletmeciliği entegre havza yönetimin ilkeleriyle birlikte ele alınmalıdır. Sulama şebekelerinde su ve alanın etkin kullanımına ilişkin konuda, sulama oranı, sulama alanı sürdürülebilirlik oranı ve proje sulama randımanı parametreleri kullanılmalıdır. Sulama oranı, sulama şebekelerinde incelenen yılda fiilen sulanan alanın, proje net sulama alanına oranı; sulama alanı sürdürülebilirlik oranı, mevcut durumda sulanabilir proje net alanının, başlangıçtaki proje net alanına oranı; proje sulama randımanı (Koç, 2013) ise sulama şebekelerinde bitkinin ihtiyaç duyduğu net sulama suyu miktarının, sulama şebekesinde kullanılan toplam sulama suyu miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır. Sulama oranı, sulama şebekesi inşa edilen proje alanının tarımsal amaçlı etkin kullanılıp kullanılmadığını; sulama alanı sürdürülebilirlik oranı, havzada sulu tarıma ayrılan ve sulama şebekesi inşa edilen alanların fiziki değişimini; proje sulama randımanı ise havza sulama şebekelerinde suyun etkin kullanılıp, kullanılmadığını göstermektedir (Koç, 2015; Koç, 2017b).



6. Sonuçlar

Gelecekteki zorlukları bilmek, planlama, yönetme ve modelleme tarzımızı daha iyiye doğru değiştirecek yöntemlerle bunları nasıl karşılayacağımızı ortaya koymaktadır. Araştırmacılar olarak rolümüz, karmaşık sistemlerin ve zorlukların nasıl işlediğini ve etkileşime girdiğini anlamak ve yaklaşımlarımızı bunları analiz etmek ve ele almak için uyarlamaktır. Son derece belirsiz koşullarla nasıl başa çıkılacağına ve sürdürülebilir ve dirençli insan-çevre sistemlerinin nasıl yaratılacağına ilişkin yanıtlara sahip olmak zordur. Bu yanıtların basit olduğuna ve her koşulda işe yarayacağına inanılmamalıdır. Belki her zaman bu tür zorluklarla karşılaşacağız. Ancak, bilim ve teknoloji bunları aşmamıza yardımcı olacak şekilde geliştikçe, biz (belki de dünyadaki olaylara veya diğer dışsallıklara yanıt olarak) yeni zorluklarla karşılaşacağız ve bunlarla yüzleşeceğiz. Odak noktasının sürdürülebilirliğe doğru değişmesi ve sürdürülebilir şekilde tasarlanmış sistemlerin geliştirilmesi, bu makalede açıklanan üç araştırma alanından elde edilen bilgilerin birleştirilmesi, en uygun genel kararların alınmasına yardımcı olabilir.

Su güvenliği dili dünya çapındaki politika bildirilerinde geniş çapta benimsenmiştir. Ancak, bunu eyleme dönüştürmenin önünde birçok engel bulunmaktadır. Araştırmacılar ve uygulayıcılar, bilim adamları ve mühendislerden oluşan bilgili topluluklar, politikayı su çözümlerine bağlamanın önündeki bazı engellerin aşılmasına yardımcı olabilir.

Bilimsel ve teknik çalışmaların bulgularını yalın bir dil kullanarak halka iletmeye çalışarak başlayabilirler ve muhtemelen politika özetleri hazırlayarak siyasi liderleri ve diğer karar alıcıları bilgilendirme/egitime çabalarını artırabilirler. Ayrıca, ortak girişimler başlatmak, bilgi notları hazırlamak ve ortak toplantılar veya konferanslar düzenlemek için güçlerini birleştiren farklı toplumlarla disiplinler arası işbirliklerini teşvik etmelidirler. Uluslararası platformlar, uygulayıcıların ve yenilikçilerin, daha güvenli bir su geleceğine yönelik değişimi hızlandırmak üzere politikacılar ve bilim insanlarıyla özgürce fikir alışverişinde bulunmaları için alan ve fırsat yaratır.

Su yönetimi zorlukları çoğunlukla arazi kapsamında suyun kullanımı ve dinamikleriyle ilgilidir. Arazilere insan müdahalesi, özellikle yoğun nüfuslu bölgelerde ani taşkınlar, ısı stresi, kimyasal ve hidromorfolojik baskılar, toprak erozyonu ve hızlandırılmış drenaj, yeraltı suyunun tükenmesi gibi çeşitli su güvenliği zorluklarına yol açan doğal işleyişi ve dinamikleri azaltmaktadır. Su güvenliği sorunlarına yönelik iyileştirmeler üzerinde çalışırken bu farklı yöntemler arasındaki etkileşim, kaynaktan denize kadar bir havza yaklaşımı dahilinde tüm yönlerin iyileştirilmesi üzerine çalışan entegre stratejileri gerektirir.

Küresel olarak insan güvenliğine ilişkin maliyetler ve altyapıya olan etkiler artmaktadır. Etkileri azaltmaya yönelik eylemlerin uygulanması ve bilim ve mühendislik temelli iklim değişikliğine dirençlilik protokollerinin oluşturulması, koordinasyonu ve altyapının tasarımı, inşaatı ve işletilmesine yönelik geleneksel yaklaşımların izlenmesiyle ilişkili risklerin anlaşılmasını gerektirir.

Küresel su güvenliği sorunları çoktur ve toplumsal ve çevresel ihtiyaçlara göre hem çok fazla veya çok az suyla hem de çok kirli suyla ilgilidir. Taşkınların, kuraklıkların ve kirlenmiş suların olası olumsuz etkilerini azaltmak için çok çeşitli yönetim çözümleri mevcuttur. Son yıllarda su güvenliği sorunlarının yönetilmesine yönelik genel stratejilerin bir parçası olarak Doğa Temelli Çözümlerin potansiyel rolüne giderek daha fazla önem verilmektedir.

Kaynaklar

- Akhtar, N., Geyer, B., Rockel, B., Sommer, P.S., & Schrum, C. (2021). Accelerating deployment of offshore wind energy alter wind climate and reduce future power generation potentials. *Scientific Reports*, 11, Article 11826. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91283-3>
- Alamanos, A., & Koundouri, P. (2022). *Emerging challenges and the future of water resources management*. Athens University of Economics and Business. <http://wpa.deos.aueb.gr/docs/2022.WATER.RESOURCES.MANAGEMENT.pdf>
- Alamanos, A., Koundouri, P., Papadaki, L., Pliakou, T., & Toli, E. (2022). Water for tomorrow: a living lab on the creation of the science-policy-stakeholder interface. *Water*, 14(18), Article 2879. <https://doi.org/10.3390/w14182879>
- Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Perdigão, R. A. P., Parajka, J., Merz, B., Lun, D., ... Živković, N. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573, 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
- Borden, C., Goodwin, P., & Swanson, D. (2017). Integrated hydro-environment assessment with latitude (IHEAL): A framework for conceptualizing and quantifying water use sustainability. In A. A. Ghani (Ed.). *E-proceedings of the 37th IAHR World Congress* (pp. 1–13). IAHR & USAINS HOLDING SDN BHD.
- Bossaerts, P., Yadav, N., & Murawski, C. (2019). Uncertainty and computational complexity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1766), Article 20180138. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0138>
- Conforti, P. (2011). *Looking ahead in world food and agriculture. Perspectives to 2050*. Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/3/i2280e/i2280e.pdf>
- D'Odorico, P., Carr, J., Dalin, C., Dell'Angelo, J., Konar, M., Laio, F., Ridolfi, L., et al. (2019). Global virtual water trade and the hydrological cycle: patterns, drivers and socio-environment impacts. *Environmental Research Letters*, 14(5), Article 053001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab05f4>
- Falconer, R & Mynett, A. (2022). *Introduction to Global Water Security*. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR). <https://www.iahr.org/library/infor?pid=20699>
- FAO. (1999). *The FAO field programme and agricultural development in Asia and the Pacific* (RAP Publication 1999/28). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/AC621E/ac621e00.htm>
- FAO. (2018). *World Food and Agriculture - Statistical Pocketbook 2018*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/ca1796en/ca1796en.pdf>
- FAO. (2022). *FAOSTAT*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/>
- Findikakis, A. N., & Soo, T. (2022). *The link between policy and water security*. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR). <https://hdl.handle.net/20.500.11970/109565>
- Goodwin, P., & Wagner, D. (2022). *Water Security: Climate change and the great unknowns*. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR). <https://hdl.handle.net/20.500.11970/109564>
- High-Level Panel on Water. (2018). *Making every drop count, an agenda for water action*. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/17825HLPW_Outcome.pdf
- Hydro Politic Academy. (2019). *Akıllı kentlerde yenilikçi su yönetimi yol haritası* (Rapor No: 2019-3). Su Politikaları Derneği.
- Klotz, L., Weber, E., Johnson, E., Shealy, T., Hernandez, M., & Gordon, B. (2018). Beyond rationality in engineering design for sustainability. *Nature Sustainability*, 1, 225–33. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0054-8>
- Koç, C. (2007). Assessing the financial performance of water user associations: a case study at Great Menderes Basin, Turkey. *Irrigation and Drainage Systems*, 21(2), 61-77. <https://doi.org/10.1007/s10795-006-9015-x>
- Koç, C. (2008). The environmental effects of salinity load in Great Menderes Basin Irrigation Schemes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 146(1-3), 479–489. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0478-0>
- Koç, C. (2011). A study on construction costs per unit area of irrigation schemes. *Irrigation and Drainage Systems*, 25(4), 255-263. <https://doi.org/10.1007/s10795-011-9120-3>

- Koç, C. (2013). A study on some parameters which can affect the project irrigation efficiency in irrigation networks. *Irrigation and Drainage*, 62(5), 586–591. <https://doi.org/10.1002/ird.1754>
- Koç, C. (2015). A study on the role and importance of irrigation management in integrated river basin management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 18(8), Article 488. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4647-7>
- Koç, C. (2017a). Assessment of drinking water quality in Bodrum Peninsula-Tourism Region, Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37(4), 1274–1284. <https://doi.org/10.1002/ep.12801>
- Koç, C. (2017b). A study on importance and role of irrigation and hydropower plant operation in integrated river basin management. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.4236/cweee.2017.61001>
- Koç, C. (2018a, 22–24 Mart). *Integrated management of water resources at river basin level: a case study in Büyük Menderes Basin* [Bildiri sunumu]. International Water and Environment Congress, Bursa, Türkiye.
- Koç, C. (2018b, 14–16 Kasım). *Past and future of integrated river basin management studies in Turkey and other countries* [Bildiri sunumu]. International Congress on Engineering and Architecture, Alanya-Antalya, Türkiye.
- Koç, C., & Bayazit, Y. (2015). A study on assessment financing of irrigation schemes. *Irrigation and Drainage*, 64(4), 535–545. <https://doi.org/10.1002/ird.1925>
- Li, C., Turmunkh, U., & Wakker, P.P. (2019). Trust as a decision under ambiguity. *Experimental Economics*, 22(1), 51–75. <https://doi.org/10.1007/s10683-018-9582-3>
- Martínez-García, A.N. (2022). Artificial Intelligence for Sustainable Complex Socio-Technical-Economic Ecosystems. *Computation*, 10(6), Article 3390. <https://doi.org/10.3390/computation10060095>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H. O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J. B. R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M. I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., & Waterfield, T. (2018). *Global Warming of 1.5°C*. IPCC. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- NASA. (2018). *GRACE-FO: Tracking Earth's Mass in Motion*. National Aeronautics and Space Administration (NASA). https://eosps.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/publications/GRACE_FO%20Mission%20Brochure_508.pdf
- OECD. (2013). *Water security for better lives, a summary for policymakers*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264202405-en>
- Paleologos, E., & Mertikas, S. (2013). Evidence and implications of extensive groundwater overdraft-induced land subsidence in Greece. *European Water*, 43, 3–11.
- Pande, S., Roobavannan, M., Kandasamy, J., Sivapalan, M., Homberg, D., Lyu, H., & Rietveld, L. (2020). A socio-hydrological perspective on the economics of water resources development and management. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.657>
- Perera, D., Smakhtin, V., Williams, S., North, T., & Curry, A. (2021). *Ageing Water Storage Infrastructure: An Emerging Global Risk* (UNU-INWEH Report Series 11). Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH). <https://inweh.unu.edu/wp-content/uploads/2021/01/Ageing-Water-Storage-Infrastructure-An-Emerging-Global-Risk.pdf>
- Quitrow, R., Bersalli, G., Eicke, L., Jahn, J., Lilliestam, J., Lira, F., Marian, A., Süsner, D., Thapar, S., Weko, S., Williams, S., & Xue, B. (2021). The COVID-19 crisis deepens the gulf between leaders and laggards in the global energy transition. *Energy Research & Social Science*, 74, Article 101981. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101981>
- Ranzi, R. (2020). *Climate change adaptation in water engineering* (IAHR White Paper Series 1). IAHR.
- Sadoff, C.W., Hall, J. W., Grey, D., Aerts, J. C. J. H., Ait-Kadi, M., Brown, C., Cox, A., Dadson, S., Garrick, D., Kelman, J., McCornick, P., Ringler, C., Rosegrant, M., Whittington, D., & Wiberg, D. (2015). *Securing water, sustaining growth: report of the GWP/OECD task force on water security and sustainable growth*. University of Oxford. <http://www.gwp.org/Global/About%20GWP/Publications/The%20Global%20Dialogue/SECURING%20WATER%20SUSTAINING%20GROWTH.PDF>
- Shukla, A., Garg, S., Mehta, M., Kumar, V., & Shukla, U. K. (2020). Temporal inventory of glaciers in the Suru sub-basin, western Himalaya: impacts of regional climate variability. *Earth System Science Data*, 12, 1245–1265. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1245-2020>
- Su, L., Miao, C., Kong, D., Duan, Q., Lei, X., & Hou, Q. (2018). Long-term trends in global river flow and the causal relationships between river flow and ocean signals. *Journal of Hydrology*, 563, 818–833. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.058>
- Trindade, B. C., Reed, P. M., & Characklis, G. W. (2019). Deeply uncertain pathways: Integrated multi-city regional water supply infrastructure investment and portfolio management. *Advances in Water Resources*, 134, Article 103442. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.103442>
- United Nations. (2021). *What Are the Sustainable Development Goals?* <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- UN-Water. (2013). *What is water security?* https://www.unwater.org/app/uploads/2017/05/unwater_poster_Oct2013.pdf
- World Bank. (2023). *The World Bank, Urban Development*. 3 Haziran 2023'te <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/adresinden alındı>
- Water Policy Group. (2021). *Global Water Policy Report, Listening to National Water Leaders*. Global Water Institute. <https://waterpolicygroup.com/wp-content/uploads/2022/02/2021-Global-Water-Policy-Report-4-Feb-2022.pdf>
- Yung, L., Louder, E., Gallagher, L.A., Jones, K., & Wyborn, C. (2019). How methods for navigating uncertainty connect science and policy at the water-energy-food nexus. *Frontiers in Environmental Science*, 7, Article 37. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00037>