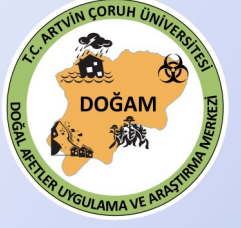




ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
DOĞAL AFETLER UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ



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. 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. 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. Bülent TURGUT (Karadeniz Teknik 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. Selçuk ALEMDAĞ (Gümüşhane 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)
Dr. Cem KILIÇOĞLU (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)
Dr. Gülseren DAĞDELENLER (Hacettepe 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

- Van İlının Afetselliği ve Afet Konutlarında Yer Seçimi Uygulamaları
The Disaster Situation of Van Province and Site Selection Practices in Disaster Housing
Cafer Giyik, Reşat Atalay Oyuç, Serhat Anıktar..... 178 - 195
- Büyük Melen Çayı'nda (Düzce) Günlük Yağışlarla Akım İlişkisinin Analizi
Analysis of Daily Precipitation and Flow Relationship in Büyük Melen Stream (Düzce)
Mücahit Coşkun, Cemil İrdem..... 196 - 206
- Türkiye Üzerinde ERA5 Saatlik Hava Sıcaklığı Verilerinin Doğrulanması
Verification of ERA5 Hourly Air Temperature Data over Turkey
Meriç Yılmaz..... 207 - 220
- Van Gölü Su Yüzeyi Sıcaklıklarının Eğilim Analizi
Trend Analysis of Lake Surface Temperatures in Lake Van
Kebir Emre Saraçoğlu, Fevziye Ayca Saraçoğlu..... 221 - 237
- Karadere Deresi'nin (Araklı-Trabzon) İçme ve Sulama Suyu Amaçlı Kullanım Uygunluğunun İncelenmesi
Investigation of the Suitability of Karadere River (Araklı-Trabzon) for Drinking and Irrigation Purposes
Arzu Fırat Ersoy, Esra Hatipoğlu Temizel..... 238 - 249
- Türkiye Muğla İlindeki Çam Balı Arılıkları için Doğal Afet Riskinin Değerlendirilmesi
Natural Disaster Risk Assessments for Pine Honey Apiaries in Muğla, Turkey
Fatih Sarı 250 - 263
- Köppen-Trewartha ve Thornthwaite Yöntemlerine Göre Isparta Yöresi İklim Tipinin Belirlenmesi
Determination of Climate Type in Isparta Province by Köppen-Trewartha and Thornthwaite Methods
İbrahim Dursun, Nilüfer Yazıcı..... 264 - 279
- Volkan Patlamalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleri ile İzlenmesi: Cumbre Vieja Volkanı (İspanya) Örneği
Monitoring Volcanic Eruptions with Geographical Information Systems and Remote Sensing Methods: The Case Study of Cumbre Vieja Volcano (Spain)
Özer Akyürek 280 - 291
- Dicle Havzasındaki Bazı İstasyonlara ait Potansiyel Evapotranspirasyon Verilerinin Trend Analizi
Trend Analysis of Potential Evapotranspiration Data of Some Stations in the Tigris Basin
Okan Mert Katipoğlu..... 292 - 304
- Taşkın Pik Debisinin Belirlenmesinde WinTR-55 Hidrolojik Modelinin Kullanımı: Kırklareli Vize Deresi ve Samsun Minöz Deresi Havzaları Örneği
Use of the WinTR-55 Hydrologic Model on Determination of Flood Peak Discharge: The Case of Kırklareli Vize Stream and Samsun Minoz Stream Watersheds
Çayan Alkan 305 - 316
- Küresel Isınmanın Etkisi Altında Sürdürülebilir Mimari Tasarım
Sustainable Architectural Design Under the Effect of Global Warming
Nihal Zengin, Ruşen Yamaçlı..... 317 - 328
- Rapor Edilmeyen Sızıntıların Yönetiminde Aktif Kaçak Kontrolünün Planlanması ve Sahada Uygulanması
Planning and Implementation of Active Leakage Control in the Management of Unreported Leakages
Mahmut Fırat, Mustafa Yıldırım..... 329 - 340

Sanayi Kaynaklı Noktasal Emisyonların Hava Kalitesine Katkısı: Kayseri İli Örneği <i>The Contribution of Industrial Point Emissions on Air Pollution: A Case Study for Kayseri Province</i> Zeynep İpek, İbrahim Uyanık	341 - 350
Düşük SUVA Değerine Sahip Kaynak Sularında Farklı Dezenfeksiyon Senaryolarında Halonitrometan Oluşum Potansiyellerinin Değerlendirilmesi <i>Assessment of Halonitromethanes Formation Potentials Under Different Disinfection Scenarios in Low SUVA Water</i> Sehnaz Sule Kaplan-Bekaroglu, Sebnem Genisoglu, Cihan Ozgur.....	351 - 358
Samsun İli için Sıcak Hava ve Soğuk Hava Dalgalarının Zamansal Analizleri <i>Temporal Analysis of Heat Waves and Cold Waves for Samsun Province</i> Sena Güneş, Bahtiyar Efe	359 - 367
Çok Değişkenli Kuraklık Frekans Analizi ve Risk Değerlendirmesi: Kahramanmaraş Örneği <i>Multivariate Drought Frequency Analysis and Risk Assessment: A case study for Kahramanmaraş Province</i> Musa Eşit, Mehmet İshak Yüce.....	368 - 382
Marmara Bölgesinde Hava Kalitesini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi ve Hava Kalitesi Endeksleri Kullanılarak Değerlendirilmesi <i>Determining the Factors Affecting Air Quality in Marmara, Turkey, and Assessing it Using Air Quality Indices</i> İsmet Yener, Kazım Onur Demirarslan	383 - 395
Sel Afetlerinde Acil Sağlık Hizmetlerinin Organizasyonu ve Yaşanan Sorunlar: Hopa Örneği <i>Organization of Emergency Health Services and Problems in Flood Disasters: The Case of Hopa</i> Kemal Torpuş, Sedat Bostan.....	396 - 407
Afet Yönetimindeki Paradoks: 2020 Ege Denizi Depremi <i>Paradox in Disaster Management: 2020 Aegean Sea Earthquake</i> Alper Bilgili, Gaye Sanatçı Aktaş	408 - 420
Düzce İli İçin Senaryo Bazlı Risk Değerlendirmesi <i>Scenario-Based Risk Assessment for Düzce Province</i> Zeynep Mıhçı, Hüseyin Bayraktar.....	421 - 435

Van İlinin Afetselliği ve Afet Konutlarında Yer Seçimi Uygulamaları

Cafer Giyik^{1*}, Reşat Atalay Oyguç², Serhat Anıktar³

¹*İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 34303, İstanbul.*

²*İstanbul Teknik Üniversitesi, Afet Yönetim Enstitüsü, 34306, İstanbul.*

³*İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, 34303, İstanbul.*

Özet

Van İli, arazinin jeolojik yapısı, coğrafik konumu ve meteorolojik koşullara bağlı olarak deprem, heyelan, sel, su baskını, kaya düşmesi, çığ ve Van Gölü su seviyesinin yükselmesi gibi afetlere maruz kalmaktadır. Van afetsellik açısından farklı afet risklerini taşısa da bölgedeki deprem üreten tektonik yapılardan dolayı kentte en fazla deprem hasarı söz konusu olmaktadır. Afetlerde yapıların hasar görmesinin temel nedeni afet risk analizleri yapılmadan, afet riski taşıyan alanlarda yer seçilmesi ve yapıların afete dayanıksız yapılmasıdır. Van'da 2000-2020 yılları arasında yaşanan afetlerde 144.230 yapıda farklı derecede hasar olmuş, can kayıpları meydana gelmiştir. Bu süreçte afetzedelerin barınma ihtiyaçlarının karşılanarak hayatlarının normale dönmesi için farklı finansman modeli ve yapım yöntemleriyle toplam 29.788 konut yapılmıştır. Yaşanan afetler, afet zararlarının doğru zemine sağlam ve uygun yapı yapılmadan önlenemeyeceğini göstermektedir. Yer seçimlerinde, afetsellik, jeolojik, jeomorfolojik yapı, afetzedelerin sosyo-ekonomik yapıları, yasal düzenlemeler gibi farklı faktörler etkilidir. Seçilecek yerin parsel büyüklükleri bölgesel koşullara, coğrafi yapıya, aile ve hane halkı büyüklüklerine, afetzedelerin sosyal, kültürel alışkanlık ve iş sektörlerine uygun olmalıdır. Afetzedelerden iç iskân kapsamında yeri değiştirilenlerin işyeri- konut ilişkisi afet sonrasında sorun olduğundan yer seçiminde bu hususa dikkat edilmelidir. Çalışmada Van İlinin afetselliği ile afet sonrası iyileştirme faaliyetleri kapsamında afet yönetimi birimleri tarafından Van'da yapılan afet konutlarının yer seçimi uygulamaları incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler

Van Kenti, Afetsellik, Deprem, Yer Seçimi, Afet Konutu, AFAD

The Disaster Situation of Van Province and Site Selection Practices in Disaster Housing

Abstract

Depending on the geological structure of the land, its geographical location and meteorological conditions, Van Province is exposed to disasters such as earthquakes, landslides, floods, rockfalls, avalanches and rising water levels of Lake Van. Although Van carries different disaster risks in terms of disaster, the most earthquake damage occurs in the city due to the tectonic structures that produce earthquakes in the region. The main reason why structures are damaged in disasters is the selection of places in areas with disaster risk and the construction of structures that are not resistant to disasters without disaster risk analysis. In the disasters experienced between 2000 and 2020 in Van, 144,230 buildings were damaged in different degrees and loss of life occurred. In this process, a total of 29,788 houses were built with different financing models and construction methods to meet the shelter needs of the disaster victims and return their lives to normal. Experienced disasters show that disaster damages cannot be prevented without a solid and suitable structure on the right ground. Different factors such as disaster, geological, geomorphological structure, socio-economic structures of the victims and legal regulations are effective in site selection. The parcel sizes of the place to be selected should be suitable for the regional conditions, geographical structure, family and household sizes, social, cultural habits, and business sectors of the disaster victims. Since the workplace-housing relationship of the disaster survivors who have been relocated within the scope of internal resettlement is a problem after the disaster, this issue should be considered in site selection. In the study, the disaster management of Van Province and the location selection practices of disaster houses built in Van by disaster management units within the scope of post-disaster recovery activities were examined.

Keywords

City of Van, Disaster, Earthquake, Site Selection, Disaster Housing, AFAD

1. Giriş

İnsanoğlunun afetlerle mücadelesi insanlık tarihi kadar eskidir. Afet kavramını farklı şekilde tanımlamak olasıdır. Bir tanıma göre afet; “yerel imkanları yetersiz bırakan, küresel seviyede acil yardım gerektiren, önceden kestirilemeyen ve çoğunlukla birdenbire gelişen ve sonucunda büyük zararlara, yıkımlara ve insanların çeşitli acılar çekmesine sebep olan durum veya vakadır” (Hoyois vd. 2007).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (432) 2166228 Faks: +90 (432) 2162628
E-posta: cgyik@gmail.com (Giyik C), oygu@itu.edu.tr (Oyguç R.A)
serhat.aniktar@izu.edu.tr (Anıktar S)

Gönderim Tarihi / Received : 24/09/2021
Kabul Tarihi / Accepted : 03/03/2022

Başka bir ifade ile “Afet, insanlar ve insan ürünü eserler üzerinde maddi ve manevi zararlara neden olan, gündelik yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurma veya kesintiye uğratma şeklinde toplumları etkileyen doğal, teknolojik ve insan kökenli olaylara denir (Özey 2006; Ergünay 2007; Durduran ve Geymen 2008; Erkal ve Değerliyurt 2009). AFAD terimler sözlüğünde de afet benzer şekilde tanımlanırken ilave olarak afetin “Bir olayın kendisi değil, doğurduğu sonuç” olarak ifade edilmektedir (AFAD 2014). Afetlerin doğal kaynaklı olması ve önceden öngörülememesi afetlerle mücadeleyi zorlaştırmakta ve gerekli kılmaktadır.

Türkiye çeşitli afetlerin yaşandığı bir coğrafi konumda ve afet kuşağında yer almaktadır (Özşahin 2013). Van kenti de bu kuşakta yer aldığından; deprem, sel, taşkın, heyelan, kaya düşmesi, çığ ve göl su seviyesinin yükselmesi gibi birçok afete maruz kalmaktadır. Konum, jeolojik yapı, deprem üreten ve potansiyel tektonik yapılar ile meteorolojik koşullar kentin afetselliğini arttırmaktadır. Özellikle deprem hasarları bölgede can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. 1900 yılından önceki tarihsel dönem ve 1900 yılı sonrasına ait aletsel dönem sismolojik verileri Van ve çevresinde tarih boyunca sık aralıklarla yıkıcı depremlerin meydana geldiğini göstermektedir (Akkoyunlu 2021).

Van’da depremden sonra en fazla hasar oluşturan afet, sel ve su baskınlarıdır. Türkiye’de su baskınlarından etkilenen yerleşimlerin değerlendirilmesinde afetzede sayısı ve alan bakımından Van ili ve ilçeleri en çok etkilenen grupta yer almaktadır. Van AFAD İl Müdürlüğü verilerine göre; deprem, sel, taşkın, heyelan, kaya düşmesi ve diğer yıkıcı afetler nedeniyle Van’da 2000-2020 yılları arasında 144.230 yapıda farklı derecede hasar ve can kayıpları meydana gelmiştir. Bu süreçte afetzedelerin hayatlarının normale dönmesi ve barınma ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla farklı finansman modeli ve yapım yöntemleriyle toplam 29.788 konut, ahır ve işyeri yapılmıştır.

Van ili, tektonik bakımdan Avrasya ile Arap levhalarının sıkışma bölgesinde, Kuzey Anadolu Faz Zonu ile Doğu Anadolu Fay Zonu’nun kesişme sahasında yer alması nedeniyle Doğu Anadolu’nun en önemli deprem odaklarından birisi durumundadır (Utkucu 2013). Karlıova Eklemleri (Bingöl) ile Zagros Fay Zonu (İran-Türkiye sınırı) arasındaki bu ara bölgenin, davranış şekli açısından Kuzey Anadolu Fayı’nın benzer niteliğindeki Çaldıran Fayı, Özalp Fayı ve Erciş Fayı gibi yine çoğunlukla sağ yönlü ve bunlara eşlenik sol yönlü doğrultu atımlı birçok faydan oluşan bir geçiş ve veya sıçrama fay zonu içerisinde bulunması (Ketin 1977), Van Gölü havzasının jeodinamiğine ayrı bir önem kazandırmaktadır (Köse ve Özkaymak 2002). Van ilinin Çaldıran, Hasan Timur Gölü ve Erciş fayları ile Güneydoğu Anadolu Bindirmesi üzerinde yer alması depremleri üreten ana yapılar olup bölgede şimdiye kadar 1945, 1972, 1976, 1977 ve 2011 yıllarında çeşitli büyüklüklerde depremler meydana gelmiştir (Akkaya ve Köse 2002).

Tarihsel ve aletsel dönemlerde meydana gelen yıkıcı depremler nedeniyle, bölgede çok sayıda can kaybıyla birlikte büyük maddi zararlar meydana gelmiştir (URL-1 2021). Aletsel dönemde kaydedilmiş irili ufaklı depremlerin yanı sıra, 2000 yılı sonrasında yoğunlaşarak meydana gelen orta şiddetli depremler, Van Gölünün ve bu gölü çevreleyen havzanın tektonik kontrollü olduğunu açıkça göstermektedir.

Türkiye’de son yıllarda sıklıkla yaşanan yıkıcı afetlerin de etkisiyle, afet risk ve zararlarını en aza indirmek amacıyla afet yönetiminde bakış açısı değişmiş, afetlerden sonra iyileştirme faaliyetlerini kapsayan kriz yöntemi yerine afet öncesi korunma ve zarar azaltmaya yönelik risk yönetimi anlayışı hâkim hale gelmiştir. Risk yönetiminde en önemli konu sağlam ve risksiz alanlarda yer seçilerek afetlere dayanıklı yapıların inşa edilmesidir. 2021 yılında Karadeniz bölgesinde yaşanan sel afetlerine bakıldığında en fazla hasar ve tahribatın dere yataklarında, yanlış ve riskli alan seçimlerinden kaynaklandığı görülmektedir. Van kentinde de yanlış yer seçimlerinin hasara neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle kentsel gelişim planları, imar uygulamaları ve tasarımların kentlerin afet risklerine göre yapılarak, özel sektör ve kamu ayrımı olmaksızın bütünsel bir yaklaşımla ilgililer tarafından risksiz alanlarda yer seçimi ile sağlıklı ve güvenli yapılaşmanın sağlanması oldukça önemlidir.

Çalışmada; Van kentinin maruz kaldığı afetler, afetlerin yarattığı hasarlar ile afet sonrasında yapılan iyileştirme ve yeniden yapılanma çalışmaları incelenmiş, afet sonrası iskân uygulamalarında yer seçimi-konut ilişkisi, afet risk analizi ve afet zararlarını azaltma açısından ele alınmıştır. Öte yandan afet konutları için kent ve kırsalda yapılan yer seçimlerinde rastlanan yanlış örneklerle yer verilerek yer seçiminin ilkeleri ve kamusal yaklaşım irdelenmiştir. Van kentinde özellikle 2011 yılı depremlerinden sonra öne çıkan afet konutlarının yer seçimi örneklerine yer verilmiştir.

Bu kapsamda, Van merkezde yapılan toplu afet konutları ile Van, Erciş, Edremit merkez ve köylerinde EYY (Evini Yapana Yardım) yöntemiyle yapılan konutların yer seçimleri, Van merkez Topaktaş Köyünde yapılan 175 adet çelik konstrüksiyon afet konutu ve ahırın yer seçim ve afete maruz bölge karar süreçleri ile 2011 Van depreminden önce Çatak ilçesinden Van merkeze iç iskân yöntemiyle taşınan sel mağduru afetzedelerin yerleştirildiği ve afet sonrası yer seçimi için kötü örneklerden bir olarak kabul edilen Şemsibey Mahallesi yer seçimi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma alanı Van ve ilçelerini kapsamaktadır. Çalışmada Van kentinin afetselliği ve afet sonrasında iyileştirme çalışmaları kapsamında kamu idareleri tarafından yapılan afet konutlarının yer seçimi uygulamaları ele alınmıştır. Çalışmada özellikle Van’da 2000-2020 yılları arasında meydana gelen afetler ve etkilerine ilişkin incelemeler yapılmıştır. Gerekli verilere ulaşmak için literatür taraması yapılmış, AFAD Başkanlığı, Van AFAD İl Müdürlüğü ve Van Tarım ve Orman İl Müdürlüğü arşivleri incelenmiş, ilgili birimlerden afet sonrasında yapılan çalışmalara ilişkin bilgi talep edilmiştir. Büro ortamında elde edilen verilerin dışında Van ve ilçelerinde sahada gözlem yapılarak afet konutlarının hali hazır durumu, seçilen yerlerin özellikleri, iyi ve kötü uygulama örnekleri tespit edilerek sonuçlar çalışmada kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

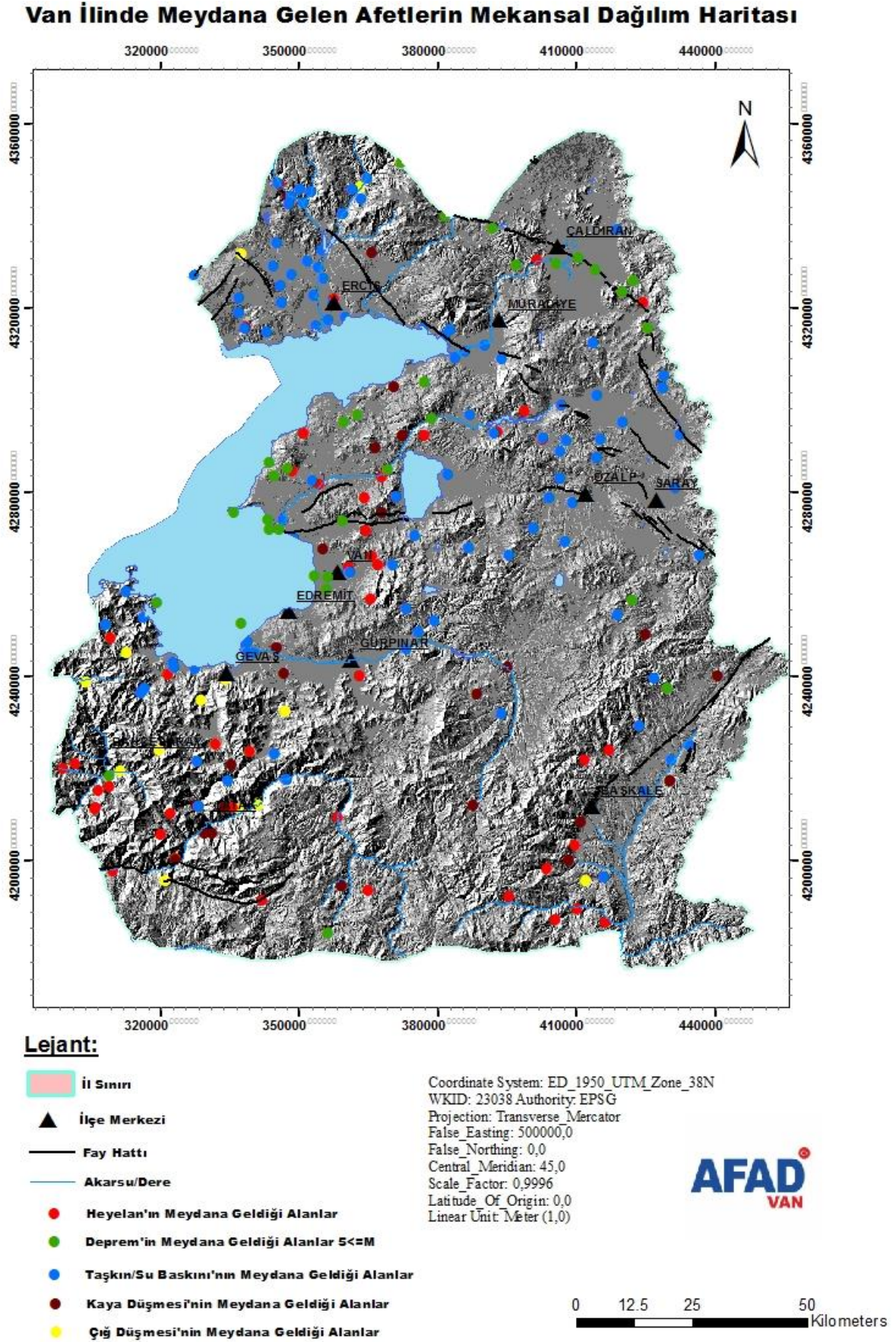
3.1. Van'ın Afetselliği

Van İli, arazinin jeolojik yapısı, coğrafik konumu ve meteorolojik koşullara bağlı olarak deprem, heyelan, sel, su baskını, taşkın, kaya düşmesi, çığ ve Van Gölü su seviyesinin yükselmesi gibi afetlere maruz kalmaktadır. 2005-2020 yılları arasında Van ilinde meydana gelen afetlerin sayıları Tablo 1'de afetlerin mekânsal dağılımı da Şekil 1'de verilmiştir (Yıldız ve Deniz 2005).

Tablo 1: Van ve ilçelerinde 2000-2020 yıllarında meydana gelen afetlerin sayısal tablosu (Van AFAD 2021a)

İlçe Adı	Heyelan	Kaya Düşmesi	Taşkın/Su Baskını	Çığ	Deprem*	Diğer Afetler
Bahçeşaray	8	0	25	1	0	0
Başkale	22	25	27	1	2	3
Çaldıran	4	0	11	0	0	1
Çatak	39	20	19	20	0	0
Edremit	7	7	10	0	4	6
Erciş	16	12	74	5	3	11
Gevaş	18	1	25	10	0	5
Gürpınar	13	11	30	0	0	1
İpekyolu	7	2	26	0	5	5
Muradiye	3	5	15	0	0	3
Özalp	7	0	24	0	0	0
Saray	0	1	18	0	0	0
Tuşba	34	13	26	0	4	2
Toplam	178	97	330	37	18	37

*5'ten büyük depremler esas alınmıştır.

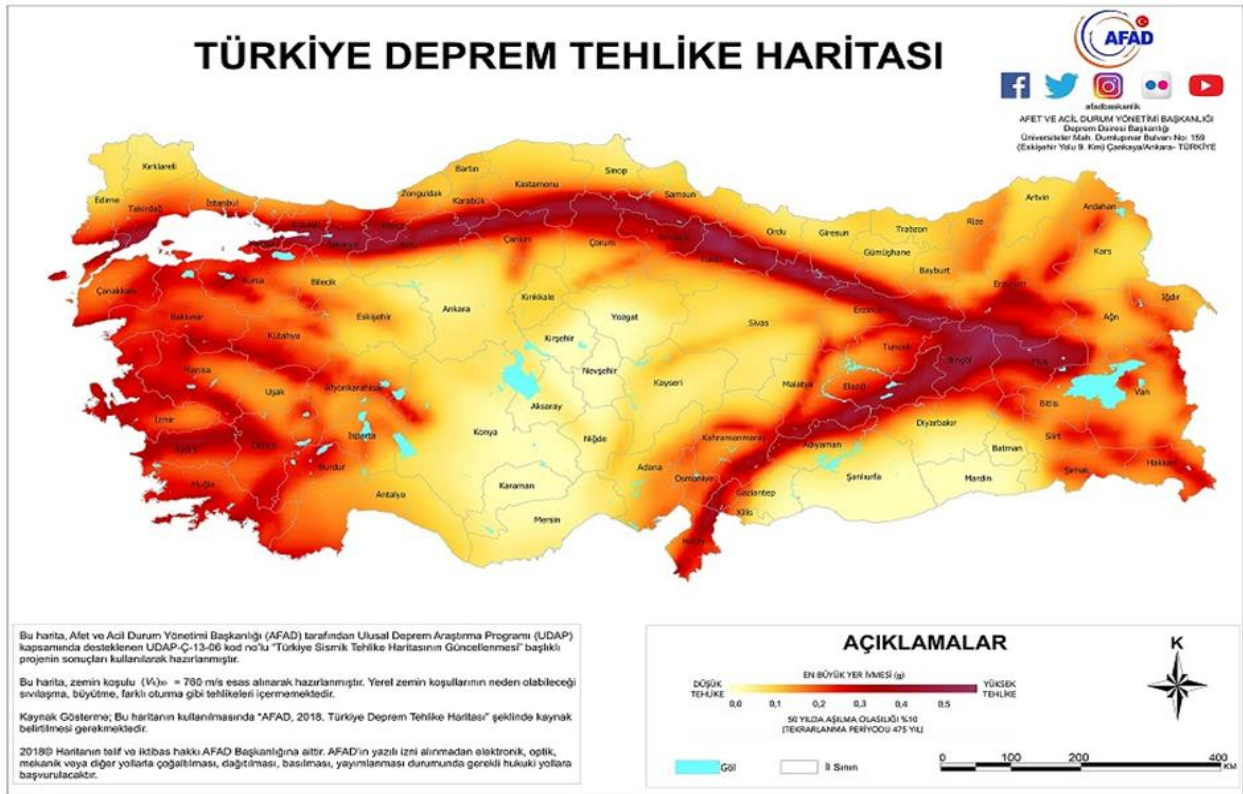


Şekil 1: Van'ın mekânsal afet dağılım haritası (Van AFAD 2021b)

3.1.1. Deprem

Türkiye'nin nüfusunun %96'sı yüzölçümünün %99'u deprem riski altındadır (Türkoğlu 1997). Van İli de kuvvetli ivme yer hareketine sahiptir. Şekil 2'de görüldüğü gibi Türkiye deprem tehlike haritasına göre (AFAD 2019) Van İli PGA (Peak Ground Acceleration) 475 (yıl), maksimum ivme değeri 0.2-0.4g arasında değişmektedir (URL-1 2021). Bu tespit bölgenin deprem tehlikesinin göreceli olarak ilin özellikle kuzey-kuzeydoğu ve güneyi boyunca nispeten yüksek olduğunu göstermektedir (Türkoğlu 1997).

Depremi öngörülemezliği, sürekli risk oluşturan bir afet türü olması ve meydana gelme sıklığı, afet kuşağında yer alan Türkiye'nin ulusal ve yerel düzeydeki afet yönetimi politikalarını etkileyerek, yasal düzenlemeler, ikincil mevzuat çalışmaları ve karar süreçlerinde diğer afetlere göre daha deprem afeti daha ön planda yer almaktadır. Bu nedenle risk ve zarar azaltma, kriz yönetimi, iyileştirme ve yeniden yapılandırma çalışmalarına ilişkin iş hacminin büyük bir bölümünü deprem ile ilgili çalışmalar oluşturmaktadır. Van İli de çeşitli afetlere maruz kalan bir yerleşim olduğundan, kent ve kırsalda afet sonrası iyileştirme faaliyetleri ve müdahale yöntemleri farklılaşmaktadır. Burada da deprem, hasar potansiyeli en yüksek afet olarak önemini ve önceliğini korumaktadır.



Şekil 2: Türkiye deprem tehlike haritası

3.1.2. Sel

Çalışma alanında deprem hasarlarının yanında yağış rejimi ve bölgedeki arazinin jeolojik ve jeomorfolojik yapısını tanımlayan karakteristik yükseltiler, vadi ve yamaç eğimleri gibi yapılar ile erozyon etkisi, orman alanlarının tarıma açılması, odun üretimi için orantısız kesim sonucunda bitki örtüsünün yenilenmesinin engellenecek düzeyde tahrip edilmesi, izinsiz ve yanlış yapılaşma, inşaat hafriyatı, atık, çöp ve moloz dökülerek dere kesitlerinin daraltılması ve hidrolojik dengeyi bozucu insan girişimlerinden kaynaklanan antropojenik baskı nedeniyle sel, su baskınları ve taşkınlar yaşanmaktadır. Erciş ilçesinde çok yoğun olarak; Başkale, Çatak, Çaldıran, Gevaş, Özalp ve Saray ilçelerinde ise zaman zaman sel ve su baskınları gözlenmektedir.

3.1.3. Heyelan

Heyelan bölgenin jeolojik, jeomorfolojik, meteorolojik ve arazi kullanım özellikleri ile ilişkili başka bir afet türü olarak hasara neden olmaktadır. Van'da heyelanlar daha çok orta derecede eğimli yamaçlarda meydana gelmektedir. Bu alanlarda genel olarak sığ kaymalar gözlenmektedir. Ortalama eğimleri 15-40 derece arasında olan heyelanların gerçekleştiği bu yamaçların genel litolojisi Oligosen-Miyosen kırıntılı kayalar ile şist ve fillitlerdir. Bu litolojilerin ayrılmış kesimlerinde gözlenen kayma düzlem derinlikleri 5 m'den düşüktür.

Heyelan olayı, özellikle Güneydoğu Anadolu bindirme kuşağına yakın olan Çatak, Bahçesaray ve Başkale ilçelerinde yoğun olmak üzere Erciş, Edremit, Gevaş, Gürpınar ve Özalp ilçelerinde görülmektedir. Tuşba ilçesinde ise eski heyelan kütlelerine rastlanılmaktadır.

3.1.4. Kaya Düşmesi

Kaya düşmesi olayları, Van ilinde az görülen bir afet olsa da geçmişte can kayıplarına neden olmuştur. Kaya düşmesi afetinde bölgenin jeolojik, jeomorfolojik, meteorolojik ve bitki örtüsü özelliklerinin etkisi vardır. Kaya düşmesi, genellikle blok şeklinde görülen volkanik kaya kütlelerin bulunduğu Başkale, Çatak, Erciş ve Muradiye ilçelerinde meydana gelmektedir.

3.1.5. Çığ

İlin güneyinde Hakkâri karayolunda, Çatak ve Bahçesaray ilçelerinin karayolu güzergahı ile bu bölgedeki yerleşim yerlerinde çok büyük potansiyel çığ alanları mevcuttur. Kış mevsimlerinde çığ afetleri sık yaşanmaktadır. En son çığ afeti 2020 yılında yaşanmıştır. 4 Şubat 2020 tarihinde Bahçesaray ilçesinde meydana gelen çığ afetinde 7 kişi hayatını kaybetmiş, 5 Şubatta kurtarma çalışmaları esnasında aynı bölgede meydana gelen ikinci çığda ise 35 kişi olmak üzere toplamda 42 kişi hayatını kaybetmiştir (AFAD 2020).

3.1.6. Van Gölü Su Seviyesinin Yükselmesi

Van'da Türkiye'nin en büyük gölü olan Van Gölü bulunmaktadır. Gölde su seviyesi zaman zaman yükselerek çevreye zarar vermektedir. Su seviyesi, 1987-1996 yılları arasında ortalama 2 m yükselmiştir. Bu yükselme, göl civarında sosyo-ekonomik faaliyetlerin aksamasına, Van Gölü civarının doğal afet bölgesi ilan edilmesine ve 1655 m kotu altının yerleşime kapatılmasına neden olmuştur. Son olarak 1995 yılında seviyesi yükselen su yerleşim yerlerine ve çeşitli tarımsal alanlara zarar vermiştir. Göl su seviyesinin yükselmesi ve 1655 m kotunun altındaki alanlarda yapı ve ikamet yasağı getirilmesi ile yer seçimi kriterleri değişmiş ve göl kıyısındaki afete maruz alanlara yapı izni verilmemiştir.

3.2. Yer Seçimi Mevzuatı ve Kamusal Yaklaşım

Türkiye'de 1999 Marmara depremi ve 2011 Van depremleri afet yönetiminin yönetsel yaklaşımlarını ve bakış açısını değiştirmesi açısından dönüm noktası olarak kabul edilmektedir. Yakın zamana kadar yeniden yerleştirme uygulamaları ve bu kapsamda yürütülen faaliyetler kriz yönetimi anlayışıyla genelde afete özel yasalar kapsamında gerçekleştirilmiş ve yeniden yerleştirme uygulamalarının kapsamı, olaylar düzeyinde sınırlandırılmıştır.

Afete müdahalede olduğu gibi afet sonrası yeniden yerleştirme uygulamalarında da kamusal iskân politikaları, afet riskini ortadan kaldırmada veya azaltmada etkin bir rol oynar. Türkiye tarihi, afetler açısından değerlendirildiğinde çok yasalı ve çok kurumlu bir süreçle karşılaşmaktadır. Afetlerle ilgili yürürlükteki yasalar ve diğer mevzuatın çoğu, afet sonrası süreçlere odaklanan bir kurguyla hazırlanmış olduğundan, afet riskini azaltıcı nitelikteki yeni yasal düzenlemeler, eski yasalara yapılan eklemeler düzeyinde kalmıştır (Tercan 2020).

Kurumsal yapı açısından Türkiye'deki yeniden yerleştirme uygulamaları değerlendirildiğinde; 2009 yılına kadar afet işleri çok sayıda farklı ve bazen de oluşturulan geçici kurumlar tarafından yürütülmekte iken, afet ve acil durumlarda yapılması gereken iş ve işlemleri planlamak, koordine etmek ve yürütmek üzere 17.06.2009 tarihli 5902 sayılı "Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun" ile Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) ihdas edilmiştir. AFAD Başkanlığının teşkilat Kanunu olan 5902 sayılı yasa Türkiye'de afet yönetimindeki çok başlılığı ortadan kaldıran temel düzenlemelerden biridir.

Afet yönetimini tek çatı altında toplamayı amaçlayan 5902 sayılı yasa başta olmak üzere yürürlüğe konulan yeni düzenlemelere rağmen afet yönetiminin kurumsal yapısındaki dağınıklık ve verimsizlik devam etmekte, benzer işlerin farklı kurumlarca yürütülmesi koordinasyonu ve afet yönetiminde etkinliği azaltmaktadır. Kurumlar arasındaki görev dağılımları, kurumların teşkilat yapıları ve idari bağlılıkları sık sık değiştirilmektedir. Örneğin yer seçimlerine esas jeolojik ve jeoteknik etüt raporlarını hazırlama yetkisi 5902 sayılı kanun ile Mülga Bayındırlık ve İskân Bakanlığından alınarak AFAD Başkanlığına verilmiştir. Ancak 2011 yılında Bayındırlık ve İskân Bakanlığının ismi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı olarak değiştirilince görev tanımları da değiştirilmiş, AFAD' verilen jeolojik ve jeoteknik etüt raporlarını hazırlama yetkisi kısmen yeni Bakanlığa devredilmiştir. 2015 yılında Afete müdahale işlerini yeni bir bakışla planlamayı AFAD Başkanlığının koordinasyonunda bütünleşik bir afet yönetimi ve çözüm ortaklığı ilkesine dayalı olarak farklı işlerin farklı kurumlarca yapılmasını sağlamayı amaçlayan Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP) yürürlüğe girmiştir. Plan kapsamında 28 hizmet grubu oluşturulmuş, merkez ve taşrada ilgili Bakanlıkların teşkilatlarına, enkaz kaldırma, hasar tespiti, yer seçimi, konut yapımı, gibi spesifik görevler tanımlanmıştır.

5902 sayılı kanunun yanı sıra, 25 Mayıs 1959 tarih ve 7269 sayılı "Genel Hayata Müessir Olaylar Dolayısıyla Alınacak Tedbirler ile Yapılacak Yardımlara Dair Kanun" da afet yönetiminde rehber niteliğindeki başka önemli bir düzenlemedir.

Türkiye’de 1999 Marmara Bölgesi depremlerine kadar afet yönetiminde kabul gören bakış açısı afetler meydana geldikten sonra afet zararlarını gidermeyi amaçlayan “kriz yönetimi” olduğundan 7269 sayılı Kanun da kriz yönetimi ağırlıklı düzenlemeleri içermektedir. Afet sonrasında yapılan hasar tespiti, hak sahipliği, yeniden iskân, yer seçimi, konut yapımı gibi iş ve işlemler bu kanunun 1. maddesi çerçevesinde yürütülmektedir.

Madde 1 – (Değişik: 2/7/1968-1051/1 md.) (Değişik birinci fıkra: 27/12/1993-3956/1 md.) Deprem (Yer sarsıntısı), yangın, su baskını, yer kayması, kaya düşmesi, çığ, tasman ve benzeri afetlerde; yapıları ve kamu tesisleri genel hayata etkili olacak derecede zarar gören veya görmesi muhtemel olan yerlerde alınacak tedbirlerle yapılacak yardımlar hakkında bu kanun hükümleri uygulanır” (URL-2 2021).

7269 sayılı yasaya dayalı olarak çıkarılan “Afetlerin Genel Hayata Etkililiğine İlişkin Temel Kurallar Hakkında Yönetmelik” ise afet bölgelerindeki çalışmaların nasıl yürütüleceğine dair yol haritası niteliğindeki ikincil yasal düzenlemedir. İlk kez 1968 yılında yürürlüğe giren yönetmelik, 2011 yılında meydana gelen Van depremlerinden sonra 7269 sayılı Kanun’un 1051 sayılı Kanunla değiştirilen 1’inci maddesi uyarınca değiştirilmiştir (URL-3 2021).

Afetin türü, büyüklüğü, etkilediği alan ile yerleşimlerin özellikleri, hasar oranı, can ve mal kaybı gibi kriterler afetin genel hayata etkililiğini ve müdahale biçimini belirlemektedir. Afet sonrasında yıkılan, hasar gören yapıların enkaz kaldırma işlemlerinden sonra, sekteye uğrayan hayatın en kısa zamanda normale döndürülmesi için geçici ve kalıcı barınma alanlarının oluşturulması afet yönetiminin öncelikle ele aldığı bir konudur.

Türkiye’de afete uğramış alanlarda farklı kredilendirme ve finans araçları kullanılarak üç farklı yöntemle konut yapımı gerçekleştirilmektedir.

- ✓ Toplu Konut İdaresi’ne toplu alanlarda konut yaptırılması yöntemi,
- ✓ Afetzedeler için kent merkezlerinde yıkılan konutların kendi yerine kırsalda ise kendi yerine veya uygun alanlara ihaleyle konut yaptırılması yöntemi,
- ✓ Evini Yapana Yardım (EYY) denilen modelde afet yönetiminin sağladığı 20 yıl vadeli faizsiz kredi ile afetzedenin kendi iş gücü ve ilave öz kaynak kullanarak konutunun yapımını üstlendiği yöntem.

Geçmişte afet sonrası yeniden yerleştirme ve yapılaşmayla ilgili sorunlar birer müteahhitlik sorununa indirgenerek sadece afetzedelerin konut edinmesini sağlayarak çözülmeye çalışıldığı, günümüzde de bu yaklaşımın devam ettiği görülmektedir. Özellikle kırsal alanlarda gerçekleştirilen, iskân politikalarından yoksun, afetzedelerin yaşam biçimleriyle uyumsuz afet sonrası yeniden yerleştirme uygulamaları, afet risklerini ortadan kaldırmamaktadır (Tercan 2020).

Afet sonrası iskân alanlarının planlanması sürecinde yapılan en önemli işlem yer seçimidir. Seçilen yerin afet riski barındırması yapının da afete maruz kalmasına yol açacaktır. Yanlış yer seçimi telafisi mümkün olmayan can ve mal kayıplarına yol açabilmektedir. Yeniden yerleştirmede altlık/temel işlem olarak kabul edilen yer seçiminde gösterilen hassasiyet ve rasyonellik ileride yapılacak işlerin de sağlıklı bir zeminde yürütmesini sağlayacaktır. TAMP ile afet sonrası yeniden yerleştirme ve yer seçimi işleri için AFAD Başkanlığı merkez ve taşra birimleri görevlendirilmiştir (AFAD 2021a). Yer seçim işlemleri AFAD Başkanlığının koordinasyonunda yürürlükteki yasal düzenlemeler ve belirlenen kriterlere göre yürütülmektedir. Yer seçimi çalışmalarında belirleyici olan AFAD Başkanlığının genelgesinde yer seçimi; “7269 sayılı yasa gereğince afetten etkilenen veya etkilenmesi muhtemel olan, konut ya da işyeri yapmak üzere hak kazanan ailelerin (hak sahibi) afet tehlikesi olmayan bir alanda yeniden yerleşmeleri amacıyla yapılacak yapıların yerinin tespit edilmesi işlemidir” şeklinde ifade edilmektedir (AFAD 2013). Afetzedenin yeniden yerleştirme işleminde arazinin yapısı, konumu, eğimi, zemin özellikleri gibi teknik analizler ile hak sahipliği, mülkiyet durumu, ipotek, talep-taahhüt işlemleri ve veraset, ehliyet gibi hukuki gereklilikler göz önüne alınır. Yer seçimi; teknik imkân ve hukuk çerçevesinde konut edindirme sürecinde afetzede için yapılacak konut, ahır ve iş yeri gibi yapıların yapılacağı alanın seçilmesi kavramlarını içermektedir.

Hali hazırda yer seçimi uygulamalarında; AFAD, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı, Tapu-Kadaastro Müdürlükleri, Maliye ve Hazine Bakanlığı, Valilikler ve Belediyelerin koordinasyonunu gerektiren zorlu bir süreç söz konusudur.

Genel hayata etkili afetler sonrasında 7269 sayılı Kanunun 16. Maddesi kapsamında hak sahibi afetzedelerin yeni yerleşim yeri çalışmaları yapılır ve “Yer Seçim Protokolü” hazırlanır. Yer seçim protokolünün onayından sonra etüt-proje (kadaströ, harita, imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt raporu, imar planı, kamulaştırma, imar planı uygulaması, tahsis, tescil vb.) işlemler tamamlanır. Etüt proje çalışmalarının tamamlanmasından sonra yer teslimi yapılarak konut ya da işyeri yapımına geçilir.

Yeni yerleşim yerinin belirlenmesinde;

- ✓ Afet riskine maruz olmayan bir yerleşim seçilmesi,
- ✓ Afete uğrayan birey ya da topluluğun afet öncesi sosyal, ekonomik ve kültürel yapılarının büyük ölçüde değişikliğe uğratılmadan devamının sağlanması,
- ✓ Sağlıklı ve güvenli yerleşimin, imar mevzuatına uygun, mülkiyet sorunu olmayan hukuksal çerçevede gerçekleştirilmesi ilkelerine uyulması önemlidir.
- ✓ Yeniden iskanın amacı muhtemel afet hasarlarını önlemek olduğundan riskli alanlara yapılan yapılar hem afete maruz kalacak hem de yeni yapılar için kullanılan kaynak, zaman ve iş gücü boşa gidecektir. Bu nedenle yer seçiminde afete uğrayan yerleşim biriminin kısa, orta ve uzun vade projeksiyonlu afet geçmişinin, saha ve literatür bazında incelemesi yapılmalıdır.

- ✓ Yer seçimi yapılırken afete uğramış birimin yerel yöneticileri ile hak sahiplerine danışılmalı görüş ve tavsiyeleri alınmalıdır.
- ✓ Yer seçimi yapılacak alanlara ait kadastral verilerin, imar planlarının ve bedelsiz temin edilebilecek alan bilgilerinin; belediye, kadastro birimleri ve mal müdürlüklerinden temin edilmelidir.
- ✓ Yeni yerleşim yeri olarak düşünülen alanın afetsellik analizinin yapılması büro ve arazide jeolojik incelemelerin yapılmalıdır.
- ✓ Afetzedelerin mülkiyetinde bulunan araziler ve bedelsiz temin edilebilecek alanların mahallinde incelenerek değerlendirilmelidir.
- ✓ Seçilecek alan ile ilgili yer seçim komisyonu üyelerinin görüşünün alınmalıdır.
- ✓ Teknik, idari sınırlama, uyarı ve gerekliliklere göre yer seçiminin yenilenerek onay işlemlerinin yapılması oldukça önemlidir.

Ayrıca yer seçimi işlemleri esnasında afet risklerini azaltma anlayışı çerçevesinde, afet tehlikeleri taşımayan, jeolojik açıdan uygun yerleri seçmek, alt yapı hizmetleri sosyo-kültürel özellikler, ekonomik yapı, eğitim, sağlık hizmetleri dikkate alınarak yerleşim birimlerinin bütünlüğünün korunması temel ilkeleri oluşturmaktadır.

Yeni yerleşim yeri tespitinde mümkün olduğunca eski yerleşim yerine, eğitim, sağlık tesislerine yakın ilave alt yapı, üst yapı, enerji iletim harcamaları ve bedelli kamulaştırma gerektirmeyecek şekilde planlama yapılmalıdır. Yer seçimi yapılırken şu sıralama takip edilmelidir.

- ✓ Afetzedenin hak sahibi olduğu konutunun arsası ve sahip olduğu diğer uygun araziler,
- ✓ Bedelsiz temin edilebilecek mera ve hazineye ait araziler,
- ✓ Bedelsiz arsa temin edilememesi durumunda yer seçim komisyonu tarafından raporlanmak koşuluyla kamulaştırma yapılarak yer seçimi yapılır.

Afetzedenin afete uğradığı yerleşim biriminde yer seçimi yapılamaması halinde yukarıdaki sıra takip edilerek aynı il sınırları içinde olmak koşuluyla yerleşim yeri dışında da yer seçimi yapılabilir. Toplu Konut İdaresi (TOKİ)’den konut satın alınması veya ihaleli olarak yapılan konutlara hak sahiplerinin yerleştirilmesi durumunda da yukarıdaki sıralamaya göre hareket edilir. Örneğin köydeki afetzede için öncelikle köyden yer seçimi yapılmalı, köyde uygun yer yoksa ilçe merkezinde var olan TOKİ konutu veya artan konuta öncelik verilmelidir. Aynı il sınırları içinde olmak şartıyla, yöresel özellikler ve alt yapı koşulları ile sosyo-ekonomik şartların gerektirmesi halinde kamulaştırmaya yol açmayacak şekilde yer seçimi sıralaması değiştirilebilir.

Yer seçim komisyonları;

- ✓ İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü temsilcisi (Jeoloji, Jeofizik, İnşaat, Harita Mühendisi, Şehir Plancısı)
- ✓ İl Özel İdaresi,
- ✓ Orman ve Su İşleri temsilcisi (DSİ)
- ✓ İl Özel İdaresi / Belediye Başkanlığı temsilcisinden oluşturulur.

Seçilen yerin durumuna göre komisyonda Kültür Müdürlüğü, Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulları, elektrik, su, doğalgaz idareleri ve diğer ilgili kurum ve kuruluş temsilcileri de yer alabilmektedir.

Afet konutlarının yer seçimi uygulama ve tekniklerine Van İli örneğinde bakıldığında 2011 yılından önce Van’da sel, heyelan, çığ ve kaya düşmesi gibi afetlerin meydana geldiği, bu lokal afetlerden kaynaklı olarak da sınırlı sayıda iskân işleminin yapıldığı görülmektedir. Buna karşın Tablo 3’te görüldüğü gibi 2011 depreminde köylerden hak sahibi olan afetzedelerin %97’si konut talep etmiş ve yer seçimleri tamamlanmıştır. Yapılan araştırmada 2011 depremi öncesi yeniden yerleştirme işlemlerinin düşük seviyede kalmasının şu nedenlerden kaynaklandığı görülmüştür.

- ✓ 2011 depreminden önce meydana gelen afetlerin hasar oranının ve dolayısıyla hak sahibi sayısının az olması,
- ✓ AFAD Başkanlığı kurulmadan önce Bayındırlık ve İskân Bakanlığı bünyesinde bulunan afet birimlerinin kurumsal hizmet kapasitelerinin günümüz koşullarına göre yetersiz olması,
- ✓ Afetzedelerin konut edinme ve bununla ilgili karar süreçlerine erişimlerinin zayıf olması,
- ✓ Afetzedelerin sosyo-ekonomik gerekçelerle yapılan afet konutlarına rağbet etmemesi
- ✓ Denetim ve kontrol mekanizmaları ile yasal düzenlemelerin yetersizliğinden kaynaklı, dayanıksız, mühendislik hizmetleri yetersiz, kötü malzeme ve kötü işçilik ürünü tip projelerle yapılan afet konutlarına ilgi ve talebin düşük seviyede kalması.

3.3. 2011 Yılı Van Depremleri

23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 tarihlerinde Van’da meydana gelen ve 644 kişinin hayatını kaybetmesine neden olan depremler kentte büyük hasar oluşturmuştur. “Afetlerin Genel Hayata Etkililiğine İlişkin Temel Kurallar Hakkında Yönetmelik” kapsamında yapılan inceleme ve tespitlerden sonra Van merkez (Tuşba, İpekyolu, Edremit İlçeleri) ve köyler ile, Erciş merkez ve köylerinde depremin genel hayata etkili olduğuna karar verilmiştir. Genel hayata etkililik kararına istinaden; Acil nakdi- ayni yardımlar, geçici barınma alanlarının oluşturulması, sağlık yardımları, hasar tespiti, hak sahipliği, yer seçimi ve konut yapımı gibi işlemlere başlanmıştır.

AFAD'dan alınan verilerle oluşturulan Tablo 2'de görüldüğü gibi Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından yaklaşık 101.000 konutta yapılan ön hasar ve 147.622 bağımsız bölümde yapılan kesin hasar çalışması sonucunda; "Afet Sebebiyle Hak Sahibi Olanların Tespiti Hakkında Yönetmelik" kapsamında konut, ahır ve işyeri ağır hasarlı olan 27.445 ve orta derece hasarlı yapı sahiplerinden 2.726 olmak üzere toplam 30.171 kişi hak sahibi olarak kabul edilmiştir (Giyik 2016).

Hasar tespitlerine göre ağır hasarlı olarak belirlenen yapılar, yıkılacak yapı orta hasarlılar, güçlendirilecek yapı az hasarlılar ise tamir edilerek oturulabilecek yapı olarak sınıflandırılmıştır. Bu çerçevede ağır hasarlı konut hak sahipleri için Toplu Konut İdaresi (TOKİ) ve AFAD iş birliğiyle Van merkezde 12.384, Erciş ilçe merkezinde de 4.880 olmak üzere toplam 17.489 adet konut yapılmıştır.

Tablo 2: 2011 Van depremi hasar tespit ve hak sahipliği tablosu

İl / İlçe	Ağır Hasarlı Konut Sayısı	Ağır hasar Konuttan Hak Sahibi Sayısı	Ağır Hasarlı İş Yeri Sayısı	Ağır hasar İş Yerinden Hak Sahibi Sayısı	Ağır Hasarlı Ahır Sayısı	Ağır hasar Ahırdan Hak Sahibi Sayısı
Van Merkez	25094	16079	1516	372	5943	2639
Edremit	801	497	11	3	144	114
Erciş	10308	6184	1357	428	3515	1129
Genel Toplam	36203	22760	2884	803	9602	3882

Konut yapım yöntemleri içerisinde kendi yerine yapım yöntemi; yeni arazi temini ve dolayısıyla ilave kaynak kullanımı gerektirmediğinden tercih edilen ideal bir yöntemdir. Ancak bu yöntemde arazinin tekrar kullanılabilmesi için yeterli seviyede koruma, önleme ve ıslah çalışmalarının yapılması afet riskine uygun tekniklerle yapı inşa edilmesi gerekmektedir. Önleyici tedbirler, yeniden yerleştirme ile hedeflenen; "afetzedeyi güvenli bir yaşam alanına kavuşturmak" ve muhtemel afetlerde tekrar hasar oluşmasını önlemek açısından da son derece önemlidir.

2011 Van depremlerinden sonra kent merkezinde bu modelle konut yapımı planlanmış ancak, konut büyüklükleri, proje, maliyet ve ödeme koşulları gibi hususlarda hak sahipleri ile afet yönetim birimleri arasında uzlaşma sağlanamadığından bu yöntem Van'da uygulanmamış sonuçta afetzedeler için TOKİ'ye konut yaptırılması yöntemi benimsenmiştir. Toplu konutlar için hazineye ait Van'da Edremit ilçesinde, Kalecik, Kevenli, Bostaniçi ve Akköprü Mahallelerinde toplam 5 alan belirlenmiştir. Söz konusu bölgelerde imar planı değişikliği ihtiyacı nedeniyle, Erciş kent merkezi 1/5000 ölçekli nazım imar planı ile /1000 ölçekli uygulama imar planları ve Van Edremit ilçesi, çevreyolu kesimi ile Selimbey Mahallesi Van Kalesi etrafı 1/5000 ölçekli nazım imar planı ile /1000 ölçekli uygulama imar planları yenilenmiştir. Bu alanlarda öncelikle jeolojik ve jeoteknik etütler yapılarak inşaat çalışmalarına başlanmıştır. Yapılan planlama ve yer seçimlerinden sonra Şekil 3'te belirtilen Edremit ilçesinde 7391, Van merkez Kalecik Mahallesi 2458, Akköprü Mahallesi 528, Bostaniçi Mahallesi 1088 ve Kevenli Mahallesi 480, Erciş ilçesinde de yerleşime yeni açılan 2 ayrı bölgede 4880 olmak üzere toplam 17489 adet kalıcı afet konutu inşa edilmiştir (Giyik 2016).



Şekil 3: Van merkezde yapılan kalıcı konut alanları haritası

Van merkez, Erciş ve Edremit ilçelerinin köylerinde oturmakta olan ve depremde konut ve ahırları ağır hasar gören afetzedelere köylerinde kendi yerlerinde Evini Yapana Yardım (EYY) metodu ismi verilen yöntem ile ev ve ahırlarını yapabilme imkânı sağlanmıştır.

Bu çerçevede;

✓ 2012 yılında konutlar için 40.000 TL, ahır için 15.000 TL

✓ 2013 yılında ise konut için 44.000 TL ahır için de 17.000 TL 20 yıl vadeli faizsiz kredi verilmiştir.

Afetzedeler için yapılan ancak artan konutlardan Van ve Erciş'te kiracı durumda olanlara TOKİ ve AFAD arasında imzalan protokol doğrultusunda Van da 500, Erciş'te 500 konut olmak üzere toplam 1.000 konut verilmiştir. Şekil 4'te EYY yöntemiyle kırsal mahalle ve köylerde yapılan konutlar görülmektedir.



Şekil 4: Van'da kırsal alanlarda yapılan afet konutu örnekleri

3.3. Van'da Afet Konutları Yer Seçim Uygulamaları

Van kent merkezi, ilçe merkezleri ve köylerde yapılan konutların yer seçimi AFAD tarafından yapılmıştır. Yer seçimi hem çadır-konteyner kent olarak tanımlanan geçici barınma alanları için hem de kalıcı konutlar için yapılmıştır. Van kent merkezi ve Erciş merkezde depremde sonra Şekil 5'te belirtildiği gibi, 15.000 çadırdan oluşan 13 çadır kent ve 30.000 konteynerden oluşan 35 konteyner kent kurulmuştur (AFAD 2021b).



Şekil 5: Van depreminde kurulan çadır ve konteyner kentler

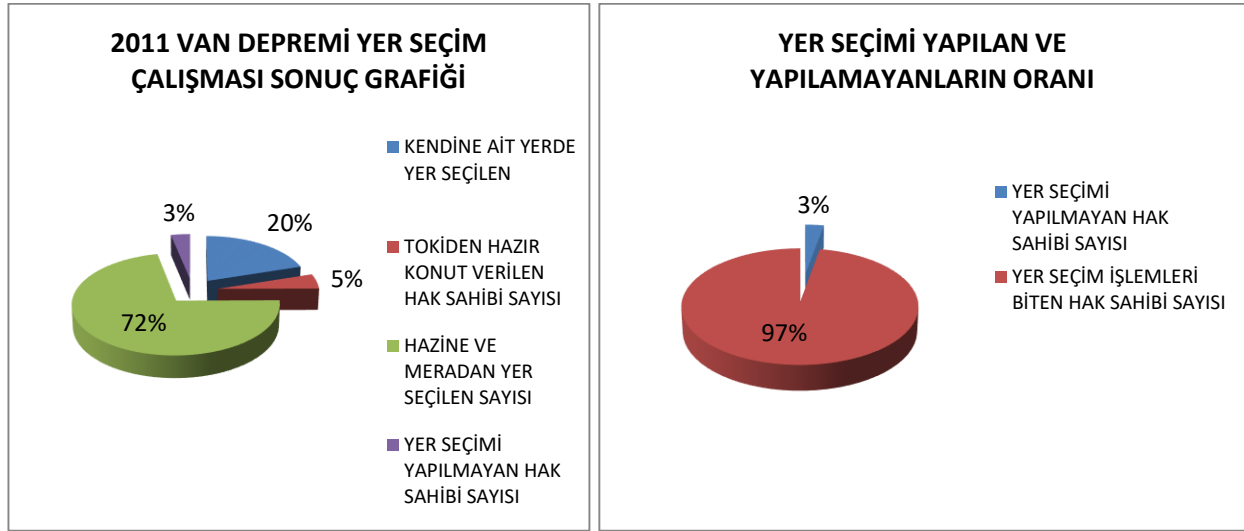
Yer seçim çalışmaları Van AFAD ve ilgili kurumların iş birliğiyle AFAD koordinasyonunda yürütülmüştür. AFAD Başkanlığı diğer illerin AFAD, Çevre ve Şehircilik, Tapu Kadastro, Karayolları, Devlet Su İşleri gibi teknik personeli bulunan kurumlardan Van İline görevlendirme yapmıştır. 2011 depreminden sonra yer seçim çalışmalarında 2'şer kişilik 14 ekip ile koordinasyon ve büro işlerini yapan 10 kişi ile toplamda yaklaşık 40-45 kişi dönüşümlü çalışmıştır.

Van ve Erciş merkezde yapılan toplu konutların yer seçimi çalışmalarına ise AFAD'ın yanı sıra Çevre ve Şehircilik Bakanlığı temsilcileri, Belediye temsilcileri ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesinden jeoloji mühendisleri katılmıştır. Geniş katılımlı toplantılar ile afet riski barındırmayan yerlerin seçilmesi amaçlanmıştır. Yer seçimlerinde öncelikle afetzedenin eski konutunun olduğu yerin seçilmesine dikkat edildiği görülmektedir. Kendi yerinin ve o yerde kendisine ait başka arazi olmaması halinde hazine ve mera arazilerinin tahsisi yoluna gidilmektedir.

Bu kapsamda depremin genel hayata etkili olduğuna karar verilen Van merkez (Tuşba, İpekyolu, Edremit) ve Erciş merkezdeki afetzedelere TOKİ tarafından yapılan hazır konutlar verilmiş köylerdeki afetzedelerin konutlarının yapımı için Tablo 3'te görüldüğü gibi yer seçimi yapılmıştır. Ahırlar için yer seçimi yapılmadığından tabloda ahır yer seçimine ilişkin veriler yer almamıştır.

Tablo 3: 2011 Van depremi sonrası afet konutları köyler için yer seçim tablosu

İL/İLÇE	Hak Sahibi	Yer Seçimi Yapılan	Hazır Konut Talep eden	Hazır Konut Verilen	Feragat Eden	Kendine Ait yerde yer seçilen	Hisseli Tapuda yer seçilen	Hazine ve tescil dışı araziden yer seçilen	Meradan Yer seçilen
Van, Edremit, Köyler	6475	6350	165	149	87	1171	918	1413	2832
Erciş, Köyler	3372	3615	375	263	63	560	601	412	1530
TOPLAM	9847	9565	540	412	150	1731	1519	1825	4362



Şekil 6: 2011 Van depremi yer seçim çalışmaları grafiği

Afet riski altındaki yerlerde ve afete maruz kalmış alanlarda tekrar yer seçilmemesi muhtemel afet zararlarını önlemek açısından doğru bir yöntemdir. Tablo 3 ve Şekil 6'daki yer seçim istatistikleri incelendiğinde Van İlinde afete uğramış alanlarda kendi yerinde tekrar yer seçilen afetzedede sayısının toplam hak sahipliği sayısına oranla %20 seviyesinde kaldığı %72 oranında da hazine ve meradan yer seçildiği görülmektedir.

Uygulamada afetzedenin kendi yerine yer seçilmesine öncelik verilmektedir. Buna rağmen, yer seçim çalışmaları teknik kısıtlar ile kısmen de Kaymakam, Belediye Başkanı, Muhtar gibi yerel yöneticilerin, bilirkişilerin yönlendirmesi ve afetzedelerin tercihlerinin etkisinde kalarak şekillenmiştir. Kamuya ait alanlarda yüksek oranda yer seçilmesi aslında afetzedelerin bedelsiz olan hazine ve köy ortak kullanımına tahsisli mera alanlarından ilave arsa ve konut alanına sahip olma arzusunun kaynaklanmaktadır. Afetzedelerin bu tarz talep ve tercihleri afetlerin sosyal, kültürel ve ekonomik boyutlarıyla yönetsel zorluklarını göstermesi açısından da önemli bir göstergedir.

Van depreminden sonra toplu konut ve köy konutlarının yer gereksinimini karşılamak amacıyla Hazine arazilerinden yer seçmek için Mal müdürlükleri ve Milli Emlak Müdürlüklerine, mera vasıflı taşınmazlar için de İl Mera Komisyonlarına tahsis talepleri yapılmıştır. Talep edilen hazine ve mera vasıflı taşınmazlar afet yönetimine konut, ahır, işyeri, eğitim, sağlık tesisi ve diğer sosyal donatı alanları için tahsis edilmiştir.

Normal şartlarda tahsis kararlarından sonra tahsis edilen taşınmazın cins değişikliği, imar / mevzi imar planı ile harita-kadastro işlemleri yapıldıktan sonra konut yapımına başlanmaktadır. Ancak Van depremlerinde hem toplu konut alanlarında hem de köylerde yapılan konutların yer seçimlerinde gözlemsel incelemelerle uygun görülen alanlarda yer seçimi yapılarak inşaata başlanmış, yer seçim protokolleri daha sonra hazırlanarak onaylanmıştır.

Halen Van, Edremit, Erciş merkez ve köylerinde/mahallerinde 3750 mera parselinin cins değişikliği, harita, imar ve tapu-kadastro işlemleri yapılmamıştır.

Depremden hemen başlayan ve oldukça ağır geçen 2012 yılı kış mevsiminde çadır ve konteyner gibi geçici barınma alanlarında kalan afetzedelerin bir an önce sağlıklı ve güvenli yeni konutlarına yerleşmelerini sağlamak için merkezdeki toplu konut alanları ile köylerde yer seçim çalışmaları hızlandırılmıştır.

Hızlı çalışma isteği bazı yerlerde hatalı seçimlere de yol açmıştır. Örneğin, konut çalışmalarının ilk etabında yüzeysel incelemelerle Van kent merkezinin doğusunda ve Erek Dağı'nın eteklerinde yer alan Kevenli Mahallesi'ne 480, aynı bölgede yer alan Bostaniçi Mahallesi'ne de 1088 adet konut için yer seçilerek inşaat başlanmıştır. Ancak daha sonra seçilen yerlerin zemin etütleri yapıldıkça USCS (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi) (Knappett ve Craig 2012) tanımlamasına göre ifade etmek gerekirse silt (ML) grubu gevşek zemin olduğu anlaşıldıkça yapımı planlanan 10.816 adet konut için kentteki başka alanlara yer seçilerek bu bölgelerden vazgeçilmiştir.

Bostaniçi Mahallesi'ne yapılan toplu konutların alanı engebeli bir yapıda olmasına rağmen arazide tesviye, kazı, dolgu ve kademelendirme yapılmadan binalar tabi zemine göre konumlandırılınca bazı bloklar ve sosyal donatı alanları sel taşkınlarına maruz kalacak şekilde yol kotuna göre düşük kotlu alanda kalmıştır. Öte yandan yer seçimi yapılırken ekstrem yağış indisi analizleri yapılmadığından konutlar kısmen taşkın güzergahında kalmış ve Şekil 7'de görüldüğü gibi 2021 yılı temmuz ayında meydana gelen sel afetinde giriş katlar ile sosyal donatı alanları büyük oranda sele maruz kalmıştır.



Şekil 7: Selden etkilenen Van ili Bostaniçi mahallesi toplu konut alanı

Van kentinin mevcut yerleşim alanında zemin özelliklerinden kaynaklanan sıvılaşma riski yüksektir. Sıvılaşma riski, bölgenin depremselliği ve yapıların afete dayanıklılık oranının düşük olması, yüksek magnitüdü bir depremde büyük hasarlar ve can kayıplarının meydana gelebileceğini göstermektedir. Bu nedenle yeni yerleşim alanı ve gelişme alanı olarak mevcut yerleşkenin güneyinde bulunan Edremit sahası önerilmektedir. Edremit bölgesi deprem, sel sorunu olmayan sağlam ve dayanımı yüksek sert kaya zemine sahiptir. Bu alanda yaklaşık 120 bin dönüm mera arazisi bulunmaktadır. Şekil 8'deki Edremit bölgesi, Van'ın gelişme odağı olarak çağdaş kent planlarının yapılabileceği bir konuma da sahiptir. 2011 depremlerinden sonra bu alana 7391 adet konut yapılmıştır (Özvan vd. 2005).



Şekil 8: Toplu alanda yer seçilen Van deprem konutları

Yer seçimi farklı göstergelere göre yapılmalıdır. Jeolojik durum, mülkiyet, konut tipi, iklimsel özellikler, sosyo-ekonomik durum ve hatta psiko-sosyal yapı yer seçimlerinde etkilidir. Yer seçimlerinde teknik inceleme ve gözlemlerin doğru yapılmaması, çalışan personelin kimi zaman tecrübesiz olması gibi faktörler yanlış yer seçimlerine neden olmaktadır. Van'da afet yapılarının yer seçimi ve yapım işleri bittikten sonra sahada kontrol ve incelemeler yapılmıştır.

Yapılan incelemelerde;

- ✓ Yumrutepe Köyünde 5,
- ✓ Çalımlı Köyünde 2,
- ✓ Bahçesaray Bağcılar Köyünde de 10 konutun yer seçiminin yanlış yapıldığı tespit edilmiştir.

Söz konusu konutların bir kısmının dere yatağında bir kısmının da heyelan tehlikesi altında olduğu görüldüğünden 3 konut yıktırılmış Şekil 9'da belirtilen Yumrutepe Köyünde olduğu gibi bazı bölgelere de istinat duvarı yapılarak tedbir alınmıştır.

Benzer şekilde Erciş Çataltepe Köyünde oturan 2 afetzede için komşu Çataltepe ile Duracak Köyleri sınırında yer seçimi yapılmış, Duracak Köyü sakinlerinin itirazı üzerine seçilen yerin Çataltepe yerine Duracak Köyü merasında seçildiği tespit edildiğinden, tabliye aşamasında olan konutlar yıktırılarak yeniden yaptırılmıştır.



Şekil 9: Yumrutepe köyü yanlış yer seçimi ve istinat duvarı örneği

Çatak ilçesinde 2000 yılında meydana gelen sel afeti nedeniyle iç iskân kapsamında Van Merkez Şemsibey Mahallesine taşınan afetzedeler için Van-Erzurum Karayolu güzergahında yolun genişleme mesafesi hesaba katılmadan seçilen yerde konutlar yapılmış süreç içinde yol yükseltilip genişletilince konutlar yol kotunun 2 m altında kalmıştır. Yola bitişik kötü mimari ve kalitesiz malzeme ile yapılan konutlar bölgede yeni bir gecekondü formunun oluşmasına neden olmuştur. Şekil 10'daki Şemsibey Mahallesi afet konutları kötü yer seçimi örneklerindendir.



Şekil 10: Van merkez şemsibey mahallesi afet konutları

Hazine ve meraların işgali, yerel ilişkiler, bölgedeki kültürel-geleneksel yapıdan kaynaklı birtakım kısıtlar köylerde yer seçimlerini etkilemiş ve bazı yerlerde çalışmalarını sınırlandırmıştır. Örneğin Van Çakırbey Köyündeki 9 hak sahibi afetzede köyde süregelen kan davasından dolayı köyde yer seçimini kabul etmeyerek Van merkezden hazır konut talebinde bulunmuştur. İdare bu talepleri makul görerek 9 aileyi Van merkez Kalecik toplu konutlarına yerleştirmiştir. Çatak İlçesi Bilgi Köyünde sel afetinden etkilenen ve hak sahibi kabul edilen 121 ailenin köyde ve ilçe merkezinde uygun yer olmadığından iç iskân uygulaması kapsamında Van merkeze taşınması kararlaştırılmıştır. Hazır konut önerilen afetzedeler 99 m² büyüklüğündeki konutların küçük olduğu gerekçesiyle teklifi kabul etmeyince Van AFAD İl Müdürlüğünce Edremit bölgesindeki toplu konutların yanındaki hazine arazisinde yer seçimi yapılarak ihale yöntemiyle yaptırılacak olan tek katlı 145 m² büyüklüğündeki 121 konutun inşaatı başlatılmıştır.

Ancak AFAD Başkanlığı denetim görevlilerince mahallinde yapılan incelemede hazır konut varken yakın mesafede kaynak kullanılarak yeni konut yapılmasının doğru olmadığı gerekçesiyle su basmanı seviyesindeki inşaat durdurulmuş, toplu konutlara yerleştirilmek üzere afetzedeler toplu konut kurasına dahil edilmiştir. Buna rağmen bazı afetzedeler hazır konuta yerleşmiş bazıları da hak sahipliği, yer seçimi, talep taahhütname süreçleri ve konut yapımı tamamlanmış olmasına rağmen haklarından feragat ederek küçük boyutlu konutlarda oturmayı kabul etmemiştir.

Afetzedelerin tamamlanmış konutları teslim almaktan kaçınması yukarıda ifade edildiği gibi uygulamada rastlanılan bir durumdur. Bu tarz davranışlar yeniden yerleştirmede ihtiyaç analizlerinin doğru yapılmamasının sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle yer seçiminde ihtiyaçları karşılayacak büyüklükte arsa temininin son derece önemlidir.

İç iskân kapsamında Van'ın kentsel bölgelerinde taşınan afetzedeler ile kırsaldaki afetzedelerin afet öncesi yerleşim birimlerinin karakterine, yapılı çevre oluşturma alışkanlık ve eğilimlerine bakıldığında, asgari ihtiyaçları karşılayabilecek ölçüde plansız, projesiz genelde aynı avluda bitişik şekilde yapılan konut, ahır, samanlık, tandır evi, kümes, ağıl gibi birimlerin oluşturduğu yaygın bir yapılaşma formu söz konusudur.

Afet sonrasında, aileler alışkanlıklarını devam ettirmek istediklerinden geniş aile yapısı ve çok çocuklu büyük ailelerin ihtiyaçları dikkate alınmadan yapılan yer seçimleri ve tip konutlar afetzedelerin ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle afetzedeler yapılar da değişiklik veya eklemeler yaparak sorunlarını çözmeye çalışmakta, sonuçta yine afete dayanıksız eklentili yapılar ortaya çıkmaktadır (Tercan 2008). Şekil 11’deki yapılar buna örnektir.



Şekil 11: Yetersiz alanda yapılan konuta sonradan eklenti yapılması örneği, Van Şemsibey mahallesi

Yer seçimi çalışması yapılan başka bir köy olan Van’ın Erciş ilçesine bağlı Tekler Köyünde 1998 yılında meydana gelen sel afeti nedeniyle hak sahibi olan afetzedelere köy merkezine 2 km mesafede meradan yer seçilerek 152 konut yapılmıştır. Ancak afetzedeler fiyatın yüksek olduğu, konutların küçük olduğu ve bazı konutlarda Van Gölü manzarası olmadığı gerekçesiyle 2013 yılında bitmiş olan konutlarda oturmayı kabul etmemişlerdir.

Tekler Köyünün yer seçimi yapılırken çiftçilikle uğraşan, hane halkı büyüklüğü ortalama 6,04 olan (TÜİK 2021) olan afetzedeler için ahır planlanmamış, her ailenin konutu için 450 m² alan tahsis edilmiştir. Yeni yapılan konutlar, alan-yapı ve nitelik bakımından afetzedelerin sosyo-ekonomik yapılarına uymadığından kabullenme ve entegrasyon gerçekleşmemiştir. Şekil 12’deki konutlar, TOKİ tarafından 2020 yılında satışa çıkarılmış, sonuçta harcanan tüm iş gücü, kaynak ve zaman boşa gitmiştir.



Şekil 12: Erciş tekler köyü afet konutları

Tekler Köyü örneğinde görüldüğü gibi yer seçimlerinde parsel boyutu çok önemlidir. Arsa temininde bedelli bir yöntem olan kamulaştırma maliyetinden kaçınmak için bedelsiz olarak tahsis imkânı bulunan hazine ve mera alanlarının kullanılması tercih edilmiştir. Ancak tahsis edilen mera arazisi afetzede sayısına ve planlanan yapılar için yetersiz kalınca parsel büyüklükleri düşürülerek 450-500 m²’lik parseller üretilmiştir. Eski yerleşimlerinde konut, ahır, tandır evi, samanlık, kiler gibi eklentilerle birlikte ortalama 750-1000 m² alanda yaşamlarını sürdüren afetzedeler için 450-500 m²’lik parseller ihtiyaçların karşılanmasında yeterli olmamıştır. Van’da deprem bölgesinde haksız ve gereksiz arazi kullanımının önüne geçmek ve dolayısıyla kamu yararına uygun hareket etmek adına Van Valiliği tarafından “İl Mera Komisyonu” kararı ile mera ve hazine taşınmazlarının tahsisinde 750 m²’lik parsel büyüklükleri üst limit olarak belirlenmiştir. Ancak koşulların uygun olduğu bazı yerlerde ek kararlar alınarak 1000 m²’lik parseller de tahsis edilmiştir. 1000 m² ve daha büyük parseller kalabalık afetzedelerin ve hayvanların barınma ihtiyaçlarını karşılayabilecek boyutlarda konut, ahır ve samanlıkların yapılmasını sağlaması açısından daha çok tercih edilmektedir (Giyik 2016). Afetzedeler yer seçimlerinde arsa ve konut değeri düşük olan köy alanları yerine değişim ve kullanım değeri daha yüksek olan kent merkezlerinden konut edinmeyi tercih etmiş ancak yasal ve teknik sınırlamalar bu taleplerin karşılanmasına büyük ölçüde engel olmuştur.

İç iskân taleplerinin yaklaşık %'5'i kabul edilmiştir. Bunun yanında yer seçiminde iç iskân seçeneğini tercih etmemiş olmalarına rağmen, teknik zorunluluktan dolayı bazı afetzedelerin iç iskana tabi tutularak nakledilmesi söz konusu olmuştur.

Yer seçimlerinin başka bir boyutu da seçilen yerin ekonomik, sosyal ve kültürel ihtiyaçları karşılayabilecek donatı alanlarının, fiziki ve teknik altyapı ile üst yapı imalatlarının tamamlanmış olması ve bu olanaklara erişilebilir bir yer olmasıdır. Van Edremit bölgesinde 2011 depreminden sonra yapılan konut alanlarında dini tesisler ve eğitim tesisleri planlanmış ancak sağlık tesisleri ile sosyal ve kültürel alanlar planlanmamıştır. Bu durum da sağlık hizmetleri için Van kent merkezine gitmek zorunda kalan afetzedeler için ilave maddi gider, zaman kaybı ve ulaşım zorluğu söz konusu olmaktadır. Yeni yerleşimlerin eski yerleşimlere uzak ve sosyo- ekonomik bütünlüğünün olmaması yeni yapılara olan talebi azaltarak, afetzedelerin eski hasarlı konutlarından ayrılımlarını zorlaştırmaktadır.

Yeniden yerleştirmede karşılaşılan başka bir sorun da afete uğramış yerlerde oturan ancak mülk sahibi olamayan kesimin konut hak sahipliği sorunudur. Mülk sahibi olamadıkları için hak sahibi olamayan afetzedeler, eski hasarlı konutları en fazla kullanan kesimdir. Özellikle toplu nakil söz konusu olduğuna hak sahibi olamayan afetzedelerin yeni yerleşimlere taşınması mümkün olmamaktadır. Örneğin; Van Topaktaş Köyü dere yatağında olduğundan ve depremde çok hasar gördüğünden dolayı afete maruz bölge ilan edilerek yapı ve ikamete yasaklanmıştır. Nüfus ve Vatandaşlık İşleri Genel Müdürlüğü Merkezi Nüfus İdare Sistemi (MERNİS) kayıtlarına göre 2011 yılında Topaktaş Köyünde fiilen 89 aile kayıtlı olmasına rağmen, mülkiyet belgelerini ibraz eden 175 aileye hak sahipliği hakkı tanınmış Van-Erzurum karayolu güzergahında 175 adet çelik konstrüksiyon konut ve ahır inşa edilerek 2012 yılı ekim ayında teslim edilmiştir. Buna rağmen eski köyde 15 civarında aile oturmaya devam etmektedir. Öte yandan Topaktaş Köyünde oturmakta iken depremde fiilen kullandıkları konutları hasar gören ve mülkiyet belgesi ibraz edemedikleri için mahalli hak sahipliği tespit komisyonlarınca hak sahipliği talepleri reddedilen 35 afetzede, afete maruz bölge ilan edilen eski köyden tahliye edilmiş, yeni köye de hak sahibi olamadıkları için yerleşemeyince barınma imkanları ortadan kalkmıştır.

Afete uğramış yerlerde mülk sahibi olmayan afetzedelerin konut hak sahibi olarak kabul edilmemesi, 7269 sayılı kanun ve ilgili mevzuatın gerekçesine uygun olarak zenginleşmenin, haksız kazanımın önüne geçilmesi ve ekonomik maliyetler de göz önüne alındığında kamu yararı açısından makul bir tercihtir. Ancak yeniden yerleştirmenin ilkelerinden biri de yerleşimlerin sosyo-ekonomik fiziksel, kültürel vb. gibi yapısal bütünlüklerinin korunmasıdır. Kısmi hak sahipliği uygulaması ile bu bütünlüğü sağlamak olası değildir. Afet mahallinde uzun zamandır yaşadıkları halde birtakım yoksunluklar nedeniyle konut sahibi olamamış afetzedelerin de zaten halihazırda ancak geri ödemeli (faizsiz) kredi sistemiyle edinilmesi mümkün olan afet konutlarından hak sahiplerine yakın/benzer koşullarda yararlanabilmelerine olanak sağlayan düzenlemelere ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. Örneğin 2011 Van depreminde kiracı durumunda oldukları için hak sahibi olamamış ancak depremde birinci derecede yakınlarını kaybeden afetzedelere Valilik kararıyla hak sahipleriyle aynı koşullarda hazır konut tahsis edilmiştir.



Şekil 13: Van depremi genel hayata etkililik sınırı (Van-Özalp Bölgesi)

Yer seçimlerini etkileyen önemli bir konu da afetlerin genel hayata etkililiğine dair kararların kapsamlı inceleme yapılmadan genellikle yerleşimlerin idari sınırlarına göre alınmasıdır. 2011 Van depremlerinde Van-Muradiye ve Van-Özalp bölgelerinde bu bağlamda afetzedelerin mağduriyeti söz konusu olmuştur. Şekil 13'te görüldüğü gibi Van merkezin köyleri ile Özalp'ın Van merkeze yakın köyleri depremden aynı seviyede etkilenmesine rağmen genel hayata etkililik kararı Van, Erciş, Edremit merkez ve köyleri için alınınca Erciş'e komşu ve sınır olan Muradiye ilçesinin hasar gören köyleri ile Van merkeze komşu olan Özalp ilçesinin köyleri herhangi bir yardım alamamıştır. Afete uğramış yerlerde 7269 sayılı kanunun 1. maddesi ve "Afetlerin Genel Hayata Etkililiğine İlişkin Temel Kurallar Hakkında Yönetmeliğe" göre detaylı gözlem ve tespit yapılarak, alt yapı, üst yapı, bina hasarları, can kayıpları, tarımsal ürün ve hayvan kayıpları gibi kriterler çerçevesinde alınmalıdır. Kararlarda hasar gören yerleşimler (mezra, köy, belde, ilçe, İl) düzeyinde spesifik olarak belirtilmeli, afetten etkilenen tüm alanların kararlara dahil edilmesi sağlanmalıdır. Kapsamlı olmayan acele alınan kararlarda yukarıda verilen örnekte olduğu gibi birbirine komşu veya yakın yerleşimlerde afet hasar oranları benzer olmasına rağmen yerleşim yeri sınırı bazlı kararlar nedeniyle, zarar gören bir yerleşim afet yardımı alırken diğer yerleşimde iyileştirme çalışmaları kapsamında; enkaz kaldırma, hasar tespiti geçici, kalıcı barınma hizmetlerinin sunulması, aynı, nakdi sosyal yardımlar ve vergi affı/ötelenmesi gibi afete dayalı yardımlardan yararlanma imkânı ortadan kalkmaktadır.

Van'da yer seçimlerinde karşılaşılan başka bir sorunda afete maruz alanların yapı ve ikamete tamamen kapatılamamasıdır. Afet riski taşıyan alanların afete maruz bölge olarak ilan edilmesine ve söz konusu yerlerde yapı ve ikamet yasaklanmasına rağmen uygulamada afetzedelerin ekonomik, sosyal, kültürel ve benzeri nedenlerle bu tür riskli ve yasaklı alanları kullanmaya devam ettikleri ve dolayısıyla afetlerden zarar gördükleri görülmektedir. Bu konuda Van Başkale Esenyamaç köyü afetzedeleri örnek olarak verilebilir. Anılan köyde 2000-2015 yıllarında meydana gelen sel afetlerinden dolayı yaklaşık 45 aile Van merkeze iç iskân kapsamında taşınarak yeni yapılan konutlara yerleştirilmiştir. Ancak yaz mevsiminde hayvancılık ve tarım amacıyla köye giden afetzedelerin yasaklı alanda bulunan riskli ve hasarlı yapıları kullanma alışkanlıkları devam etmiştir. Sonuçta bahse konu afetzedeler 2021 yılının temmuz ayında aynı köyde meydana gelen sel afetine maruz kalarak büyük zarar görmüştür.

4. Sonuç ve Öneriler

İnsanların gündelik yaşamlarını ve faaliyetlerini durduran, kesintiye uğratan, maddi ve manevi zararlara neden olan doğal, teknolojik ve insan kökenli olaylar olarak tanımlanan afetler toplumsal yaşamı etkilemekte tüm dünyada her yıl büyük çaplı hasar ve can kayıplarına neden olmaktadır.

Türkiye çeşitli afetlerin yaşandığı bir coğrafi konumda ve afet kuşağında yer almaktadır. Van kenti de bu kuşakta yer aldığından; deprem, sel, taşkın, heyelan, kaya düşmesi, çığ ve göl su seviyesinin yükselmesi gibi birçok afete maruz kalmaktadır. Konum, jeolojik yapı, deprem üreten ve potansiyel tektonik yapılar ile meteorolojik koşullar kentin afetselliğini artırmaktadır. Özellikle deprem hasarları bölgede can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Özellikle 2011 tarihli yıkıcı depremlerden sonra kentte büyük çaplı hasar tespiti, yer seçimi ve konut yapımı gündeme gelmiştir.

Afetler kentlerin gelişme odaklarını, yönünü ve eğilimini etkilemektedir. Afet riski kentlerin kapasite kullanma kabiliyetini olumsuz etkilediği gibi, kentleşme politikaları, imar uygulamaları, kentsel tasarım ve yapı stokunun karakterini de belirlemektedir. Afetlerin etkisiyle zamanla bazı kentlerin yeri kısmen hatta tamamen değişebilmektedir. Bu nedenle kentlerin afetselliği, kentsel gelişim, afet risk yönetimi ve doğal afetlerin zararlarının azaltılması gibi birbirini etkileyen kavramlar güvenli yerleşimlerin oluşturulmasında son derece hassas değişkenler olarak ortaya çıkmaktadır (Balyemez ve Berköz 2005).

Yapılı çevrede afetlerin etkili olması ve hasar oranlarının yüksek olmasının öncelikli nedeni, afet riski barındıran alanlarda yer seçilmesi ve uygun olmayan yapı malzemesi ile yapım tekniklerinin kullanılmasıdır. Yaşanan afetler ve deneyim, afet zararlarının sağlam ve doğru zemine sağlam ve uygun yapı yapılmadan önlenemeyeceğini göstermektedir. Yapıların hasar oranının ve zarar görülebilirlik düzeyinin yükselmesi yeni konut ihtiyacını ve daha fazla kaynak kullanımını gerektirmektedir.

Kentlerin mekânsal yapılanması, sektörel gelişim stratejileri, yer seçimi ve kentsel arazi kullanım kararları, güzergâh seçimi, yapı ve nüfus yoğunluğu kararları da afet riski etkisi altında farklı kademedeki plan ve kararlar ile gerçekleştirilmektedir. Risk potansiyeli olan bir yerleşimde; yapılı çevrenin kurgulanması sürecinde tüm bileşenleri kapsayacak şekilde bütünsel yaklaşımla tehlike ve risklerin analiz edilerek tanımlanması, afete maruz ve riskli alanların belirlenmesi, afet risklerini azaltıcı tedbirlerin alınması ile stratejik organizasyon ve planlama sonucunda ortaya çıkacak sağlıklı bir yapılı çevre, kentin afetten zarar görülebilirlik oranını düşürecektir (Erdin vd. 2016).

Afet riskinin en aza indirilmesi için risk ve kriz yönetim süreçlerinde iyileştirme ve yeniden yapılanma kapsamında seçilen müdahale yöntemleri ve konut yapım tekniklerinin (malzeme özellikleri, tasarım, mühendislik uygulamaları) yanında en önemli bileşenlerden biri de yer seçimidir. Kentsel ve kırsal alanlarda başta deprem olmak üzere sel, çığ, heyelan, kaya düşmesi ve diğer afet risklerine maruz kalmayan alanlarda yer seçilmesine dikkat edilmelidir. Van'da 2000-2020 yılları arasında yapılan afet sonrası iyileştirme faaliyetlerinin hız ve etkinlik anlamında değerlendirildiğinde 1999 Marmara depremi öncesine göre belirgin bir iyileşme olduğu, kamu idarelerinin ve afetzedelerin afete hazırlık ve risk yönetimi konusunda görece bilinçlendiği görülmektedir.

Öte yandan yerel yönetimlerce afet risklerini göz önünde bulundurmadan yapılan imar planı ve imar uygulamaları gibi sorunlar güncelliğini korumakta, yanlış arazi kullanım kararları, uygun olmayan alanlara yer seçimleri ve özellikle kırsal alanlarda dere yataklarına konut yapma alışkanlıkları sürmektedir.

Afet riski taşıyan alanların afete maruz bölge olarak ilanıyla birlikte söz konusu yerlerde yapı ve ikametın yasaklanmasına rağmen uygulamada afetzedelerin ekonomik, sosyal, kültürel ve benzeri nedenlerle riskli ve yasaklı alanları kullanmaya devam ettikleri ve dolayısıyla afetlerden zarar gördükleri görülmektedir.

Bu tür sorunların yaşanmaması için Valilik, Kaymakamlık, yerel yönetimler ile sorumlu afet yönetim birimleri tarafından rutin takip ve denetimler yapılarak afete maruz alanlarda yer seçimi, ikamet ve yapılaşmanın önüne geçilmeli, bu konuda etkinliğin ve caydırıcılığın artırılması için yasal müeyyideler uygulanmalıdır.

Yer seçimlerinde, afetsellik, jeolojik, jeomorfolojik yapı, afetzedelerin sosyo-ekonomik yapıları, yasal düzenlemeler gibi faktörler etkilidir. Yer seçimi bütünsel bir yaklaşımla ele alınmalı, seçilecek yer ve yeni yerleşim alanlarının afetzedelerin ihtiyaçlarına cevap verebilecek nitelikte olmalıdır. Afet yapılarının afetzedeler tarafından kabullenilmesi ve sosyal entegrasyonun sağlanmasına çalışılmalıdır.

Yeniden yerleşirmenin ilkelerinden biri de yerleşimlerin sosyo-ekonomik fiziksel, kültürel vb. gibi yapısal bütünlüklerinin korunmasıdır. Kısmi hak sahipliği uygulaması ile bu bütünlüğü sağlamak olası değildir. İç iskân kapsamında afete maruz bölge ilan edilerek tamamen nakledilen yerleşimlerde mülkiyet belgesi nedeniyle hak sahibi olamayan afetzedelerin barınma sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu husus uygulamada da görülmektedir. Afet mahallinde uzun zamandır yaşadıkları halde birtakım yoksunluklar nedeniyle konut sahibi olamamış afetzedelerin de zaten halihazırda ancak geri ödemeli (faizsiz) kredi sistemiyle edinilmesi mümkün olan afet konutlarından hak sahiplerine yakın/benzer koşullarda yararlanabilmelerine olanak sağlayan düzenlemelere ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

Afete maruz kalan alanlarda afet zararlarını en aza indirmek afetlerden zarar gören afetzedelerin tamamına afet yardımı ulaştırmak için genel hayata etkililik kararlarının yerleşimlerin idari sınırlarına göre tespit edilmesi yerine afetlerden etkilenen tüm alanların sayısal haritalarının çıkarılması yöntemiyle afet etkililik tespitleri yapılmalıdır.

Afet sonrası yeniden yapılanmanın sürdürülebilir olması için yer seçimleri uzman kişiler tarafından yapılmalı, bölgenin afetsellik kapasitesine ait güncel ve güvenilir verilere dayalı teknik analizlere ve saha incelemelerine göre hareket edilmelidir.

Teşekkürler

Çalışmada arşiv verilerini paylaşan ve destek sunan AFAD Başkanlığına, Van AFAD İl Müdürlüğüne ve Van Tarım Orman İl Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- AFAD, (2013), *Genelge-AFAD*, <https://www.afad.gov.tr/genelgee>, [Erişim 04 Eylül 2021].
- AFAD, (2014), *Açıklamalı afet yönetimi terimleri sözlüğü*. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>, [Erişim 14 Aralık 2021].
- AFAD, (2015), *Türkiye afet müdahale planı (TAMP)*, <https://www.afad.gov.tr/turkiye-afet-mudahale-plani>, [Erişim 05 Eylül 2021].
- AFAD, (2019), *Türkiye deprem tehlike haritası*. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı. <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>, [Erişim 15 Ağustos 2021].
- AFAD, (2020), *Basın Duyurusu Van'daki İkinci Çığ Altında Kalanlara Müdahale 3*. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı. <https://www.afad.gov.tr/basin-duyurusu---vandaki-ikinci-cig-altinda-kalanlara-mudahale-3>, [Erişim 22.09.2021].
- AFAD, (2021a), *Afet Raporu*, <https://www.afad.gov.tr/afet-raporu---van-depremi> [Erişim 04 Eylül 2021].
- AFAD, (2021 b), *Van Depremi Hakkında*, <https://www.afad.gov.tr/van-depremi-hakkinda> [Erişim 13 Eylül 2021].
- Akkoyunlu M.F., (2021), *Tarihsel depremler ve kullanılan yöntemler*, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, İstanbul, 21, 587-590.
- Akkaya İ., Özkaymak Ç., Köse O., (2002), *Van ve çevresinin depremselliği*, Doğu Anadolu Jeoloji Çalışmayı, Van, Türkiye, ss.20-21.
- Akkaya İ., Köse O., (2002), *Van Gölü havzasında depremsel için periyodik tekrarlanma olasılıkları*, 55.Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 151-152.
- Balyemez S., Berköz L., (2005), *Hasar görebilirlik ve kentsel deprem davranışı*, İTÜ Dergisi/a, 4(1), 3-14.
- Ekinci R., Büyüksaraç A., Ekinci Y.L., Işık E., (2020), *Bitlis ilinin doğal afet çeşitliliğinin değerlendirilmesi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(1), 1-11.
- Erdin H.E., Çelik H.Z., Özcan N.S., Aydın M.B.S., (2016), *Kentlerdeki afet yönetimine ilişkin kurumsal yapılanmanın kent planlama süreci içerisindeki etkisinin ve yerinin irdelenmesi*, Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16), Karabük, Türkiye, ss.2-4.
- Ergünay O., (2007). *Türkiye'nin afet profili*, TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, Türkiye, ss.1-14.
- Erkal T., Değerliyurt M., (2009), *Türkiye'de afet yönetimi*, Doğu Coğrafya Dergisi 14(22), 147-164.
- Giyik C., (2016), *Van ili örneğinde afet sonrası iskân politikaları*, Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye.
- Hoyois P., Below R., Scheuren J.M., Guha-Sapir D., (2007), *Annual disaster statistical review: numbers and trends*, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), School of Public Health, Catholic University of Louvain, Brussels, Belgium.
- Ketin İ., (1977), *Van Gölü ile İran Sınırı arasındaki bölgede yapılan jeoloji gözlemlerinin sonuçları hakkında kısa bir açıklama*, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 20(2), 79-85.

- Köse O., Özkaymak Ç., (2002), *Van şehri kuzeyi genç göl çökellerinde aktif tektonik bulgular*, ATAG-6 Aktif Tektonik Araştırma Grubu Altıncı Toplantısı Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, Türkiye, ss.64-65.
- Knappett J.A., Craig R.F., (2012), *Craig's soil mechanics* (8th ed. bas.), Oxon: Spon Press, Abingdon. ss.101.
- Özey R., (2006), *Afetler Coğrafyası*. Aktif Yayınevi, İstanbul, ss.214.
- Özşahin E., (2013), Türkiye’de Yaşanmış (1970–2012) Doğal afetler üzerine bir değerlendirme, <http://www.tdmd.org.tr/TR/Genel/pdf/TDMSK046.pdf>, [Erişim 21 Eylül 2021].
- Özvan A., Akkaya İ., Tapan M., Şengül M.A., (2005), *Van yerleşkesinin deprem tehlikesi ve olası bir depremin sonuçları*, Kocaeli Deprem Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye, ss.1386-1393.
- Durduran S., Geymen A., (2008), *Türkiye’de afet bilgi sistemi çalışmalarının genel bir değerlendirilmesi*, Erciyes Üniversitesi 2. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Kayseri, Türkiye, ss.1-9.
- Tercan B., (2008), *Afet bölgelerinde yeniden yerleştirme ve iskân politikaları: Doğubayazıt afetzede yerleşim alanları uygulama örneği*, Yayımlanmamış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Tercan B., (2020), *Relocation and resettlement policies on disaster prone areas: the case of Dogubayazit earthquake*, Turkish Journal of Earthquake Research, 2(1), 76-91.
- Türkoğlu N., (1997), *Türkiye’nin yüzölçümü ve nüfusunun deprem bölgelerine göre dağılışı*. http://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/tucaum8_7.pdf, [Erişim 20 Eylül 2021].
- TÜİK, (2021), *Türkiye hane halkı büyüklükleri*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Aile-2020-37251>, [Erişim 06 Eylül 2021].
- URL-1, (2021), *25 Haziran 2020 Örenburç-Saray-Van Depremi Basın Bülteni*. B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve DAE. Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wp-content/uploads/2020/06/25_Haziran_2020_Saray_Van_Depremi.pdf, [Erişim 14 Aralık 2021].
- URL-2, (2021), *Umumi Hayata Müessir Afetler Dolayısıyla Alınacak Tedbirlerle Yapılacak Yardımlara Dair Kanun*, Resmi Gazete Tarih: 25.05.1959, Sayı: 10213, <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.3.7269.pdf>, [Erişim 09 Eylül 2021].
- URL-3, (2021), *Afetlerin Genel Hayata Etkililiğine İlişkin Temel Kurallar Hakkında Yönetmelik*, Resmi Gazete Tarih: 13.10.1336-1920, Sayı: 13007, Yönetmelik No 130067. <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/13007.pdf>, [Erişim 19 Eylül 2021].
- Utkucu M., (2013), *23 October 2011 Van, Eastern Anatolia, earthquake (MW 7.1) and seismotectonics of Lake Van area*, Journal of seismology, 17(2), 783-805.
- Van AFAD, (2021a), *İl planları*, Van İl Afet ve acil durum Müdürlüğü, <https://van.afad.gov.tr/il-planlari>, [Erişim 25 Şubat 2022].
- Van AFAD, (2021b), *İl planları*, Van İl Afet ve acil durum Müdürlüğü, <https://van.afad.gov.tr/il-planlari>, [Erişim 30 Mart 2022].
- Yıldız Z., Deniz O., (2005), *Deniz kapalı havza göllerinde seviye değişimlerinin kıyı yerleşmelerine etkisi Van gölü örneği*, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 15(1), 15-31.

Büyük Melen Çayı'nda (Düzce) Günlük Yağışlarla Akım İlişkisinin Analizi

Mücahit Coşkun¹, Cemil İrdem^{1*}

¹Karabük Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 78050, Karabük.

Özet

Bu çalışmada Büyük Melen Çayı (Düzce) günlük akım değerleri ile günlük toplam yağışlar ve günlük yağış şiddeti arasındaki ilişkilerin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Gerek İstanbul'un içme suyu ihtiyacını karşılamadaki önemi gerekse 2019 yılında olduğu gibi sel/taşkın felaketi oluşturma potansiyeli değerlendirdiğinde, Büyük Melen Çayı'nın akım değerlerindeki günlük değişimlerin analiz edilmesi yararlı görülmüştür. Çalışmada veri seti olarak Akçakoca günlük yağış verileri ve Uğurluköy akım gözlem istasyonu günlük akım verileri kullanılmıştır. Akım verilerindeki eksikler Beyler akım gözlem istasyonu verileri kullanılarak regresyon analizi ile tamamlanmıştır. Çalışmada yöntem olarak öncelikle günlük toplam yağışlarla günlük akım verileri arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon analiziyle hesaplanmıştır. Daha sonra günlük toplam yağışlar hafif, normal, orta şiddette, şiddetli ve çok şiddetli yağış şeklinde sınıflandırılmış, her bir yağış şiddeti basamağı için günlük akım değerlerinin bir önceki günden sapma değerleri yüzde olarak belirlenmiştir. Dönem ortalaması için tüm aylarda günlük toplam yağışlarla akım değerleri arasında pozitif korelasyon söz konusudur. Korelasyon katsayıları 0,44 ile ocak, ekim ve aralıkta en yüksek iken en düşük korelasyon katsayısı 0,15 ile mayıstadır. Yağış şiddeti basamaklarına göre günlük toplam yağışların akım üzerinde hafif yağışlar için %5,8, normal yağışlar için %35,2, orta şiddette yağışlar için %66,8, şiddetli yağışlar için %168,1, çok şiddetli yağışların için ise %52,5 oranında pozitif etkisi görülmüştür.

Anahtar Sözcükler

Büyük Melen Çayı, Yağış Şiddeti, Akım

Analysis of Daily Precipitation and Flow Relationship in Büyük Melen Stream (Düzce)

Abstract

This study, it is aimed to analyze the relations between the daily streamflow of Büyük Melen Stream (Düzce) and daily total precipitation and daily precipitation intensity. Considering the importance of Istanbul in meeting the drinking water needs and the potential to create a flood disaster as in 2019, it was found useful to analyze the daily changes in the flow values of the Büyük Melen Stream. Akçakoca daily precipitation data and Uğurluköy streamflow gauge station daily streamflow data were used as data set in the study. The deficiencies in the streamflow data were completed by regression analysis using Beyler streamflow gauge station data. As a method in the study, firstly, the relationships between daily total precipitation and daily flow data were calculated by Pearson correlation analysis. Then, the total daily precipitation was classified as light, normal, moderate, heavy, and very heavy precipitation. Deviation of daily flow values from the previous day for each precipitation intensity class was determined as a percentage. There is a positive correlation between daily total precipitation and flow values in all months for the period average. While the correlation coefficients are highest in January, October, and December with 0.44, the lowest correlation coefficient is in May with 0.15. According to the precipitation intensity classes, the positive effect of the daily total precipitation on the flow was determined as 5.8% for light precipitation, 35.2% for normal precipitation, 66.8% for moderate precipitation, 168.1% for heavy precipitation, and 52.5% for very heavy rains.

Keywords

Büyük Melen Stream, Precipitation Intensity, Streamflow

1. Giriş

Su temini, taşkın kontrolü, sulama, drenaj, enerji üretimi, su kalitesi, rekreasyon, balıkçılık, doğal yaşam vb. için doğru bir planlama adına yağış-akış ilişkisinin ortaya koyulması önemlidir (Parmar vd. 2016). Bir havzadaki yağış ve akış ilişkisi havzanın hidrolojik durumunu ve iklim değişikliğine karşı davranışını saptamada etkili olabilmektedir (Arnell 1999; Palta vd. 2019).

Akım üzerinde jeolojik yapı, jeomorfolojik özellikler, toprak tipi, arazi kullanımı vb. faktörlerin ayrı ayrı etkileri olduğu bilinse de günlük yağış şiddetinin etkisi de göz ardı edilmemelidir. Diğer taraftan bir havzaya düşen yağışın bazı durumlarda gecikmeli olarak akıma katılabileceği de bilinmektedir. Örneğin kar şeklinde yağışların akıma katılması gecikmeli olarak gerçekleşmektedir.

Yine yer atı suyuna katılan yağışın da akımı desteklemesi gecikmeli olarak kendini göstermektedir. Bu gecikmeleri daha iyi görebilmek açısından günlük toplam yağışlar ve yağış şiddeti basamakları ile akım ilişkilerinin ortaya koyulması önemlidir.

Sel/taşkın olaylarıyla yağış şiddeti arasında yakın ilişki bulunmaktadır. Türkiye'de 1975-2015 yılları arasında 1209 taşkın olayı yaşanmış, bu taşkınlarda 720 kişi yaşamını yitirirken 893933 hektarlık alan su altında kalmıştır (URL-1 2021). Sel ve taşkın kavramları bazen birbirinin yerine kullanılabilmekte ve anlam karmaşasına neden olabilmektedir. Taşkın, bir akarsuyun çeşitli sebeplerle yatağından taşması veya şehir kanalizasyon şebekelerinden kaynaklananlar hariç olmak üzere normal şartlar altında kuru olan bir alanın geçici olarak sularla kaplanmasıdır (URL-2 2016). Sel ise genellikle şiddetli yağışlardan sonra yan derelerden aniden gelen ve fazla miktarda katı materyal içeren büyük su kütlesidir (Görcelioğlu 2003).

Türkiye'de yağış-akım ilişkilerini farklı havzalarda farklı yöntemlerle ele alan çalışmalar bulunmaktadır. Alp ve Cığızoğlu (2004), Farklı yapay sinir ağı metotları ile yağış-akış ilişkisinin modellenmesine yönelik çalışmalarında su kaynakları uygulamalarında sıkça kullanılan İleri Beslemeli Geri Yayınım Sinir Ağı (İBGY) ile son zamanlarda uygulanmaya başlanan genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRSA) yöntemi bu problem için uygulanmış ve elde edilen sonuçlar seçilen performans kriterleri açısından karşılaştırılmıştır. Özfidaner (2007), Türkiye'de bulunan yağış gözlem istasyonlarına ait aylık ve yıllık toplam yağış verilerinin istatistiksel anlamda eğilimlerini Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesi için incelemiş ve elde edilen sonuçları bölgesel ölçekte daha önce bölgesel trend analizi yapılmış akım verileri sonuçları ile kıyaslamıştır. Gümüş vd. (2011), Orta Fırat Havzasında bulunan 2157 numaralı akım gözlem istasyonuna ait aylık ortalama akım verileri ile 17204 numaralı yağış gözlem istasyonuna ait aylık toplam yağış verileri arasındaki ilişkiyi yapay sinir ağları metotlarından İleri Beslemeli Geri Yayınım Sinir Ağı (İBGYSA), Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağı (GRYSA) ve Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (RTYSA) ile araştırmış ve ardından elde ettikleri sonuçları daha klasik bir yöntem olan Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Akım ve yağış verilerinin girdi olarak kullanıldığı çalışmada yeni akım değerleri tahmin edilmiştir. Usta (2011), Doğu Karadeniz için akım verilerini kullanarak yağışı tahmin etmek istemiştir. Bu amaçla, öncelikle akım istasyonlarına ait debi süreklilik eğrileri çizilmiş, ortalama, %50 ve %95 olasılığına ait aylık akım değerleri çıkartılmış ve akım haritaları üretilmiştir. Yağış gözlem istasyonları, akım gözlem istasyonları gibi düşünülerek çıkartılan yağış gözlem havzalarına ait %50, %95 olasılık ve ortalama akım değerleri önceden üretilmiş olan akım haritalarından belirlenmiştir. Belirlenen akım değerleri ile bu yağış gözlem istasyonlarında ölçülmüş yağış verileri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Tağıl ve Danacıoğlu (2012), Zeytinli Çayı Havzası'nda yağış-akım ilişkisini inceledikleri çalışmalarında, havzaların yağış toplamaları ile akımlarının istatistiksel özelliklerinin, sel ve kuraklık üreten süreçler ve olasılıkları hakkında bilgi vermesi açısından önemli olduğunu vurguladıkları çalışmalarında, Zeytinli Çayı'na ait 1979-2008 yıllarına ait akım değerleri ve aynı dönemi kapsayan aylık ve yıllık yağış verilerini analiz etmişlerdir. Tağıl ve Alevkayalı (2014), Isparta ilindeki Eğirdir Gölü'ne dökülen Pupa Hoyran ve Gelendost derelerindeki akım trendini ortaya koyarak; trend üzerinde aylık ve yıllık toplam yağışların etkisini belirlemek istemişlerdir. Yüce ve Ercan (2015); Kızılırmak Havzası'nda yağış-akış ilişkisinin belirlenmesi için yaptıkları çalışmalarında Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve ArcGIS'in hidrolojik bir araç seti olan ArcHydro kullanılarak Kızılırmak Nehri Havza sınırlarını belirlemiştir. Mevcut akım gözlem istasyonları (AGİ) havza çıkışı noktaları kabul edilerek alt havza sınırları oluşturulmuştur. Havza ve yakınında yer alan yağış istasyonlarının her biri bir Thiessen çokgeninin içinde kalacak şekilde etki alanları tespit edilmiştir. Her bir alt havzanın hesaplanan yağış-akış katsayısına bağlı olarak Kızılırmak Havzası'nın akış katsayısı bulunmuştur. Supriya vd. (2015) taşkınların tahminin etkilerini azaltmak açısından büyük önem taşıdığını ifade etmişlerdir. Bu amaçla çalışmalarında, Hindistan'ın Tamil Nadu eyaletinde bir nehir olan Vellar nehir havzasının ilgili havzalarının taşkın olayları için ağırlıklı maksimum yağış ve maksimum akış akışı arasında regresyon analizi yapmışlardır. Palta vd. (2019), Göksu Nehri Havzasının yağış-akış ilişkilerini inceledikleri çalışmalarında akış değerlerini, havzanın ortasına yakın bir noktada seçilen bir akım gözlem istasyonu ile havzanın çıkış noktasına yakın bir noktada seçilen bir akım gözlem istasyonunun 2005 yılından 2014 yılına kadar olana günlük debi değerlerini kullanmışlardır. Öncelikle akım gözlem istasyonlarının su toplama alanları da dikkate alınarak debi değerleri su verimi değerlerine dönüştürülmüştür. Böylelikle mm cinsinden su verimi değerleri, mm biriminde ifade edilen yağış değerleri ile aynı birim cinsinden karşılaştırılmıştır. Analizde günlük su verimleri aylar ve mevsimler bazında değerlendirilmiştir. Diğer bir deyişle her ay ve mevsime ait uzun dönemli akış ve yağış verilerinin trend analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada 1996-2015 döneminde Büyük Melen Çayı (Düzce) günlük akım değerleri ile günlük toplam yağışlar arasındaki ilişkilerin istatistik analizi amaçlanmıştır. Yapılan literatür taramasına göre Türkiye'de günlük yağış şiddeti ile akım arasındaki ilişkilerin ortaya koyulduğu bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bağlamda yapılan bu çalışmanın literatüre katkı sunması beklenmektedir.

Büyük Melen Çayı'nın sularının Büyük Melen Projesi ile İstanbul'un içme suyu ihtiyacının önemli ölçüde karşılaması beklenmektedir ve proje kapsamında 2012 yılından itibaren İstanbul'a su transferi başlamıştır. Diğer taraftan Büyük Melen Çayı'na zaman zaman şiddetli yağışlara bağlı olarak yatağının taşıyabileceğinden fazla su girişi olabilmekte ve bunun sonucunda da sel/taşkın felaketleri yaşanabilmektedir. Bunun yakın tarihte görülen en acı örneği 17-18 Temmuz 2019 tarihinde meydana gelen sel/taşkın felaketidir. Bu olayda 7 kişi hayatını kaybetmiş, yanı sıra önemli ekonomik zararlar da meydana gelmiştir. Gerek içme suyu potansiyeli gerekse sel/taşkın felaketi oluşturma potansiyeli değerlendirdiğinde Büyük Melen Çayı'nın akım değerlerindeki günlük değişimlerin analiz edilmesi yararlı görülmüştür.

Çalışmada akım kavramı bir noktadan birim zamanda geçen suyu ifade eden “debi” yerine kullanılmıştır ve m³/s olarak ele alınmıştır. Akım-yağış analizlerinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Akçakoca meteoroloji istasyonunun günlük yağış verileri kullanılmıştır. Ayrıca grafikler yorumlanırken Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Akçakoca meteoroloji istasyonunun aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verilerinden yararlanılmış, uzun yıllar ortalamaları ile dikkat çekici korelasyonların tespit edildiği yıllar arasında yapılan karşılaştırmalar bu istasyon baz alınarak yapılmıştır.

Analizlerde ilk olarak günlük toplam yağışlarla günlük akım verileri arasındaki istatistik ilişkileri belirlemek amacıyla özellikle sosyal bilimler alanında istatistik analizlerde yaygın olarak kullanılan SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) 2021 paket programı kullanılarak Pearson korelasyon analizi yapılmıştır.

Pearson Korelasyon Katsayısı r ile gösterilir. X ve Y herhangi iki değişken, $i = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere (x_i, y_i) nokta ikilisi bu değişkenlere göre i .nci birimin ölçüm değeri olsun. Bu takdirde X ve Y arasındaki Pearson Korelasyon Katsayısı:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}} \quad (1)$$

eşitliği ile bulunur. Pearson Korelasyon analizinde korelasyon katsayısı (r) “-1 ile +1” arasında değer alır. “-1” değeri değişkenler arasında mükemmel bir negatif korelasyonun olduğunu, “+1” ise değişkenler arasında mükemmel bir pozitif korelasyonu olduğunu belirtir. “0” olması ise değişkenler arasında herhangi bir ilişkinin olmadığını ifade etmektedir. Korelasyon katsayısının pozitif olması durumu; değişkenlerden biri artarken diğerinin de arttığı, negatif olması durumu; değişkenlerden biri artarken diğerinin azaldığı anlamına gelmektedir (Sungur 2010).

Korelasyon analizinde ilişkilerin yorumu şöyledir (Yalçın 2020):



Şekil 3: Korelasyon analizinin yorumu

Değişkenler arasındaki ilişkisinin derecesi ise korelasyon katsayısının (r) almış olduğu değer ile ifade edilmektedir. Buna göre; $r = 0,10 - 0,29$ arasında değer alıyorsa “küçük”, $0,30 - 0,49$ arasında değer alıyorsa “orta”, $0,50 - 1,00$ arasında değer alıyorsa “büyük” şeklinde ifade edilir (Pallant 2017). Örneklemde elde edilen korelasyon katsayısı olan r , kitle korelasyon katsayısı olan ρ ’nun bir tahminidir ve bu tahmin örnekleme değişimine bağlıdır. Bu nedenle elde edilen katsayının anlamlılığı test edildikten sonra, eğer katsayı istatistiksel olarak anlamlı bulundu ise katsayının değeri yorumlanmaktadır (Suner Karaakulah 2021). Çalışmada elde edilen korelasyon katsayılarının $0,95$ ve $0,99$ güven düzeyinde anlamlılıkları tespit edilmiş, sonuçlardaki aylar arası farklılıklar değerlendirilmiştir.

Sonraki aşamada günlük toplam yağış verileri, Erlat (1997) ve Erlat (2000) tarafından ifade edilen şekliyle; Tablo 1’de gösterildiği gibi sınıflandırılmış, her bir yağış şiddeti basamağı için günlük akım değerlerinin bir önceki günden sapma değerleri yüzde olarak belirlenmiştir.

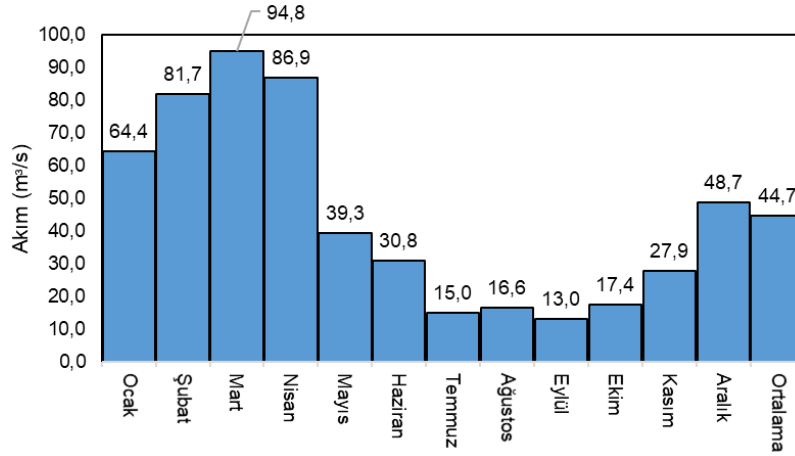
Tablo 1: Çalışmada kullanılan yağış şiddeti basamakları

Günlük yağış toplamı	Yağış şiddeti basamağı
Günlük toplam yağış ≤ 10.0 mm	Hafif yağışlar
$10.0 < \text{günlük toplam yağış} \leq 25.0$ mm	Normal yağışlar
$25.0 < \text{günlük toplam yağış} \leq 50.0$ mm	Orta şiddette yağışlar
$50.0 < \text{günlük toplam yağış} \leq 100.0$ mm	Şiddetli yağışlar
Günlük toplam yağış > 100.0 mm	Çok şiddetli yağışlar

3. Bulgular

3.1. Günlük Toplam Yağışlarla Akım Arasındaki İlişkiler

Şekil 2’de görüldüğü gibi, Büyük Melen Çayı’nda ortalama akım $44,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ’dir. En yüksek akım mart ayında, en düşük akımın ise eylülde. En yüksek akım değerlerine mart-nisan aylarında erişilmesi, akım üzerinde kar erimelerinin etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 2: Büyük Melen Çayı 1996-2015 dönemi akım grafiği

Şekil 4'te ve Tablo 2'de görüldüğü gibi, ocak ayı, ekim ve aralık aylarıyla birlikte günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyonun en yüksek olduğu aydır. 1996-2015 dönemi için elde edilen korelasyon katsayısı ocak aylarının ortalamasına göre 0,40'tır. Analiz edilen 19 yılın 7'sinde 0,99; 2'sinde de 0,95 güven düzeyinde olmak üzere 9 yıl için elde edilen korelasyon katsayıları istatistik açıdan anlamlıdır. En yüksek pozitif korelasyon 0,89 ile 1999 yılında, en güçlü negatif korelasyon ise -0,31 ile 2013 yılındadır. En düşük korelasyon katsayısı ise -0,08 ile 2001 yılına aittir. Negatif korelasyonun en belirgin olduğu 2013 yılında 7,2 °C olan ocak ortalama sıcaklığı, 5,3 °C olan uzun yıllar ortalamasının oldukça üzerindedir. Düşük sıcaklıklara bağlı olarak özellikle havzanın yüksek kesimlerinde kar şeklinde düşen yağışların doğrudan akışa geçememesi negatif korelasyonun sebeplerinden biri olabilir. Diğer taraftan 2013 yılı ocak ayında akım ortalaması uzun yıllar ortalamasına çok yakın iken (uzun yıllar ortalaması 64,4 m³/s iken 2013 yılında gerçekleşen 63,5 m³/s) gerçekleşen toplam yağış uzun yıllar ortalamasından oldukça fazladır (uzun yıllar ortalaması 120 mm iken 2013 yılında gerçekleşen 174 mm). 2013 yılında 18 gün yağışlı geçmiştir. Ancak o ayki toplam yağışın yarıdan fazlası 9-11 Ocak arası 3 günlük döneme sıkışmış, bu da akımla olan korelasyonun yapısını bozmuştur.

Şekil 4 ve Tablo 2 incelendiğinde, şubat ayında günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyon katsayısının 0,32 olduğu görülmektedir. Analiz edilen 19 yılın 5'inde 0,99; 2'sinde de 0,95 güven düzeyinde olmak üzere 7 yıl için elde edilen korelasyon katsayıları istatistik açıdan anlamlıdır. En yüksek pozitif korelasyon 0,84 ile 2009 yılında, en güçlü negatif korelasyon ise -0,40 ile 1997 yılındadır. En düşük korelasyon katsayısı ise 0,01 ile 2006 yılına aittir. 1997, 2004 ve 2015 yıllarında negatif korelasyon dikkati çekmektedir. Negatif korelasyonun en belirgin olduğu 1997 yılı şubatında ortalama sıcaklıklar düşük seyretmiştir. 3,9 °C olan 1997 yılı şubat ortalama sıcaklığı 5,5 °C olan uzun yıllar ortalamasının epeyce altındadır. Bu da muhtemelen yağış biçimini etkilemiş ve yağışın akıma geçmesinde gecikmelere neden olarak korelasyonu negatife döndürmüştür.

Şekil 4 ve Tablo 2, mart ayında günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyon katsayısının 0,33 olduğunu göstermektedir. Analiz edilen 19 yılın 3'ünde 0,99 düzeyi için elde edilen korelasyon katsayıları istatistik açıdan anlamlıdır. En yüksek pozitif korelasyon 0,77 ile 2014 yılında, en güçlü negatif korelasyon ise -0,19 ile 2011 yılındadır. En düşük korelasyon katsayısı ise -0,04 ile 2003 yılına aittir. Negatif korelasyonun en belirgin olduğu 2011 yılı martında ortalama sıcaklıklar düşük seyretmiştir. 4,6 °C olan 2011 yılı mart ortalama sıcaklığı 6,9 °C olan uzun yıllar ortalamasının oldukça altındadır. Diğer taraftan 2011 yılı mart ayı akım ortalaması uzun yıllar ortalamasına çok yakın olmasına karşın (uzun yıllar ortalaması 94,7 m³/s iken 2011 yılında gerçekleşen 90,5 m³/s), yağış toplamı uzun yıllar ortalamasının epeyce üzerindedir (uzun yıllar ortalaması 82,8 mm iken 2011 yılında gerçekleşen 139,4 mm). Bu da muhtemelen şubat ayı için 1997 yılında olduğu gibi düşük sıcaklıkların yağış biçimini etkilemesi ve yağışın akıma geçmesinde meydana gelen gecikmelere işaret etmektedir.

Şekil 4'te ve Tablo 2'de görüldüğü üzere, Nisan ayında günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyon katsayısı 0,30'dur. Analiz edilen 19 yılın 3'ünde 0,99; 2'sinde de 0,95 güven düzeyinde olmak üzere 5 yıl için elde edilen korelasyon katsayıları istatistik açıdan anlamlıdır. En yüksek pozitif korelasyon 0,83 ile 2001 yılında, en güçlü negatif korelasyon ise -0,97 ile 2006 yılındadır. En düşük korelasyon katsayısı ise 0,09 ile 2010 yılına aittir. Korelasyonun 0,99 güven düzeyinde negatif yönde anlamlı olduğu 2006 yılında yağışın son derece düşük gerçekleşmiş olması (uzun yıllar ortalaması 59,7 mm iken 2006 yılı nisanında gerçekleşen 4,3 mm), her ne kadar akımda ciddi düşüşe neden olsa da (uzun yıllar ortalaması 86,9 m³/s iken 2006 yılında gerçekleşen 50,7 m³/s), güçlü negatif korelasyonun nedeni olarak görülmektedir.

Şekil 4'ten ve Tablo 2'den anlaşıldığı gibi, mayıs ayı, günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyonun en düşük olduğu aydır. Bu ayda günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyon katsayısı 0,17'dir. Analiz edilen 19 yılın 1'inde 0,99; 1'inde de 0,95 güven düzeyinde olmak üzere 2 yıl için elde edilen korelasyon katsayıları istatistik açıdan anlamlıdır. En yüksek pozitif korelasyon 0,76 ile 2010 yılında, en güçlü negatif korelasyon ise -0,59 ile 2000 yılındadır.

En düşük korelasyon katsayısı ise -0,05 ile 2007 yılına aittir. 1996-2015 arası dönemde 6 yılda negatif korelasyon tespit edilmiş olması dikkat çekicidir. Negatif korelasyonun en belirgin olduğu 2000 yılı mayısında düşen toplam yağış, ortalamaya çok yakın iken (uzun yıllar ortalaması 52,5 mm iken 2000 yılı nisanında gerçekleşen 51,8 mm), gerçekleşen akım ortalamanın oldukça üzerindedir (uzun yıllar ortalaması 39,2 m³/s iken 2000 yılında gerçekleşen 60,8 m³/s). Bu durum akım üzerinde olasılıkla kar erimelerinin etkisini yansıtmaktadır.

Şekil 4'te ve Tablo 2'de görüldüğü gibi, haziran ayında günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyon katsayısı 0,32'dir. Analiz edilen 19 yılın 1'inde 0,99; 5'inde de 0,95 güven düzeyinde olmak üzere 6 yıl için elde edilen korelasyon katsayıları istatistik açıdan anlamlıdır. En yüksek pozitif korelasyon 0,85 ile 2007 yılında, en güçlü negatif korelasyon ise -0,39 ile 2001 yılındadır. En düşük korelasyon katsayısı ise -0,09 ile 2013 yılına aittir. 1996-2015 arası dönemde 7 yılda negatif korelasyon tespit edilmiştir. Ancak bunların hiçbirisi istatistik açıdan anlamlı değildir ve korelasyon katsayıları da düşüktür.

Şekil 4 ve Tablo 2 incelendiğinde, temmuz ayında günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyon katsayısının 0,32 olduğu görülmektedir. Analiz edilen 19 yılın 1'inde 0,99; 1'inde de 0,95 güven düzeyinde olmak üzere 2 yıl için elde edilen korelasyon katsayıları istatistik açıdan anlamlıdır. En yüksek pozitif korelasyon 1,00 ile 2006 yılında, en güçlü negatif korelasyon ise -0,59 ile 2004 yılındadır. En düşük korelasyon katsayısı ise 0,07 ile 2010 yılına aittir. Negatif korelasyonun en belirgin olduğu 2004 yılı temmuz ayında akım ortalaması uzun yıllar ortalamasına yakın olmasına karşın (uzun yıllar ortalaması 14,9 m³/s iken 2004 yılında gerçekleşen 11,7 m³/s), yağış toplamı uzun yıllar ortalamasının oldukça altındadır (uzun yıllar ortalaması 72,9 mm iken 2004 yılında gerçekleşen 16,9 mm). Yağıştaki bu yüksek değişkenliğin akımda aynı ölçüde gerçekleşmemesi negatif korelasyonu açıklamaktadır. 2004 yılı temmuz ayında ortalama sıcaklığın uzun yıllar ortalamasının biraz altında gerçekleşmiş olması (uzun yıllar ortalaması 21,8 °C iken 2004 yılında gerçekleşen 20,6 °C) ve buna bağlı olarak da buharlaşmadaki azalma, akımın yağış kadar düşmemesinin bir diğer nedeni olarak ifade edilebilir.

Şekil 4 ve Tablo 2, ağustos ayı için günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyon katsayısının 0,35 olduğunu göstermektedir. Analiz edilen 19 yılın 1'inde 0,99; 1'inde de 0,95 güven düzeyinde olmak üzere 2 yıl için elde edilen korelasyon katsayıları istatistik açıdan anlamlıdır. En yüksek pozitif korelasyon 0,83 ile 2006 yılında, en güçlü negatif korelasyon ise -0,84 ile 2013 yılındadır. En düşük korelasyon katsayısı ise 0,02 ile 2008 yılına aittir. Negatif korelasyonun en belirgin olduğu 2013 yılı ağustos ayında akım ortalaması uzun yıllar ortalamasının çok altında olmasına karşın (uzun yıllar ortalaması 16,5 m³/s iken 2013 yılında gerçekleşen 5,0 m³/s), yağış toplamı uzun yıllar ortalamasının çok çok üzerindedir (uzun yıllar ortalaması 79,0 mm iken 2004 yılında gerçekleşen 263,7 mm). 2013 yılı ağustos ayında ortalama sıcaklığın uzun yıllar ortalamasının üzerinde gerçekleşmiş olması (uzun yıllar ortalaması 21,7 °C iken 2013 yılında gerçekleşen 23,4 °C) ve buna bağlı olarak da buharlaşmadaki artış, yağış artsa bile akımda düşme gerçekleşmesinin bir nedeni olarak da ifade edilebilir.

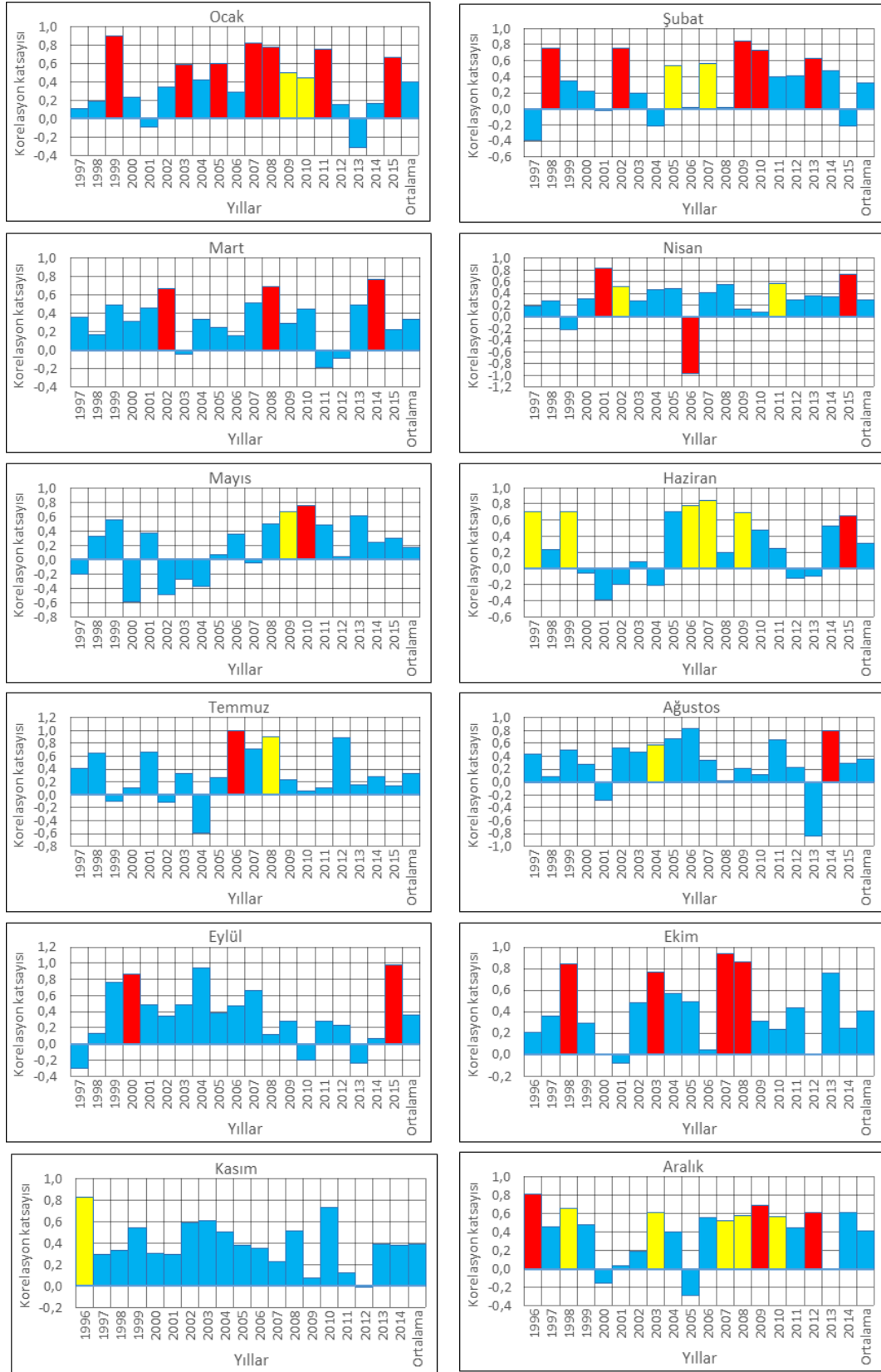
Şekil 4'te ve Tablo 2'de görüldüğü üzere, eylül ayı için günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyon katsayısı 0,35'tir. Analiz edilen 19 yılın 2'sinde elde edilen korelasyon katsayıları 0,99 güven düzeyinde anlamlıdır. En yüksek pozitif korelasyon 0,97 ile 2015 yılında, en güçlü negatif korelasyon ise -0,30 ile 1997 yılındadır. En düşük korelasyon katsayısı ise 0,07 ile 2014 yılına aittir. Negatif korelasyonun en belirgin olduğu 1997 yılı eylül ayında akım ortalaması uzun yıllar ortalamasının çok üzerinde olmasına karşın (uzun yıllar ortalaması 12,9 m³/s iken 1997 yılında gerçekleşen 25,4 m³/s), yağış toplamı uzun yıllar ortalamasının çok çok altındadır (uzun yıllar ortalaması 93,5 mm iken 1997 yılında gerçekleşen 28,1 mm). 1997 yılı eylül ayında ortalama sıcaklığın uzun yıllar ortalamasının önemli ölçüde altında gerçekleşmiş olması (uzun yıllar ortalaması 18,1 °C iken 1997 yılında gerçekleşen 15,7 °C) ve buna bağlı olarak da buharlaşmadaki azalma, yağış azalsa bile akımda artış gerçekleşmesinin nedeni olarak görülmektedir.

Şekil 4'ten ve Tablo 2'den anlaşıldığı gibi, ekim ayı, ocak ve aralık aylarıyla birlikte günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyonun en yüksek olduğu aydır. Ekim ayı için günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyon katsayısı 0,41'dir. Analiz edilen 19 yılın 4'ünden elde edilen korelasyon katsayıları 0,99 güven düzeyinde anlamlıdır. En yüksek pozitif korelasyon 0,94 ile 2007 yılında, en güçlü negatif korelasyon ise -0,08 ile 2001 yılındadır. En düşük korelasyon katsayısı ise 0,05 ile 2005 yılına aittir. Ekim ayı akımla günlük toplam yağışlar arasındaki korelasyonun büyük ölçüde pozitif olduğu bir ay olarak dikkati çekmektedir.

Şekil 4'te ve Tablo 2'de görüldüğü gibi, kasım ayı için günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyon katsayısı 0,39'dur. Analiz edilen 19 yıldan sadece 1996 yılı için elde edilen korelasyon katsayısı 0,95 güven düzeyinde anlamlıdır. En yüksek pozitif korelasyon 0,83 ile 1996 yılındadır. Tek negatif korelasyon, aynı zamanda inceleme döneminde en düşük korelasyon, 2012 yılındadır ve -0,01'dir. Kasım ayı, akımla günlük toplam yağışlar arasındaki korelasyonun 2012 yılı dışında pozitif olduğu bir ay olarak görülmektedir.

Şekil 4 ve Tablo incelendiğinde, aralık ayı, ocak ve ekim aylarıyla birlikte günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyonun en yüksek olduğu ay olduğu dikkati çekmektedir. Aralık ayı için günlük toplam yağışlarla akım arasındaki korelasyon katsayısı 0,41'dir. Analiz edilen 19 yılın 3'ünde 0,99; 5'inde de 0,95 güven düzeyinde olmak üzere 8 yıl için elde edilen korelasyon katsayıları istatistik açıdan anlamlıdır. En yüksek pozitif korelasyon 0,81 ile 1996 yılında, en güçlü negatif korelasyon ise -0,28 ile 2005 yılındadır. En düşük korelasyon katsayısı ise -0,01 ile 2013 yılına aittir. Negatif korelasyonun en belirgin olduğu 2005 yılı aralık ayında akım ortalaması uzun yıllar ortalamasının üzerinde olmasına karşın (uzun yıllar ortalaması 48,7 m³/s iken 2005 yılında gerçekleşen 65,6 m³/s), yağış toplamı uzun yıllar ortalamasının altındadır (uzun yıllar ortalaması 134,2 mm iken 2005 yılında gerçekleşen 120,8 mm).

2005 yılı aralık ayında ortalama sıcaklığın uzun yıllar ortalamasının üzerinde gerçekleşmiş olması (uzun yıllar ortalaması 7,5 °C iken 2005 yılında gerçekleşen 8,3 °C) ve buna bağlı olarak da kar şeklinde yağışlarda azalma, yağış uzun yıllar ortalamasına göre azalsa bile akımda artış gerçekleşmesinin nedeni olarak görülmektedir.



Şekil 4: Büyük Melen Çayı'nda aralık ayında günlük toplam yağışlarla akım arasındaki ilişkiler (0,95 güven düzeyinde anlamlı ilişki olan aylar sarı ile 0,99 güven düzeyinde anlamlı ilişki olan aylar ise kırmızı ile renklendirilmiştir)

Tablo 2: Aylara ve yıllara göre Büyük Melen Çayı akım verileri ile Akçakoca günlük toplam yağışları arasındaki ilişkiler

Yıllar/aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1996										+	+	+
1997	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+
1998	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1999	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+
2000	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-
2001	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+
2002	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
2003	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+
2004	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
2005	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
2006	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
2007	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
2008	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2009	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2010	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
2011	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2012	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+
2013	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+
2014	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2015	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ortalama	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Açıklama: +: pozitif korelasyonu, -: negatif korelasyonu, *: 0,95, güven düzeyinde anlamlı, **: 0,99 güven düzeyinde anlamlı ilişkiyi göstermektedir. 1996 ocak-eylül dönemi ile 2015 ekim-aralık dönemi akım verisi olmadığı için korelasyon hesaplanamamış, tabloda boş bırakılmıştır.

3.2. Günlük Yağış Şiddeti Basamaklarına Göre Akımdaki Değişmeler

Şekil 5'te görüldüğü gibi, Büyük Melen Çayı'nda günlük toplamın 0-10 mm aralığında olduğu yağışların akım üzerindeki etkileri en fazla ekim ayında kendisini göstermektedir. Ekimde, 1996-2015 ortalaması alındığında, hafif yağış olarak sınıflandırılan bu gruptaki yağışlar akımda %13,7'lik bir artışa neden olduğu görülmektedir. Akım değerlerinin son derece düşük olduğu haziran ve temmuz aylarında hafif yağışların akımda neden olduğu artış da ekimden sonra en fazla seviyedeki artış olarak dikkati çekmektedir ve %10'un üzerindedir. Hafif yağışların akımın en yüksek seviyeye çıktığı mart ve nisan aylarında artırıcı etkisi minimum seviyededir.

Şekil 5 incelendiğinde görüldüğü, Normal yağışların ($10 \leq$ günlük yağış < 25 mm) akım üzerindeki etkilerinin haziran ayında oldukça belirgin olduğu dikkati çekmektedir. 1996-2015 dönemi için günlük akım ortalaması 30,8 olan haziran ayında bu gruptaki yağışlar akımı bir önceki güne göre %75,9 artırmaktadır. Sonbahar aylarında da normal yağışların akımda bir önceki güne göre %50'nin üzerinde bir artışa neden olduğu görülmektedir. Ocak-ağustos döneminde, haziran ayı dışındaki aylarda normal yağışların akımda neden olduğu değişim %25'in altında kalmıştır.

Şekil 5, Orta şiddette yağışların ($25.0 \leq$ günlük toplam yağış < 50.0 mm) akım üzerindeki etkisinin mayıs ayında zirve yaptığını göstermektedir. 1996-2015 dönemi için günlük akım ortalaması 39,3 m³/s olan haziran ayında bu gruptaki yağışlar akımı bir önceki güne göre %125 artırmıştır. Orta şiddette yağışlarla birlikte ağustos ayındaki akımın da yaklaşık iki katına çıktığı görülmektedir. Aslında şubat-nisan dönemi dışında yılın 9 ayında orta şiddette yağışların akımı en az %50 artırması da önemlidir.

Şekil 5'ten anlaşıldığı üzere, Şiddetli yağışların ($50.0 \leq$ günlük toplam yağış < 100.0 mm) frekansı düşük olduğu için akım üzerindeki etkilerini istatistik olarak ifade etmek konuyla ilgili yeterince fikir veremeyebilir. Bu gruptaki yağışlar 1996-2015 döneminde Akçakoca meteoroloji istasyonunda toplam 45 kez kaydedilmiştir. Bunların 39 tanesi yılın ikinci yarısında (temmuz-aralık dönemindedir). Ocak ayında sadece bir kez ölçülen (28 Ocak 2007) bu gruptaki yağıştan sonraki gün akımın %391,8 artması dikkat çekicidir. Martta 2 kez, mayısta 1 kez kaydedilen şiddetli yağışların akımdaki etkilerinin hemen ertesi güne yansımada ve gecikmeli katıldığı tespit edilmiştir. Araştırma döneminde şubat ve nisan aylarında bu gruptaki yağışlar hiç kaydedilmemiştir. Diğer taraftan şiddetli yağışların en fazla kaydedildiği eylül-ekim aylarında (eylülde 7 kez, ekimde 11 kez), akımın 2,5 kattan fazla artmış olması sel/taşkın riski açısından önemlidir.

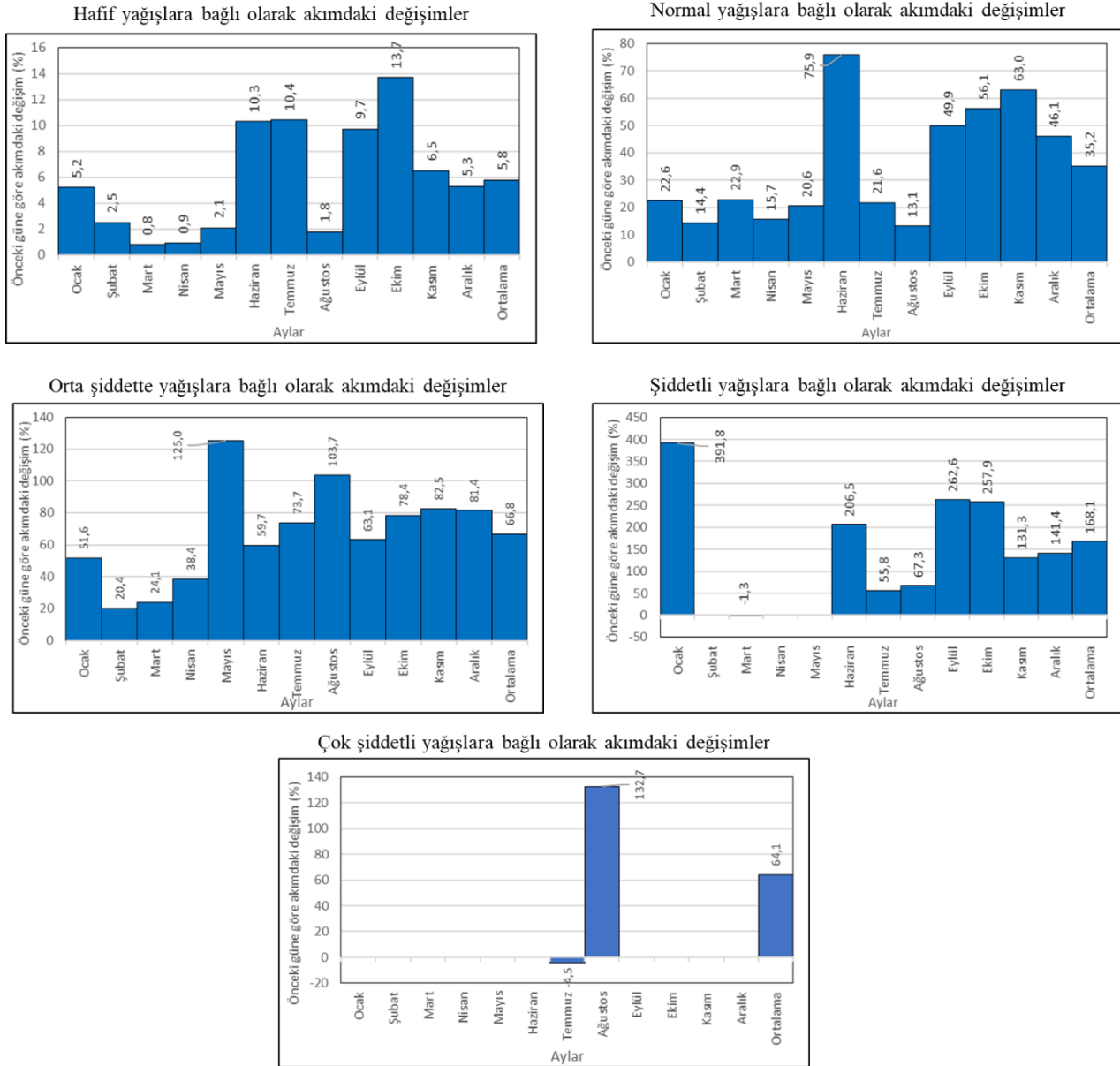
Şekil 5'te Büyük Melen Çayı'nda günlük çok şiddetli yağışlara bağlı olarak akımda bir önceki güne göre değişim verilmiştir. Çok şiddetli yağışlar (günlük toplam yağış < 100.0 mm) Akçakoca meteoroloji istasyonunda 1996-2015 döneminde 2 kez temmuz ve iki kez de ağustos aylarında olmak üzere sadece 4 kez kaydedilmiştir. Yani oldukça düşük bir frekansa sahiptir. Bu bakımdan akım üzerindeki etkisiyle ilgili ortalama değerlerden bahsetmek yerine bu dört çok şiddetli yağış olayının etkilerinin tek tek değerlendirilmesi daha doğru olacaktır.

22 Temmuz 2002 tarihinde gerçekleşen günlük toplam 149 mm yağış, akıma iki gün gecikmeli katılmıştır. Yağışın gerçekleştiği gün akım azalmış görünmekte ise de bu durum yeraltına sızma ile ilgili olmalıdır.

27 Temmuz 2009 tarihlerinde gerçekleşen günlük toplam 114 mm yağışın akım üzerinde çok belirgin etkisi görülmemiştir. Fakat Akçakoca temmuz ayı ortalama toplam yağışı 72 mm iken 2009 yılı temmuz ayında 219 mm yağış düşmüştür. Dolayısıyla 2009 yılı temmuz ayında yağış fazlalığına bağlı olarak zaten akım belli bir seviyenin üzerindedir. Ortalama akım temmuzda 15 m³/s iken o yıl 21 m³/s'dir.

12 Ağustos 1997 tarihinde 217,1 mm günlük toplam yağışla birlikte akımda bir önceki güne göre %132,1'lik artış olmuştur. Bu derece kuvvetli yağışın akımı daha fazla artırması beklenebilir. Ancak burada dikkat çekici olan 11 Ağustos 1997 tarihinde gerçekleşen orta şiddette yağışla birlikte (28,2 mm) akımın %433 artmış olmasıdır. Yani zaten %433 artmış olan akımın %132 daha artması önemlidir.

Çok şiddetli yağışın yaşandığı (108,2 mm) 14 Ağustos 2001 tarihinde akım bir önceki günün iki katına çıkmıştır.



Şekil 5: Büyük Melen Çayı'nda günlük çok şiddetli yağışlara bağlı olarak akımda bir önceki güne göre değişim

4. Tartışma ve Sonuçlar

Çalışmada 1996-2015 döneminde Büyük Melen Çayı'nda günlük toplam yağışlar ve yağış şiddeti ile akım arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Büyük Melen Çayı'nda yağışın en fazla olduğu sonbaharda (Akçakoca istasyonu için) akım minimum seviyededir. Diğer taraftan akımın en fazla olduğu mart ve nisan aylarında akım üzerinde toprağın kış boyu suya doygun olması, buna bağlı olarak da yağışın büyük ölçüde akışa geçmesi ve kar erimeleri etkilidir.

Sonbahardaki akım azalması da ilkbahar mevsiminin tersine toprak suya doymun olmadığı için yağışın önemli bir kısmının akımı besleyememesi ile ilgilidir. 1996-2015 dönemi ortalaması için tüm aylarda günlük toplam yağışlarla akım değerleri arasında pozitif korelasyon söz konusudur. Günlük toplam yağışlarla günlük akım değerleri arasındaki ortalama korelasyon katsayıları 0,41 ile ekim ve aralıkta en yüksek iken en düşük korelasyon katsayısı 0,17 ile mayıstadır. Yıllık bazda bazı yıllarda negatif korelasyonlar da görülmüştür. [Tağıl ve Danacıoğlu \(2012\)](#), Hoyran ve Pupa akarsuları için yapılan korelasyon analizleri uzun yıllık ortalama akım ile yağış arasında güçlü bir korelasyon olduğunu tespit etmişlerdir.

Kış aylarındaki negatif korelasyonların yağış biçimi (kar şeklinde yağış) ile, yaz aylarındakilerin ise yağışa rağmen buharlaşma sonucu akımın daha da azalması ile ilgili olduğu değerlendirilmiştir. [Usta \(2011\)](#), Doğu Karadeniz'de yağış ve akım arasındaki korelasyon su yılının ilk yarısında oldukça güçlü iken ikinci yarısından itibaren zayıfladığını tespit etmiştir. Bunun olası nedeni olarak bölgedeki kar erimesini göstermektedir. Aynı çalışmada bir bölgede bir aydaki akım, klasik olarak o ayki yağış ve kendinden önceki ayların akımları ile ilişkilendirilebileceği belirtilmektedir. Hatta yağış-akım ilişkisinin kurulmasında yalnızca yağışı tahmin edilecek ayın akım değerini kullanmak yerine bu aydan sonraki ayların akım değerlerini kullanmanın daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Kış aylarında aylık ortalama sıcaklıkların önemli ölçüde uzun yıllar ortalamasının altında kaldığı yıllarda, 1997 yılı şubat ayında olduğu gibi, genellikle korelasyonun yapısı bozulabilmekte ve negatif korelasyonlarla karşılaşılabilir. Yine yağışlı gün sayılarının uzun yıllar ortalamasının önemli ölçüde altında kaldığı yıllarda, 2013 yılı ocak ayında olduğu gibi, yağış toplamı ortalamasının üzerinde gerçekleşse bile akımda azalmalar olabilmektedir. 2006 yılı nisan ayında olduğu gibi ilkbahar aylarında yağış toplamalarında çok belirgin düşüşler olduğunda, akımda aynı oranda düşüşler görülmeyebilmekte ve bu da bazı yıllarda akımla yağış arasında negatif korelasyonun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Yine 2000 yılı mayıs ayında olduğu gibi yağış toplamı ortalama çok yakın olsa bile kar erimelerine bağlı olarak akımda ortalamasının çok üzerinde değerlerle karşılaşılabilir.

2004 yılı temmuz ayında olduğu gibi, yaz aylarında ortalama sıcaklıklar uzun yıllar ortalamasının önemli ölçüde altında kalmışsa, yağışta ciddi azalmalar olsa bile akıma aynı oranda yansımadağı ve negatif korelasyonlarla karşılaşıldığı tespit edilmiştir. Benzer durumları 1997 yılında olduğu gibi, sonbaharda özellikle de eylül ayında da görmek mümkündür. 2013 yılı temmuzundaki gibi yaz aylarında ortalama sıcaklıklar uzun yıllar ortalamasının önemli ölçüde üzerine gerçekleşmişse, yağışta ciddi artışlar olsa bile akıma aynı oranda yansımadağı ve negatif korelasyonlarla karşılaşıldığı tespit edilmiştir. [Arora vd. \(2014\)](#) akarsu akımının iklim değişikliğine duyarlılığını anlamının öneminden bahsederken, özellikle yazın düşük akış döneminde insanlar ve su ekosistemleri için yeterli bir su kaynağına bağımlılığa vurgu yapmaktadır.

[Palta vd. \(2019\)](#), Göksu Nehri için su verimi değerlerindeki farklılaşmada yağış miktarı dışında bu yılda ana akarsu ya da yan kollar üzerine yapılan baraj ve bentlerin de etkili olduğunu belirtmektedir. Çünkü baraj ve bend doğal akış koşullarını değiştirerek farklı biçimlerde akış ve su verimlerinin oluşabilmesine fırsat vermektedir. Havzada yağış ve akış arasındaki kaybın büyük ölçüde buharlaşma ve suyun depolanmasından kaynaklanabildiği bilinmektedir. Barajlar hem suyu toplayarak havzaya düşen toplam suyun daha fazla buharlaşabilmesine olanak tanımakla beraber suyu tutarak akarsulardaki ölçümlerde doğal akış değerlerine göre farklı değerlerin oluşabilmesine fırsat vermektedir. Benzer şekilde [Yüce ve Ercan \(2015\)](#), Kızılırmak Havzası için yağış-akış ilişkisinin baraj yapımından önce ve sonrasında farklılaştığını ve yağış-akış ilişkisinde zayıflama olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmada incelenen Büyük Melen Çayı üzerinde yapım çalışmaları devam eden Melen Barajı'nın da analiz edilen Uğurluköy akım gözlem istasyonu verilerini ilerleyen yıllarda etkilemesi beklenebilir.

Bu çalışmada, yağış-akış korelasyonu hesaplanmasında günlük yağış şiddeti ile ertesi günkü akış arasındaki korelasyon hesaplanmıştır. Benzer şekilde [Areerachakul ve Junsawang \(2014\)](#), yağış-akış korelasyonunda günlük yağış ile ertesi günkü akış arasındaki korelasyonun yağış günü için elde edilen korelasyona göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

[Supriya vd. \(2015\)](#), regresyon denkleminin, her bir havza için yıllık maksimum günlük yağış, deşarj ve alan arasında çerçelendiğini ortaya koymuştur. [Gürçan \(2004\)](#), Doğu Karadeniz Bölümü'nde kısa süreli maksimum yağışların çok önemli olduğunu ifade etmektedir. Sahada kısa sürelerde büyük miktarda yağış düşmesinin, doğal çevre koşullarının da etkisi ile taşkınlar neden olabildiği vurgulanmıştır. Bu çalışmada araştırma alanında yağış şiddeti basamaklarına göre günlük toplam yağışların akım üzerinde bir önceki güne göre hafif yağışlar için %5,8, normal yağışlar için %35,2, orta şiddette yağışlar için %66,8, şiddetli yağışlar için %168,1, çok şiddetli yağışlar için ise ortalama %52,5 oranında pozitif etkisi belirlenmiştir. Hafif yağışların akımı bir önceki güne göre artırıcı etkisi ilkbaharda en az, ağustos hariç olmak üzere haziran-ekim döneminde en fazladır. Normal yağışların etkisi aylardan haziranda mevsim olarak da sonbaharda en fazla iken kışın ve ilkbaharda minimum seviyededir. Orta şiddette yağışlar mayıs-aralık döneminde en fazla etkiliyken, ocak-nisan döneminde etki en azdır. Şiddetli ve çok şiddetli yağışların frekansı oldukça düşük olduğundan yıldan yıla etkisinin de farklılaştığı, bazı yıllarda akımı çok ciddi ölçüde artırdığı bazı yıllarda ise aynı etkiyi gösteremediği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak günlük toplam yağışlarla akım arasında genel olarak pozitif korelasyonlar bulunmakla birlikte, yağış şiddeti basamaklarına ve aylara göre farklı sonuçlarla karşılaşılabilirdiği, aynı zamanda ortalama sıcaklıklar, yağış biçimi gibi parametrelerin de akım üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Akım üzerinde jeolojik yapı, jeomorfolojik özellikler, toprak tipi, arazi kullanımı vb. faktörlerin ayrı ayrı etkileri olduğu bilirse de bu çalışmada kullanılan yöntemin farklı akarsu havzaları için de denenmesi akım üzerinde iklimin etkilerinin daha iyi anlaşılması açısından yararlı olacaktır.

Teşekkürler

Veri paylaşımı için Devlet Su İşleri (DSİ) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğüne (MGM), çalışmada kullanılan haritanın çizimi için Muhammet ÖZTEKİNCİ'ye teşekkür ederiz. Bu çalışmada yapılan analizlerin bir kısmı IOCENS'21 Uluslararası Mühendislik ve Doğa Bilimleri Konferansı'nda sunulmuş ve sadece özet olarak konferans bildiri özetleri kitabında basılmıştır.

Kaynaklar

- Alp M.H., Cıgızoğlu K., (2004), *Farklı yapay sinir ağı metotları ile yağış-akış ilişkisinin modellenmesi*, İTÜ Dergisi, 3(1), 80-88.
- Areerachakul S., Junsawang P., (2014), *Rainfall-Runoff relationship for streamflow discharge forecasting by ANN modelling*, World Congress on Sustainable Technologies (WCST-2014), pp. 27-30, doi: 10.1109/WCST.2014.7030090.
- Arnell N.W., (1999), *Climate change and global water resources*, Global Environmental Change, 9, 31-49.
- Arora M., Kumar R., Malhotra J., Kumar N., (2014), *Correlations of stream flow and climatic variables for a large glacierized Himalayan Basin*, Journal of Water Resource and Protection, 6, 1326-1334.
- Bakış R., Göncü S., (2015), *Akarsu debi ölçümlerinde eksik verilerin tamamlanması: Zap Suyu Havzası örneği*, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 16(1), 63-79.
- Bayazit M. (1981), *Hidrolojide İstatistik Yöntemler*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Sayı: 1197, İstanbul.
- Erlat E., (1997), *Türkiye'de günlük yağışların şiddeti üzerine bir inceleme*, Ege Coğrafya Dergisi, 9(1), 159-184.
- Erlat E., (2000), *Trakya'da günlük yağışların şiddet bakımından özellikleri*, Ege Coğrafya Dergisi, 11(2000), 97-110.
- Gümüş V., Kavşut M.E., Yenigün K., (2011), *Yağış akış ilişkisinin modellenmesinde YSA kullanımının değerlendirilmesi: Orta Fırat Havzası uygulaması*, E-Journal of New World Sciences Academy, 6(1), 389-497.
- Gürçan G., (2004), *Doğu Karadeniz Bölümü'nde maksimum yağışlar ve taşkınlar açısından önemi*, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 24(2), 79-92.
- Görcelioğlu E., (2003), *Sel ve Çığ Kontrolü*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ. Ü. Yayın No: 4415, Orman Fakültesi Yayın No: 473, İstanbul.
- Özfidaner M., (2007), *Türkiye yağış verilerinin trend analizi ve nehir akımları üzerine etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Pallant J., (2017), *SPSS kullanma kılavuzu SPSS ile adım adım veri analizi*, (Balci, S. ve Ahi, B., Çeviri), Anı Yayıncılık, Ankara.
- Palta Ş., Yurtseven İ., Aksay H., (2019), *Göksu Nehri havzasının yağış-akış ilişkileri*, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 21(3), 860-872.
- Parmar H.V., Mashru H.H., Vekariya P.B., Rank H.D., Kelaiya J.H., Pardava D.M., Patel R.J., Vadar H.R., (2016), *Establishment of rainfall-runoff relationship for the estimation runoff in semi-arid catchment*, AGRES – An International e-Journal, 5(1), 60-67.
- Sungur O., (2010), *Korelasyon analizi*, SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri'nin içinde (Kalaycı, Ş. Ed.), Dinamik Akademi, Ankara, ss.115-127.
- Supriya P., Krishnaveni M., Subbulakshmi M., (2015), *Regression analysis of annual maximum daily rainfall and stream flow for flood forecasting in Vellar River Basin*, Aquatic Procedia, 4, 957-963.
- Tağlı Ş., Danacıoğlu Ş., (2012), *Zeytinli Çayı Havzası'nda yağış-akım ilişkisi ve trendi*, Kaz Dağları III. Ulusal Sempozyumu, 24-26 Mayıs, Edremit, Balıkesir, ss.127-139.
- Tağlı Ş., Alevkayalı, Ç., (2014), *Eğirdir Gölü'ne kuzeyden dökülen akarsularda akım trendi ve yağış ilişkisi*, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 17(32), 211-229.
- Tosunoğlu F., İspirli M.N., Gürbüz F., Şengül S., (2017), *Fırat Havzası'ndaki eksik akım verilerinin debi süreklilik çizgileri ve regresyon modelleri ile tahmin edilmesi*, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(4), 85-94.
- URL-1, (2021), *Taşkın Yönetimi*, T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. http://taskinyonetimi.tarimorman.gov.tr/_engine/_engine/file.axd?file=/Dokumanlar/Task%C4%B1n_Yonetimi.pdf, [Erişim 15 Aralık 2021].
- URL-2, (2016), *Taşkın Yönetim Planlarının Hazırlanması, Uygulanması ve İzlenmesi Hakkında Yönetmelik*, Resmi Gazete Tarih: 12.05.2016, Sayı: 2970, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/05/20160512-6.htm>, [Erişim 20 Temmuz 2022].
- DSİ, (2021), *Akım Gözlem Yıllıkları*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/744>, [Erişim 17 Mayıs 2021].
- Yalçın S., (2020), *Davranış Bilimlerinde İstatistik, Korelasyon analizi*, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/180245/mod_resource/content/0/5.1.korelasyon.pdf, [Erişim 15 Aralık 2021].
- Suner Karaakulah A., (2021), *Bioistatistik, Korelasyon analizi*, https://biyoistatistik-med.ege.edu.tr/files/biyoistatistik-med/icerik/20_Korelasyon_Analizi.pdf, [Erişim 15 Aralık 2021].
- Usta G., (2011), *Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yağışın akım verileri ile belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yüce M.İ., Ercan B., (2015), *Kızılırmak Havzası Yağış-Akış İlişkisinin Belirlenmesi*, 4. Su Yapıları Sempozyumu, 19-21 Kasım, Antalya, ss.410-418.

Türkiye Üzerinde ERA5 Saatlik Hava Sıcaklığı Verilerinin Doğrulanması

Meriç Yılmaz^{1,*} 

¹Atılım Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06830, Ankara.

Özet

Bu çalışmada, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından üretilen ERA5 yeniden analiz ürünü saatlik 2 m yüzey hava sıcaklığı verileri, Meteoroloji Genel tarafından işletilen 1773 meteorolojik gözlem istasyonunda elde edilen saatlik sıcaklık verileri kullanılarak 2011 - 2020 yılları arasında Türkiye üzerinde ve 7 coğrafi bölgede doğrulanmıştır. Analizlerde, saatlik, günlük ve aylık ortalama sıcaklık için hata istatistikleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, ERA5'in farklı zamansal çözünürlüklerde hava sıcaklıklarını istasyonlardan -0,01 - 0,06 °C sapmayla modellediğini, ortalama mutlak hata ve ortalama hata standart sapmasının ise sırasıyla 3,3 - 4,0 °C ile 1,6 - 3,4 °C olduğunu göstermektedir. Ortalama hata istatistiklerinin gün içinde saatlik ve yıl içinde aylık belirgin bir değişimi olmamakla birlikte, diğer mevsimlere kıyasla kış aylarında hata değişkenliği daha yüksek çıkmaktadır. ERA5 ve istasyon sıcaklık verilerinin korelasyonları çok yüksek çıkmaktadır (0,93 - 0,99). Yüksek zamansal korelasyona karşılık mekansal korelasyonun (0,36) düşüklüğü, ERA5 sıcaklık verisinin farklı bölgelerde güvenilir kullanımından önce mekansal olarak değişken düzeltme katsayılarına ihtiyaç duyacağını ortaya koymaktadır. Ortalama hata istatistikleri, farklı bölgelerde literatürde yapılan doğrulama çalışmalarıyla tutarlıdır. Buna göre, çalışmada elde edilen sonuçlar, ERA5 veri setlerinin Türkiye'de özellikle daha seyrek meteorolojik istasyon ağı içeren bölgelere odaklanan çeşitli uygulamalarda güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini önermektedir.

Anahtar Sözcükler

Hava Sıcaklığı, ERA5, Doğrulama, Hata, Türkiye

Verification of ERA5 Hourly Air Temperature Data over Turkey

Abstract

In this study, produced by European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), ERA5 reanalysis hourly 2 m surface air temperature is validated over Turkey and 7 geographic regions using hourly temperature observations collected between 2011 and 2020 over 1773 ground-based meteorological observation stations operated by Turkish State Meteorological Service. In the analyses, error statistics were calculated for hourly, daily and monthly average temperatures. The results show ERA5 simulates air temperatures at different temporal resolutions with a bias of -0.01 - 0.06 °C, while the mean absolute error and mean error standard deviation are 3.3 - 4.0 °C and 1.6 - 3.4 °C, respectively. Although there is no significant hourly variation in mean error statistics during the day and monthly variation during the year, the error variability was found to be higher in winter compared to the other seasons. The correlations of ERA5 and station temperature data are very high (0.93 - 0.99). Compared to the high temporal correlation, low spatial correlation (0.36) suggests that spatially variable correction coefficients will be needed before reliable use of ERA5 temperature data in different regions. Mean error statistics are consistent with validation studies in the literature in different regions. Accordingly, the results obtained in this study suggest that ERA5 datasets can be reliably used in various applications in Turkey, especially focusing on regions with sparse meteorological station networks.

Keywords

Air Temperature, ERA5, Validation, Error, Turkey

1. Giriş

En önemli meteorolojik değişkenlerden biri olan hava sıcaklığı Küresel İklim Gözlem Sistemi (Global Climate Observing System) tarafından atmosferik alanda Temel İklim Değişkenlerinden biri olarak ilan edilmiştir (WMO 2010). Yüzey hava sıcaklığı birçok inşaat mühendisliği ve disiplinlerarası mühendislik uygulamalarında önemli bir veridir. Örneğin, su ve enerji döngülerini çözen fiziksel tabanlı hidrolojik modelleri kullanan çalışmalarda, iklim değişikliği çalışmalarında, iklimsel eğilim analizlerinde ve kuraklık analizlerinde hava sıcaklığı girdi verisi olarak yaygınlıkla kullanılmaktadır (Kadioğlu 1997; Tarek vd. 2020; NOAA 2021). Ayrıca, ülkemizde de büyük kayıplara sebep olan orman yangınlarının (son olarak 2021 yılı yazında ülkemizin Güney ve Batı sahil kesimini şiddetli biçimde etkilemiştir) risk haritalarının oluşturulması, ekstrem sıcaklıkların iklim değişikliği sebebiyle etkilerinin incelenmesi, yangın alanlarının zamana bağlı değişiminin modellenmesi, yangın sayısının değişkenliği gibi çalışmalarda da hava sıcaklığı kullanılmaktadır (Aziz vd. 2020; Vitolo vd. 2020; Coşkun 2021; KC vd. 2021).

Yüzey hava sıcaklığı meteorolojik yer gözlem istasyonları ve uzaktan algılama yöntemleri kullanarak yapılan gözlemler ile iklim ve sayısal hava tahmin modelleri gibi modeller vasıtasıyla elde edilebilir. İstasyon kaynaklı sıcaklık gözlemleri yer yüzeyinden 2 m yüksekliğe kurulan sensörler aracılığıyla doğrudan yapılır ve bu ölçümlerin, yukarıda bahsi geçen diğer yöntemlere kıyasla en doğru veri kaynağı olduğu kabul edilir (NASA 2021). Ancak, meteoroloji gözlem istasyonları noktasal ölçümler yapar ve çok yoğun istasyon ağı kurulmadığı sürece yapılan noktasal ölçümlerin mekansal temsil edebilirlik hataları artabilir. Bu durum özellikle sıcaklığın hızlı değişkenlik gösterdiği kompleks arazi koşullarında geçerlidir (Mutibwa vd. 2015). Yoğun istasyon ağı kurmak, istasyon kaynaklı hücresel veri oluşturmaya fayda sağlayabilir, ancak çok sık meteorolojik gözlem istasyon ağının yüksek kurulum ve bakım maliyetleri ile özellikle dağlık bölgelerde çok sayıda istasyon kurmanın pratik olmayışı göz ardı edilmemelidir. İlave olarak birçok uygulama, mekansal olarak sürekli hücresel hava sıcaklığı veri seti kullanımını gerektirir.

Yukarıdaki koşullar göz önüne alındığında istasyonların yanında uzaktan algılama veya sayısal hava tahmin modelleri gibi farklı bir kaynaktan hava sıcaklığı elde edilmesi birçok çalışma için gereklidir. Uzaktan algılama kaynaklı gözlemler, mekansal temsil edebilirlik hatalarının üstesinden gelmede faydalı bir çözüm yolu sağlayabilir. Ancak, genellikle uyduların kısa ömürlü olması, uzun vadeli (30 yıldan çok) çalışmalar için temelde farklı karakteristik özelliklere sahip çeşitli uydulardan alınan verilerin birleştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Örneğin, farklı teknolojik altyapı ile gönderilen uydular farklı hata karakteristiklerine sahip olabilir. Bu bağlamda, uzun klimatolojik veri seti elde etmek amacıyla farklı uydulardan elde edilen uzaktan algılama kaynaklı gözlemlerin birleştirilmesi, yüksek hata oranlarına yol açabilir.

Sayısal hava tahmin modelleri mekansal ve zamansal yönden tutarlı ve kesintisiz veri setleri sağlayabilirler. Bunlar yeniden analiz ve ileriye yönelik tahmin veri setleridir. Atmosferik yeniden analiz çalışmaları yer gözlemleri ile uydu kaynaklı gözlemlerden veri asimilasyonu metodolojileri ile faydalanmaktadır (Essou vd. 2016). Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi'nin (ECMWF) sağladığı ERA5 çeşitli atmosferik değişkenler sağlayan en yüksek kaliteli atmosferik yeniden analiz ürünlerinden biridir. ERA5 ileriye yönelik yapılmış olan eski tahminler ile yeni gözlemleri her 12 saatte bir birleştirilerek mevcut atmosferik koşulları saatlik olarak daha doğru tahmin etmeyi hedeflemektedir (CDS 2021). Öte yandan saatlik ERA5 verilerinin de karakteristik hataları vardır ve bu verilerin hata oranlarının doğrulanması ve elde edilmesi özellikle bölgesel çalışmalar için gereklidir.

Farklı zamansal çözünürlüğü (saatlik, günlük, aylık) olan sıcaklık verilerinin değişik uygulamalarda kullanım alanı vardır. Örneğin saatlik sıcaklık verileri yaygınlıkla tam fiziksel hidrolojik modellerde kullanılırken günlük sıcaklık verileri kavramsal hidrolojik modellerde girdi olarak kullanılmaktadır. Aylık sıcaklık verileri ise özellikle kuraklık ve iklim değişikliği çalışmalarında yaygınlıkla kullanılmaktadır. Bu sebeple, sıralanan farklı zamansal çözünürlükteki sıcaklık verilerinin ilgili uygulamalarda kullanılmadan önce doğrulanmasına ihtiyaç vardır.

Küresel olarak veri sağlayan ERA5 simülasyonlarından 2 m yüzey hava sıcaklık değerlerinin doğrulama çalışmaları birçok çalışmada gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda, araştırmacıların ilgisi özellikle Arktik bölgelere yoğunlaşmıştır. ERA5 saatlik veri setinin başarısı yer gözlem istasyonları veya şamandıralarda yapılan gözlemlerle kıyaslanarak doğrulanmıştır. ERA5 sıcaklık verisinin soğuk mevsimde ortalama -4°C sıcak yanlılığa (yukarı yanlılık), sıcak mevsimde ise ortalama $\sim 1,8^{\circ}\text{C}$ sıcak yanlılığa sahip olduğu ortaya konmuştur (Frederiksen 2018; Demchev vd. 2020). Ayrıca Demchev vd. (2020), ortalama hata standart sapmasının sıcak mevsimde $3,01^{\circ}\text{C}$, soğuk mevsimde ise $5,17^{\circ}\text{C}$ olduğunu belirtmişlerdir. Tarek vd. (2020) ERA5'ı Kuzey Amerika'da hidrolojik modellemede potansiyel referans veri seti olarak değerlendirmeye almıştır. Araştırmanın bulguları 1979-2018 arasında mevsim ortalama sıcaklıklarına göre ERA5'in orta kesimlerde kış mevsiminde $\sim 1^{\circ}\text{C}$, yaz mevsiminde $0,5-1^{\circ}\text{C}$ ortalama yanlılığa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Batı yakasında ise yaz mevsiminde en yüksek sıcak yanlılığa çıktığını (3°C) kış mevsiminde ise soğuk yanlılık göstererek 2°C kadar daha az tahmin ettiğini göstermiştir. Ayrıca, yüksek yanlılık değerlerinin çoğunlukla dağlık bölgelerde görüldüğünü ifade etmişlerdir. Rakhmatova vd. (2021) 1980-2018 arasında Özbekistan üzerinde 74 meteorolojik istasyon gözlemleriyle kıyaslayarak, ERA5'in aylık ortalama sıcaklık tahmininde ortalama yanlılığının $-0,6^{\circ}\text{C}$, ortalama hata standart sapmasının ise $2,3^{\circ}\text{C}$ olduğunu ortaya koymuşlardır. Bazı istasyonlarda, istasyondaki yanlılığın -10°C 'ye vardığı da gözlemlenmiştir. İlave olarak, yeniden analiz veri setlerinin gözlemlenmiş veri setleriyle, özellikle düzlük alanlarda yüksek uyumluluk gösterdiğini belirtmişlerdir. King vd. (2021) ERA5 sıcaklık verisinin doğruluğunu şamandıralarda ölçülen veriyle kıyaslayarak incelemiş ve ERA5'in düşük sıcaklıklarda $\sim 3^{\circ}\text{C}$, ortalama ise $\sim 2^{\circ}\text{C}$ sıcak yanlılığa sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalar ERA5 sıcaklık verilerinin hata oranlarının mekansal olarak değişkenlik gösterdiğini ve gerçekleştirilecek bölgesel analizlerden önce ilgilenilen alan üzerinde doğrulama çalışmalarının yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

İklim değişikliğinin dünyanın birçok yerinde yüksek sıcaklık artışlarına neden olacağı beklenmektedir. Akdeniz bölgesi ise bu artışa en duyarlı olacak bölgelerden biridir. İklim değişikliğinden en yoğun etkilenecek ülkelerden biri olan Türkiye'de, en yüksek sıcaklıklar ve ekstrem atmosferik olayların sayısı artmaktadır (Özgür vd. 2017). Bu sebeple, küresel iklim modellerinin projeksiyonlarındaki sistematik yanlılığın ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalarda kullanılmadan önce ERA5 veri setinin kapsamlı bir şekilde doğrulanmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca, saatlik zaman dilimlerinde çalışan, su ve enerji döngüsünü tam olarak çözebilen tam fiziksel hidrolojik modelleme çalışmalarında girdi olarak kullanılmadan önce benzer şekilde saatlik ERA5 verilerinin doğrulanması gerekmektedir. Bu sebeple, Türkiye üzerinde gerçekleştirilen bu gibi çalışmalarda sebep-sonuç ilişkisi bakımından yüksek doğrulukta yorumlar elde edebilmek açısından ERA5 verilerinin Türkiye üzerinde ayrıntılı bir şekilde doğrulanması gerekmektedir.

ERA5 yüzey hava sıcaklığı veri seti farklı zamansal çözünürlüklerde Türkiye üzerinde çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır (Demirok 2020; Kelebek vd. 2021; Kömüşçü ve Oğuz 2021; Bağcı vd. 2021). Ancak, bu çalışmalarda ERA5 veri setleri günlük veya aylık zaman dilimlerinde ele alınmış olup ERA5 sıcaklık verilerinin kapsamlı doğrulama analizleri sunulmamıştır. Bu sebeple, ERA5 saatlik sıcaklık veri setinin şu ana kadar Türkiye’de kapsamlı bir şekilde doğrulanması eksik kalmıştır.

Bu çalışmada, 2011-2020 arasında 10 yıl boyunca 1773 meteorolojik gözlem istasyonu üzerinde toplanan saatlik sıcaklık gözlemleri kullanılarak saatlik zamansal çözünürlüğe sahip ERA5 sıcaklık verisi tüm Türkiye üzerinde kapsamlı bir şekilde doğrulanmıştır. Analizlerde, saatlik, günlük ve aylık ortalama sıcaklık verilerinin doğrulanması yapılmış ve ERA5 veri setinin hatalarının farklı zamansal çözünürlükteki değişkenliği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada ECMWF – ERA5 yeniden analiz yüzey hava sıcaklığı veri setleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından Türkiye üzerinde işletilen 1773 adet meteorolojik gözlem istasyonunda ölçülen istasyon kaynaklı hava sıcaklık gözlemleri kullanılarak doğrulanmıştır. Veri setleri ile ilgili bilgiler aşağıda ilgili kısımlarda detaylandırılmıştır.

2.1. ERA5 Hava Sıcaklığı Verileri

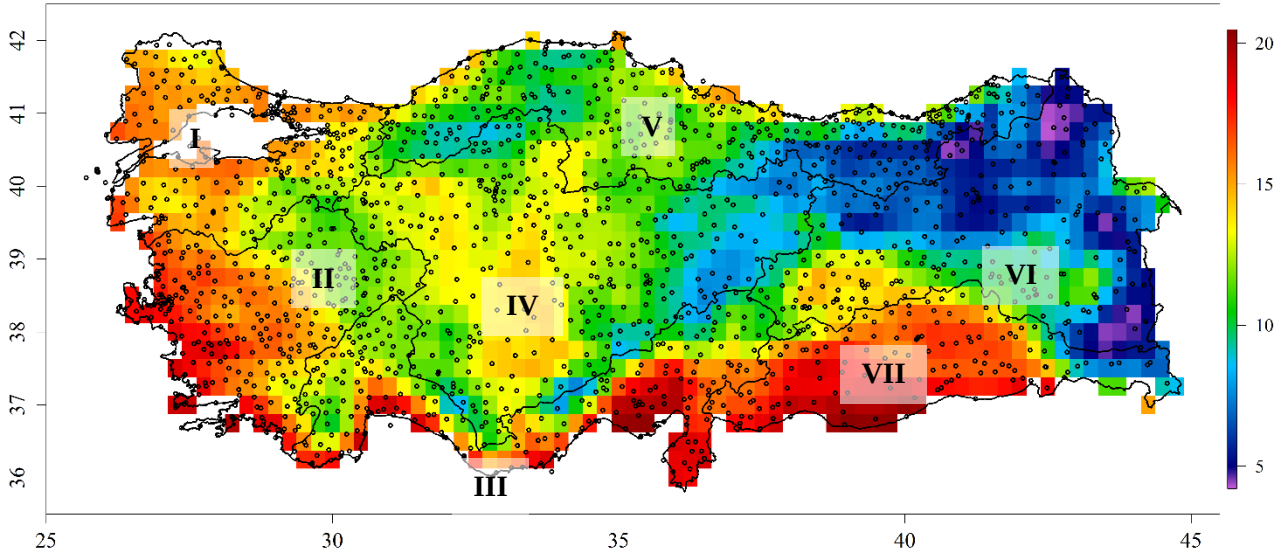
ERA5, ECMWF tarafından üretilen beşinci nesil yeniden analiz ürünüdür (Hersbach ve Dee 2016). ERA5, 6 saatlik zaman çözünürlüğü olan eski nesil ERA-Interim’e kıyasla daha gelişmiş veri asimilasyon planı ve daha fazla veri kaynağı kullanarak saatlik sıcaklık verileri sağlamaktadır. Ayrıca 139 basınç seviyesinde çeşitli atmosferik değişkenleri hesaplamaktadır. ERA5 verileri 1979 ile günümüz arasında mevcuttur, 1950 ile 1978 arasındaki veri setleri ise ön analiz olarak sağlanmaktadır (Tarek vd. 2020). Bu çalışmada kullanılan tek seviyede ölçülen saatlik ERA5 verisi (ERA5 hourly data on single levels) ECMWF İklimVeri Deposundan (Climate Data Store) elde edilmiştir (CDS 2021). Çalışmada kullanılan yüzey seviyesindeki ERA5 veri seti ECMWF tarafından küresel olarak $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ düzenli enlem/boylam hücreleri (mekansal çözünürlüğü ~ 31 km) üzerinde sunulmaktadır ve Türkiye üzerindeki veriler ise bu küresel verilerden elde edilmiştir. Bu çalışmada, yüzey hava sıcaklığının doğrulanması amacıyla 2011-2020 arasında “2m temperature” isimli değişken kullanılmıştır. CDS’den sağlanan veri NetCDF formatında sunulmaktadır.

2.2. İstasyon Kaynaklı Hava Sıcaklığı Gözlemleri

Sıcaklık gözlemleri yaygın bir meteoroloji gözlem istasyon ağı üzerinde tüm Türkiye’de MGM tarafından işletilen istasyonlardan elde edilmektedir (MGM 2021a). Yeni kurulan istasyonlar ve artık veri sağlamayan istasyonlar nedeniyle faaliyette bulunan istasyon sayıları yıldan yıla değişiklik göstermektedir. MGM tarafından 2011-2020 yılları arasında il-ilçe-koordinat-rakım bilgileri sağlanan 2500’den fazla istasyon olmasına rağmen, bu yıllar arasında herhangi bir uzunlukta saatlik sıcaklık verisi barındıran 1819 istasyon bulunmaktadır. Bu verilerin bir kısmı ilgili dönemde halen aktif olan manuel istasyonlardan elde edilmiş olmakla birlikte büyük bir kısmı Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (OMGİ) elde edilen verilerdir (MGM 2021b; Yılmaz ve Darendel 2021). Analizlerden anlamlı sonuçlar elde edebilmek amacıyla, veri barındıran 1819 istasyon arasından iki yıldan daha uzun süreli veri barındıran 1773 istasyonun verisi kullanılarak bu çalışmadaki doğrulama analizleri gerçekleştirilmiştir. En az iki yıl veriye sahip olan 1773 manuel istasyon/OMGİ arasında 72 adet havalimanı istasyonu (H-OMGİ) ve 14 adet şamandıralarda kurulan istasyon (D-OMGİ) bulunmaktadır. Tablo 1’de, en az iki yıllık veri sağlayan 1773 istasyondan elde edilen saatlik zaman serilerinin ortalama doluluk oranı verilmektedir. Örneğin, 2011 yılı için toplam 15.531.480 saatlik verinin (1773 istasyon*365 gün*24 saat) sadece %22,5’lik kısmında veri bulunmakta ve geriye kalan %77,5’lik kısmında ise veri bulunmamaktadır. Bu oran artarak 2020 yılında yaklaşık %95’e yükselmektedir. Kullanılan 1773 istasyonun coğrafi bölgeler içindeki konumları aşağıda ERA5 2011-2020 yılları arası 10 yıllık ortalama sıcaklık haritası üzerinde sunulmaktadır (Şekil 1).

Tablo 1: Çalışmada kullanılan 1773 istasyonun ortalama veri doluluk oranlarının yıllara göre değişimi

Yıl	Ortalama İstasyon Veri Doluluğu (%)
2011	22,5
2012	25,9
2013	40,0
2014	57,9
2015	68,6
2016	73,8
2017	84,3
2018	94,1
2019	95,3
2020	94,4



Şekil 1: Saatlik ERA5 sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) değerlerinin 2011-2020 arasındaki ortalama değerleri. Kullanılan 1773 MGM istasyonunun coğrafi bölgeler içinde konumları siyah daireler ile gösterilmektedir. Denizlerde görülen siyah daireler, şamandıralara yerleştirilen D-OMGİ konumlarıdır. Numaralı coğrafi bölgeler: I-Marmara Bölgesi, II-Ege Bölgesi, III-Akdeniz Bölgesi, IV-Iç Anadolu Bölgesi, V-Karadeniz Bölgesi, VI-Doğu Anadolu Bölgesi, VII-Güneydoğu Anadolu Bölgesi

ERA5 hücrel bir veri setiyken, MGM'den temin edilen veri setleri noktasal gözlemlerden oluşmaktadır. İki veri setinin bu yapısal farklılığını ortadan kaldırmanın iki yöntemi bulunmaktadır: modelin hücrel sisteminde çalışmak (model ve istasyon verilerini aynı alansal hücreler üzerinde elde edip analizleri karşılaştırmak) veya istasyonların noktasal sisteminde çalışmak (analizleri gerçekleştirilen 1773 istasyonun her birisi için bir model verisi elde edip istatistikleri hesaplamak). Genel olarak, istasyon kaynaklı gözlemler kullanılarak doğrulukları açısından birden fazla ürün birbiriyle karşılaştırıldığında, bu iki model-istasyon verisi karşılaştırma yöntemi ürünlerin hatasız olarak sıralaması bakımından bir farklılığa sebebiyet vermez (Amjad vd. 2020). Modelin hücrel sisteminde çalışmak, her ERA5 hücresine denk gelen istasyon verilerinin ortalamasını alarak her ERA5 hücresini temsil eden bir istasyon gözlem verisini elde etmeyi gerektirir. Ancak, her hücreye denk düşen istasyon sayısının adil bir kıyaslamaya müsaade etmeyecek şekilde heterojen olduğu ve birçok hücreye sadece bir veya iki istasyon denk geldiği durumlarda (Şekil 1) bu yöntem yüksek örnekleme hatasına yol açabilir. Alternatif olarak, bu çalışma kapsamında analizler istasyonların noktasal sisteminde çalışarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde, her bir istasyonun içinde yer aldığı ERA5 hücreleri için ayrı bir ERA5 verisi elde edilmiştir. Bu sayede, toplamda 1773 istasyonda elde edilen gözlemler için 1773 ERA5 zaman serisi analiz edilmiştir.

2.3. Hesaplanan İstatistikler

MGM istasyonlarından elde edilen saatlik sıcaklık verileri kullanılarak aşağıdaki denklemlerle ERA5 sıcaklık verilerinin doğrulanmıştır:

$$\mathcal{E}_{s,t} = E_{s,t} - M_{s,t} \quad (1)$$

Burada, $\mathcal{E}_{s,t}$ ERA5 verisinin hatasını, $E_{s,t}$ ERA5 sıcaklık verisini, $M_{s,t}$ MGM istasyonlarından temin edilen sıcaklık gözlemlerini, s istasyon sayısını (toplamda 1773), t ise zaman serisini (10 yıllık veri seti) temsil etmektedir. Bu çalışmada $\mathcal{E}$, saatlik, günlük ve aylık ortalama sıcaklık için hesaplanmıştır. Burada t 'nin toplam uzunluğu, $\mathcal{E}$ hesaplaması yapılan sıcaklık değişkenine göre çeşitlilik göstermektedir; saatlik sıcaklık için 87600, günlük sıcaklık için 3650 ve aylık sıcaklık için 120'dir. Analizlerde 3653 günlük veri içinden sadece 3 günün çıkarılması istatistikleri anlamlı bir şekilde değiştirmeyeceği varsayılarak hesap kolaylığı açısından 2012, 2016 ve 2020 yıllarındaki 29 Şubat verileri analizlerden çıkarılmıştır. Hata zaman serilerinin standart sapması, σ_s aşağıda sunulan denklemler ile hesaplanmıştır:

$$\mu\mathcal{E}_s = \overline{\mathcal{E}_{s,t}} \quad (2)$$

$$\sigma_s = \sqrt{(\mathcal{E}_{s,t} - \mu\mathcal{E}_s)^2 / (n-1)} \quad (3)$$

Burada, $\mu\mathcal{E}_s$ (bu çalışmada istasyonlardaki yanlışlık olarak tanımlanmaktadır) Denklem 1’de her bir istasyon üzerinde hesaplanan ERA5 hatasının ($\mathcal{E}_{s,t}$) ortalamasını, n ise zaman serisindeki veri sayısını temsil etmektedir. Denklem 4 kullanılarak $E_{s,t}$ ile $M_{s,t}$ değişkenlerinin korelasyon katsayısı, ρ_s hesaplanmıştır:

$$\rho_s = \frac{(\overline{E_{s,t}} - \mu E_{s,t})(\overline{M_{s,t}} - \mu M_{s,t})}{\sigma E_s \sigma M_s} \quad (4)$$

Burada, $\mu E_{s,t}$ ve $\mu M_{s,t}$ sırasıyla $E_{s,t}$ ve $M_{s,t}$ değerlerinin ortalamasını, $\sigma E_{s,t}$ ve $\sigma M_{s,t}$ sırasıyla $E_{s,t}$ ve $M_{s,t}$ değerlerinin standart sapmasını, üst çizgi ise zamana bağlı ortalama almayı temsil etmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

ERA5 sıcaklık verilerinin doğrulanması, 1773 MGM istasyonu üzerinde elde edilen yer gözlemleri kullanılarak saatlik, günlük ve aylık ortalama sıcaklıkların araştırılmasıyla 2011-2020 yılları arasında 10 yıllık bir dönem için gerçekleştirilmiştir. İlgili 10 yıllık dönemin ortalama ERA5 sıcaklık verilerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı ve çalışma kapsamında gözlem verileri kullanılan 1773 istasyonun konumları Şekil 1’de verilmiştir. Genel olarak, çalışma alanının kuzeydoğu ve doğu kısmı ülkemizin en soğuk bölgelerini, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile Ege ve Akdeniz sahil bandı ise ülkemizin en sıcak bölgelerini içermektedir. En sıcak ve en soğuk bölgeler arasında ortalama olarak $\sim 15^\circ\text{C}$ ’lik sıcaklık farkı bulunmaktadır. Şekil 1 incelendiğinde istasyonların büyük metropol şehirlerde daha sık olduğu ve yüksek rakımlı bölgelerde daha seyrek olduğu görülmektedir.

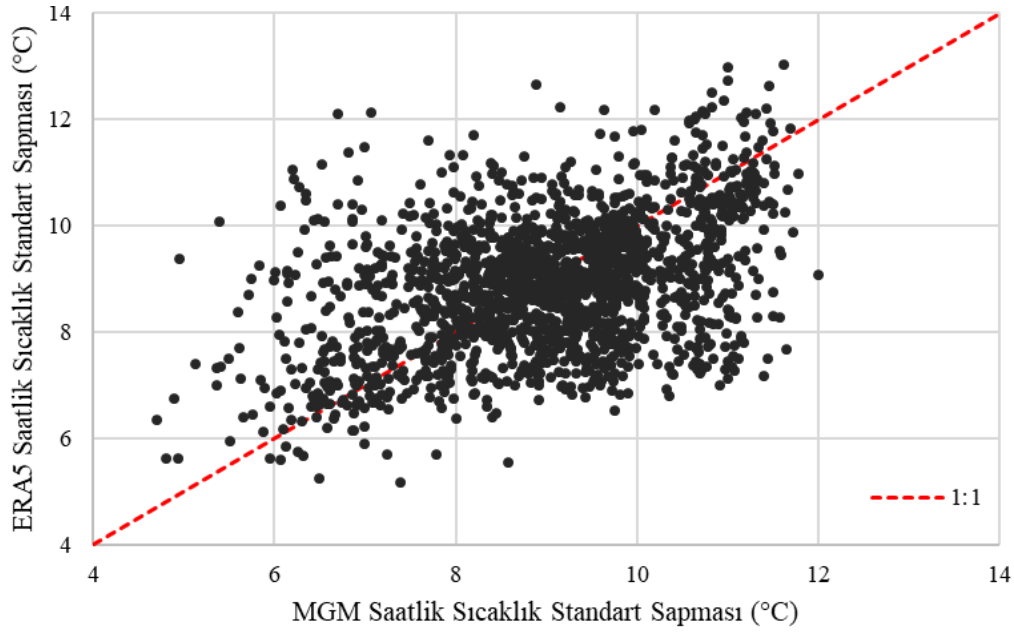
Saatlik ERA5 ve MGM gözlem sıcaklık veri setlerinin hesaplanan istatistikleri ve MGM gözlemleri kullanılarak elde edilen ERA5 sıcaklık verisi hata istatistikleri Tablo 2’de sunulmuştur. Türkiye ortalaması göz önünde bulundurulduğunda, ERA5 veri setlerinin saatlik, günlük ve aylık zamansal çözünürlüklerde ortalama yanlışlığı $-0,1-0,6^\circ\text{C}$ arasındadır (ortalama $0,02^\circ\text{C}$). Öte yandan, ERA5 sıcaklık değerleri istasyonlardan mutlak değer bakımından $3,3-4,0^\circ\text{C}$ sapmaktadır (ortalama mutlak hata). Bu durum bazı istasyonlarda 10°C mutlak hataya kadar ulaşabilmektedir. Bu derece farklılık genel itibariyle daha yüksek rakımlı bölgelerde görülmekte olup, model verilerinin $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ hücre alanı (Türkiye üzerinde $\sim 600\text{ km}^2$ bir alana tekabül etmekte) üzerinde ortalama değer vermesi ve istasyonların noktasal ölçüm sağlaması sebebiyle aralarındaki temsiliyet farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

Sıcaklık verisi standart sapma bakımından ERA5 ve MGM gözlemleri ortalama olarak benzer değerleri göstermektedir ve aralarındaki fark $\%0,6 - \%2,1$ arasındadır (Tablo 2). Standart sapmalar tüm istasyonlarda tek tek incelendiğinde (Şekil 2), bazı bölgelerde iki veri seti arasında yüksek farklılıklar görülmektedir. Veri setlerinin zamansal değişkenliklerindeki sistematik farklılıklar doğrusal istatistiksel yöntemlerle veya doğrusal olmayan makine öğrenmesine dayalı yapay zeka algoritmaları gibi sonradan işleme (post-processing) metodolojileri ile ortadan kaldırılabilir veya ciddi oranda azaltılabilir (Rasp ve Lerch 2018). Ancak böyle bir analiz bu çalışmanın odağında bulunmamaktadır.

ERA5 hata standart sapmasının MGM gözlemlerinin standart sapmasına oranı ($\sigma\mathcal{E}/\sigma M$) elde edilen verinin kalitesine dair bilgi vermektedir. Bu değer farklı zamansal çözünürlükler için $0,21-0,38$ olarak bulunmuştur (Tablo 2). Hata değişkenliğinin gerçek değişkenliğe oranının düşük olması, ERA5’in yüksek doğruluğa sahip bir ürün olduğunu gösterir.

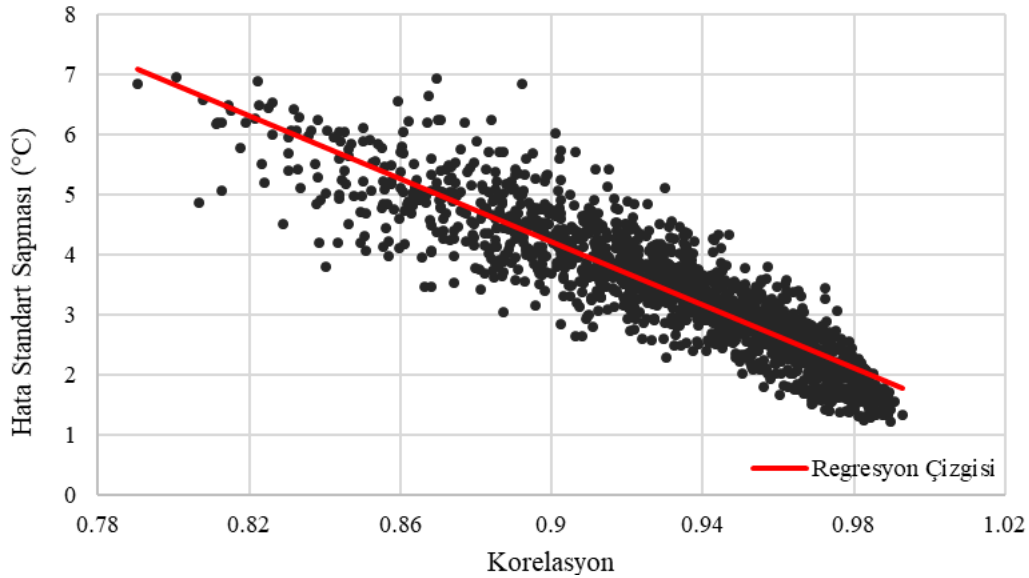
Tablo 2: ERA5 ve MGM istasyonlarından elde edilen sıcaklık verilerinin ortalama (1773 istasyon üzerinde) istatistikleri. Burada μE ve μM , sırasıyla ERA5 ve MGM sıcaklık verilerinin ortalamalarını; σE ve σM , sırasıyla ERA5 ve MGM sıcaklık verilerinin standart sapmalarını; $\mu\mathcal{E}$ ERA5 sıcaklık verilerinin ortalama hatasını (bu çalışmada ortalama yanlışlık olarak tanımlanmıştır); $\mu|\mathcal{E}|$ ERA5 sıcaklık verilerinin ortalama mutlak hatasını; $\sigma\mathcal{E}$, ERA5 sıcaklık verilerinin hata standart sapmasını ve ρ , ERA5 ile MGM sıcaklık verilerinin korelasyonunu temsil etmektedir

Zamansal Çözünürlük	Ortalama İstatistikler								
	μE ($^\circ\text{C}$)	μM ($^\circ\text{C}$)	σE ($^\circ\text{C}$)	σM ($^\circ\text{C}$)	$\mu\mathcal{E}$ ($^\circ\text{C}$)	$\mu \mathcal{E} $ ($^\circ\text{C}$)	$\sigma\mathcal{E}$ ($^\circ\text{C}$)	ρ	$\sigma\mathcal{E}/\sigma M$
Saatlik	13,33	13,26	8,98	8,91	0,06	4,02	3,36	0,93	0,38
Günlük	13,26	13,24	8,21	8,16	0,02	3,62	2,52	0,96	0,31
Aylık	13,18	13,18	7,80	7,64	-0,01	3,31	1,62	0,99	0,21



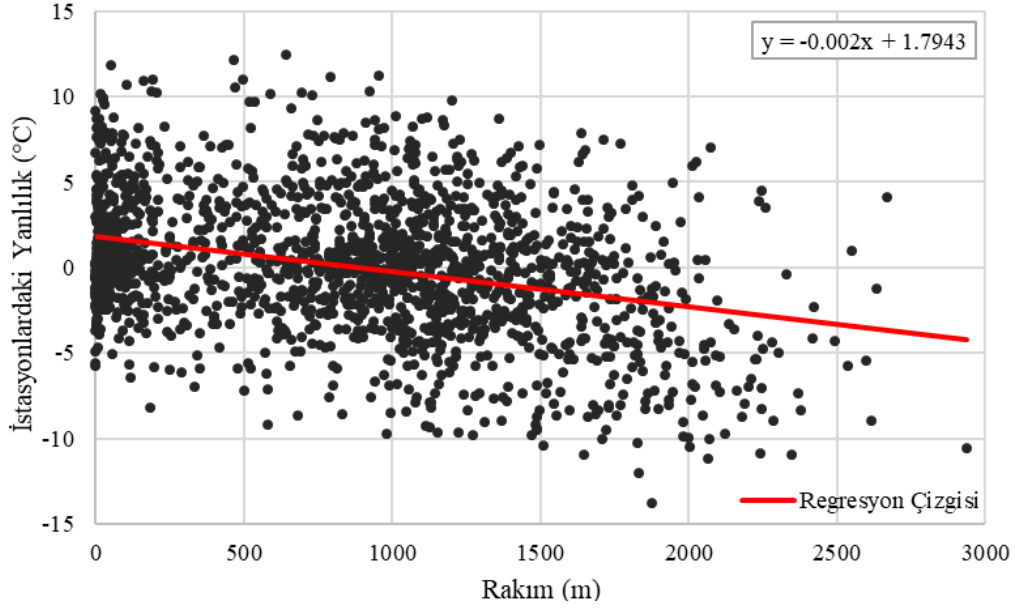
Şekil 2: ERA5 ve MGM saatlik sıcaklık verilerinin hata standart sapması değerlerinin birbiriyle ilişkisi

ERA5 değerlerinin hatalarının ölçüldüğü istatistiğin (hata standart sapması veya korelasyon) seçiminin istasyonlar üzerindeki etkisi Şekil 3 üzerinde incelenmiştir. Genel itibariyle hata standart sapma değerlerinin yüksek olduğu istasyonlarda korelasyonlar düşük çıkmakta ve benzer şekilde düşük hataların bulunduğu bölgelerde korelasyonların yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, iki istatistiğin de ERA5 hatalarının istasyonlar arası karşılaştırılarda güvenilir ve tutarlı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu duruma paralel olarak, Şekil 3 sonrasında hata standart sapmalarının gösterimi tercih edilmiştir ve korelasyon değerlerinin analizi benzer sonuçlar doğuracağı sebebiyle gerçekleştirilmemiştir.

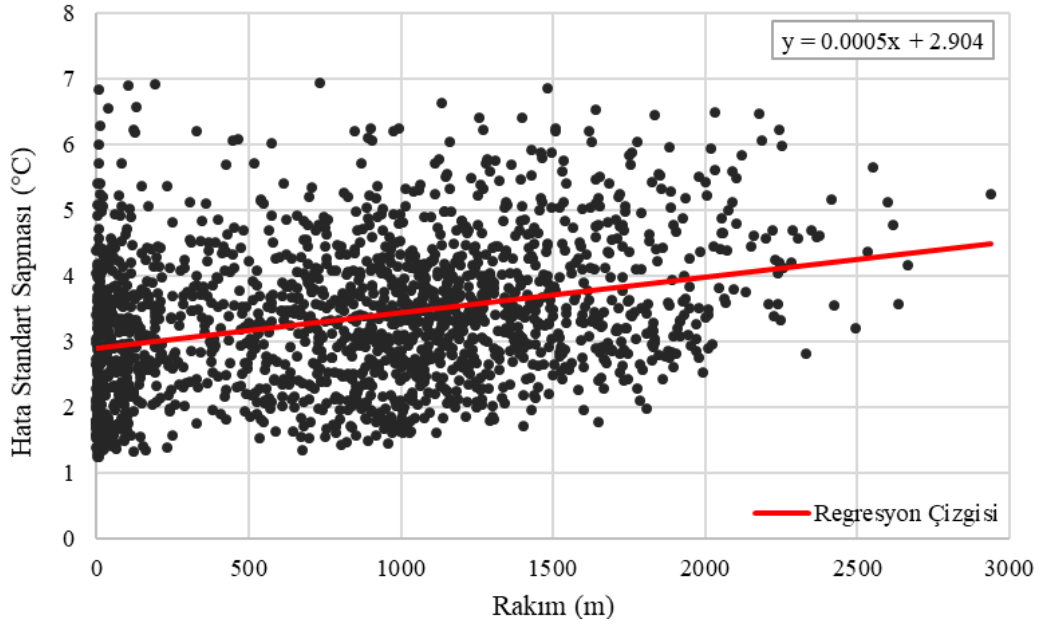


Şekil 3: ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin hata standart sapması değerlerinin, ERA5-MGM saatlik sıcaklık korelasyonu ile ilişkisi

Ülkemiz üzerinde elde edilen ERA5 sıcaklık verilerindeki hataların coğrafi koşullardan ve özellikle kısa mesafelerde değişen topografyadan önemli ölçüde etkilenebileceği sebebiyle hataların rakım ile değişimi analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4 ve 5). Genel itibariyle, Denklem 2 kullanılarak hesaplanan istasyonlardaki yanlışlık, artan rakım ile birlikte eksi yönde artmaktadır (Şekil 4), bir diğer deyişle soğuk yanlışlık artmaktadır. Bu duruma paralel olarak, artan rakım ile birlikte hata standart sapmaları da artmaktadır (Şekil 5). Bu durum, artan rakım ile birlikte ERA5 hatalarının artmakta olduğu sonucunu getirmektedir. Bu durumun bir sebebi olarak yüksek rakım bölgelerinde istasyon-model arasındaki temsiliyet farklılıkları gösterilebilir.

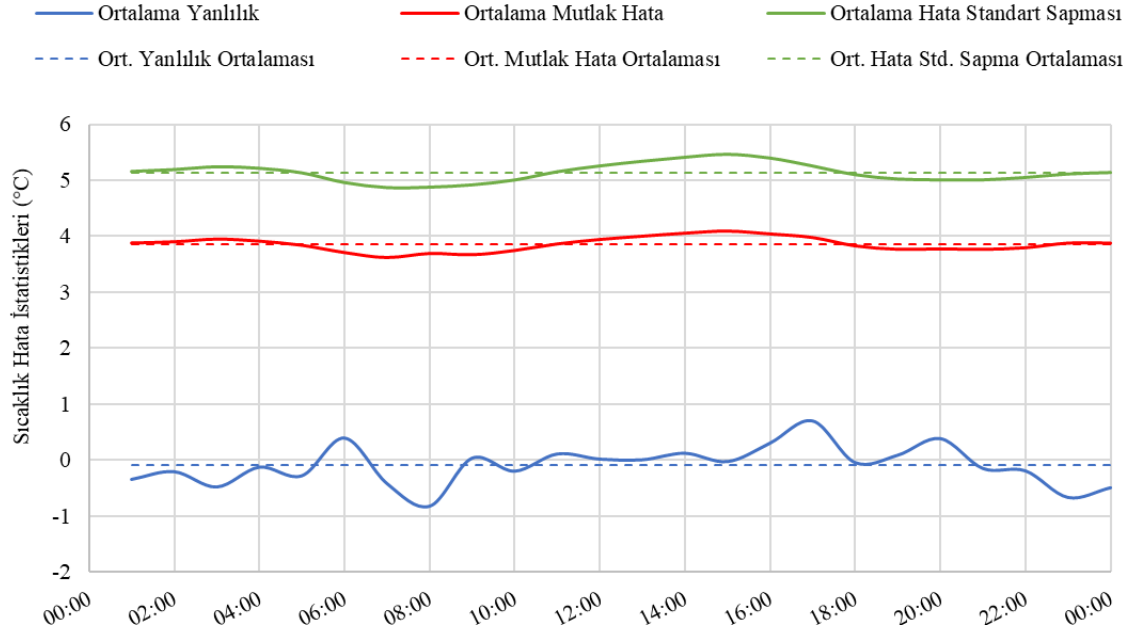


Şekil 4: İstasyonlardaki yanlılık değerlerinin rakıma göre değişimi



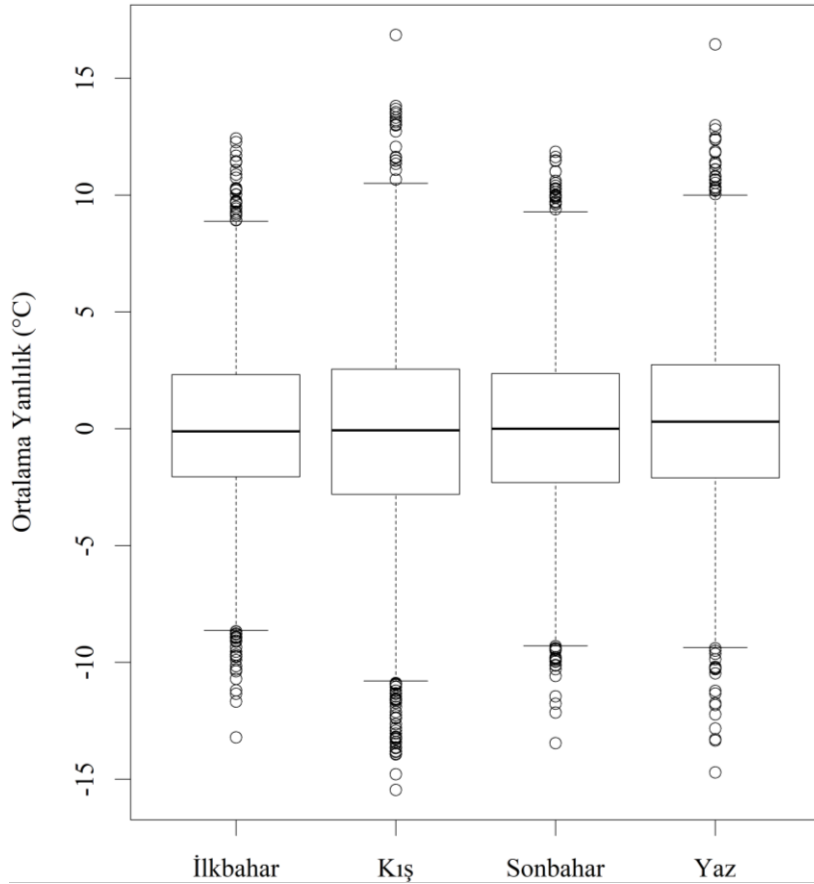
Şekil 5: ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin hata standart sapması değerlerinin rakıma göre değişimi

ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin rakım ile olan ilişkisinin yanı sıra, hataların gün içi saatlik değişimi de incelenmiştir (Şekil 6). Bu analizlerde, gün içindeki ortalama yanlılık değerleri değişmekle birlikte göze çarpan net bir saatlik eğilim yoktur; örneğin gündüz ve gece sıcaklık hataları arasında net bir fark gözlemlenmemektedir. Genel olarak ortalama yanlılık gün içi değişimleri ortalama mutlak hata ve ortalama hata standart sapması değerleri gün içi değişimlerinden daha fazladır. Gün içindeki mutlak hatalar ortalama olarak 3,9 °C, hata standart sapması ise ortalama olarak 5,1 °C civarında bulunmaktadır. Bu ortalama değerler, eğriler ile aynı renkteki kesik çizgilerle gösterilmektedir.



Şekil 6: ERA5 saatlik sıcaklık verileri hata istatistiklerinin saatlik değişimi

ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin ortalama yanıllıklarının gün içi değişiminin yanı sıra mevsimselliği de incelenmiştir (Şekil 7). Genel itibariyle ERA5 yanıllıkları toplam istasyon sayısının %50'sinde (çeyrek aralığı) $[-2, 2]$ °C arasında elde edilmektedir. Öte yandan istasyonların bir bölümünde ise ERA5 saatlik sıcaklık yanıllığı çok yüksek çıkmaktadır (Şekil 7 üzerinde daireler ile gösterilen değerler). Farklı mevsimler üzerinde elde edilen dağılımlara bakıldığında, ERA5 saatlik sıcaklık hata yanıllığının mevsimlere göre yanıllık değerleri dağılımı bakımından benzerlik göstermekte olsa da, kış mevsiminde diğer mevsimlere göre daha fazla hata içermektedir.

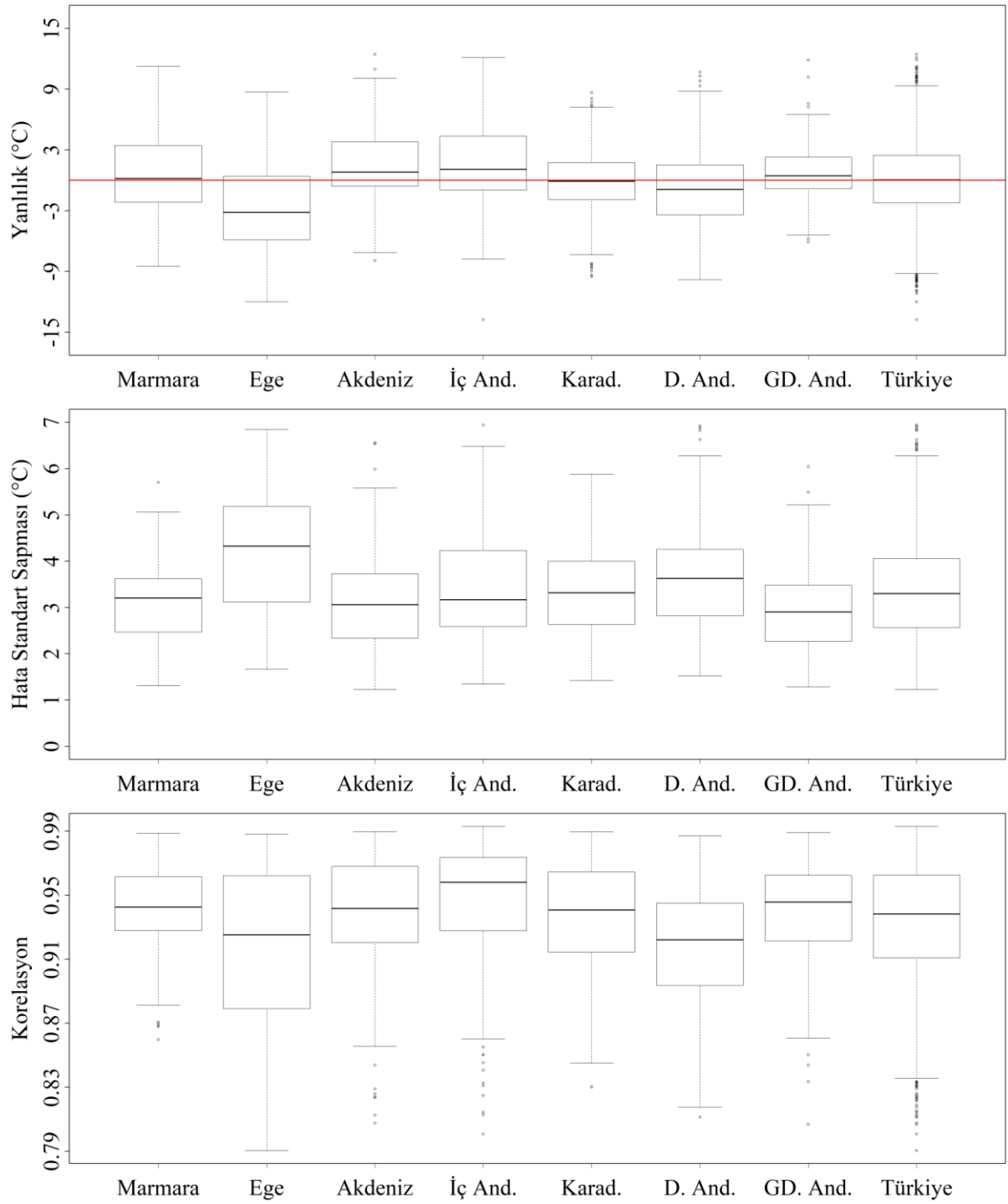


Şekil 7: ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin ortalama yanıllığının farklı mevsimlerde dağılımı.

Aziz vd. (2020) çalışmasında Küresel Dolaşım Modellerinin (Global Circulation Models) hatalarının Türkiye'deki farklı bölgeler üzerinde doğruluk analizlerinin gerçekleştirildiği gibi bu çalışmada da ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin hata istatistiklerinin, coğrafi bölgelere göre değişimi incelenmiştir. Tablo 3'te, bu çalışmada kullanılmış olan 1773 MGM istasyonunun coğrafi bölgelere göre sayısı, bu istasyonların ortalama rakımı ve bölgenin ortalama rakım bilgileri (Elibüyük ve Yılmaz 2010) sunulmaktadır. Tablo 3'te sayısı belirtilen istasyonlar kullanılarak ERA5 saatlik sıcaklık verilerinin hata istatistiklerinin 7 coğrafi bölgede ve Türkiye'de dağılımı elde edilmiş ve Şekil 8'de sunulmuştur. ERA5 yanlılık değerlerinin coğrafi bölgelere göre değişkenliği incelendiğinde, Ege Bölgesi hariç tüm bölgelerde ve Türkiye genelinde toplam istasyon sayısının %50'sinde (çeyrek aralığı) yanlılık değerleri $[-3, 3]$ °C değerleri arasında kaldığı görülmektedir. Bu bölgeler arasında Akdeniz ve İç Anadolu Bölgelerinde sıcak yanlılık değerleri daha belirgindir. Ege Bölgesinde ise çeyrek aralığı değerlerinin $[-6, 0]$ °C arasında soğuk yanlılığa sahip olduğu göze çarpmaktadır. Kutu grafiklerinde aykırı değerler haricinde çeyrek aralığı ve uç noktalar bakımından Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ERA5 yanlılığı en az değişkenliğe sahip bölgedir. Bu durum, hata standart sapması dağılımlarında da göze çarpmaktadır. Medyan değerleri ve çeyrek aralığı bakımından en düşük hata standart sapması Güneydoğu Anadolu Bölgesinde görülürken Ege Bölgesinde belirgin biçimde artış göstermektedir. Marmara, Akdeniz, İç Anadolu ve Karadeniz Bölgeleri Türkiye ortalamasında seyrederken (3-3,5 °C) Doğu Anadolu Bölgesinde 3,7 °C, Ege Bölgesinde ise 4,3 °C civarında görülmektedir. Hata standart sapması değerleri Aziz vd. (2020) çalışmasında belirtilen Türkiye ortalaması kök ortalama kare hatası (RMSE) değerleri ile tutarlılık göstermektedir. Bahsi geçen çalışmada farklı modellerden 12 adet demet şeklinde elde edilen günlük ekstrem sıcaklık değerlerinin Türkiye üzerinde ortalama hatalarının demet ortalaması alındığında, yaklaşık 3,2 °C RMSE değeri bulunurken (ilgili çalışmada [Tablo 3]) bu çalışmada saatlik ve günlük hata standart sapmaları 3,36 °C ve 2,52 °C olarak bulunmaktadır. Aziz vd. (2020) çalışmasında en yüksek hatalar Doğu Anadolu Bölgesinde çıkmaktayken bu çalışmada Ege Bölgesinde çıkmaktadır. Bu durumun, iki farklı çalışmada kullanılan model verileri arasındaki farklılıklardan kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir. ERA5-MGM korelasyon değerleri ve dağılımları incelendiğinde, İç Anadolu Bölgesinin diğer bölgelere kıyasla daha yüksek korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Ege ve Doğu Anadolu Bölgeleri medyan değer bakımından en düşük korelasyon değerlerine sahip bölgelerdir. Ancak korelasyon değeri dağılımlarına bakıldığında Ege Bölgesi daha dağınık bir korelasyon dağılımına sahiptir. Bağcı vd. (2021) çalışmalarında 1979-2019 yılları arasında tüm Türkiye üzerinde ERA5 aylık sıcaklık verilerinin MGM gözlem verileriyle korelasyonlarını 0,95 olarak hesaplamıştır (ilgili çalışmada [Şekil 2]). Bu çalışmada ise, 2011-2020 yılları arasında ERA5 saatlik ve aylık verilerin ortalama korelasyonları, sırasıyla 0,93 ve 0,99 olarak hesaplanmıştır. İki çalışma arasındaki dönem farklılıkları aylık korelasyonlar arasındaki farklılığı açıklayabilir. Bir başka deyişle, daha sık yerleştirilmiş ve ağırlıklı olarak OMGİ'lerden elde edilen güncel yer gözlem verilerinin sıcaklığı daha doğru bir şekilde yansıttığı ve ERA5 verilerinin geçmiş simülasyonlarının güncel simülasyonlara göre doğruluğunun daha az olduğu yönünde değerlendirilmektedir.

Tablo 3: Çalışmada kullanılan 1773 MGM istasyonunun coğrafi bölgelere göre dağılımı, bölgelerde ve Türkiye'de yer alan istasyonların ortalama rakımı ile bölgeler ve Türkiye'nin ortalama rakımı

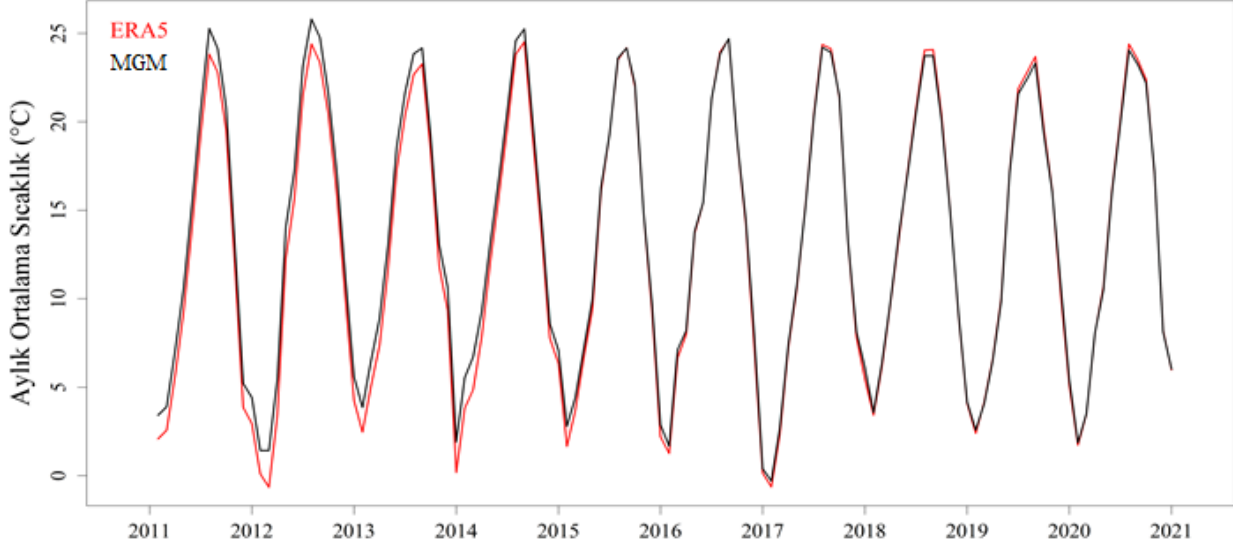
Bölge	İstasyon Sayısı	Ortalama İstasyon Rakımı (m)	Ortalama Bölge Rakımı (m)
Marmara	252	250	280
Ege	274	583	715
Akdeniz	226	736	1027
İç Anadolu	323	906	1205
Karadeniz	371	549	1163
Doğu Anadolu	199	1520	1829
Güneydoğu Anadolu	128	873	748
Türkiye	1773	733	1141



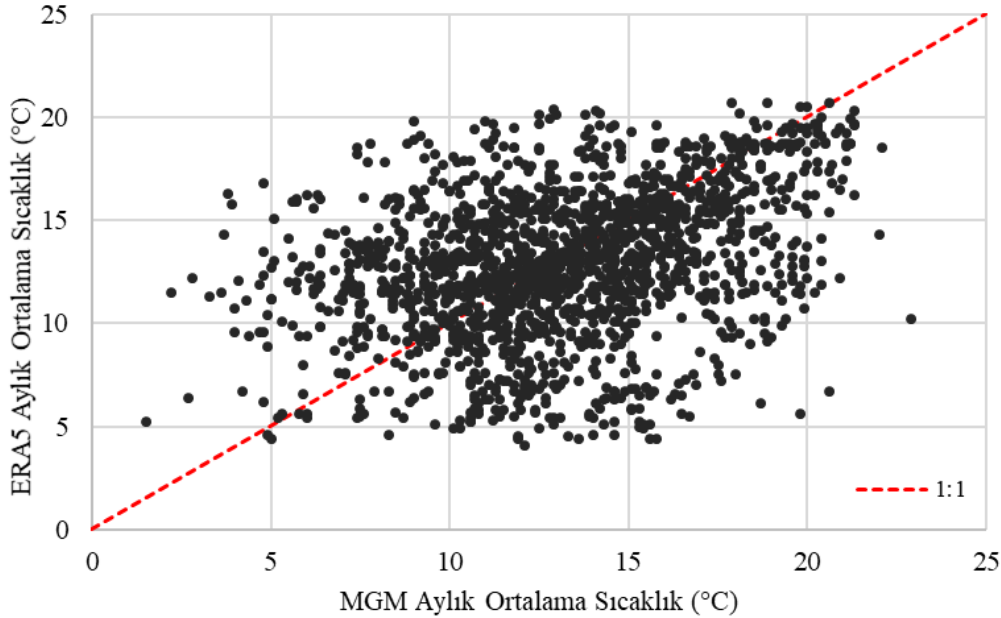
Şekil 8: ERA5 saatlik sıcaklık verileri hata istatistiklerinin coğrafi bölgelerde ve Türkiye'de dağılımı

Bu çalışmada kullanılan 1773 istasyon üzerinde elde edilen gözlem ve ERA5 sıcaklık değerlerinin aylık ortalamaları incelendiğinde (Şekil 9), bu iki aylık zaman serilerinin çok yüksek doğrusal ilişkiye sahip olduğu görülmektedir (Tablo 2; 0,99 korelasyon). Özellikle 2015 yılından sonra, ERA5 ve MGM aylık zaman serilerinin neredeyse kusursuz örtüşmesi dikkati çekmektedir. Bu durum, MGM tarafından işletilen OMGİ sayılarındaki 2015 sonrası belirgin artışla birlikte ERA5 yeniden analiz verilerinin ortalamada istasyon gözlemlerini daha yüksek doğrulukla yakaladığını göstermektedir. Ancak Türkiye ortalama değerleri arasındaki bu yüksek doğrusal ilişkiye rağmen istasyonların tek tek incelenmesi durumunda veri setleri arasında yüksek farklılıklar da gözlemlenmektedir (Şekil 10). Aylık ortalama sıcaklıklar arasındaki farklılıkların her ay için ele alınıp bu farklılıkların mevsimselliği incelendiğinde, ERA5 ortalama mutlak hata ve ortalama hata standart sapmasının değerlerinin kış aylarında (~5 °C) diğer aylara görece (~4 °C) daha fazla olduğu, fakat ortalama yanlılık değerlerinde mevsimsellik görülmediği sonuçları ortaya çıkmaktadır (Şekil 11).

Saatlik istatistiklerde gözlemlenen ortalama mutlak hata ve ortalama hata standart sapması arasındaki benzerlik (Şekil 6) paralel bir şekilde aylık istatistiklerde de gözlemlenmektedir (Şekil 11). Bu durum, saatlik ve aylık istatistiklerin ortalamada farklı değerlere sahip olmasıyla birlikte zamansal değişimlerinin benzer olduğunu ortaya koymaktadır. Ortalama değerler, Şekil 11 üzerinde de eğriler ile aynı renkteki kesik çizgilerle gösterilmektedir. Her ay özelinde sıcaklık değerlerinin standart sapma ve ortalama değerlerini kullanan sonradan işleme (post-processing) metodolojileri bu hataları ortadan kaldırılabılır veya önemli ölçüde azaltabilir. Bu noktada, Tablo 2 üzerinde verilen aylık ortalama hata standart sapma verisi, tüm istasyonların 120 ay boyunca elde edilen sıcaklık değerlerinin hatalarının standart sapmasına karşılık gelmekteyken, Şekil 11 üzerinde verilen ortalama aylık hata standart sapması verisi 1773 istasyonun 10 yıl boyunca her bir ay için elde edilen verilerinin hata standart sapmasına karşılık gelmektedir. Bu durumda, 120 değerden elde edilen standart sapma verisinin (Tablo 2) 17730 değerden elde edilen standart sapma değerine göre düşük olması da beklenen bir sonuçtur; yani istasyon ortalamalarının alınması hataların birbirini söndürmesine sebep olmaktadır.



Şekil 9: Aylık ortalama sıcaklık verilerinin yıllara göre değişimi

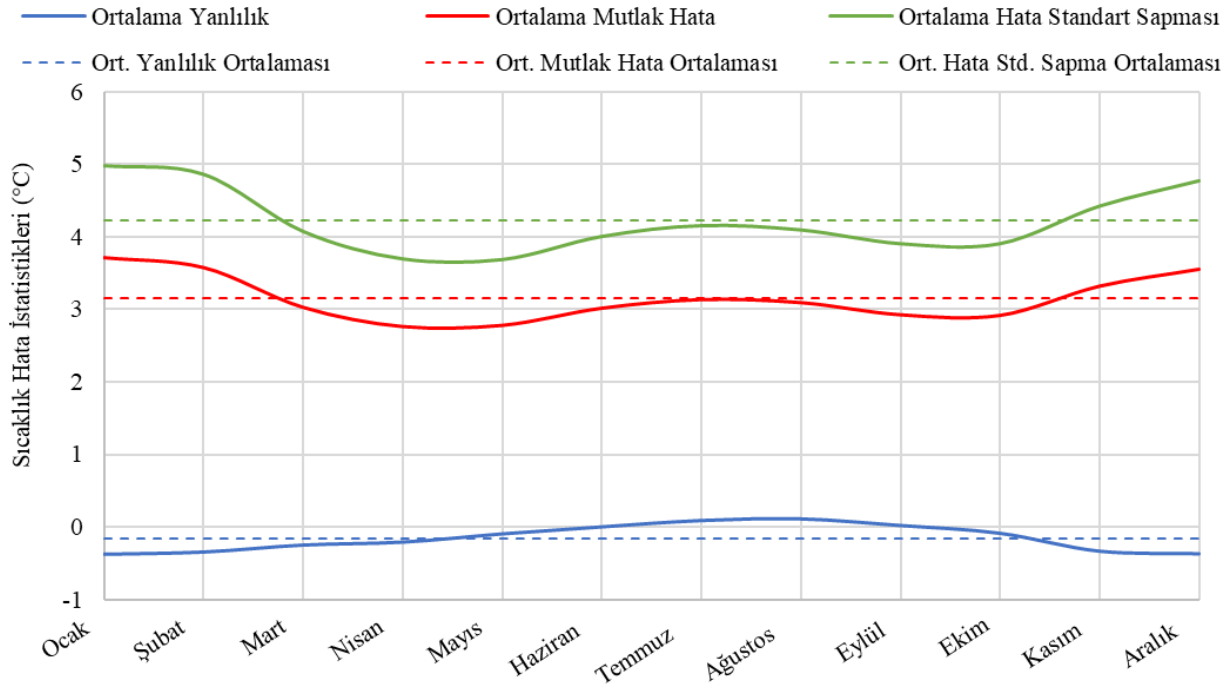


Şekil 10: ERA5 ve MGM aylık ortalama sıcaklık verilerinin ilişkisi

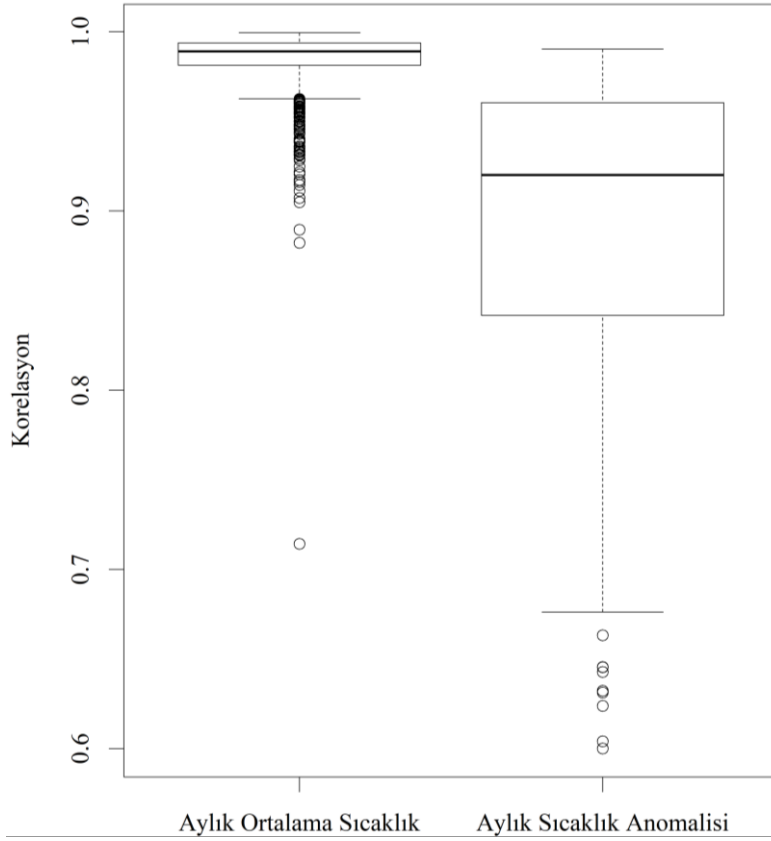
Aylık ortalama sıcaklıkların zamansal korelasyonunun hesaplanmasının yanı sıra mekansal korelasyon analizinde, her bir istasyon üzerinde ortalama sıcaklıkların elde edilmesinin ve ardından bu ortalama sıcaklıklar arasında korelasyonun hesaplanması ile gerçekleştirilmiştir. Denklem 5 kullanılarak μE_s ile μM_s değişkenlerinin korelasyon katsayısı, ρ hesaplanmıştır:

$$\rho = \frac{(\mu E_s - \mu E)(\mu M_s - \mu M)}{\sigma E \sigma M} \quad (5)$$

Burada, μE_s ve μM_s , sırasıyla ERA5 ve MGM aylık ortalama sıcaklıklarını, μE ve μM , sırasıyla μE_s ve μM_s değerlerinin ortalamasını (1773 istasyonun ortalaması), σE ve σM , sırasıyla μE_s ve μM_s değerlerinin standart sapmasını, üst çizgi ise zamana bağlı ortalama almayı temsil etmektedir. Mekansal korelasyon hesabı yapılan değerler Şekil 10 üzerinde sunulmaktadır. Zamansal korelasyonların çok yüksek (0,99) olmasının aksine Denklem 5 ile hesaplanan mekansal korelasyonlar çok düşük (0,36) çıkmaktadır. Aylık sıcaklık verilerinin korelasyonları mevsimsellikten önemli bir derecede etkilenmektedir. Bu mevsimselliği gösteren her ayın 10 yıllık ortalama sıcaklıkları, ilgili aydan çıkarılması ile aylık sıcaklık anomali verileri elde edilmektedir. Mevsimsellikten arındırılmış anomali sıcaklıklarının zamansal korelasyonlarının yüksek çıkması (Şekil 12), ERA5 verilerinin aylık ortalamalardan gerçekleşen anomali sapmalarını da iyi modelleyebildiğini göstermektedir. Bir başka ifade ile ERA5 verilerinin mevsim normallerinden gerçekleşen sapmaları modelleme yeteneği çok yüksektir. Bu durum özellikle kuraklık çalışması gibi anomali değerlerini temel alan çalışmalar için ERA5 değerlerinin yüksek doğrulukta analizler gerçekleştirmede kullanılabilirliğini göstermektedir. Öte yandan, mekansal korelasyonların ise değişken topoğrafyadan olumsuz yönde etkilendiği (mekansal korelasyonların azaldığı) sonucunu ortaya çıkılmaktadır. Bu durum, ülkemiz gibi değişken topoğrafyalarda istasyonların bulunmadığı bölgelerde, ortalama sıcaklıkların mekansal dağılımının ERA5 verilerine alternatif olarak uydulardan da elde edilebileceği yorumunu getirmektedir.



Şekil 11: ERA5 aylık ortalama sıcaklık verileri hata istatistiklerinin aylık değişimi



Şekil 12: ERA5 aylık ve aylık anomali sıcaklık verilerinin istasyon verileriyle hesaplanan korelasyonlarının dağılımı

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, ERA5 saatlik hava sıcaklık verileri Türkiye üzerinde MGM tarafından işletilen 1773 meteorolojik gözlem istasyonunda elde edilen gözlemler kullanılarak 2011-2020 arasında analiz edilmiş ve doğrulanmıştır. Analizlerde saatlik, günlük ve aylık zaman serilerinin istatistiklerinin hesaplanmasının yanı sıra saatlik sıcaklık verilerinin hata istatistiklerinin coğrafi bölgelere göre farklılıkları da analiz edilmiştir. Saatlik ve aylık analizler hataların gün içinde ve/veya ay bazında değişim gösterip göstermediği de incelemiştir.

Sonuçlar, ERA5 sıcaklık verilerinin yanlılığının gün içinde saate bağlı değişim göstermediğini, öte yandan kış aylarında hata değişiminin diğer aylara görece daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. ERA5 ve MGM sıcaklık verileri arasındaki korelasyonun yüksekliği ağırlıklı bir şekilde mevsimsellik korelasyonunun yüksekliğinden etkilenmesiyle birlikte, ERA5 verileri istasyonlardaki aylık sıcaklık ortalamalardan sapmaları da yüksek doğrulukta elde edebilmektedir. Bu durum, ERA5 verilerinin kuraklık analizi gibi ortalamalardan arındırılmış anomali verilerine ihtiyaç duyan analizlerde yüksek doğrulukta kullanılabilir olduğunu ortaya koymaktadır.

ERA5 saatlik verilerin doğrulanmasında korelasyon ve hata standart sapması değerlerinin birbirlerinin sonuçlarını destekleyici çıkması bu iki istatistiğin güvenilir ve tutarlı olarak ERA5 hatalarının istasyonlar arasında karşılaştırılmasında kullanılabileceğini göstermektedir. Genel itibarıyla artan rakım ile birlikte ERA5 hatalarının da artmakta olduğu bulunmuştur. Bu durumun bir sebebi olarak istasyon-model arasındaki temsiliyet farklılıkları gösterilebilir.

Tüm Türkiye sıcaklık ortalaması karşılaştırılması gerçekleştirildiğinde ERA5 ve istasyonlar arasında fark çok fazla bulunmamakla birlikte, ERA5 sıcaklık yanlılığı farklı coğrafi bölgelerde ve farklı yükseklik değerlerinde ciddi değişim göstermektedir. Ege Bölgesindeki hataların diğer bölgelere kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Benzer bir şekilde, tüm Türkiye üzerindeki ERA5 ve istasyon sıcaklık değerlerinin standart sapması ortalama olarak birbirine çok benzer çıkmasına rağmen, mekansal olarak bu değerler çok farklılık göstermekte ve bazı istasyonlarda iki kata veya yarıya yakın standart sapma farklılıkları gözlemlenebilmektedir. Bu durum ERA5 verilerinin farklı çalışmalarda referans veri seti olarak kullanılmadan önce, mutlak suretle hücresel veya mekana göre değişen düzeltme katsayıları ile iyileştirildikten sonra ancak kullanılabileceğini, tüm Türkiye üzerinde tek bir düzeltme katsayısı kullanmanın sistematik hataları düzeltmede başarısız olabileceği değerlendirilmektedir.

Hata istatistikleri, literatürde yapılan doğrulama çalışmaları ile tutarlıdır ve çalışmada elde edilen sonuçlar, ERA5 veri setlerinin Türkiye’de homojen ve sürekli veriye ihtiyaç duyan çalışmalarda özellikle seyrek meteorolojik istasyon ağı içeren bölgelere farklı uygulamalarda güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini önermektedir.

Teşekkürler

Yazar, çalışma kapsamında kullanılan saatlik sıcaklık verilerini temin eden Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve European Centre for Medium-Range Weather Forecasts'e (ECMWF) teşekkür eder.

Kaynaklar

- Amjad M., Yılmaz M.T., Yılmaz K., Yücel İ., (2020), *Performance evaluation of satellite- and model-based precipitation products over varying climate and complex topography*, Journal of Hydrology, 584, 124707, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124707.
- Aziz R., Yücel İ., Yozgatlıgil C., (2020), *Nonstationarity impacts on frequency analysis of yearly and seasonal extreme temperature in Turkey*, Atmospheric Research, 238, 104875.
- Bağcı S., Yücel İ., Düzenli E., Yılmaz M.T., (2021), *Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey*, Atmospheric Research, 256, 105576.
- CDS, (2021), *Climate Data Store*, ECMWF Copernicus, <https://cds.climate.copernicus.eu/>, [Erişim 6 Ağustos 2021].
- Coşkun K.A., (2021), *Doğu Karadeniz Orman Yangınlarının Uzun Dönem Meteorolojik Parametrelerle Değerlendirilmesi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(2), 374-381.
- Demchev D.M., Kulakov M.Y., Makshtas A.P., Makhotina I.A., Fil'chuk K.V., Frolov, I.E., (2020), *Verification of ERA-Interim and ERA5 Reanalyses Data on Surface Air Temperature in the Arctic*, Russian Meteorology and Hydrology, 45(11), 771-777.
- Demirok M.C., (2020), *Hayat Tablosu Verileri Kullanarak Elde Edilen Matematiksel Model ve Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Elibüyük M., Yılmaz E., (2010), *Türkiye'nin Coğrafi Bölge ve Bölümlerine Göre Yükselti Basamakları ve Eğim Grupları*, Coğrafi Bilimler Dergisi, 8(1), 27-55.
- Essou G.R., Sabarly F., Lucas-Picher P., Brissette F., Poulin A., (2016), *Can Precipitation and Temperature from Meteorological Reanalyses Be Used for Hydrological Modeling?*, Journal of Hydrometeorology, 17(7), 1929-1950.
- Frederiksen L.-E., (2018), *An evaluation of the reanalyses ERA-Interim and ERA5 in the Arctic using N-ICE2015 data*, Yüksek Lisans Tezi, UiT The Arctic University of Norway, Tromsø, Norway.
- Hersbach H., Dee D., (2016), *ERA5 reanalysis is in production*, ECMWF Newsletter, 147(7), <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/147/news/era5-reanalysis-production>, [Erişim 6 Ağustos 2021].
- Kadıoğlu M., (1997), *Trends in Surface Air Temperature Data over Turkey*, International Journal of Climatology, 17, 511-520.
- KC U.A., Aryal J., Hilton J., Garg S., (2021), *A Surrogate Model for Rapidly Assessing the Size of a Wildfire over Time*, Fire, 4(2), 20, doi: 10.3390/fire402020.
- Kelebek M.B., Batıbeniz, F., Önel B., (2021), *Exposure Assessment of Climate Extremes over the Europe-Mediterranean Region*, Atmosphere, 12(5), 633, doi: 10.3390/atmos12050633.
- King J., Marshall G., Colwell S., Allen-Sader C., Phillips T., (2021), *Validation of atmospheric reanalyses over the Weddell Sea, Antarctica, using observations from drifting buoys*, EGU General Assembly Conference Abstracts'ın içinde, Vienna, Austria, EGU21-10127.
- Kömüşçü A., Oğuz K., (2021), *Analysis of cold anomalies observed over Turkey during the 2018/2019 winter in relation to polar vortex and other atmospheric patterns*, Meteorology and Atmospheric Physics, 133, 1327-1354.
- MGM, (2021a), *İstasyon Bilgileri Veritabanı*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://mgm.gov.tr/kurumsal/istasyonlarimiz.aspx> [Erişim 28 Ağustos 2021].
- MGM, (2021b), *Türkiye Meteoroloji Gözlem Sistemleri İstatistiksel Analizleri: (1970-2021)*, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/gozlemSistemleri/Turkiye-Meteorolojik-Gozlem-Sistemleri-Istatistiki-Analizler.pdf> [Erişim 12 Ocak 2022].
- Mutiibwa D., Strachan S., Albright T., (2015), *Land Surface Temperature and Surface Air Temperature in Complex Terrain*, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 8(10), 4762-4774.
- NASA, (2021), *Which measurement is more accurate: taking Earth's surface temperature from the ground or from space?* NASA Global Climate Change, <https://climate.nasa.gov/faq/49/which-measurement-is-more-accurate-taking-earths-surface-temperature-from-the-ground-or-from-space/>, [Erişim 1 Temmuz 2021].
- NOAA, (2021), *Weather and Climate Models*, NOAA National Centers for Environmental Information, <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets>, [Erişim 1 Temmuz 2021].
- Özgür E., Akbayır İ., Deniz A., (2017), *Monthly and Seasonal Trend Analysis of Maximum Temperatures over Turkey*, International Journal of Engineering Science and Computing, 7 (11), 15537-15541.
- Rakhmatova N., Arushanov M., Shardakova L., Nishonov B., Taryannikova R., Rakhmatova V., Belikov D., (2021), *Evaluation of the Perspective of ERA-Interim and ERA5 Reanalyses for Calculation of Drought Indicators for Uzbekistan*, Atmosphere, 12(5), 527, doi: 10.3390/atmos12050527.
- Rasp S., Lerch S., (2018), *Neural Networks for Postprocessing Ensemble Weather Forecasts*, Monthly Weather Review, 146(11), 3885-3900.
- Tarek M., Brissette F.P., Arsenault R., (2020), *Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America*, Hydrology and Earth System Sciences, 24, 2527-2544.
- Vitolo C., Di Giuseppe F., Barnard C., Coughlan R., San-Miguel-Ayaz J., Libertá G., Krzeminski B., (2020), *ERA5-based global meteorological wildfire danger maps*, Scientific Data, 7(1), 216, doi: 10.1038/s41597-020-0554-z.
- WMO, (2010), *Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in support of the UNFCCC: (2010 update)*, GCOS-138 World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Yılmaz E., Darende V., (2021), *Türkiye'de yağış ölçümü yapılan manuel-otomatik meteoroloji gözlem istasyonu verilerinin karşılaştırılması*, Türk Coğrafya Dergisi, 77, 53-66.

Van Gölü Su Yüzeyi Sıcaklıklarının Eğilim Analizi

Kebir Emre Saraçoğlu¹, Fevziye Ayça Saraçoğlu^{2*}

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

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 17020, Çanakkale.

Özet

Bu çalışmada, Van Gölü su yüzeyi sıcaklıklarının değişimi ve eğilimi araştırılmıştır. 2016-2020 tarih aralığı için; NASA-Gündüz, NASA-Gece uydru verileri ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) 3 istasyon için edinilmiş olan ölçüm verileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca gündüz ve gece uzun dönem uydru verilerinin (2001-2020) Theil-Sen ve Yenilikçi Eğilim Analizi yöntemleriyle aylık, yıllık (minimum-ortalama-maksimum) ve mevsimsel eğilim analizleri ile anlamlılık seviyeleri belirlenmiştir. 2016-2020 tarih aralığını kapsayan MGM ölçüm verileri ile NASA-Gündüz/NASA-Gece uydru verilerinin oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir ($R=0,94-0,99$). NASA-Gece su yüzeyi sıcaklıkları MGM ölçüm verileri ile daha uyumludur. 2001-2020 tarih aralığı için NASA-Gündüz ve NASA-Gece su yüzeyi sıcaklık verilerinin %1 anlamlılık düzeyinde homojen olduğu belirlenmiştir. Hem kısa hem de uzun dönemde su yüzeyi sıcaklıkları artış eğilimindedir. Aylık analizlerdeki en fazla artış ($0,094\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$) gündüz verileri için Haziran ayında, gece verileri için ($0,104\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$) Nisan ayında belirlenmiştir. Mevsimsel analizlerdeki en fazla artış ilkbahar mevsiminde gece verilerinde ($0,080-0,099\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$) tespit edilmiştir. Uzun dönem yıllık ortalama su yüzeyi sıcaklığındaki ortalama artış $0,043\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerin, Doğu Karadeniz için belirlenmiş olan ($0,11\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$) artıştan daha küçük, Ege ve Doğu Akdeniz için belirlenmiş olandan fazla ($0,055\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$), Güney Hazar Denizi için belirlenmiş olan artışın ($0,029 \pm 0,009\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$) yaklaşık 1,5 katı ve okyanuslar için belirlenmiş olan artışın ($0,011\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$) yaklaşık 4 katı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Van Gölü, Su Yüzeyi Sıcaklığı, Eğilim Analizi, Homojenlik

Trend Analysis of Lake Surface Temperatures in Lake Van

Abstract

In this study, the change and trend of water surface temperatures of Lake Van has been investigated. For the period of 2016-2020; NASA-Day, NASA-Night satellite and measurement data obtained from the Turkish State Meteorological Service for 3 stations were compared. In addition, the monthly, the annual (minimum-average-maximum), the seasonal trend analysis of day and night long-term satellite data (2001-2020) and their significance levels were determined by the Theil-Sen and Innovative Trend Analysis. Measurement data covering for the period of 2016-2020 and NASA-Day, NASA-Night satellite data were highly compatible ($R=0,94-0,99$). NASA-Night water surface temperatures were found to be more compatible with measurement data than NASA-Day satellite data. NASA-Day and NASA-Night water surface temperatures covering for the period of 2001-2020 were found to be homogeneous at a 1% significant level. Water surface temperatures tend to increase both in the short and long term. The highest increase in monthly analyses ($0,094\text{ }^{\circ}\text{C/year}$) was determined in June for NASA-Day and in April for NASA-Night ($0,104\text{ }^{\circ}\text{C/year}$). The highest increase in seasonal analyses was seen in night data ($0,080-0,099\text{ }^{\circ}\text{C/year}$) in the spring season. The average increase in long-term annual average water surface temperatures was calculated as $0,043\text{ }^{\circ}\text{C/year}$. It was concluded that this value is smaller than the increase determined for the Eastern Black Sea ($0,11\text{ }^{\circ}\text{C/year}$), higher than the calculated for the Aegean and Eastern Mediterranean ($0,055\text{ }^{\circ}\text{C/year}$), approximately 1,5 times the increase determined for the South Caspian Sea ($0,029 \pm 0,009\text{ }^{\circ}\text{C/year}$) and about 4 times the increase (as $0,011\text{ }^{\circ}\text{C/year}$) for the oceans.

Keywords

Lake Van, Lake Surface Temperature, Trend Analysis, Homogeneity

1. Giriş

Su Yüzeyi Sıcaklıkları (SYS), ekoloji, balıkçılık, iklim değişikliği, denizcilik vb. açılardan bölgesel analizlerde önemli ve gerekli olan parametrelerden biridir. Hidrolojik çevrimle de yakından ilişkili olan bu parametre; denizler, okyanuslar, göller ve atmosfer arasındaki dengenin sağlanmasında etkili bir role sahiptir. SYS değişiminin iklim değişikliği ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir. Günümüzde enerji ihtiyacının sürekli artış içerisinde olması ve bu ihtiyacın önemli bir kısmının fosil yakıt kaynaklarından elde edilmesi sera gazı salınımlarında kayda değer artışlara sebep olmaktadır.

Bu artış sonucunda da hidrolojik çevrimde ve bununla ilişkili SYS'nin de içerisinde bulunduğu, bazı fiziksel parametrelerin eğilim ve sıklıklarını değiştirmektedir. Sera gazlarının atmosferde birikmesiyle mevcut yapının değişimi, olağan dengeleri de bozmuş ve daha fazla kararsızlık oluşmaya başlamıştır (Şişman 2019).

Stockner vd. (2013), IPCC-2013 raporunda 20 yy. başlarından itibaren küresel olarak su yüzeyi sıcaklıklarının 0,0042-0,0054 °C/yıl arttığını, Rhein vd. (2013) ise 1971-2010 tarih aralığında okyanuslar için 0,011 °C/yıl artış olduğunu belirlemişlerdir. Okyanuslarda 1979-2012 tarih aralığı için Rayner vd. (2003) 0,072±0,024 °C/10yıl; Ishii vd. (2005) 0,073±0,020 °C/10yıl; Smith vd. (2008) 0,105±0,031°C/10yıl; Kennedy vd. (2011) 0,124±0,030 °C/10yıl artış belirlemişlerdir. Küresel olarak deniz suyu sıcaklıklarındaki eğilimlerin belirlenmesinde farklı veri setleri ve tarih aralıkları için artış eğilimleri elde edilmiştir. Ayrıca yapılan diğer çalışmalarda (Ginzburg vd. 2004; Park vd. 2015; Kashkooli vd. 2019; Saraçoğlu vd. 2021) dünyanın farklı bölgeleri için su yüzeyi sıcaklıklarındaki eğilimler araştırılmış ve bölgelere özgü artış değerleri hesaplanmıştır.

Göller, çevresel değişikliklere karşı hassas olup (Carpenter vd. 2007), iklim değişikliğiyle birlikte fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin hızlıca değişimiyle çevresel değişikliklere cevap verdikleri bilinmektedir (Rosenzweig vd. 2007). İklim değişikliği kaynaklı olarak yağış rejimlerinde meydana gelen değişimler sonucunda göllere direkt giren yüzeyel ve yeraltı sularının miktarına bağlı göl suyu tuzluluğunun ve hacminin artıp azaldığı bilinmektedir (Winter 1999). Dolayısıyla göllerin karakteristik özelliklerinin değişimi küresel iklim değişikliğinin önemli göstergelerinden birisidir.

Son zamanlarda göllerin su yüzeyi sıcaklığının eğilimi ve tahmini farklı çalışmalara konu olmuştur. Trumpickas vd. (2009) çalışmalarında; gelecekteki iklim değişikliği modellerinden üretilen hava sıcaklıklarını kullanarak su sıcaklıklarının tahmininde kullanılması amacıyla, su yüzeyi sıcaklıkları ile yerel hava sıcaklığı arasında ampirik bir ilişki belirlemeye çalışmışlardır. Öglü vd. (2020), 1950-2018 tarih aralığında Peipus Gölündeki su yüzey sıcaklıklarının uzun dönem eğilimlerini ve ekstrem değişikliklerin sıklığını, göl yüzeyi su sıcaklıklarının iklim değişikliğine nasıl cevap verdiğini araştırmışlardır. 1950 itibarıyla ortalama göl yüzeyi su sıcaklıklarının önemli bir artış göstermediğini, son on yılda kış mevsiminde 0,5 °C arttığını belirlemişlerdir. Virdis vd. (2020), 2000-2018 periyodu için 24 gölde (23 yapay ve 1 doğal), Landsat ve MODIS verileri ile ölçüm göl yüzeyi su sıcaklıklarını kullanarak 0,010°C/yıl artış eğilimi belirlemişlerdir. Yang vd. (2020), Çin'in Yunnan-Guizhou Platosunda yer alan 11 doğal gölde gündüz ve gece su yüzeyi sıcaklıklarının, yakın yüzey hava sıcaklığı, yüzey basıncı, yüzey güneş ışıması, toplam bulutluluk, rüzgar hızı ve Secchi Derinliğiyle ilişkisini araştırmışlardır. Bununla birlikte 2001-2019 dönemini kapsayan çalışmalarında, gündüz su yüzeyi sıcaklıklarındaki değişim oranının, gece su yüzeyi sıcaklıklarındaki değişim oranından daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Yu vd. (2020) ise çalışmada, Yang vd. (2020)'nin çalışmasında yer alan 11 gölün su yüzeyi sıcaklık değişimlerini analiz etmişlerdir. Bu bağlamda, ε-Destek Vektör Regresyonu, Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları Yöntemi kullanılarak bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu model kullanılarak Ocak 2018-Aralık 2019 dönemini kapsayacak şekilde 11 göl için Su Yüzeyi Sıcaklıkları modellenmiştir. Ayrıca 2001-2019 dönemi için su yüzeyi sıcaklıklarındaki değişim karakteristikleri ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen hibrit modelin su yüzeyi sıcaklıklarını tahmin etmede oldukça etkili olduğunu göstermiştir.

Bu araştırmaya konu olan Van Gölü'ne ilişkin literatürdeki çalışmalar su seviyesi değişimi (Batur vd. 2009; Yıldız ve Deniz 2005; Yeşilova vd. 2019), iklim değişikliğinin etkileri (Kadıoğlu vd. 1997; Sarı vd. 2000), su yüzeyi sıcaklığının uydu verileriyle analizi (Kavak ve Karadoğan 2012; Kavak 2021), gölün biyolojik analizi (Huguet vd. 2011), jeolojisi (Degens vd. 1984; Çiftçi vd. 2008) üzerine yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte Van Gölü Havzasının yağış (Emek 2014; Şenocak ve Emek 2019; Coşkun 2020) ve kuraklık (Yetmen 2013; TOB 2018; TOB 2020) analizleri birçok çalışmaya konu olmuştur.

Kavak ve Karadoğan (2012) yürütmüş oldukları çalışmalarında Van Gölü su yüzeyi sıcaklıklarındaki değişimi 4 km çözünürlüğe sahip AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer / Geliştirilmiş Çok Yüksek Çözümlemeli Radyometre) verisi ile 1 km çözünürlüğe sahip DLR (Deutsches Zentrum für Luft- Und Raumfahrt / Alman Havacılık Merkezi) verisini kullanarak araştırmışlardır. Ancak kullanılan zaman serilerinde çok sayıda eksik verinin bulunması ve Van Gölü'nün sadece batısının göz önüne alınması sebebiyle, elde edilen sonuçlar tartışmaya açıktır.

Kavak (2021) tarafından yürütülen araştırmada, MODIS-Aqua uydu verileri kullanılarak uzun dönemli Van Gölü su yüzeyi sıcaklıkları ile Klorofil-a Pigment Konsantrasyonu arasındaki ilişki incelemiştir. Bu çalışma sonucunda Van Gölü su yüzeyi sıcaklıklarındaki değişim ile Klorofil-a Pigment konsantrasyonu arasında belirgin bir korelasyona ulaşılamamıştır.

Van Gölüne ilişkin NASA su yüzeyi sıcaklık verileri daha önceki çalışmalarda kullanılmış (Kavak ve Karadoğan 2012; Kavak 2021) ancak MGM ölçüm verileri ile karşılaştırılmamıştır.

Birçok çalışmada, küresel iklim değişikliğinin deniz suyu sıcaklıklarına etkisinin belirlenmesi amacıyla; Türkiye çevresindeki tüm denizler için hem ölçüm verileri hem de uydu verileri kullanılarak deniz suyu sıcaklıklarının eğilimi araştırılmıştır. Türkiye'nin en büyük gölü olan Van Gölü'ndeki değişikliklerin belirlenmesi için yapılan çalışmalar ise oldukça kısıtlıdır. Dolayısıyla göllerin karakteristik özelliklerinin değişimi küresel iklim değişikliğinin önemli göstergelerinden birisi olduğu bilindiğinden yürütülen bu çalışma ile literatürdeki boşluğun doldurulması amaçlanmıştır.

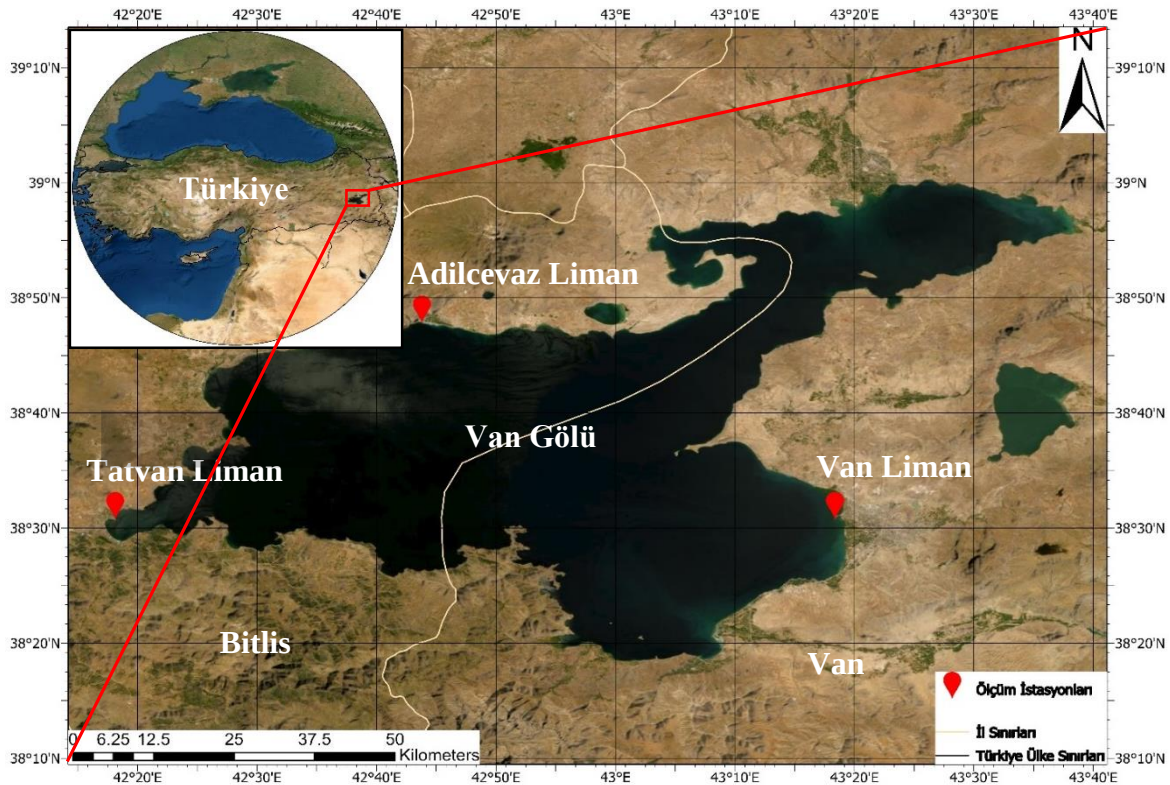
Bu çalışma kapsamında, 2016-2020 tarih aralığı için Van Gölü'nde; NASA gündüz ve gece uydu verileri ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden üç istasyon için edinilmiş olan ölçüm verileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca gündüz ve gece uzun dönem uydu verilerinin (2001-2020), Theil-Sen ve Yenilikçi Eğilim Analizi yöntemleriyle aylık, yıllık (minimum-ortalama-maksimum) ve mevsimsel eğilim analizleri ile anlamlılık seviyeleri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, dünyanın en büyük sodalı gölü olan ayrıca Türkiye'nin en büyük gölü olan Van Gölü'ndeki su yüzeyi sıcaklıklarının zamansal değişimi araştırılmıştır. Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan Van Gölü'nün ve su yüzeyi sıcaklıklarının ölçüldüğü istasyonların (Van Liman-Tatvan Liman-Adilcevaz Liman) konumları Şekil 1'de görülmektedir.

Van Gölü'nün uzun yıllar ortalama su seviyesi 1648,33 m, en derin yeri yaklaşık 452,91 m ve ortalama derinliği 162,42 m'dir. Van Gölü'nün yüzey alanı 3576,71 km²'dir (TOB 2020). Şekil 2'de görüldüğü gibi dağlık bir arazi olan Van Gölü Havzasında çok sayıda göl ve bu gölleri besleyen akarsular bulunmaktadır. Van Gölü'ne dökülen akarsular; Karasu Çayı, Bedhimahi Çayı, Güzelsu Çayı, Zilan Deresi, Deliçay, Yeniköprü Çayı'dır. Van Gölü, suyunu genel olarak yağış, kar erimesi ve 12500 km²'lik drenaj alanına sahip Van Gölü Havzasından sağlamakta olup, buharlaşmayla da kaybetmektedir (Kadioğlu vd. 1997). Türkiye'nin ikinci büyük içe akışlı havzası olan Van Gölü Kapalı Havzası, sularını çevre denizlere gönderememektedir. Van Gölü su seviyesinin Van-İskele ve Tatvan Göl Gözlem İstasyonlarından elde edilmiş olan uzun dönem verileri ile artış eğiliminde olduğu ortaya konmuştur (TOB 2018).



Şekil 1: Çalışma alanı ve ölçüm istasyonlarının konumları

Karasal iklimdeki Van Gölü Havzası'nda, en soğuk ay Ocak ve en sıcak ay ise Temmuzdur. Havzada en fazla buharlaşma Temmuz ve Ağustos aylarında, en düşük buharlaşma ise Kasım ayında gözlenirken; Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında buharlaşma gerçekleşmemektedir (TOB 2018).

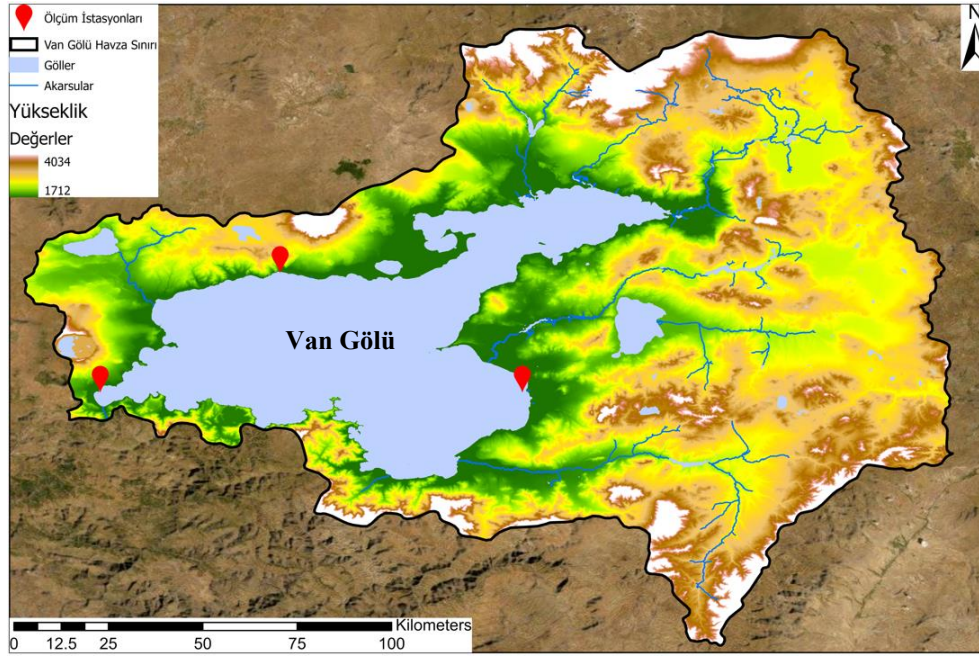
Keskin vd. (2018) Doğu Anadolu Bölgesi için sıcaklık ve yağış eğilimlerini araştırmış, ülkemizin doğu bölgesinin iklim değişikliğine duyarlı olduğunu ve bu bölgede bulunan 12 il için sıcaklıkların artış eğilimi gösterdiğini belirtmişlerdir. Emek (2014) Doğu Anadolu Bölgesi'nin yağış eğilimlerinin araştırıldığı çalışmada bölgenin kuzey kısımlarında genellikle artış eğilimi, güney ve batı kesimlerinin ise azalan eğilime sahip olduğunu belirlemiştir.

Şenocak ve Emek (2019) çalışmalarında, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yağışların yaz aylarında genellikle artış eğiliminde, kış aylarında ise azalan eğilimde olduğunu ortaya koymuşlardır.

2.2. Veriler

Bu çalışmada kullanılan günlük ve aylık ortalama su yüzeyi sıcaklıkları ölçüm verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nin 17482 No'lu Van Limanı, 17483 No'lu Tatvan Limanı ile 17484 No'lu Adilcevaz Limanı istasyonlarından 2016-2020 tarih aralığı için edinilmiştir. Ölçüm verisi elde edilmiş olan istasyonların konumları Şekil 1'de verilmiştir. Verilerin kalite kontrolü ve ölçüm aletlerinin kalibrasyonu Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır.

Bu çalışmadaki diğer bir veri seti olan uydu verileri ise, NASA'nın Level-3 Browser MODIS-Terra Sensöründen elde edilen su yüzeyi sıcaklıklarına aittir. 2001-2020 tarih aralığı için 4 km çözünürlüğe sahip NASA-Gündüz ve NASA-Gece verileri olarak adlandırılan aylık ortalama su yüzeyi sıcaklık uydu verileri kullanılmıştır.



Şekil 2: Van Gölü havzası

2.3. Metot

Su yüzeyi sıcaklığı zaman serilerinin homojenliğinin araştırılması için; hidrolojik ve meteorolojik verilerin homojenliğinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan (Schönwiese ve Rapp 1997; Wijngaard vd. 2003; Hänsel vd. 2016) dört farklı metottan yararlanılmıştır. Bu metotlar; Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) (Alexandersson 1986), Buishand Aralık Testi (Buishand 1982), Pettit Testi (Pettitt 1979) ile Von Neumann Oran Testidir (Von Neumann 1941). SNHT, Buishand ve Pettit testleri zaman serilerinde kırılma noktası zamanını belirleyebilmektedir. Bu üç testin birçok özelliği ortak olsa da birbirinden farklı testlerdir. SNHT Testi, kırılmayı zaman serisinin başında ve sonunda kolaylıkla yakalayabilirken, Buishand ve Pettit Testleri zaman serisinin ortasındaki kırılmalara daha hassas testlerdir (Hawkins 1977). Bu homojenlik testlerinin detayları için Arıkan ve Kahya (2019)'nın çalışmasına bakılabilir. Türkiye meteorolojik verilerinin homojenliğinin belirlenmesinde adı geçen dört test Şahin ve Cıgızoğlu (2010), Arıkan ve Kahya (2019); üç test Kahya vd. (2016); iki test Karabörk vd. (2007), Yeşilirmak vd. (2008), Fırat vd. (2010)'da kullanılmıştır.

Eğilim analizleri için parametrik ve parametrik olmayan testler kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, eğilim analizi için parametrik olmayan Theil-Sen Metodu (Theil 1950 ve Sen 1968) ile Yenilikçi Eğilim Analizi (Innovative Trend Analysis-ITA) Şen (2012) ve Şen (2014) kullanılmıştır.

Theil-Sen Metodu, hidrometeorolojik ve oşinografik çalışmalarda (Çarpar vd. 2020; Aydoğan ve Ayat 2018; Saraçoğlu vd. 2021; Caloiero vd. 2022) kullanılmaktadır. Bu metot, herhangi bir dağılıma uygun olma zorunluluğu aranmaması ve zaman serilerinde eksik verilerin olduğunda da kullanılabilmesi sebepleriyle hidrolojik ve meteorolojik çalışmalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu metot en küçük kareler yöntemine alternatif olarak geliştirilmiştir.

Bu metot, zaman serilerinde yer alan veri çiftleri için eğim değerlerinin medyanlarını hesaplamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntem, doğrusal regresyon yöntemlerinden çok daha etkin bir yöntem olmasından dolayı eğilim analizlerinde tercih edilmektedir (Caloiero vd. 2022). Bu metotta eğim değeri;

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır. Burada Q_i , eğim değerini, N zaman serisinde bulunan veri çiftlerinin adedini, x_j ile x_k ise t_j ve t_k sürelerindeki ölçüm verilerini temsil etmektedir. N değeri;

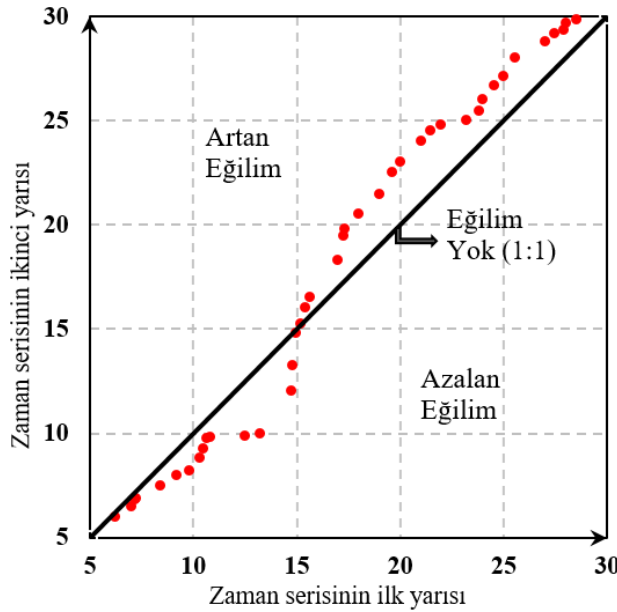
$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (2)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Burada n ; zaman serisinde bulunan toplam veri adedidir. Theil-Sen eğilim değeri, Q_i 'nin N değerlerinin medyanı olarak hesaplanmaktadır ve bu ifade

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{\left[\frac{N+1}{2}\right]}; & N \text{ tek ise} \\ \frac{Q_{N/2} + Q_{\left[\frac{N+1}{2}\right]}}{2}; & N \text{ çift ise} \end{cases} \quad (3)$$

ile verilmektedir.

Literatürde, Su Yüzeyi Sıcaklıkları gibi hidrometeorolojik parametrelerin eğilim analizinde tercih edilebilecek bir diğer yöntem Şen (2012) tarafından geliştirilmiş olan Yenilikçi Eğilim Analizi Yöntemidir. Zaman serilerinin eğilim analizinde kullanılan diğer yöntemlerin sınırlamalara sahip olmaları ve bu yöntemin basitliğinden dolayı Yenilikçi Eğilim Analizi literatürde yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Şen 2014; Saphoğlu vd. 2014; Dabanlı vd. 2016; Dabanlı vd. 2021; Öztöpal ve Şen 2017; Alashan 2018; Caloiero vd. 2018; Şişman 2019; Şişman 2021; Caloiero 2020; Şişman ve Kızılöz 2021). Bu yöntemde, zaman serisi iki eşit parçaya bölünmektedir. Zaman serisinin bölündüğü parçalarda yer alan gözlemler küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır. Sıralanan zaman serisinin ilk parçası grafiğin x eksenine, diğer zaman serisi parçası ise grafiğin y eksenine yerleştirilerek çizilmektedir (Şekil 3). Ayrıca 1:1 eğim çizgisi de (45°) grafiğe eklenmektedir. 1:1 eğim çizgisinin üstünde kalan bölge artan eğilimi, eğim çizgisinin altında kalan bölge ise azalan eğilimi ifade etmektedir. 1:1 eğim çizgisi üzerinde kalan gözlemler için ise herhangi bir eğilim yoktur.



Şekil 3: Yenilikçi eğilim analizi yöntemi (ITA)

Bir diğer parametrik olmayan Mann-Kendall Testi (Mann 1945 ve Kendall 1975) ile de su yüzeyi sıcaklıklarının istatistiksel anlamlılık düzeyi belirlenmiştir. Bu test, hidrolojik ve meteorolojik çalışmalarda genellikle monotonik eğilimlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Aydoğan ve Ayat 2018). Bu yöntemde yer alan Mann-Kendall Test İstatistiği S , $Var(S)$ ve Z değerleri hesaplanırken kullanılan matematiksel ifadeler aşağıda sunulmuştur.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (4)$$

Burada n veri sayısını, x_i ve x_j zaman serisinde yer alan t_i ve t_j zamanlarındaki veri değerini göstermektedir.

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & x_j > x_i \\ 0; & x_j = x_i \\ -1; & x_j < x_i \end{cases} \quad (5)$$

Mann Kendall istatistik değerinin (S) varyans değeri (Var (S)) ise aşağıdaki ifadeden hesaplanabilmektedir.

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_i^p t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18} \quad (6)$$

Burada t_k , k . kümede yer alan veri sayısını göstermektedir. Eğer $n \geq 10$ ise burada normal dağılım varsayımıyla; Z değeri;

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}; & S > 0 \text{ ise} \\ 0; & S = 0 \text{ ise} \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}; & S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

ile belirlenebilmektedir. Belirli anlamlılık düzeyleri (α) için Z değeri pozitif ve negatif değerler alabilmektedir. Burada $Z > 0$ olması durumunda artan, $Z < 0$ olması durumunda azalan, $Z = 0$ durumunda ise artan ya da azalan eğilim yoktur.

3.Bulgular ve Tartışma

3.1. Verilerin Karşılaştırılması

Van Gölü su yüzeyi sıcaklıklarının 2016-2020 zaman aralığındaki MGM Ölçüm verileri ile NASA-Gündüz ve NASA-Gece uydu verilerinin maksimum, minimum, ortalama, standart sapma ve çarpıklık değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Ölçüm verileri zaman serileri olarak temin edilirken, uydu verileri ise NetCDF formatında indirilmiştir (NASA, 2019) Ölçüm verileri ile NetCDF formatındaki verilerin kıyaslanabilmesi için uydu verilerinden ölçüm istasyonu koordinatlarında zaman serileri elde edilmiştir.

Ölçüm ile uydu verileri karşılaştırılmasında Korelasyon Katsayısı (R), Ortalama Hata Karekökü (RMSE), Sapma (BIAS) ve Saçılım İndeksi (SI) istatistiksel parametrelerinden yararlanılmıştır (Tablo 1). Söz konusu performans göstergelerine ilişkin detaylı bilgi [Aydoğan ve Ayat \(2018\)](#) tarafından verilmiştir.

Van Gölü’nde en yüksek ve en düşük su yüzeyi sıcaklık değerleri sırasıyla 26,1 °C ile 2,40 °C olarak Van Liman istasyonunda ölçülmüştür. Tablo 1’de üç ölçüm istasyonu için verilen istatistik parametre ve ölçütlere göre; ölçüm verileri ile gündüz-gece uydu verileri oldukça uyumludur. Korelasyon katsayıları 0,94-0,99 aralığında olup, uyumun en yüksek olduğu istasyonlar Van Liman ve Tatvan Liman istasyonlarıdır. Ölçüm verileri ile gündüz uydu verileri karşılaştırmasında üç istasyon içinde pozitif BIAS olduğu, yani uydu verilerinin ölçüm verilerinden daha büyük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuç [Saraçoğlu vd. \(2021\)](#)’de elde edilen sonuçlar ile uyumludur. Yapılan bir diğer karşılaştırmada ise Van ve Adilcevaz istasyonları için ölçüm verileri ortalamasının gündüz uydu verilerine göre daha düşük, gece uydu verilerine göre nispeten daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Van ve Adilcevaz istasyonlarına ait ölçüm verilerinin maksimum değerleri her iki uydu verisinden de daha yüksek iken, Tatvan istasyonuna ait ölçüm verisinin maksimum değeri gündüz uydu verilerinde belirlenmiştir. Minimum değerlere bakıldığında, üç istasyon için de ölçüm verilerinin her iki uydu verisinin minimum değerlerinden yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 1: 2016-2020 Tarihlerini kapsayan MGM ile NASA-Gündüz (NASA-D) ve NASA-Gece (NASA-N) Van Gölü su yüzeyi sıcaklık verilerinin karşılaştırılması ve istatistiksel analiz değerleri

		Maks.	Min.	Ort.	Std. Sap.	Çarpıklık	Medyan	R	RMSE (°C)	BIAS (°C)	SI (%)
VAN	MGM	26,10	2,40	13,99	7,12	0,08	13,30				
	NASA-D	25,27	3,71	14,56	7,10	0,04	14,51	0,98	1,38	0,57	9,87
	NASA-N	24,25	3,13	13,85	6,97	0,02	14,05	0,99	1,21	-0,14	8,66
ADİLCEVAZ	MGM	24,80	3,00	14,09	6,23	0,05	13,80				
	NASA-D	24,70	3,98	14,24	7,07	0,08	13,79	0,94	2,45	0,15	17,39
	NASA-N	23,56	3,52	13,32	6,84	0,07	13,32	0,94	2,39	-0,77	17,00
TATVAN	MGM	23,60	3,40	13,32	6,56	0,02	12,85				
	NASA-D	24,58	4,11	14,67	6,99	-0,04	14,47	0,98	1,94	1,35	14,55
	NASA-N	23,15	3,79	13,75	6,78	-0,10	14,42	0,99	1,20	0,44	8,99

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış olan ölçümlerin günlük olarak bir kez ve sabah saatlerinde yapıldığı bilinmektedir. Dolayısıyla ölçüm verilerinin gündüz uydu verileri ile daha uyumlu olması beklenirken, tam tersi gece ölçümleri ile daha uyumlu olduğu söylenebilir. Bu durumun, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen su yüzeyi sıcaklık ölçümlerinin sabah erken saatlerde yapılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

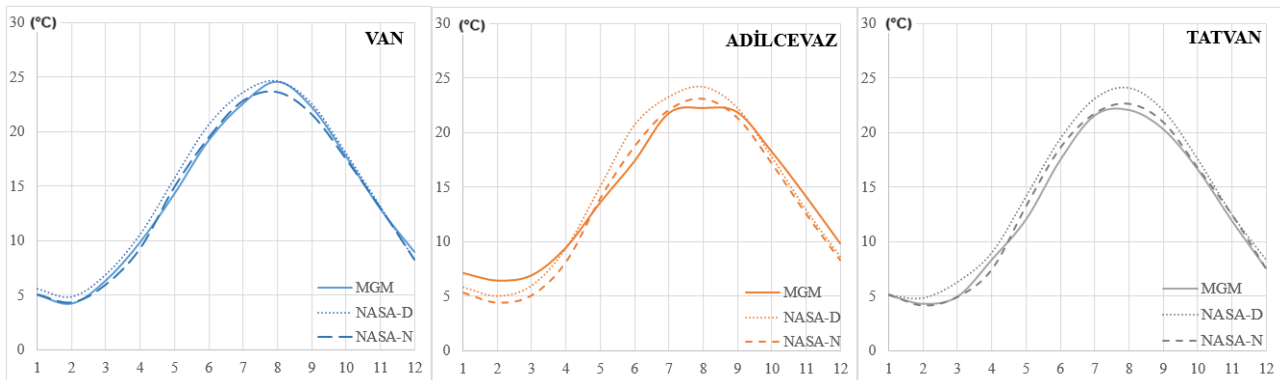
Özellikle Tatvan istasyonu için Saçılım İndeksinin (SI), MGM ölçüm verisi ile NASA-Gece verisinin, NASA-Gündüz verisine göre oldukça düştüğü, korelasyon katsayısının da (R) arttığı görülmektedir. Kavak (2021) çalışmasında atmosferden daha az etkilendiği için gece su yüzeyi sıcaklık verilerini kullanmıştır. Dolayısıyla sadece atmosferden daha az etkileneceği sebebiyle değil ölçüm verileri ile daha uyumlu olduğu için de gece su yüzeyi sıcaklık verilerinin analizlere daha uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Van istasyonuna ait maksimum su yüzeyi ölçüm değerinin diğer iki istasyondan daha yüksek, minimum değerinin ise daha düşük olduğu görülmektedir. Ortalama değerlerinde ise Adilcevaz istasyonunda ölçülen sıcaklıkların daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kavak (2021)'de gölün güneydoğusunun daha sıcak olduğu belirtilmiştir. Burada Van istasyonu için minimum ölçüm değerlerinin diğer istasyonlara göre daha düşük ve standart sapmaların diğer istasyonlara göre daha yüksek olmasıyla bu farklılığın ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Ayrıca ölçüm zaman serisinin kısalığı dikkate alınmalıdır. Su yüzeyi sıcaklıklarının ortalama değerlerine bakıldığında; NASA-Gündüz veri setinde en yüksek Tatvan istasyonunda, NASA-Gece veri setinde ise en yüksek Van istasyonunda olduğu görülmüştür.

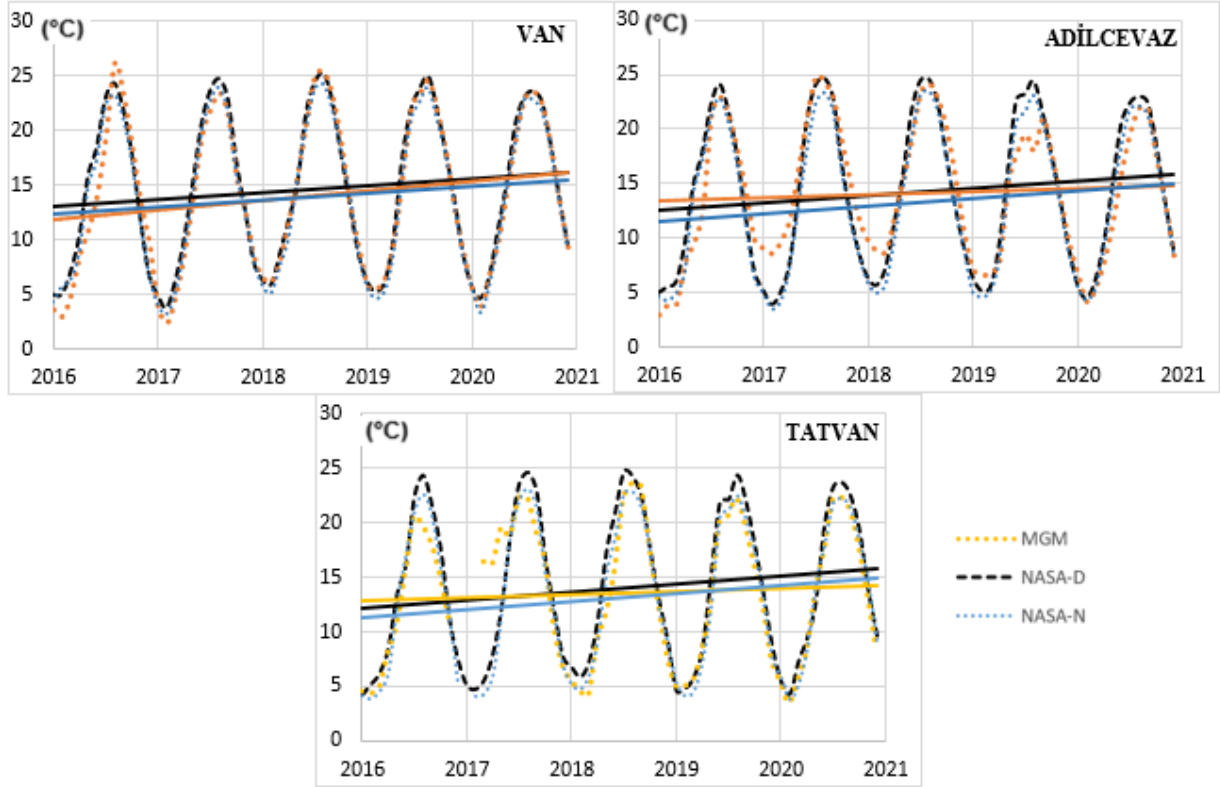
Üç farklı istasyon için 2016-2020 zaman aralığında üç veri setinin aylık ortalama değerlerinin yıl boyunca değişimleri Şekil 4'te verilmiştir. Van Gölü'nde ölçülen en düşük ve en yüksek su yüzeyi sıcaklık değerleri sırasıyla Şubat ve Ağustos aylarında gözlemlenmiştir.

Van istasyonu için Eylül ayı sonrasında ölçülen değerlerin birbirine çok daha uyumlu olduğu görülmektedir. Van istasyonunda Ağustos ayına kadar, Adilcevaz istasyonunda Mayıs-Eylül ayları arasında, Tatvan istasyonunda ise Ekim ayına kadar NASA-Gündüz verisi ortalamasının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Adilcevaz istasyonunda Nisan ayına kadar NASA-Gündüz ve NASA-Gece verilerinin, ölçüm verilerine göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Üç farklı istasyon için değerlendirme yapıldığında, 2016-2020 zaman aralığı için üç veri setinin de zaman serileri ve eğilimleri Şekil 5'te sunulmuştur.

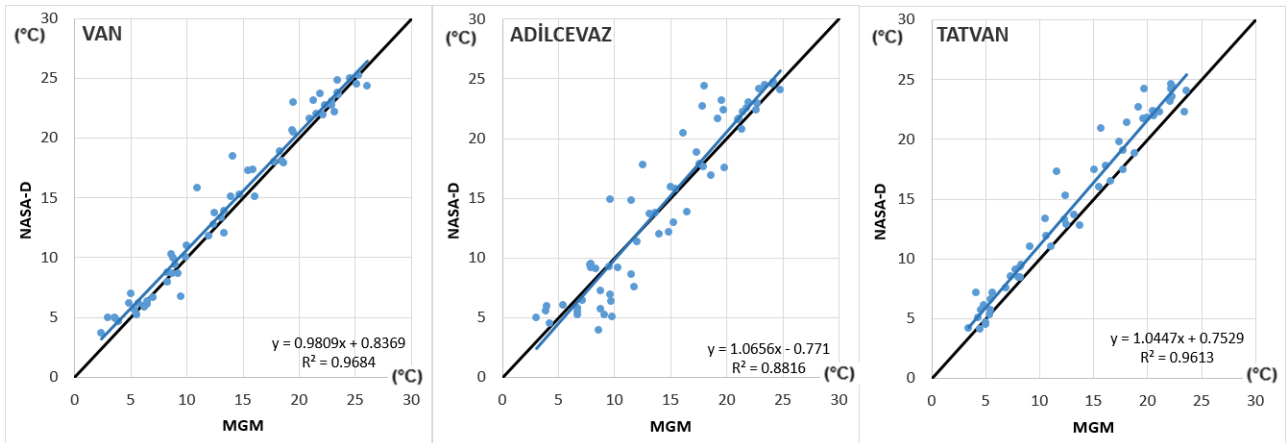


Şekil 4: MGM ile NASA-Gündüz ve NASA-Gece aylık ortalama su yüzeyi sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması (2016-2020)

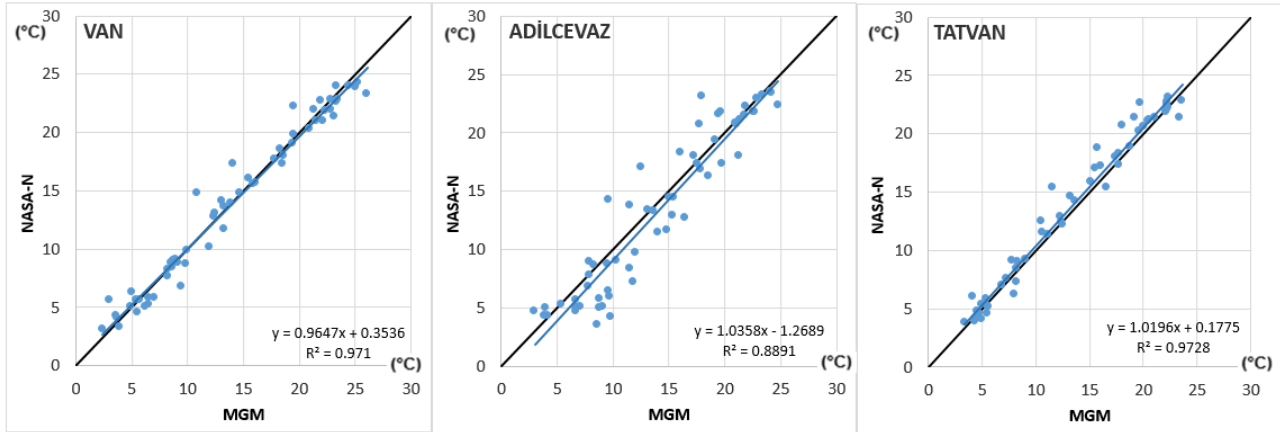


Şekil 5: MGM ile NASA-Gündüz ve NASA-Gece Van Gölü su yüzeyi sıcaklık değerlerinin zaman serileri (2016-2020)

Araştırılan üç istasyon için hem ölçüm hem de uydu verileri, su yüzeyi sıcaklıklarında artış eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak ölçüm verisinin kısa süreli olması sebebiyle istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı belirlenememiştir. Adilcevaz istasyonunda, uydu verilerinin özellikle 2019 yılına kadar olan zaman dilimi için minimum değer ölçülen kış aylarında ölçüm verilerine göre daha düşük su yüzeyi sıcaklıkları gözlemlenmiştir. Verilen zaman dilimi için MGM ölçüm verileri ile NASA-Gündüz uydu verilerinin saçılım grafikleri Şekil 6'da, NASA-Gece uydu verilerinin saçılım grafikleri de Şekil 7'de verilmiştir. Adilcevaz istasyonuna ilişkin minimum değerlerdeki farktan dolayı diğer iki istasyona göre daha düşük korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Üç istasyon için de ölçüm verilerinin hem NASA-Gündüz hem de NASA-Gece verileri ile uyumu açıkça görülmektedir.



Şekil 6: Van Gölü MGM ve NASA-Gündüz su yüzeyi sıcaklıklarının karşılaştırılması (2016-2020)



Şekil 7: Van Gölü MGM ve NASA-Gece su yüzeyi sıcaklıklarının karşılaştırılması (2016-2020)

3.2. NASA Uzun Dönem Verilerinin Analizi (2001-2020)

2001-2020 tarih aralığı için NASA'dan temin edilen hem gündüz hem de gece su yüzeyi sıcaklık verileri analiz edilmiş olup, üç istasyon için de gündüz ve gece su yüzeyi sıcaklıklarının istatistiksel analiz sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur. Beklendiği gibi, gece sıcaklıklarının maksimum, minimum ve ortalama değerleri, gündüz su yüzeyi sıcaklıklarına göre düşüktür. Uzun dönemli NASA-Gündüz verilerine göre en yüksek su yüzeyi sıcaklık değeri 25,27 °C ile Van istasyonunda, uzun dönemli NASA-Gece verilerine göre ise en düşük su yüzeyi sıcaklık değeri ise 2,59 °C ile yine Van istasyonunda gözlemlenmiştir. NASA-Gündüz ve NASA-Gece ortalama su yüzeyi sıcaklık değerlerine bakıldığında yine Van istasyonundaki değerlerin diğer istasyonlara oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç, Kavak (2021)'de Van Gölü'nün güneydoğusunun gölün diğer bölgelerine göre daha sıcak olduğu sonucuyla uyumaktadır.

Kısa dönemde (2016-2020) belirlenen değerlerle karşılaştırıldığında; belirlenen iki zaman dilimi için en büyük değer değişmezken, en küçük ve ortalama değerlerin uzun dönem verilerinde daha düşük olduğu, standart sapmanın da değişmediği belirlenmiştir.

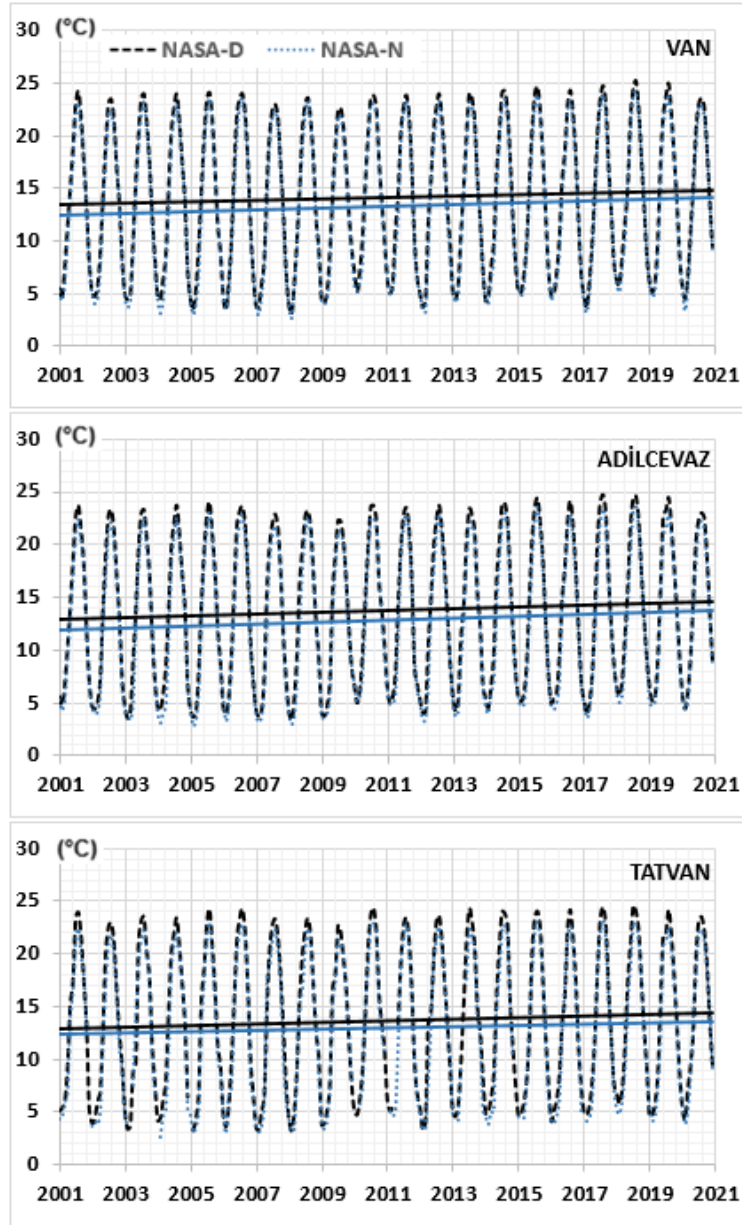
Schönwiese ve Rapp (1997), Wijngaard vd. (2003)'de yapılan dört homojenlik testini değerlendirerek verileri üç farklı sınıfa ayırmışlardır. Sıfır veya bir testin %1 anlamlılık düzeyinde homojen olduğu hipotezini reddetmesi halinde veri setini 'kullanışlı' olarak tanımlamışlardır. İki testin %1 anlamlılık düzeyinde homojen olduğu hipotezini reddetmesi halinde 'belirsiz' olarak tanımlamışlardır. Üç veya daha fazla testin %1 anlamlılık düzeyinde homojen olduğu hipotezini reddetmesi halinde 'şüpheli' olarak tabir etmiştir.

Bu değerlendirme ışığında aylık-ortalama, yıllık-ortalama, yıllık-maksimum, yıllık-minimum ve mevsimsel su yüzeyi sıcaklıkları analiz edildiğinde, %1 anlamlılık düzeyinde verilerin neredeyse tamamının 'kullanışlı' olarak sınıflandırılması ile homojen olduğu belirlenmiştir. Sadece Adilcevaz istasyonu NASA-Gündüz su yüzeyi sıcaklıkları için Ocak ayı ve kış mevsiminin, NASA-Gece su yüzeyi sıcaklıkları için yıllık-minimum serisinin 'şüpheli' sınıflandırması ile homojen olmadığı, 2009 yılında bir kırılma olduğu belirlenmiştir. Van istasyonunun hem NASA-Gündüz hem de NASA-Gece verileri Eylül ayı için %1 anlamlılık düzeyinde 'belirsiz' sınıflandırılması ile homojen olmadığı ve 2009 yılı itibarıyla bir kırılma olduğu belirlenmiştir.

NASA-Gündüz ve NASA-Gece verilerinin 2001-2020 tarih aralığı için zaman serileri ile eğilimleri Şekil 8'de verilmiştir. Üç istasyon için de gündüz değerlerinin eğilim eğrisinin gece değerlerinden daha büyük olduğu açıktır. Yine üç istasyon içinde artış eğilimi görülmektedir.

Tablo 2: Uzun dönem NASA-Gündüz (NASA-D) ve NASA-Gece (NASA-N) Van Gölü su yüzeyi sıcaklık değerlerinin istatistiksel analizi (2001-2020)

İstasyon	Veri Türü	Maks.	Min.	Ort.	Std. Sap.	Çarpıklık	Medyan
VAN	NASA-D	25,27	3,14	14,13	7,05	0,03	14,11
	NASA-N	24,25	2,59	13,35	6,94	0,03	13,28
ADİLCEVAZ	NASA-D	24,70	3,38	13,75	7,03	0,05	13,75
	NASA-N	23,56	2,75	12,82	6,88	0,07	12,80
TATVAN	NASA-D	24,58	3,15	13,64	7,13	0,07	13,28
	NASA-N	23,15	2,60	12,95	6,88	-0,01	13,21



Şekil 8: NASA-Gündüz (NASA-D) ve NASA-Gece (NASA-N) Van Gölü uzun dönem su yüzeyi sıcaklıklarının zaman serileri (2001-2020)

Aylık değişimlerin belirlenmesi için uzun dönem NASA-Gündüz ve NASA-Gece Van Gölü su yüzeyi sıcaklıklarının aylık-ortalama değerlerine göre Theil-Sen ile elde edilmiş eğilimleri ve anlamlılık düzeyleri Tablo 3'te verilmiştir. Zaman serilerinin eğilimleri istatistiksel olarak %90, %95, %97 ve %99 anlamlılık düzeylerinde hazırlanmış ve tabloda sunulmuştur.

Aylık eğilimleri gösteren tablonun tamamında pozitif yani artış eğilim değerleri olduğu görülmektedir. Eylül ayı için gündüz ve gece uydu verilerinin tüm istasyonlarda 0,058-0,070 °C/yıl aralığında, artış eğiliminin en az %97 ve üzeri anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Yani Eylül ayındaki tüm artış eğilimleri istatistiksel olarak anlamlıdır. Ancak Van istasyonuna ait gündüz ve gece uydu verilerinin Eylül ayı için 'belirsiz' olarak sınıflandırması ile homojen bulunmadığı göz önünde tutulmalıdır. En fazla artış 0,094 °C/yıl ile Adilceviz istasyonu gündüz verileri için %99 anlamlılık düzeyiyle ($\alpha=0,01$) Haziran ayında, gece verileri için 0,104 °C/yıl ile %97 anlamlılık düzeyinde ($\alpha=0,03$) aynı istasyonda Nisan ayında belirlenmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı olan en düşük artış ise 0,036 °C/yıl ile Van istasyonu gündüz verileri için %99 anlamlılık düzeyinde ($\alpha=0,01$) Ekim ayında belirlenmiştir. Kasım ayı dışındaki tüm aylarda en az bir zaman serisi için istatistiksel olarak anlamlı artışların olduğu görülmektedir. Van ve Adilceviz istasyonundaki gündüz-gece verileri, Tatvan istasyonuna göre anlamlılık düzeyinin daha yüksek olduğu artışlar göstermektedir. Van ve Adilceviz istasyonları için anlamlı artışların çoğunlukla Şubat-Eylül aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 3: Uzun dönem (2001-2020) NASA-Gündüz (D) ve NASA-Gece (N) Van Gölü su yüzeyi sıcaklıklarının aylık eğilimleri (Theil-Sen)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
VAN-D	0,035	0,039	0,057	0,073	0,031	0,068	0,039	0,055	0,058	0,036	0,015	0,027
VAN-N	0,035	0,048	0,080	0,082	0,083	0,062	0,059	0,045	0,063	0,018	0,057	0,035
ADİLCEVAZ-D	0,066	0,054	0,054	0,068	0,063	0,094	0,053	0,053	0,069	0,029	0,059	0,084
ADİLCEVAZ-N	0,048	0,064	0,075	0,140	0,078	0,059	0,061	0,048	0,069	0,004	0,049	0,083
TATVAN-D	0,045	0,059	0,075	0,070	0,000	0,030	0,033	0,032	0,071	0,022	0,031	0,087
TATVAN-N	0,052	0,063	0,038	0,092	0,011	0,060	0,047	0,031	0,080	-0,005	0,064	0,023

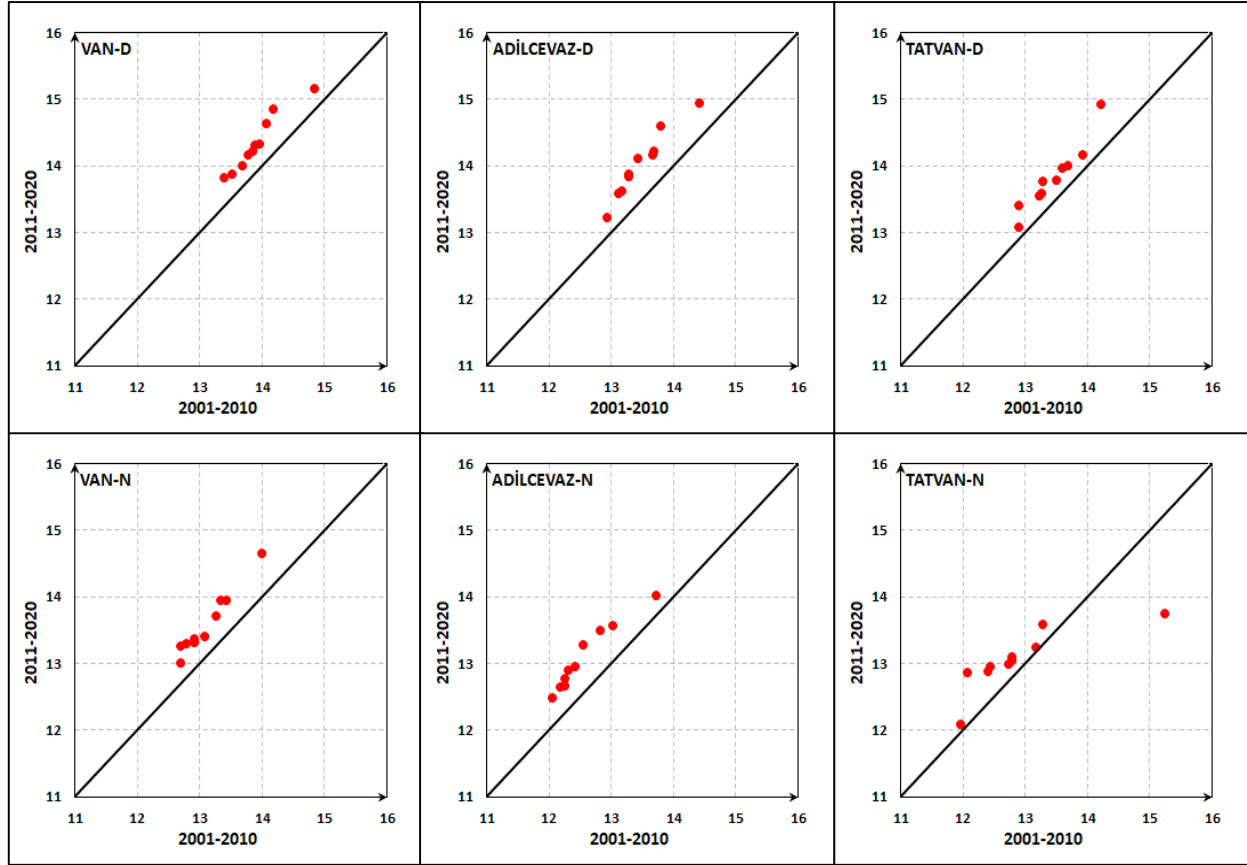
*Anlamlılık düzeyi %90 %95 %97 %99

NASA-Gündüz ve NASA-Gece verilerinin yıllık-ortalama, yıllık-maksimum ve yıllık-minimum su yüzeyi sıcaklıklarının Theil-Sen ve ITA yöntemleri ile elde edilmiş yıllık eğilimleri ve anlamlılık düzeyleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4’de sunulmuştur. Ayrıca her üç istasyon içinde yıllık ortalama su yüzeyi sıcaklıklarının ITA yöntemi ile elde edilmiş eğilim grafikleri Şekil 9’da verilmiştir. Sunulan ITA grafikleri incelendiğinde, üç istasyon içinde SYS değerlerinin artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama değerlerin en az %90 anlamlılık düzeyinde 0,015-0,060 °C/yıl artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Yıllık ortalama su yüzeyi sıcaklığının ortalama eğilimi 0,043 °C/yıl olarak hesaplanmıştır. Yıllık maksimum sıcaklıkları yine en az %90 anlamlılık düzeyinde 0,040-0,068 °C/yıl, yıllık minimum sıcaklıklar ise 0,053-0,070 °C/yıl artış eğilimindedir. Dolayısıyla [Saraçoğlu vd. \(2021\)](#)’e benzer bir şekilde, istatistiksel olarak anlamlı sıcaklık artışının yıllık minimum ve maksimum değerlerde yıllık ortalamaya göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Yıllık maksimum ve yıllık minimum sıcaklıkların eğilimlerinde ITA yöntemiyle hesaplanan eğilim değerlerinin Theil-Sen’e göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Adilcevaz istasyonunun her iki zaman serisi için de (gündüz-gece uydu verisi) tüm zaman serileri için (yıllık ortalama, minimum ve maksimum serileri) istatistiksel olarak anlamlı olan artışlar sergilemiştir.

Tablo 4: Uzun dönem (2001-2020) NASA-Gündüz (D) ve NASA-Gece (N) Van Gölü su yüzeyi sıcaklıklarının yıllık eğilimleri

	Yöntem	Ort.	Maks.	Min.
VAN-D	Theil-Sen	0,040	0,060	0,037
	ITA	0,041	0,068	0,056
VAN-N	Theil-Sen	0,050	0,047	0,034
	ITA	0,047	0,060	0,055
ADİLCEVAZ-D	Theil-Sen	0,060	0,055	0,053
	ITA	0,052	0,061	0,067
ADİLCEVAZ-N	Theil-Sen	0,060	0,049	0,068
	ITA	0,050	0,062	0,070
TATVAN-D	Theil-Sen	0,036	0,040	0,055
	ITA	0,036	0,042	0,076
TATVAN-N	Theil-Sen	0,033	0,031	0,064
	ITA	0,015	0,040	0,054

*Anlamlılık düzeyi %90 %95 %97 %99



Şekil 9: Van Gölü uzun dönem yıllık ortalama su yüzeyi sıcaklıklarının ITA eğilim grafikleri

Yıllık ortalama değerlerde, Adilcevaiz istasyonundaki su sıcaklığındaki anlamlı artışın diğer istasyonlara göre daha fazla olduğu görülmektedir. En büyük istatistiksel anlamlı artış $0,070\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ ile Adilcevaiz istasyonu NASA-Gece verilerinin yıllık-minimum değerlerinde belirlenmiştir. Anlamlı artışların en düşüğü $0,015$ ve $0,033\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ ile Tatvan NASA-Gece verileri yıllık-ortalama değerlerinde görülmektedir. Kavak ve Karadoğan (2012), Van Gölü'nün batısındaki sıcaklığın Van Gölü'nün ortalama değeri civarında olduğunu, gölün doğusu da dikkate alındığında ortalama sıcaklığın yaklaşık 3°C düştüğünü ifade etmiştir. Kavak (2021) ise bölgedeki rüzgâr şartlarını gerekçe göstererek Van Gölü'nün güneydoğusunun gölün kalan kısmına göre daha sıcak olduğunu belirlemiştir. Ayrıca Kavak (2021), gölün kuzeyinin soğuk su girişleri ve göl batimetrisinden kaynaklı olarak daha düşük sıcaklığa sahip olduğunu da belirtmiştir. Bu çalışmada hesaplanan yıllık ortalama ve yıllık minimum su yüzeyi sıcaklıklarının eğilimlerine bakıldığında en fazla artışın gölün kuzeyindeki Adilcevaiz istasyonunda olduğu görülmektedir. Yani buradan gölün soğuk olan kuzey tarafının daha çok ısındığı söylenebilir.

Van gölü yıllık ortalama su yüzeyi sıcaklığındaki ortalama artış eğilimi $0,043\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$; Doğu Karadeniz için (1982-2016) belirlenmiş olan $0,11\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ (Ginzburg vd. 2004) artış değerinden küçük iken, Ege ve Doğu Akdeniz için (1982-2020) belirlenmiş olan $0,055\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ (Saraçoğlu vd. 2021) değerine yakın, Güney Hazar Denizi için (1982-2016) belirlenmiş olan artışın $(0,029 \pm 0,009\text{ }^{\circ}\text{C/yıl})$ (Kashkooli vd. 2019) yaklaşık 1,5 katı ve küresel okyanuslar için (1971-2010) $0,011\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ olarak belirlenmiş olan artışın (Rhein vd. 2013) yaklaşık dört katıdır.

Mevsimsel eğilimlerin belirlenmesi amacıyla üç istasyon için gündüz ve gece verilerinin her iki yöntem ile hesaplanmış eğilimleri ve anlamlılık seviyeleri Tablo 5'de verilmiştir. Adilcevaiz istasyonu için gündüz belirlenmiş olan mevsimsel su yüzeyi sıcaklıklarının ITA yöntemi ile elde edilmiş eğilim grafikleri Şekil 10'da verilmiştir. Aralık-Ocak-Şubat ayları kış mevsimi; Mart-Nisan-Mayıs ayları ilkbahar mevsimi, Haziran-Temmuz-Ağustos ayları yaz mevsimi; Eylül-Ekim-Kasım ayları ise sonbahar mevsimi olarak alınmıştır. Bütün mevsimlerde istatistiksel olarak anlamlı olan artış eğilimlerinin olduğu görülmektedir. Şekil 10'dan Adilcevaiz istasyonu için bütün mevsimlerde artış eğilimi olduğu söylenebilir. Ancak sonbahar mevsiminde minimum değerlerdeki azalma eğilimi dikkat çekicidir. Kış mevsimindeki en büyük anlamlı artış $0,066\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ ile Adilcevaiz gündüz-gece su yüzeyi sıcaklıklarında, İlkbahar mevsimindeki en büyük artış $0,099\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ ile Adilcevaiz gece su yüzeyi sıcaklıklarında belirlenmiştir. Yaz mevsimindeki en büyük artış $0,072\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ ile Adilcevaiz gündüz verilerinde, Sonbahar mevsimi için $0,059\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ ile Tatvan gece verilerinde olduğu belirlenmiştir. En büyük anlamlı artışların ilkbahar mevsiminde $0,099\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ ile Adilcevaiz gece verilerinde ve $0,080\text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ ile Van gece verilerinde olduğu görülmektedir. Van ve Adilcevaiz istasyonları için en büyük anlamlı artış İlkbahar mevsimindeyken, Tatvan istasyonu için sonbahar mevsimindedir.

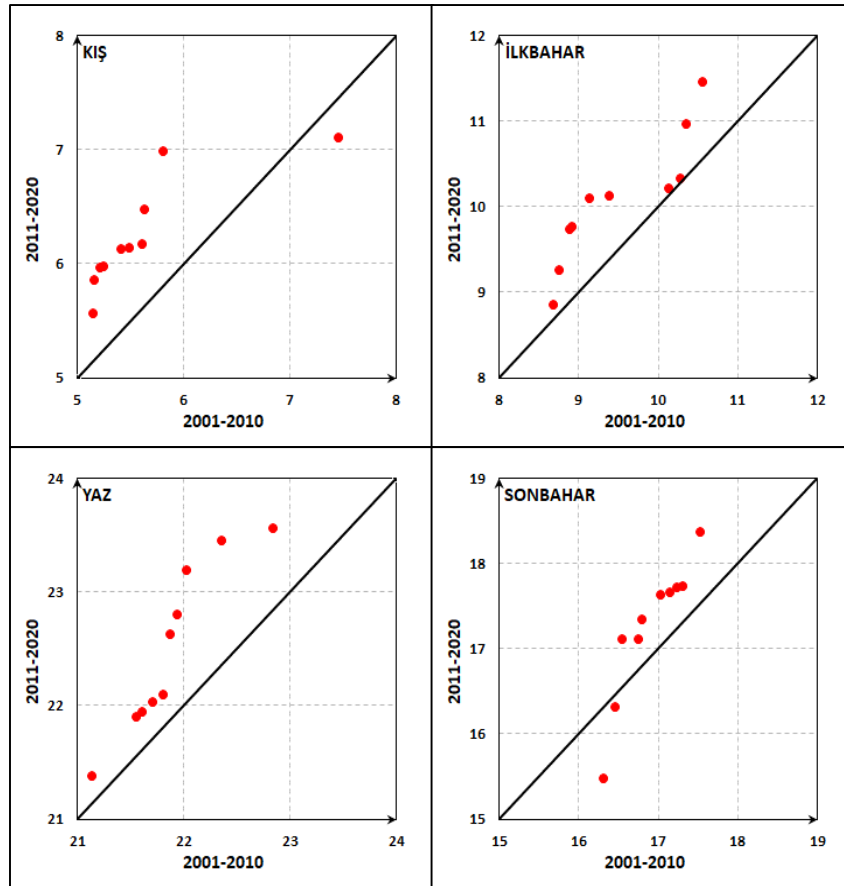
Tüm mevsimlerdeki artışlarla karşılaştırıldığında, ilkbahar mevsimindeki artışların diğer mevsimlere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Anlamlı olan en düşük artış ise ITA yöntemi ile belirlenen 0,024°C/yıl ile Van ve Tatvan istasyonu gündüz verilerinde sonbahar mevsiminde olduğu görülmektedir.

Adilcevaz istasyonuna ilişkin gündüz ve gece verilerinin neredeyse tamamı bütün mevsimlerde 0,032-0,099 °C/yıl aralığında anlamlı artış göstermiştir. Theil- Sen ve ITA yöntemleriyle hesaplanan eğilim değerlerinin çoğunlukla birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. ITA yöntemiyle hesaplanan eğilim değerlerinin yıllık değerlerde belirlenenin aksine neredeyse tamamının Theil-Sen'e göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5: Uzun dönem (2001-2020) NASA-Gündüz (D) ve NASA-Gece (N) Van Gölü su yüzeyi sıcaklıklarının mevsimsel eğilimleri

	Yöntem	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
VAN-D	Theil-Sen	0,025	0,063	0,051	0,038
	ITA	0,025	0,062	0,051	0,024
VAN-N	Theil-Sen	0,035	0,080	0,064	0,044
	ITA	0,036	0,073	0,056	0,021
ADİLCEVAZ-D	Theil-Sen	0,066	0,067	0,072	0,049
	ITA	0,061	0,056	0,060	0,032
ADİLCEVAZ-N	Theil-Sen	0,066	0,099	0,062	0,039
	ITA	0,054	0,075	0,053	0,021
TATVAN-D	Theil-Sen	0,043	0,046	0,031	0,044
	ITA	0,049	0,057	0,024	0,024
TATVAN-N	Theil-Sen	0,057	-0,001	0,052	0,059
	ITA	0,000	-0,048	0,045	0,034

*Anlamlılık düzeyi %90 %95 %97 %99



Şekil 10: Adilcevaz İstasyonu su yüzeyi sıcaklıklarının mevsimsel ITA eğilim grafikleri

Aylık analizlerde, Eylül ayı için tüm seriler anlamlı artışlar gösterirken Ekim ve Kasım aylarında anlamlı artışlar görülmemiştir. Bu sebeple sonbahar mevsimindeki anlamlı artışların diğer mevsimlere göre daha az olduğu görülmektedir. Sonbahar mevsimindeki en büyük anlamlı artış 0,059 °C/yıl iken, aylık analizlerle elde edilen Eylül ayı için en büyük anlamlı artış 0,080 °C/yıl'dır. İlkbahar mevsimindeki en büyük anlamlı artış 0,099 °C/yıl iken, aylık analizlerle elde edilen Nisan ayı için en büyük anlamlı artış 0,140 °C/yıl'dır. Kış mevsimindeki en büyük anlamlı artış 0,066 °C/yıl iken, aylık analizlerle elde edilen Aralık ayı için en büyük anlamlı artış 0,084 °C/yıl'dır. Yaz mevsimindeki en büyük anlamlı artış 0,072 °C/yıl iken, aylık analizlerle elde edilen Haziran ayı için en büyük anlamlı artış 0,094 °C/yıl'dır. Böylece mevsimsel analizlerle birlikte aylık analizler yürütüldüğünde, aylık su yüzeyi sıcaklığı anlamlı eğilim artışlarının mevsimlere göre belirlenmiş olandan daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Aylık, yıllık ve mevsimsel analizlerde Adilcevaz istasyonundaki anlamlı artışın diğer iki istasyona göre daha fazla olduğu, Tatvan istasyonunda en az anlamlı artışın görüldüğü söylenebilmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, Van Gölü su yüzeyi sıcaklıklarındaki değişimler 2016-2020 dönemini kapsayan NASA-Gündüz ve NASA-Gece uydu verileri ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü ölçüm verileri karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Ayrıca 2001-2020 dönemi kapsayan NASA-Gündüz ve NASA-Gece uydu verilerinin aylık, yıllık ve mevsimsel eğilim analizleri iki farklı metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

MGM ölçüm verileri ile NASA-Gündüz ve NASA-Gece su yüzeyi sıcaklıklarının oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir ($R=0,94-0,99$). NASA-Gece su yüzeyi sıcaklıklarının NASA-Gündüz su yüzeyi sıcaklıklarına göre ölçüm verileri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durumun MGM tarafından gerçekleştirilen ölçümlerin sabah erken saatlerde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sebeple, su yüzey sıcaklığı uydu verilerinin kullanılacağı çalışmalarda sadece atmosferden daha az etkilenmesi sebebiyle değil ölçüm verileri ile daha uyumlu olduğu için de gece su yüzeyi sıcaklık uydu verilerinin analizlere daha uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Van istasyonundan elde edilen ölçüm verilerinin maksimum değerinin diğer iki istasyondan daha büyük, minimum değeri ise daha küçüktür. Ölçüm verilerinin (2016-2020) ortalama değerlerde Adilcevaz istasyonunda daha sıcak olduğu, uzun dönemdeki (2001-2020) sıcaklıklara bakıldığında ise; Van Gölü'nün güneydoğusunda bulunan Van istasyonunun gölün diğer bölgelerine göre daha sıcak olduğu belirlenmiştir. Uzun dönem için elde edilen bu sonuç [Kavak \(2021\)](#) ile uyusmaktadır.

2001-2020 zaman aralığındaki NASA-Gündüz ve NASA-Gece su yüzeyi sıcaklıklarına ilişkin aylık-ortalama, yıllık-ortalama, yıllık-maksimum, yıllık-minimum ve mevsimsel su yüzeyi sıcaklıkları analiz edildiğinde, %1 anlamlılık düzeyinde verilerin neredeyse tamamının 'kullanışlı' sınıflandırması ile homojen olduğu belirlenmiştir.

Uzun dönem aylık su yüzeyi sıcaklıkları değerlendirildiğinde ise artış eğilimi olduğu görülmüştür. Eylül ayı için NASA-Gündüz ve NASA-Gece verilerinin tüm istasyonlarda 0,058-0,070 °C/yıl ($\alpha \leq 0,03$) artış eğilimi sergilediği belirlenmiştir. Aylık değerlendirmelerde en fazla artış 0,094 °C/yıl ile Adilcevaz İstasyonu gündüz verilerinde ($\alpha=0,01$) Haziran ayında, gece verilerinde 0,104 °C/yıl ile ($\alpha=0,03$) aynı istasyon için Nisan ayında belirlenmiştir. Van ve Adilcevaz istasyonları için anlamlı artışların çoğunlukla Şubat-Eylül döneminde olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm istasyonlarda, uzun dönem su yüzeyi sıcaklıkları yıllık-ortalama değerlerin 0,015-0,060 °C/yıl ile artış eğiliminde ($\alpha \leq 0,1$) olduğu hesaplanmıştır. [Saraçoğlu vd. \(2021\)](#)'e benzer olarak sıcaklık artışı eğiliminin yıllık minimum ve maksimum değerlerde yıllık ortalama göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. En büyük istatistiksel anlamlı artış 0,070 °C/yıl ile Adilcevaz istasyonu NASA-Gece verilerinin yıllık-minimum değerlerinde belirlenmiştir. Hesaplanan yıllık ortalama ve yıllık minimum su yüzeyi sıcaklıklarının eğilimlerine bakıldığında en fazla artışın gölün kuzeyindeki Adilcevaz istasyonunda olduğu görülmektedir. Ayrıca [Kavak \(2021\)](#), gölün kuzeyinin soğuk su girişleri ve göl batimetrisinden kaynaklı olarak daha düşük sıcaklığa sahip olduğunu belirtmiştir. Yani buradan gölün soğuk olan kuzey tarafının daha çok ısındığı söylenebilir. Daha kuzeyde bulunan Adilcevaz istasyonunun Van ve Tatvan istasyonlarına göre daha fazla ısınmasının sebebi, bölgesel dinamikler ve havza şartları da göz önüne alınıp ayrıntılı olarak incelenmesi önerilmektedir.

Uzun dönem Van Gölü yıllık-ortalama su yüzeyi sıcaklık değerlerindeki ortalama artış 0,043 °C/yıl olarak belirlenmiştir. Bu değerin; Doğu Karadeniz için belirlenmiş olan (0,11 °C/yıl) artıştan küçük, Güney Hazar Denizi için belirlenmiş olan artışın ($0,029 \pm 0,009$ °C /yıl) yaklaşık 1,5 katı, Ege ve Doğu Akdeniz için belirlenmiş olan artışa (0,055°C/yıl) yakın ve okyanuslar için belirlenmiş olan artışın (0,011 °C/yıl) yaklaşık 4 katı olduğu sonucuna varılmıştır. Küresel ısınmanın etkisiyle kapalı bir havzada bulunan Van Gölü'nün, Doğu Karadeniz haricindeki diğer denizler için belirlenen artış değerlerine göre daha fazla ısındığı anlaşılmaktadır.

Theil-Sen ve ITA yöntemleriyle hesaplanan eğilim değerlerinin çoğunlukla birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Yıllık maksimum ve yıllık minimum sıcaklıkların eğilimlerinde ITA yöntemiyle hesaplanan eğilim değerlerinin Theil-Sen'e göre daha fazla iken, mevsimsel karşılaştırmada neredeyse tamamının daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Uzun dönem su yüzeyi sıcaklıklarının mevsimsel analiziyle en büyük artışların ilkbahar mevsiminde 0,099 °C/yıl ($\alpha \leq 0,01$) ve 0,080 °C/yıl ($\alpha \leq 0,03$) olarak sırasıyla Adilcevaz ve Van istasyonlarına ait NASA-Gece verilerinde olduğu görülmektedir.

Yani ilkbahar mevsimindeki artışlar özellikle Van ve Adilcevaz istasyonlarında diğer mevsimlere göre daha yüksektir. Aylık analizlerle elde edilen artan eğilim değerlerinin mevsimsel analiz ile elde edilen artan eğilimlere göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Teşekkürler

Van Gölü su yüzeyi sıcaklıkları ölçüm verileri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve uydu verileri için NASA'ya (NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group; (2018): Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) Ocean Color Data, NASA OB.DAAC. doi: 10.5067/ORBVIEW-2/SEAWIFS/L2/OC/2018. Accessed on 2019/02/29.) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Alexandersson H., (1986), *A homogeneity test applied to precipitation data*, Journal of Climatology, 6(6), 661-675.
- Alashan S., (2018), *An improved version of innovative trend analyses*, Arabian Journal of Geosciences, 11(3), 50, doi: 10.1007/s12517-018-3393-x.
- Arıkan B.B., Kahya E., (2019), *Homogeneity revisited: analysis of updated precipitation series in Turkey*, Theoretical and Applied Climatology, 135(1), 211-220.
- Aydoğan B., Ayat B., (2018), *Spatial variability of long-term trends of significant wave heights in the Black Sea*, Applied Ocean Research, 79, 20-35.
- Batur E., Kadioğlu M., Özkaya M., Saban M., Akın İ., (2009), *Van gölü su seviye modellemesi*, Su Vakfı Su Kaynakları, 2(1), 27-40.
- Buishand T.A., (1982), *Some methods for testing the homogeneity of rainfall records*, Journal of Hydrology 58(1-2), 11-27.
- Caloiero T., Coscarelli R., Ferrari E., (2018), *Application of the innovative trend analysis method for the trend analysis of rainfall anomalies in southern Italy*, Water Resour Manag 32(15), 4971-4983.
- Caloiero T., (2020), *Evaluation of rainfall trends in the South Island of New Zealand through the innovative trend analysis (ITA)*, Theor Appl Climatol 139(1), 493-504.
- Caloiero T., Aristodemo F., Ferraro D.A., (2022), *Annual and seasonal trend detection of significant wave height, energy period and wave power in the Mediterranean Sea*, 243, 110322.
- Carpenter S.R., Benson B.J., Biggs R., Chipman J.W., Foley J.A. et al., (2007), *Understanding regional change: a comparison of two lake districts*, Bioscience, 57(4), 323-335.
- Coşkun S., (2020), *Van Gölü kapalı havzasında yağışların trend analizi*, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 521-532.
- Çarpar T., Ayat B., Aydoğan B., (2020), *Spatio-seasonal variations in long-term trends of offshore wind speeds over the Black Sea; an inter-comparison of two reanalysis data*, Pure Appl. Geophys, 177(6), 3013-3037.
- Çiftçi Y., Isık M.A., Alkevi T., Yesilova Ç., (2008), *Van gölü havzasının çevre jeolojisi (Environmental Geology of Lake Van Basin)*, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 32(2), 45-77.
- Dabanlı İ., Şen Z., Yeleğen M.Ö., Şişman E., Selek B., Güçlü Y.S., (2016), *Trend assessment by the innovative-Şen method*, Water Resour Manag 30(14), 5193-5203.
- Dabanlı I., Şişman E., Güçlü Y.S., Birpınar M.E., Şen Z., (2021), *Climate change impacts on sea surface temperature (SST) trend around Turkey seashores*, Acta Geophysica, 69(1), 295-305.
- Degens E., Wong H., Kempe S., Kurtman F., (1984), *A geological study of Lake Van, Eastern Turkey*, Int. Journal of Earth Sciences 73(2), 701-734.
- Emek M.F., (2014), *Doğu Anadolu Bölgesi yıllık ve aylık toplam yağışların trend analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Fırat M., Dikbaş F., Koç A.C., Güngör M., (2010), *Missing data analysis and homogeneity test for Turkish precipitation series*, Sadhana 35(6), 707-720.
- Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Sherement N.A., (2004), *Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data (1982-2000)*, Journal of Marine Systems, 52(1-4), 33-50.
- Hänsel S., Medeiros D.M., Matschullat J., Petta R.A., Silva I.M., (2016), *Assessing Homogeneity and Climate Variability of Temperature and Precipitation Series in the Capitals of North-Eastern Brazil*, Frontiers in Earth Science, 4(29), doi:10.3389/feart.2016.00029.
- Hawkins M., (1977), *Testing a sequence of observations for a shift in location*, Journal of the American Statistical Association, 72(357), 180-186.
- Huguet C., Fietz S., Stockhecke M., Sturmb M., Anselmetti F.S., Rosell-Melé A., (2011), *Biomarker seasonality study in Lake Van, Turkey*, Organic Geochemistry, 42(11), 1289-1298.
- Ishii M., Shouji A., Sugimoto S., Matsumoto T., (2005), *Objective analyses of sea surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using icoads and the Kobe collection*, International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 25(7), 865-879.
- Kadioğlu M., Sen Z., Batur E., (1997), *The greatest soda-water lake in the world and how it is influenced by climatic change*, Annales Geophysicae-Atmospheres, Hydrospheres and Space Sciences, 15(11), 1489-1497.
- Kahya E., Arıkan B.B., Akdeniz E., (2016), *Homogeneity analysis of Precipitation Series in Turkey*, 12th International Congress on Advances in Civil Engineering – ACE 2016, 21 -23 September, İstanbul, Turkey.
- Karabörk M.Ç., Kahya E., Kömüşçü A.Ü., (2007), *Analysis of Turkish precipitation data: homogeneity and the Southern Oscillation forcings on frequency distributions*, Hydrological Process, 21(23), 3203-3210.
- Kashkooli O.B., Ghadami M., Amini M., Modarres R., (2019), *Spatiotemporal variation of the southern Caspian Sea surface temperature during 1982-2016*, Journal of Marine Systems, 193, 126-136.

- Kavak M.T., Karadoğan S., (2012), *Van Gölünde Su Yüzeyi Sıcaklık Değişiminin AVHRR Uydu Verileriyle İle İncelenmesi*, IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012), 16-19 Ekim, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak.
- Kavak M.T., (2021), *Long Time SST and Chlorophyll-a Pigment concentration of Lake Van Using MODIS*, Int. Jour.of Agri, Environment and Food Sci., 5(1), 12-22.
- Kendall M.G., (1975), Rank correlation method, 4 th Edition, Charless Griffin, London, pp. 202.
- Kennedy J.J., Rayner N.A., Smith R.O., Parker D.E., Saunby M., (2011), *Reassessing biases and other uncertainties in sea surface temperature observations measured in situ since 1850: 2. Biases and homogenization*, J. Geophys. Res Atmos., 116, D14104.
- Keskin M.E., Çakto İ., Çetin V., Bektaş O., (2018), *Doğu Anadolu Bölgesi sıcaklık ve yağış trend analizi*, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(2), 294-300.
- Mann H.B., (1945), *Nonparametric tests against trend*, Econometrica, 13, 245-259.
- NASA, (2019), Level 3 browser. NASA Earth Data Ocean Color WEB. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/>, [Erişim 29 Şubat 2019].
- Öğlü B., Möls T., Kaar T., Cremona F., Kangur K., (2020), *Parameterization of surface water temperature and long-term trends in Europe's fourth largest lake shows recent and rapid warming in winter*, Limnologia 82, 125777.
- Öztopal A., Şen Z., (2017), *Innovative trend methodology applications to precipitation records in Turkey*, Water resources management, 31(3), 727-737.
- Park K., Lee E.Y., Chang E., Hong S., (2015), *Spatial and temporal variability of sea surface temperature and warming trends in the Yellow Sea*, Journal of Marine Systems, 143, 24-38.
- Pettitt A.N., (1979), *A non-parametric approach to the change-point detection*, Applied Statistics, 28, 126-135.
- Rayner N. A., Parker D.E., Horton E.B., Folland C.K., Alexander L.V., Rowell D.P., Kent E.C., Kaplan A., (2003), *Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century*, Journal of Geophysical Research Atmospheres, 108(D14), 1-22.
- Rhein Ma, Rintoul S.R., Aoki S., Campos E., Chambers D., Feely R.A., Gulev S., Johnson G., Josey S., Kostianoy A., (2013), *Observations: ocean*, Climate Change, 255-315.
- Rosenzweig C., Casassa G., Karoly D.J., Imeson A., Liu C., Menzel A., Rawlins S., Root T.L., Seguin B., Tryjanowski P., (2007), *Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In: Parry, M L; et al. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, ss.79-131.
- Saraçoğlu F.A., Aydoğan B., Ayat B., Saraçoğlu K.E., (2021), *Spatial and seasonal variability of long-term sea surface temperature trends in Aegean and Levantine Basins*, Pure and Applied Geophysics, 178, 3769-3791.
- Saplıoğlu K., Kilit M., Yavuz B.K., (2014), *Trend analysis of streams in the Western Mediterranean basin of Turkey*, Fresenius Environ Bull, 23(1A), 313-327.
- Sarı M., Polat I., Saydam A.C., (2000), *NOAA AVHRR Uydu Görüntüleri ile Van Gölü yüzey sıcaklığının izlenmesi*, IV. Su Ürünleri Sempozyumu, 28-30 Haziran, Erzurum.
- Schönwiese C.D., Rapp J., (1997), *Climate trend atlas of Europe based on observations 1891-1990*, Kluwer: Dordrecht, The Netherlands.
- Sen P.K., (1968), *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*, J. Amer. Statist. Assoc., 63(324), 1379-1389.
- Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J., (2008), *Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880-2006)*, Journal of climate, 21(10), 2283-2296.
- Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., et al., (2013), *IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. The contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1535.
- Şahin S., Cıgızoğlu K., (2010), *Homogeneity analysis of Turkish meteorological data set*, Hydrological Process, 24(8), 981-992.
- Şen Z., (2012), *Innovative trend analysis methodology*, Journal of Hydrologic Engineering, 17(9), 1042-1046.
- Şen Z., (2014), *Trend identification simulation and application*, J Hydrol Eng, 19(3), 635-642.
- Şenocak S., Emek M.F., (2019), *Evaluation of monthly precipitation amount in Eastern Anatolia Region by Using Trend Analysis Methods*, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17, 807-822.
- Şişman E., (2019), *Ege ve Akdeniz kıyılarında seçilen istasyonlarda deniz suyu sıcaklıkları için soğuma dönemi trend analizleri*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(2), 291-304.
- Şişman E., (2021), *Power law characteristics of trend analysis in Turkey*, Theoretical and Applied Climatology, 143(3), 1529-1541.
- Şişman E., Kızıllöz B., (2021), *The application of piecewise ITA method in Oxford, 1870-2019*, Theoretical and Applied Climatology, 145(3), 1451-1465.
- Theil H., (1950), *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis*, I. Proc. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch., A53, 386-392.
- TOB, (2018), *Van Gölü Havzası Kuraklık Yönetim Planı, Cilt -I: Havzanın Genel Tanımı ve Kuraklık analizleri*, T.C. Tarım Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı Ankara, ss. 147.
- TOB, (2020), *Van Gölü Havzası Taşkın Yönetim Planı Stratejik ÇED Raporu*, T.C. Tarım Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, ss. 84.
- Trumpickas J., Shuter B.J., Minns C.K., (2009), *Forecasting impacts of climate change on Great Lakes surface water temperatures*, Journal of Great Lakes Research, 35(3), 454-463.
- Virdis S.G.P., Soodcharoen N., Lugliè A., Padedda B.M., (2020), *Estimation of satellite-derived lake water surface temperatures in the western Mediterranean: Integrating multi-source, multi-resolution imagery and a long-term field dataset using a time series approach*, Science of The Total Environment, 707, 135567.
- Von Neumann J., (1941), *Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance*, Annals of Mathematical Statistics, 12(4), 367-395.
- Wijngaard J.B., Klein Tank A.M.G., Können G.P., (2003), *Homogeneity of 20th century European daily temperature and Precipitation series*, International Journal of Climatology, 23(6), 679-692.
- Winter T.C., (1999), *Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems*, Hydrogeology, 7(1), 28-45.

- Yang K, Yu Z., Luo Y., (2020), *Analysis on driving factors of lake surface water temperature for major lakes in Yunnan-Guizhou Plateau*, Water Research, 184, 116018.
- Yeşilırmak E., Akçay S., Dağdelen N., Gürbüz T., Sezgin F., (2008), *Quality Control and Homogeneity of Annual Precipitation Data in Büyük Menderes Basin, Turkey*, Int.Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology, 225-233.
- Yeşilova Ç., Gülyüz E., Huang C.R., Shen C.C., (2019), *Giant tufas of Lake Van record lake-level fluctuations and climatic changes in eastern Anatolia,Turkey*, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 533, 109226.
- Yetmen H., (2013), *Van Gölü Havzası'nın Kuraklık Analizi*, 21.Yüzyılda Eğitim ve Toplum, 2(5), 184-198.
- Yıldız M.Z., Deniz O., (2005), *Kapalı Havza Göllerinde seviye değişimlerinin kıyı yerleşmelerine etkisi: Van Gölü Örneği*, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 15(1), 15-31.
- Yu Z., Yang K., Luo Y., Shang C., Zhu Y., (2020), *Lake surface water temperature prediction and changing characteristics analysis-A case study of 11 natural lakes in Yunnan-Guizhou Plateau*, Journal of Cleaner Production, 276, 122689.

Karadere Deresi'nin (Araklı-Trabzon) İçme ve Sulama Suyu Amaçlı Kullanım Uygunluğunun İncelenmesi

Arzu Fırat Ersoy^{1,*}, Esra Hatipoğlu Temizel¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon.

Özet

Bu çalışmada Karadere Deresi'nin su kalitesi özellikleri belirlenmiş, bu amaçla yüzey suyu örnekleme yapılarak fiziksel parametreler, majör anyon-kasyon ve iz element içerikleri belirlenmiştir. Hidrokimyasal özelliklerin belirlenmesi amacıyla yüzey suyu örneklemeleri Ekim-2020 ve Nisan-2021 olmak üzere iki dönemde gerçekleştirilmiştir. Su örneklerine ait fiziksel özellikler, majör anyon ve kasyon analiz sonuçları Dünya Sağlık Örgütü WHO, TS266 (İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik) ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliklerine göre değerlendirilmiştir. Karadere yüzey suyunda su tipleri Ca-HCO_3 ve Ca-Na-HCO_3 olarak belirlenmiştir. Karadere yüzey suyunun bu parametreler açısından WHO ve TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında yönetmeliğe göre içme suyuna uygun olduğu belirlenmiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre ise tüm parametrelerin I. ve II. Sınıf sular sınıfında bulunduğu tespit edilmiştir. Kirlilik açısından incelendiğinde ise NO_2 içerikleri Karadere'nin IV. Sınıf su sınıfında olduğunu göstermektedir. İz element içerikleri açısından yağışlı döneme ait Al ve Fe değerlerinin TS266'da tanımlanan sınır değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Karadere yüzey suyunun, sodyuma karşı hassas olan bitkiler dışındaki tüm bitkilerde ve orta derecede tuza ihtiyacı olan bitkilerde tarımsal faaliyetlerde kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler

Yüzey Suyu Kalitesi, Hidrojeokimya, Karadere, Trabzon

Investigation of the Suitability of Karadere River (Araklı-Trabzon) for Drinking and Irrigation Purposes

Abstract

In this study, it was aimed to determine the water quality characteristics of Karadere River. For this purpose, physical parameters, major anion-cation and trace element analyzes were carried out by performing surface water sampling in Karadere River. In order to determine the hydrochemical properties, two periods of surface water sampling were carried out in October-2020 and April-2021. The physical properties, major anion and cation analysis results of the water samples were evaluated according to the World Health Organization WHO, TS266 (Regulation on Water Intended for Human Consumption) and Water Pollution Control Regulation. Water types in Karadere surface water were determined as Ca-HCO_3 and Ca-Na-HCO_3 . It has been determined that Karadere surface water is suitable for drinking water in terms of this physical parameters and major anions-cations according to WHO and TS266 Regulation on Water Intended for Human Consumption. According to the Water Pollution Control Regulation, all parameters were determined to be in I and II water class. When examined in terms of pollution, it is seen that Karadere surface water is in IV class water class according to NO_2 content. It has been determined that the Al and Fe values of the rainy period in terms of trace element contents are above the limit values defined in the TS266 Regulation on Water Intended for Human Consumption. It has been determined that Karadere surface water can be used in agricultural activities in all plants except for plants that are sensitive to sodium and in plants that need moderate salt.

Keywords

Surface Water Quality, Hydrogeochemistry, Karadere, Trabzon

1. Giriş

Yeryüzünde canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için en önemli doğal kaynaklardan biri sudur. Canlılar su ihtiyaçlarını yüzey ve yeraltısularından karşılamaktadır. Yüzey sularının kullanıma kazandırılması yeraltısularının çıkartılıp işletilmesinden daha ekonomik olduğundan tercih sebebidir (Fırat Ersoy ve Hatipoğlu Temizel 2021). Ülkemizde içme ve kullanım amaçlı olarak genellikle yeraltısuyu kullanılmakta iken, özellikle son yıllarda hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve tarımsal faaliyetler gibi etkenler sonucunda yeraltısuları kirlenmeye başlamış ve bunlara alternatif olarak akarsu, göl gibi yüzey sularının kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Dünya genelinde özellikle nüfus artışı düzensiz kentleşme, sanayileşme, tarımda aşırı kimyasal kullanımı, sudan enerji elde etme gibi çalışmalar nehirler üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (462) 3772063 Faks: +90 (462) 3257405
E-posta: arzufirat@gmail.com (Fırat Ersoy A),
hatipoglu.esra@gmail.com (Hatipoğlu Temizel E)

Gönderim Tarihi / Received : 06/10/2022
Kabul Tarihi / Accepted : 26/01/2022

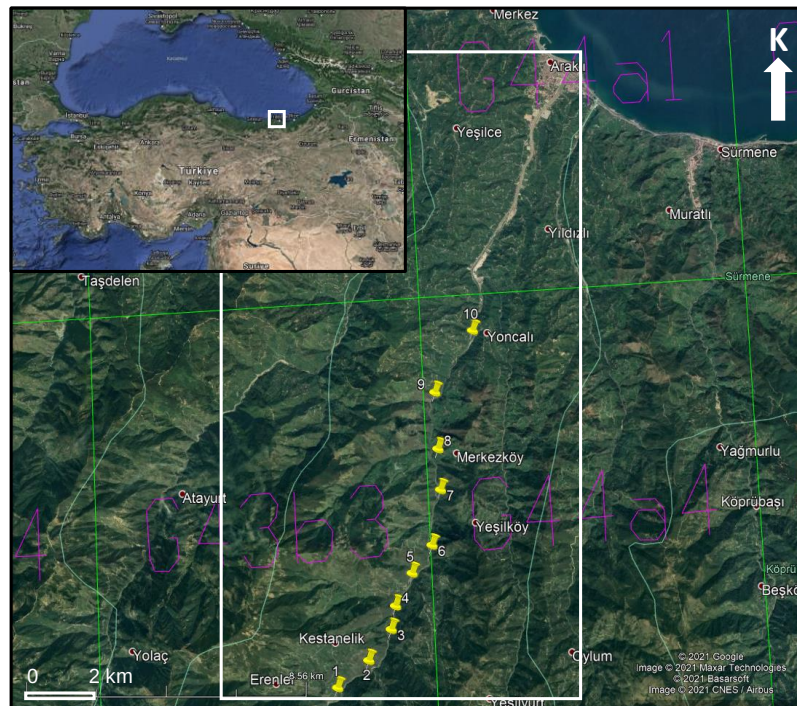
Bu durum nehir sistemlerinin doğal yapısını bozarak su kalitesinin her geçen gün azalmasına sebep olmaktadır (Jarvie vd. 2018; Chen vd. 2019). Ayrıca küresel iklim değişikliğinden kaynaklı sıcaklık artışları da su kaynaklarını olumsuz yönde etkilemekte, akarsulardaki su miktarı azalmakta ve bu durum su havzalarında kirliliği artırmaktadır. Doğu Karadeniz’de akarsular ilçe merkezlerinden geçerek Karadeniz’e ulaşmakta ve akarsuların akış yollarındaki vadiler boyunca birçok sanayi tesisi, depolama alanları, fındık bahçeleri ve küçük ölçekli fabrikalar yer almaktadır. Bu nedenle yüzey suları sanayi tesislerinden kaynaklanan ağır metal ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan azot ve türevlerinin kirliliğinden olumsuz olarak etkilenmektedir.

Türkiye bulunduğu konum açısından iklim değişikliklerinden etkilenen bir bölgede yer almaktadır. Tüm bu olumsuz etkilerle birlikte su kalitesinin düzenli olarak izlenmesi ve korunması giderek önem kazanmıştır. Ülkemizde yer alan çeşitli akarsuların fiziko-kimyasal özelliklerinin değerlendirilip su kalitesinin belirlenmesine yönelik olarak birçok çalışma yapılmıştır (Ak vd. 2008; Akbulut vd. 2010; Topkara vd. 2011; Çiçek ve Ertan 2012; Gültekin vd. 2012; Kasımoğlu ve Yılmaz 2014; Bilgin ve Konaç 2016; Ucu Öz ve Gemici 2016; Zeybek ve Kalyoncu 2016; Alver ve Baştürk 2019; Ustaoglu vd. 2020).

Trabzon İl'inde Galyan Akarsuyundan 3 ayrı noktadan yaklaşık bir yıl boyunca ayda bir örnekleme yapılarak bu akarsuyun su kalitesini belirlenmiş ve nehrin matematiksel modellenmesi oluşturulmuştur (Bulut ve Tüfekçi 2005). Nacar ve Satılmış (2017) yaptıkları çalışmalarında Doğu Karadeniz Havzasında Trabzon ili sınırları içerisinde kalan akarsuların Karadeniz'e taşıdıkları Toplam karbon, toplam organik karbon ve toplam inorganik karbon değerlerini belirlemişlerdir. Tunç Dede vd. (2018) Karadere Çayı su kalitesinin ağır metal konsantrasyonuna göre ağır metal kirlilik indeksini hesaplamışlardır.

Trabzon ilinde bulunan diğer akarsularda su kalitesi birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Gültekin vd. (2005), Değirmendere havzasının su kalitesini incelemişler ve havzadaki suların Ca-HCO_3 tipinde olduğunu belirlemişlerdir. Değirmendere yüzey suyunun Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre “çok kirlenmiş su” sınıfında yer aldığını tespit etmişlerdir. [Celep \(2009\)](#), Trabzon ilinde bulunan yüzey ve yeraltısularının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak yaptığı çalışmasında Karadere deresi yüzey suyunun pH, DO, TDS ve Na içeriklerine göre I. Sınıf; Mn ve PO_4 açısından II. sınıf ve NO_2 , Cu ve Ni açısından III. Sınıf sular kapsamında yer aldığını belirlemiştir. [Fırat Ersoy ve Karagüllü \(2018\)](#) Söğütlü havzasında yaptıkları çalışmada Söğütlü deresi yüzey suyunda Fe, Mn, Al, NO_2 ve NO_3 açısından “kirlenmiş su” ve “çok kirlenmiş su” sınıfında yer aldığını belirlemişlerdir.

Çalışmanın konusunu oluşturan Karadere deresi Trabzon'un doğusunda bulunan Araklı ilçesinin merkezinden geçerek Karadeniz'e dökülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Çalışma alanının yer bulduru haritası ve örnek noktaları

Karadere havzası yaklaşık 640 km²'lik alana sahiptir. Havzadaki ana akarsu Karadere olmakla birlikte bu dereyi besleyen Pervane, Kaya, Yuvalı ve Üçtaş dere gibi yan kolları da bulunmaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde Karadeniz iklim tipi yaygın olarak gözlenmektedir. Bölgede yazlar genellikle orta sıcaklıkta kışlar ise ılık geçmektedir. Trabzon meteoroloji istasyonundan alınan uzun yıllar ortalamasına göre bölgede ortalama sıcaklık 14.5 °C, yıllık toplam yağış 803 mm'dir (MGM 2021).

Bu çalışmada Trabzon ilinde bulunan 16 akarsu havzasından birisi olan ve ilin doğusunda yer alan Karadere deresi yüzey suyunun hidrokimyasal özellikleri belirlenmiş ve suyun içme-kullanmaya uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda akarsuda Ekim-2020 ve Nisan-2021’de olmak üzere 2 dönemde fiziksel parametreler, majör anyon-kasyon ve iz element analizleri yapılarak elde edilen bulgular ile yüzey suyu içme-kullanma ve tarımsal sulamaya uygunluğu açısından değerlendirilmiştir. Günümüzde Karadere havzasının yüzey suyu Trabzon ilinin içme-kullanma suyu olarak kullanılmamaktadır. Yalnızca Karadere Deresi akiferinde açılmış olan kuyulardan Araklı ilçesine içme ve kullanma suyu sağlanmaktadır. Fakat giderek artan nüfus, sanayileşme ve tarımsal sulama ihtiyaçları nedeniyle önümüzdeki birkaç on yılda Trabzon ili için de ihtiyaç duyulacak duruma geleceği açıktır. Bu nedenle bu çalışmada Karadere Deresi’nin yüzey suyu kalitesi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma kapsamında Karadere deresinin yüzey suyu kalitesini belirlemek amacıyla kurak sezonu temsil eden Ekim-2020 ve yağışlı sezonu temsil eden Nisan-2021’de olmak üzere 2 dönem örnekleme yapılmıştır (Şekil 1). Derenin akış yönünde güneyden kuzeye 20 km mesafelik bir alanda her bir örnekleme döneminde 10’ar adet olmak üzere toplam 20 adet su örneği alınmıştır (Tablo 1). Yüzey suyu örnekleri TS EN ISO 5667 Su Kalitesi Numune Alma Standardına uygun olarak alınmıştır. Her bir su örneği için 1 lt’lik polietilen (saf su ile yıkanmış) şişeler kullanılmıştır. Alınan su örnekleri etiketlenerek ilk 6 saat içerisinde analiz için Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) Trabzon 22. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü’ne getirilmiştir. TURKAK (Türk Akreditasyon Kurumu) tarafından akredite olan laboratuvar, su örneklerinin majör anyon-kasyon ve iz element analizleri yapılmıştır. Majör anyon-kasyon analizleri iyon kromatografisi ile iz element analizleri ICP-MS cihazı ile yapılmıştır. Karadere deresi yüzey suyunun fiziksel parametreleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı’nda bulunan HACH-HQ40D marka çoklu parametre ölçer ile yerinde ölçülmüştür. Analizlerin iyon denge hatası % -5.79 ile 4.82 arasında kalmaktadır. Tüm analiz sonuçları değerlendirilerek Karadere yüzey suyunun içme ve kullanmaya uygunluğu ve su kalitesi belirlenmiştir. Analiz sonuçları Dünya Sağlık Örgütü [WHO \(2011\)](#), TS266 (İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik) ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2004)’ne göre değerlendirilmiştir.

3. Jeoloji ve Hidrojeoloji

Doğu Pontidler’in Kuzey Zonu içinde yer alan çalışma alanında genel olarak volkanik, volkano-tortul kayalar ile tortul birimler yüzeylenmektedir (Şekil 2). Çalışma alanının en yaşlı birimini bazalt, andezit ve piroklastitleri ile kumtaşı, marn ve killi kireçtaşlarından oluşan Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu ([Kandemir 2004](#)) oluşturmaktadır. Bu birim üzerine uyumlu olarak Geç Jura-Erken Kretase yaşlı resifal kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşından oluşan Berdiga Formasyonu gelmektedir ([Güven 1993](#)). Bu birimler üzerine yine uyumlu olarak Geç Kretase yaşlı bazik karakterli volkano-tortul istiften oluşan (bazalt andezit ve piroklastitleri ile kumtaşı killi kireçtaşı ve siltası) Çatak Formasyonu ([Güven 1993](#)) gelmektedir. Bunlar üzerine riyodasit, dasit ve piroklastitlerinden oluşan Kızılkaya Formasyonu ([Güven 1993](#)) uyumlu olarak gelmektedir. Bu asidik karakterli birimler üzerine bazalt, andezit ve piroklastitleri ile çamurtaşı, kumtaşı ve tüfitten oluşan Çağlayan Formasyonu uyumlu olarak gelmektedir ([Güven 1993](#)). Bazik birimler üzerine riyolit, riyodasit ve piroklastitlerinden oluşan Çayırbağ Formasyonu uyumlu olarak gelmektedir. Bunlar üzerinde kumtaşı, killi kireçtaşı, marn, şeyl ve tüflerden oluşan Bakırköy Formasyonu ([Güven 1993](#)) bulunmaktadır.

Üst Kretase yaşlı Kaçkar Granitoidi-I ise tüm bu birimleri keserek yerleşmiştir. Bu birimleri uyumsuzlukla üzerleyen Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu andezit, bazalt ve piroklastitleri ile kumtaşı ve kumlu kireçtaşından oluşmaktadır. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar çalışma sahasının en genç birimlerini oluşturmaktadır ([Güven 1993](#)) (Şekil 2).

Çalışma alanının kuzey kesimlerinde Kuvaterner yaşlı blok, çakıl, kum ve silt karışımından oluşan gevşek ve tutturulmamış alüvyal çökeller yer almaktadır. Bu çökeller iyi akifer özelliğinde olup ekonomik olarak yeraltısuyu içermektedir.

Karadere akiferinin alüvyon genişliği 250-750 m, alüvyon uzunluğu 7 km ve alüvyon kalınlığı 20-34 m’dir ([DSİ 2015](#)). Karadere Deresi’nin oluşturduğu alüvyonlar serbest akifer niteliği taşımaktadır. Akarsuyun su depolama hacmi 563 hm³, yıllık ortalama akış değeri 355.14 hm³/yıl ve yağış alanı 730 km²’dir ([DSİ 2015](#)).

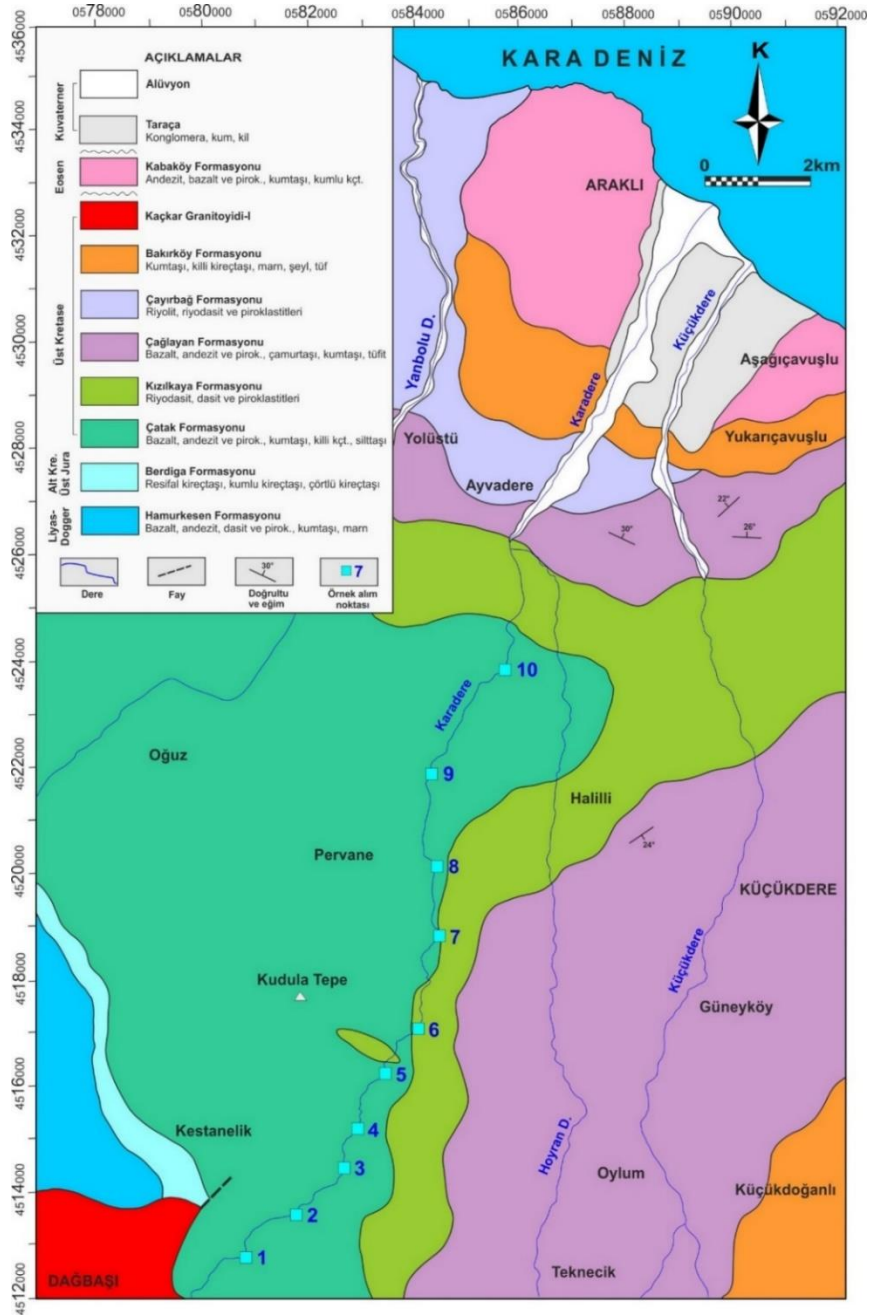
4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Hidrojeokimya

Örnek noktalarının konumlarına ait koordinat bilgileri Tablo 1’de, fiziksel parametrelere ait analiz sonuçları Tablo 2’de, kimyasal analiz sonuçları Tablo 3’te, analiz sonuçlarına göre hazırlanan su tipleri Tablo 4’te ve iz element analiz sonuçları Tablo 5’te verilmektedir.

Tablo 1: Karadere yüzey suyu örnek noktalarına ait koordinat bilgileri

Örnek Numarası	X Koordinatı	Y Koordinatı	Z (m)
1	580856	4512739	264
2	581901	4513550	225
3	582663	4514487	224
4	582838	4515221	186
5	583418	4516229	183
6	584099	4517083	158
7	584465	4518831	130
8	584453	4520137	165
9	584440	4521940	91
10	585750	4523847	50



Şekil 2: Çalışma alanının jeoloji haritası (Güven 1993'ten sadeleştirilerek)

4.2. Fiziksel Parametreler ve Majör İyon İçerikleri

Çalışma kapsamında örneklenen suların EC (Elektriksel İletkenlik), TDS, T, pH ve TS (Toplam Sertlik) değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Ekim-2020’de yüzey suyu örneklerinin EC değerlerinin 371-429 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında; Nisan-2021’de ise 103-117 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değiştiği görülmektedir. İki dönem için yüzey suyu örneklerinin pH değerleri 6.5 ile 7.9 arasında değişmektedir. Ekim-2020’de yüzey suyu örneklerinin Toplam Sertlik değeri 14.53-15.80 FH arasında; Nisan-2021’de ise 4.53-5.02 FH arasındadır (Tablo 2). Yüzey suları yağışlı aylarda seyrelmeden dolayı daha az oranda, kurak aylarda ise buharlaşmanın etkisiyle daha çok iyon içerdiklerinden yerüstü sularının kimyasal özelliği zamanla değişiklik gösterir. Yüzey suyu kaynaklarının toplam iyon içerikleri kurak dönemde yüzeyde meydana gelen buharlaşmanın etkisiyle yüksek, yağışlı dönemde ise yağışın yüzey suyunu seyreltmesi nedeniyle daha düşük değerlerdedir. Karadere yüzey suyunun EC ve Toplam Sertlik değerlerinin kurak dönem (Ekim-2020) analizlerinde daha yüksek değerlerde olduğu; buna karşın yağışlı dönem (Nisan-2021) analizlerinde ise kurak döneme göre daha düşük değerlerde olduğu gözlenmektedir. Yüzey sularına ait fiziksel parametreler TSE 266 (2005), İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında yönetmeliğe göre değerlendirildiğinde sular EC ve pH değerleri açısından içme suyuna uygundur. Toplam sertlik açısından değerlendirme yapıldığında ise su örneklerinin “çok yumuşak su” ile “orta yumuşak su” sınıfında yer aldıkları görülmektedir. Bu parametreler (Tablo 2) Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre değerlendirildiğinde ise yüzey suyu örneklerinin TDS ve pH değerleri açısından I. Sınıf sular sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Yüzey sularının Nisan-2021’de yapılmış Çözünmüş Oksijen (DO) analiz değerlerinin 7.80-10.29 mg/L arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre I. ve II. sınıf sulara işaret etmektedir (Tablo 2).

Tablo 2: Karadere yüzey suyu örnek noktalarına ait fiziksel parametreler

Örnek Numarası	Örnekleme Tarihi	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS	T ($^{\circ}\text{C}$)	PH	TS (FH)	DO (mg/L)
1	EKİM-2020	377	245	14.1	6.9	14.87	
	NİSAN-2021	107	69	11.1	6.5	4.68	10.18
2	EKİM-2020	371	241	14	6.5	14.53	
	NİSAN-2021	103	67	12.3	6.5	4.67	9.8
3	EKİM-2020	371	241	14.1	6.8	14.54	
	NİSAN-2021	104	68	14.9	6.5	4.86	10.29
4	EKİM-2020	411	267	15.3	6.9	15.13	
	NİSAN-2021	107	69	11	6.6	4.83	7.8
5	EKİM-2020	410	266	14.5	6.8	15.03	
	NİSAN-2021	112	73	13.7	7.2	4.93	9.73
6	EKİM-2020	422	274	15.3	6.9	15.42	
	NİSAN-2021	108	70	13.8	7.3	4.98	9.65
7	EKİM-2020	429	279	16	6.7	15.65	
	NİSAN-2021	110	72	12.4	7.4	5.02	10.26
8	EKİM-2020	429	279	15	6.8	15.80	
	NİSAN-2021	111	72	14.4	7.2	4.88	9.93
9	EKİM-2020	426	277	15.8	6.8	15.42	
	NİSAN-2021	114	74	12.2	7.3	4.98	9.17
10	EKİM-2020	377	245	17	6.9	14.87	
	NİSAN-2021	117	76	13.7	7.9	4.53	10.23
TS266 (En Yüksek Değer)		2500			6.5-9.5		

Yüzey suyu örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 3’te verilmiştir. Ekim-2020’de yüzey suyu örneklerinin Ca değerlerinin 47.3-50.70 mg/L arasında, Nisan-2021’de ise 14.15-15.40 mg/L arasında; Mg değerlerinin Ekim-2020’de 6.40-7.64 mg/L arasında, Nisan 2021’de ise 2.28-2.77 mg/L arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 3). Na içerikleri Ekim-2020’de 5.61-10.53 mg/L arasında, Nisan 2021’de ise 2.71-6.27 mg/L arasında değişmektedir. HCO_3 değerleri Ekim-2020’de 143.9-183 mg/L arasında, Nisan 2021’de ise 54.7-73.2 mg/L arasında; SO_4 değerleri Ekim-2020’de 22.82-26.24 mg/L arasında, Nisan 2021’de ise 6.23-9.13 mg/L arasında; Cl değerleri Ekim-2020’de 3.53-10.16 mg/L arasında, Nisan 2021’de ise 2.46-9.48 mg/L arasında bulunmaktadır (Tablo 3). Karadere yüzey suyunda majör anyon ve katyon içeriklerinin kurak dönemi temsil eden Ekim ayı analizlerinde yüksek olduğu; buna karşın yağışlı dönemi temsil eden Nisan ayı analizlerinde düşük olduğu belirgin bir şekilde görülmektedir (Tablo 3). Majör anyon-katyon analiz sonuçları WHO (2011) ve TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında yönetmeliğe göre değerlendirildiğinde yüzey suyu örneklerinin içme suyuna uygun oldukları belirlenmiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre değerlendirildiğinde ise bu parametreler açısından I. Sınıf sular sınıfında yer aldıkları tespit edilmiştir. İncelenen yüzey suları NO_2 , NO_3 ve NH_4 açısından değerlendirildiğinde ise NO_3 içeriklerinin yağışlı ve kurak dönemde 1.50-3.24 mg/L arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler Karadere yüzey suyunun WHO (2011) ve TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında yönetmeliğe uygun olduğunu göstermektedir. Yine her iki dönemdeki NO_2 ve NH_4 değerlerinin WHO (2011) ve TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında yönetmeliğe uygun oldukları belirlenmiştir. Sular Su Kirliliği Kontrolü

Yönetmeliğine göre değerlendirildiğinde ise Ekim-2020 ve Nisan 2021 analiz sonuçlarına göre NO_3 ve NH_4 açısından I. Sınıf sular, NO_2 açısından IV. Sınıf sular sınıflarında yer aldıkları tespit edilmiştir (Tablo 3).

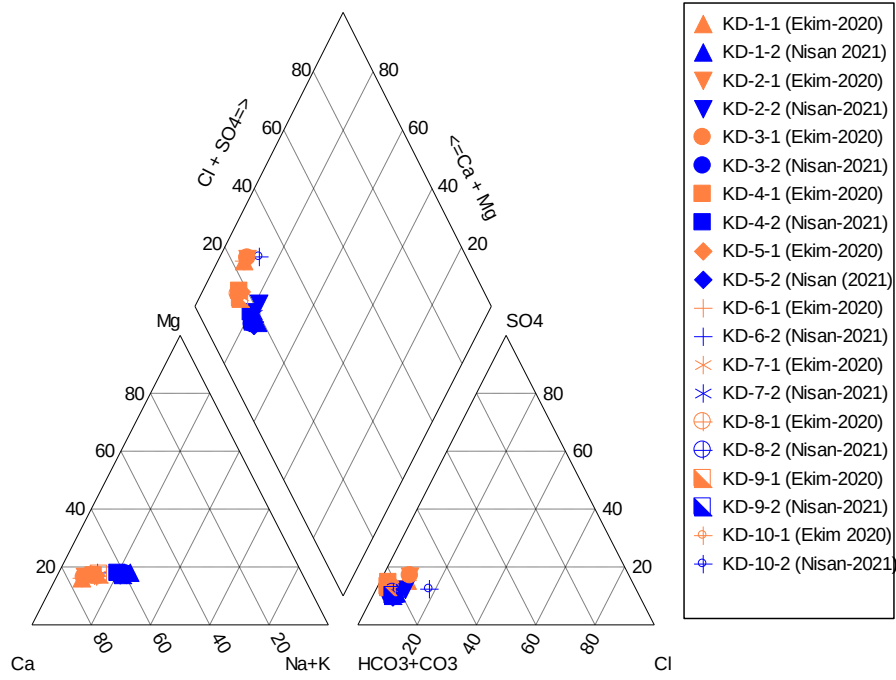
Tablo 3: Karadere yüzey suyu örnek noktalarına ait kimyasal analiz sonuçları

Örnek Numarası	Örnekleme Tarihi	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	HCO_3 (mg/L)	SO_4 (mg/L)	Cl (mg/L)	NO_3 (mg/L)	NO_2 (mg/L)	NH_4 (mg/L)	İyon Denge Hatası
1	EKİM-2020	48.80	6.42	5.61	1.20	149.4	24.05	10.13	3.19	0.075	0.04	0.12
	NİSAN-2021	14.15	2.7	6.27	0.7	60.2	6.45	3.1	1.5	0.067	0.32	0.66
2	EKİM-2020	47.30	6.51	6.07	1.23	144.5	25.83	10.11	2.94	0.066	0.06	0.12
	NİSAN-2021	14.48	2.46	5.22	0.68	54.7	6.80	3.95	1.57	0.067	0.14	1.06
3	EKİM-2020	47.50	6.40	6.03	1.31	143.9	26.24	10.16	3.01	0.072	0.04	0.10
	NİSAN-2021	15.12	2.64	5.98	0.67	65.8	6.27	2.71	1.57	0.067	0.17	-1.44
4	EKİM-2020	48.70	7.13	8.97	1.30	173.2	24.44	3.53	2.74	0.064	0.33	0.05
	NİSAN-2021	15.02	2.63	5.14	0.65	65.2	6.43	3.48	1.55	0.068	0.14	-3.82
5	EKİM-2020	48.10	7.20	9.40	1.42	172.0	24.70	3.94	2.82	0.064	0.33	0.06
	NİSAN-2021	15.21	2.70	6.27	0.78	73.2	6.68	3.44	1.60	0.067	0.21	-5.79
6	EKİM-2020	49.48	7.25	9.91	1.33	178.1	23.83	4.41	2.98	0.072	0.41	0.08
	NİSAN-2021	15.40	2.73	6.21	0.70	68.1	6.74	3.34	1.61	0.068	0.22	-2.57
7	EKİM-2020	50.07	7.54	10.32	1.31	182.4	22.87	4.98	3.18	0.067	0.53	0.01
	NİSAN-2021	15.37	2.77	5.74	0.71	58.9	6.34	3.09	1.56	0.068	0.18	3.41
8	EKİM-2020	50.70	7.50	9.37	1.31	183.0	22.82	4.38	3.24	0.070	0.33	0.02
	NİSAN-2021	15.04	2.72	6.08	0.82	57.6	6.23	2.46	1.59	0.067	0.25	4.82
9	EKİM-2020	49.01	7.64	10.53	1.32	181.8	22.83	4.29	2.93	0.070	0.46	-0.07
	NİSAN-2021	15.37	2.68	5.92	0.70	66.4	6.44	3.06	1.58	0.068	0.17	-1.59
10	EKİM-2020	48.80	6.42	5.61	1.20	149.4	24.05	10.13	3.19	0.075	0.04	0.12
	NİSAN-2021	14.27	2.28	2.71	0.60	64.6	9.13	9.48	2.13	0.072	0.06	-1.87
TS266 (En Yüksek Değer)		200				250	250	50	0.5	0.5		
WHO (2011)		50				50	3	-				

Suların kimyasal yapısı ve tiplerini belirleyebilmek için Piper (Şekil 3) ve Schoeller (Şekil 4) diyagramları hazırlanmıştır. Piper diyagramı anyon ve katyonların (%mek/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflandırılması ve karşılaştırılması aşamasında kolaylık sağlamaktadır. Piper diyagramına göre eşkenar üçgenler dikkate alındığında su örneklerinin her iki örnekleme döneminde de Ca-HCO_3 su tipinde oldukları görülmektedir. Su örneklerinde baskın katyon Ca iken baskın anyon HCO_3 'tür, ayrıca Cl ve SO_4 içerikleri oldukça düşük değerlerdedir. Eşkenar dörtgen dikkate alındığında su örneklerinde $\text{Ca} > \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}$ olduğu ve karbonat sertliğinin %50'den fazla yani yüksek sertlikte sular sınıfında olduğu belirlenmiştir. Bu tip sular CaCO_3 tipinde sular olarak tanımlanmaktadır. Analiz sonuçları kullanılarak elde edilen su tipleri ayrıca Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde Ekim-2020 döneminde alınan su örneklerinde su yüzeyinden meydana gelen buharlaşmanın etkisi ile baskın su tipi Ca-HCO_3 iken; Nisan-2021 döneminde alınan su örneklerinde yağışlar nedeniyle meydana gelen seyrelmenin etkisi ile baskın su tipi Ca-HCO_3 ve Ca-Na-HCO_3 tür.

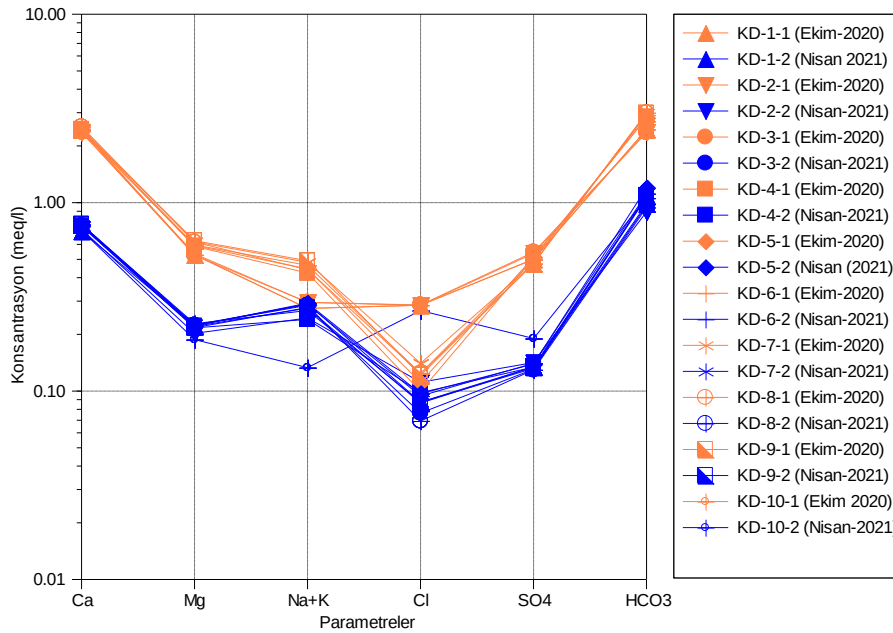
Tablo 4: Karadere yüzey suyu örnek noktalarına ait su tipleri

Örnek Numarası	Örnekleme Tarihi	Su Tipi
1	EKİM-2020	Ca-HCO_3
	NİSAN-2021	Ca-Na-HCO_3
2	EKİM-2020	Ca-HCO_3
	NİSAN-2021	Ca-HCO_3
3	EKİM-2020	Ca-HCO_3
	NİSAN-2021	Ca-Na-HCO_3
4	EKİM-2020	Ca-HCO_3
	NİSAN-2021	Ca-HCO_3
5	EKİM-2020	Ca-HCO_3
	NİSAN-2021	Ca-HCO_3
6	EKİM-2020	Ca-HCO_3
	NİSAN-2021	Ca-Na-HCO_3
7	EKİM-2020	Ca-HCO_3
	NİSAN-2021	Ca-Na-HCO_3
8	EKİM-2020	Ca-HCO_3
	NİSAN-2021	Ca-Na-HCO_3
9	EKİM-2020	Ca-HCO_3
	NİSAN-2021	Ca-HCO_3
10	EKİM-2020	Ca-HCO_3
	NİSAN-2021	Ca-HCO_3



Şekil 3: Karadere yüzey suyu örnek noktalarına ait Piper diyagramı

Schoeller Diyagramı yarı logaritmik bir diyagramdır ve iyonların kökensel yorumlamaları hakkında bilgi verir. Her bir iyonun mek/l değerleri logaritmik düşey eksene işaretlenerek birleştirilir. Yarı logaritmik diyagrama çizilen su analizlerinde kırık çizgilerin birbirine paralel olduğu sular genellikle aynı formasyonlardan gelen suları göstermektedir. Şekil 4'te Ekim-2020 ve Nisan-2021 tarihinde alınan 10'ar adet su örneğine ait çizilen Schoeller Diyagramı görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde iyonların mek/l değerlerini birleştiren doğruların kurak ve yağışlı dönemde birbirine yaklaşık paralel olduğu görülmektedir. Fakat Ekim-2020 döneminde yani kurak dönemde alınan yüzey suyu örneklerinin iyon içeriklerinin yağışlı dönemde alınan su örneklerinden daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum doğal hidrolojik süreçlerin bir sonucudur. Çünkü yağışlı dönemde yağış sularının yüzey sularına katkısı nedeni ile dere suyu iyon içerikleri azalmakta; buna karşın kurak dönemde yüzey suyu buharlaşma meydana gelmesi nedeni ile dere suyu iyon içerikleri yükselmektedir. Analiz sonuçlarını birleştiren doğruların birbirine yaklaşık paralellik göstermesi de suların aynı jeolojik formasyonlardan beslendiğine işaret etmektedir.



Şekil 4: Karadere yüzey suyu örnek noktalarına ait Schoeller diyagramı

4.3. İz Element İçerikleri

Örneklere ait iz element analiz sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. B, Mn ve Ni içerikleri Ekim-2020 ve Nisan 2021 analiz sonuçlarına göre hem WHO (2011)'e göre hem de TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında yönetmeliğe göre uygun sınırlar içerisinde yer almaktadır. Cu analiz sonuçları incelendiğinde her iki dönem için de çok düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Karadere yüzey suyunda yapılan iz element analiz sonuçlarına göre Al ve Fe içeriklerinin Ekim-2020 döneminde Nisan-2021 döneminden daha düşük olduğu görülmektedir. Nisan-2021 Al ve Fe içeriklerinin TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında yönetmelikte tanımlanan sınır değerlerin üzerinde yer aldığı belirlenmiştir. İz element analiz sonuçları Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre değerlendirildiğinde B, Mn ve Ni açısından I. sınıf; Cu açısından I. ve II. sınıf sular; Fe açısından II. ve IV. sınıf sular; Al açısından ise III. ve IV. Sınıf sular sınıfında yer aldıkları görülmektedir (Tablo 6).

Tablo 5: Karadere yüzey suyu örnek noktalarına ait iz element analiz sonuçları

Örnek Numarası	Örnekleme Tarihi	B (µg/l)	Al (µg/l)	Mn (µg/l)	Ni (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (µg/l)
1	EKİM-2020	63.2	17.49	6.80	1.26	14.11	32.33
	NİSAN-2021	2.35	199.23	8.72	2.63	1.43	210.66
2	EKİM-2020	76.98	22.71	14.44	1.34	32.94	63.39
	NİSAN-2021	2.32	199.04	9.44	1.12	1.10	222.93
3	EKİM-2020	66.02	26.02	13.41	1.49	27.71	63.19
	NİSAN-2021	2.22	255.03	9.33	1.18	1.05	224.13
4	EKİM-2020	55.84	25.02	12.74	1.42	28.56	70.28
	NİSAN-2021	2.24	264.59	9.98	1.37	1.54	241.01
5	EKİM-2020	63.64	27.77	21.36	1.82	44.15	86.09
	NİSAN-2021	2.12	271.87	10.39	1.22	1.23	258.07
6	EKİM-2020	43.31	24.00	12.26	1.51	25.65	71.67
	NİSAN-2021	2.11	292.71	10.82	1.23	1.07	272.67
7	EKİM-2020	38.57	20.86	12.21	1.42	28.01	60.18
	NİSAN-2021	2.24	256.92	9.56	1.31	1.33	243.80
8	EKİM-2020	39.65	20.55	9.94	1.43	22.05	49.99
	NİSAN-2021	2.23	624.80	23.05	1.45	2.07	631.57
9	EKİM-2020	41.69	24.88	16.81	1.64	39.52	78.26
	NİSAN-2021	2.19	679.54	24.63	1.43	2.15	706.22
10	EKİM-2020	39.33	20.09	10.75	1.45	26.48	65.52
	NİSAN-2021	2.26	1195.74	46.08	2.42	4.04	1290.17
TS266 (En Yüksek Değer)		1000	200	50	20	2000	200
WHO (2011)		2400		50	70	2000	

Tablo 6: Karadere yüzey suyu örnek noktalarına ait su kalite sınıfları

Örnek Numarası	Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfı
1	TDS, pH, DO, SO ₄ , Cl,	I
	NO ₃ , B, Mn, Ni, Al, Cu	
	NH ₄ , Fe	II
	NO ₂	IV
2	TDS, pH, DO, SO ₄ , Cl,	I
	NO ₃ , NH ₄ , B, Mn, Ni,	
	Al	
	Cu, Fe	II
3	TDS, pH, DO, SO ₄ , Cl,	I
	NO ₃ , B, Mn, Ni, Al	
	NH ₄ , Cu, Fe	II
	NO ₂	IV
4	TDS, pH, DO, SO ₄ , Cl,	I
	NO ₃ , B, Mn, Ni, Al	
	DO, NH ₄ , Cu, Fe	II
	NO ₂	IV
5	TDS, pH, DO, SO ₄ , Cl,	I
	NO ₃ , B, Mn, Ni, Al	
	NH ₄ , Cu, Fe	II
	NO ₂	IV
6	TDS, pH, DO, SO ₄ , Cl,	I
	B, Mn, Ni, al	
	NH ₄ , Cu, Fe	II
	NO ₂	IV
7	TDS, pH, DO, SO ₄ , Cl,	I
	NO ₃ , B, Mn, Ni, Al	
	NH ₄ , Cu, Fe	II
	NO ₂	IV
8	TDS, pH, DO, SO ₄ , Cl,	I
	NO ₃ , B, Mn, Ni	
	NH ₄ , Cu	II
	Al	III
9	TDS, pH, DO, SO ₄ , Cl,	I
	NO ₃ , B, Mn, Ni	
	NH ₄ , Cu	II
	Al	III
10	TDS, pH, DO, SO ₄ , Cl,	I
	NO ₃ , NH ₄ , B, Mn, Ni	
	Cu	II
	NO ₂ , Al, Fe	IV

4.4. Sulama Suyu Yönünden İncelenmesi

Ekim-2020 ve Nisan-2021’de alınan örneklerle ait kimyasal analiz sonuçları kullanılarak Karadere yüzey suyu sulama suyu olması yönünden değerlendirilmiştir. Bu kapsamda analiz sonuçlarından yararlanılarak %Na (Wilcox 1955), SAR (Sodyum Adsorption Ratio) (Richards 1954), RSC (Rezidüel Sodyum Karbonat) (Eaton 1950), KI (Kelly İndeksi) (Kelley 1963), Mg Hazard (Magnezyum Tehlikesi) (Paliwal 1972) ve PI (Permeabilite İndeksi) (Doneen 1964) değerleri hesaplanarak elde edilen sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir. Parametrelerin hesaplanmasında kullanılan formüller aşağıda sıralanmıştır:

$$\% Na = [(Na^+ + K^+) \times 100] / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+) \quad (1)$$

$$SAR = Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+} / 2)^{1/2}$$

$$RSC = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

$$KI = Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

$$Mg \text{ Hazard} = (Mg^{2+}) / (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \times 100$$

$$PI = (Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}) / (Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}) \times 100$$

(İyonlar mek/l cinsindendir).

Tablo 7: Karadere yüzey suyu örnek noktalarına ait %Na, SAR, RSC, KI, Mg hazard ve PI değerleri

Örnek Numarası	Örnekleme Tarihi	%Na	SAR	RSC	KI	Mg Hazard	PI
1	EKİM-2020	8.44	0.20	-0.52	0.08	17.94	56.22
	NİSAN-2021	23.79	0.40	0.05	0.29	24.06	104.83
2	EKİM-2020	9.24	0.22	-0.54	0.09	18.64	56.89
	NİSAN-2021	20.73	0.33	-0.04	0.24	22.32	101.175
3	EKİM-2020	9.19	0.22	-0.55	0.09	18.34	56.70
	NİSAN-2021	22.30	0.37	0.11	0.27	22.30	105.43
4	EKİM-2020	12.30	0.32	-0.19	0.13	19.55	60.75
	NİSAN-2021	19.87	0.32	0.10	0.23	22.41	105.65
5	EKİM-2020	12.89	0.33	-0.19	0.14	19.97	61.16
	NİSAN-2021	23.01	0.39	0.22	0.28	22.84	108.77
6	EKİM-2020	13.07	0.35	-0.16	0.14	19.73	60.88
	NİSAN-2021	22.42	0.38	0.12	0.27	22.61	104.87
7	EKİM-2020	13.32	0.36	-0.14	0.14	19.97	60.85
	NİSAN-2021	20.94	0.35	-0.04	0.25	23.26	98.35
8	EKİM-2020	12.27	0.33	-0.16	0.13	19.78	59.99
	NİSAN-2021	22.66	0.38	-0.03	0.27	23.08	99.74
9	EKİM-2020	13.71	0.37	-0.10	0.15	20.54	61.67
	NİSAN-2021	21.62	0.36	0.09	0.26	22.61	103.86
10	EKİM-2020	8.44	0.20	-0.52	0.08	17.94	56.22
	NİSAN-2021	12.77	0.17	0.15	0.13	21.14	111.95

Sodyum yüzdesi (%Na), suların tarımsal sulamada uygunluğunun belirlenmesi için kullanılan bir parametredir (Wilcox 1955). İncelenen sulara %Na değerlerinin Ekim-2020 dönemi analizlerinde <20; Nisan-2021 dönemi analizlerinde ise 20-40 arasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 7). Buna göre, Karadere yüzey suyunun kurak dönemde sulama suyu olması açısından “çok iyi”; yağışlı dönemde ise “iyi” su sınıfında olduğu görülmektedir.

Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), alkali/sodyum tehlikesini ölçtüğü için, suların sulama suyu amacıyla kullanımının uygunluğunu belirleyen önemli bir parametredir (Richards 1954). İncelenen sulara SAR değerlerinin her iki dönemde de <10 olduğu ve bu değerler açısından sulama açısından “çok iyi” su sınıfında olduğu belirlenmiştir (Tablo 6).

Rezidüel Sodyum Karbonat (RSC) sulama suyundaki karbonat ve bikarbonatın su kalitesi üzerindeki etkisini belirlemek için kullanılmaktadır (Eaton 1950). Yüzey sularındaki karbonat ve bikarbonat değerlerinin, kalsiyum ve magnezyumdan daha fazla olması, yüzey suyunun sulama için uygunluğunu etkiler. Suların Ekim-2020 dönemi analizlerine göre RSC değerlerinin negatif (-) olduğu görülmektedir (Tablo 6). Negatif değerler suyun sodyum açısından herhangi bir tehlikenin bulunmadığı ve suyun “güvenli su” sınıfında yer aldığı anlamına gelmektedir. İncelenen suların Nisan-2021 dönemi analizlerinde ise pozitif (+) RSC değerleri dikkat çekmektedir (Tablo 6). Pozitif değer su örneklerinde karbonat ve bikarbonat değerlerinin, kalsiyum ve magnezyumdan daha az olmasına işaret etmektedir. Suların RSC değerlerinin <1.25 olduğu ve buna göre sulama suyu açısından “iyi” su sınıfında bulunduğu belirlenmiştir.

Kelly İndeksi (KI), sulama suyu için önemli bir parametredir ve sodyum ölçümüne karşı kalsiyum ve magnezyum oranı olarak ifade edilir (Kelly 1963). Kelly İndeksinin 1’den büyük değeri, sudaki aşırı sodyum miktarını gösterir. Bu nedenle, Kelly İndeksinin 1’den az olması sulama için uygun kabul edilir. Tablo 6 incelendiğinde KI değerlerinin 1’den küçük olduğu görülmektedir. Bu nedenle su örnekleri sulama suyu açısından “uygun” su sınıfında yer almaktadır.

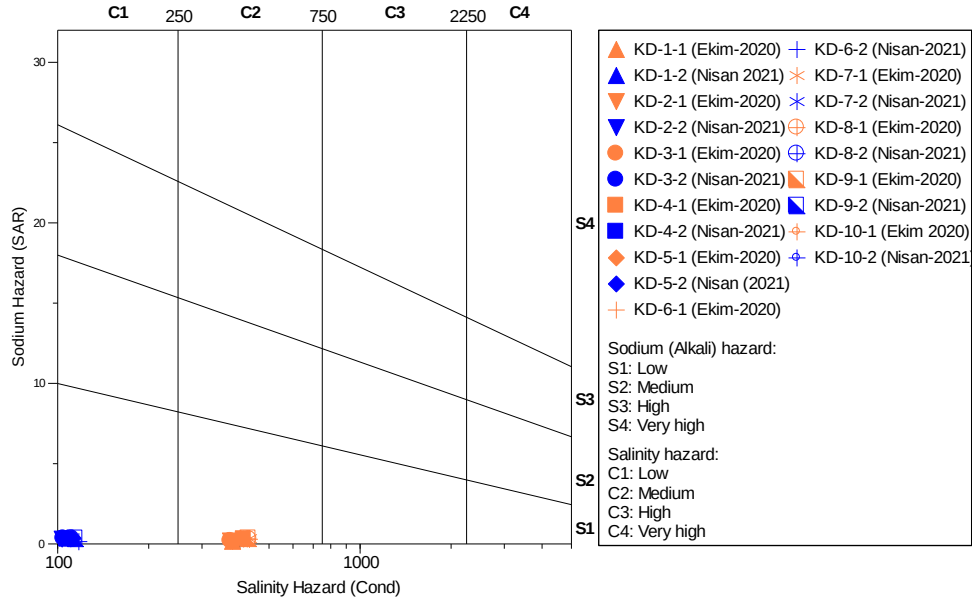
Sudaki yüksek magnezyum oranı toprağı tuzlandırmakta, bitki büyümesini ve verimini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle Mg Hazard (Mg tehlikesi) değeri hesaplanmaktadır (Paliwal 1972). Mg Hazard değerinin 50’den küçük olması suların sulama açısından uygun; 50’den büyük olması ise sulama açısından uygun olmadığı göstermektedir. Tablo 6 incelendiğinde her iki dönemde de Mg Hazard değerlerinin <50 olduğu görülmektedir. Buna göre su örnekleri sulama suyu açısından “uygun” su sınıfında yer almaktadır.

Permeabilite İndeksi (PI) değeri toprağın fiziksel özelliklerine su kalitesinin olası etkisini belirlemek için kullanılmaktadır (Doney 1964). İncelenen suların Ekim-2020 dönemi analizlerinin PI değerlerinin 25-75 arasında değiştiği ve buna göre “iyi” su sınıfında yer aldığı; Nisan-2021 dönemi analizlerinin PI değerlerinin ise >75 olduğu ne buna göre “çok iyi” su sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Tablo 6).

Özetle; Karadere yüzey suyundan Ekim-2020 ve Nisan-2021 dönemlerinde yapılan analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan KI, SAR, RSC, KI, Mg Hazard ve PI değerlerine göre dere suyu tarımsal sulamada kullanılması açısından uygundur.

İncelenen yüzey sularının yağışlı ve kurak dönem kimyasal analiz sonuçları kullanılarak Wilcox Grafiği (Wilcox 1948) hazırlanmıştır (Şekil 5). Bu grafiğe göre Ekim-2021 döneminde yapılan analiz sonuçlarına göre Karadere yüzey suyunun C1S1 sınıfında; Nisan-2021 döneminde yapılan analiz sonuçlarına göre ise C2S1 sınıfında yer aldığı görülmektedir. C1S1 su sınıfı “düşü tuzlu-düşük sodyumlu” suya, C2S1 su sınıfı ise “orta tuzlu-düşük sodyumlu” suya karşılık gelmektedir.

Yağışlı dönemi temsil eden Nisan dönemi analiz sonuçlarına göre elde edilen orta tuzlu-düşük sodyumlu su, bu dönemde yüksek yağış miktarına bağlı olarak dere suyunda daha az iyon içeriğinin olduğunu göstermektedir. C1S1 ve C2-S1 sınıfında bulunan sular, orta derecede tuza ihtiyacı olan bitkilerde sulama suyu olarak kullanılabilir niteliktedir. Sodyum açısından da örneklerin tamamı az sodyumlu olduğu için sodyuma karşı hassas bitkiler haricinde, diğer tarımsal faaliyetlerde kullanılabilir özellikte sulardır.



Şekil 5: Karadere yüzey suyu örnek noktalarına ait Wilcox Grafiği

5. Sonuçlar

Bu çalışmada Trabzon ilinin doğusunda yer alan ve Araklı ilçe merkezinden geçerek Karadeniz'e dökülen Karadere'de Ekim-2020 ve Nisan-2021 dönemlerinde olmak üzere toplam 20 örnekleme noktasından fiziksel parametreler, majör anyon-kasyonlar ve iz elementler için örnekler alınmıştır.

Karadere'den alınan yüzey suyu örneklerinin her iki dönem için de EC ve pH değerlerine göre TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında yönetmeliğe göre içmeye uygun oldukları belirlenmiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre ise örneklerin TDS ve Ph içerikleri açısından I. Sınıf sular sınıfında; Çözünmüş Oksijen açısından I. ve II. sınıf sular sınıfında yer aldıkları tespit edilmiştir.

Karadere yüzey suyu örnekleri üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre; suların majör anyon-kasyon içeriklerinin kurak dönemde yüksek, yağışlı dönemde ise düşük olduğu, WHO (2011) ve TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında yönetmeliğe göre içmeye uygun oldukları belirlenmiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre değerlendirildiğinde ise tüm parametreler açısından suların I. Sınıf sular sınıfında yer aldıkları tespit edilmiştir.

Suların NO₂, NO₃ ve NH₄'e göre WHO (2011) ve TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında yönetmeliğe uygun oldukları belirlenmiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre değerlendirildiğinde ise NO₃ ve NH₄ açısından I. Sınıf su, NO₂ açısından ise IV. Sınıf su sınıfında yer aldıkları görülmüştür.

Ekim-2020 döneminde (kurak dönem) alınan su örneklerinde baskın su tipi Ca-HCO₃; Nisan-2021 döneminde (yağışlı dönem) alınan su örneklerinde baskın su tipi Ca-HCO₃ ve Ca-Na-HCO₃ olarak belirlenmiştir.

İz element analiz sonuçlarına göre, B, Mn ve Ni değerlerinin hem WHO (2011) hem de TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında yönetmeliğe göre uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Yağışlı dönem Al ve Fe değerleri TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında yönetmelikte tanımlanan sınır değerlerin üzerindedir.

Sonuç olarak Karadere yüzey suyunun iz element içerikleri göz önünde bulundurulduğunda içme ve kullanma için uygun olmadığı tarımsal sulamada kullanılabilirlik açısından değerlendirildiğinde ise KI, SAR, RSC, KI, Mg Hazard ve PI sonuçlarına göre tarımsal sulama için kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Dere suyunun, sodyuma karşı hassas olan bitkiler dışındaki tüm bitkilerde ve orta derecede tuza ihtiyacı olan bitkilerde tarımsal faaliyetlerde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- Ak O., Çakmak E., Aksungur M., Çavdar Y., Zengin B., (2008), *An Example of the Effects of Natural and Anthropologic Activities Carried out on Rivers on Aquatic Ecosystem: Yanbolu River (Arsin, Trabzon)*, Erciyes University Journal of Natural and Applied Sciences, 24(1-2), 389-400.
- Akbulut M., Kaya H., Çelik E.Ş., Odabaşı D.A., Odabaşı S. S., Selvi K., (2010), *Assessment of Surface Water Quality in the Atikhisar Reservoir and Sarıçay Creek (Çanakkale, Turkey)*, Ecology, 74(19), 139-149.
- Alver A., Baştürk E., (2019), *Karasu Nehri Su Kalitesinin Farklı Su Kalite İndeksleri Açısından Değerlendirilmesi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(2), 488-497.
- Bilgin A., Konanç M.U., (2016), *Evaluation of surface water quality and heavy metal pollution of Coruh River Basin (Turkey) by multivariate statistical methods*, Environmental Earth Sciences, 75, 1029, doi: 10.1007/s12665-016-5821-0.
- Bulut V.N., Tüfekçi M., (2005), *The determination of water quality in Kalyon Stream (Trabzon, Maçka)*, Turkish Journal of Aquatic Life, 3(4), 377-384.
- Celep S., (2009), *Trabzon ili yeraltı ve yerüstü sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal incelemesi ve su kalitesinin izlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Chen X., Strokal M., Van Vliet M.T.H., Stuijver J., Wang M., Bai Z., Ma L., Kroeze C., (2019), *Multi-scale modeling of nutrient pollution in the rivers of China*, Environmental Science & Technology, 53(16), 9614-9625.
- Çiçek N. L., Ertan Ö.O., (2012), *Determination of the water quality of Köprüçay River (Antalya) According to the Physico-Chemical Parameters*, Ecology, 21(84), 54-65.
- Doneen L. D., (1964), *Notes on water quality in agriculture*. Water Science and Engineering University of California, Paper 4001, Department of Water Sciences and Engineering, University of California.
- DSİ, Devlet Su işleri, (2015), *Doğu Karadeniz Havzası Master Plan Çalışmaları İşİ, Doğu Karadeniz Havzası Hidrojeoloji Raporu*, 552ss., (Yayımlanmamış).
- Eaton E.M., (1950), *Significance of carbonate in irrigation water*, Soil Science, 69(2), 123-133.
- Fırat Ersoy A., Karagüllü D., (2018), *Söğütlü Deresi (Trabzon) su kalitesi parametrelerinin coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak değerlendirilmesi*, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 42, 1-16.
- Fırat Ersoy A., Hatipoğlu Temizel E., (2021), *Doğu Karadeniz Bölgesi yeraltı su kaynakları, sorunlar ve çözüm önerileri*, Doğu Karadeniz Doğal Çevre Tartışmaları içinde, (Dilek Beyazlı Ed.), Livre de Lyon, Lyon France, ss.86-96.
- Gültekin F., Fırat Ersoy A. F., Hatipoğlu E., Celep S., (2012), *Determination of water quality parameters in wet season of surface water in Trabzon*, Ecology, 21(82), 77-88.
- Gültekin F., Fırat Ersoy A.F., Ersoy H., (2005), *Aşağı Değirmendere (Trabzon) Havzasındaki Suların Kalitesi*, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 29(1), 21-34.
- Güven İ. H., (1993), *Doğu Pontidler'in 1/250.000 ölçekli kompilasyonu*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Jarvie H.P., Smith D.R., Norton L.R., Edwards F.K., Bowes M.J., King S.M., Scarlett P., Davies S., Dils R.M., Bachiller-Jareno N., (2018), *Phosphorus and nitrogen limitation and impairment of headwater streams relative to rivers in Great Britain: a national perspective on eutrophication*, Science of The Total Environment, 621, 849-862.
- Kandemir R., (2004), *Gümüşhane yakın yörelerindeki Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu'nun çökel özellikleri ve birikim koşulları*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kasimoğlu C., Yılmaz F., (2014), *Investigation of some physical and chemical properties of tersakan stream (Muğla, Turkey)*, Balıkesir University Journal of Natural and Applied Sciences, 16(2), 51-67.
- Kelley W.P., (1963), *Use of saline irrigation water*, Soil Science, 95(6), 385-391.
- MGM, (2021), *Uzun Yıllar Tüm Parametreler Bülteni*, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Nacar S., Satılmış U., (2017), *Temporal variation of organic and inorganic carbon transport from the Southeastern Black Sea (Trabzon Province) Rivers*, European Journal of Engineering and Natural Sciences, 2(1), 149-153.
- Paliwal K.V., (1972), *Irrigation with saline water*, Water Technol Cent Indian Agric Res Inst New Delhi, 2, 173-189.
- Piper A.M., (1944), *A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses*, American Geophysical Union Transactions, 25, 914-923.
- Richards L., (1954), *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*, U.S. Government Printing Office, Washington.
- Schoeller H., (1962), *Les Eaux Souterraines*, Mason et cie, Paris, 642ss.
- TSE 266, (2005), *Türk İçme Suyu Standardı*, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara, 20ss.
- Topkara E.T., Özbek M., Taşdemir A., Yıldız S., Balık S., Ustaoglu M.R., (2011), *Determination of pollution level of Yuvarlak Stream (Köyceğiz-Muğla) by Using Benthic Macro Invertebrates*, Journal of Animal and Veterinary Advances, 10(9), 1194-1201.
- Tunç Dede Ö., Sezer M., Karakurt S., (2018), *Investigation of heavy metal pollution in Karadere Stream (Trabzon, Turkey) by using heavy metal pollution index model*, International Journal of Environmental Pollution and Environmental Modelling, 1(3), 63-66.
- WHO, (2011), *Guidelines for drinking-water quality*, 4th ed., World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN: 978 92 4 154815 1.
- Wilcox L.V., (1948), *The quality of water for irrigation use*, U.S. Department of Agriculture Technology Bulletin, 962, 40, Washington D.C.
- Wilcox L.V., (1955), *Classification and use of irrigation water*, USDA, Circular 969, Washington, DC, 19ss.
- Ucun Özel H., Gemici B.T., (2016), *Determination of Bartın River pollution using the physical parameters*, The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University, 7(1), 52-58.
- Ustaoglu F., Tepe Y., Taş B., (2020), *Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index*, Ecological Indicators, 113, 105815, doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105815.
- Zeybek M., Kalyoncu H., (2016), *The determination of water quality of Kargı Stream (Antalya, Turkey) in terms of physicochemical parameters*, Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 33(3), 223-231.

Natural Disaster Risk Assessments for Pine Honey Apiaries in Muğla, Turkey

Fatih Sarı^{1,*} 

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, Konya.

Abstract

Since Muğla province has 90% of the world's total pine honey production, ensuring efficiency and economic income requires the determination of measures for apiary locations and estimation of risks. However, ensuring development and productivity requires identifying natural disasters susceptibility such as forest fires and floods to maintain productivity. Muğla province has a high forest fire potential due to its dense forest cover and approximately 200 forest fires occur each year. Forest fires are one of the main factors that threaten apiaries, as there are a lot of apiary places (approximately 15,000) in forests for pine honey. On the other hand, due to the mountainous topography and high precipitation rate of Muğla, the province has a high rate of flood formation (20 per year), which threatens the hive sites by destroying the entire colony. In this study, Apiary Locations Risk Index (ALRI) was carried out to guide the insurance process for apiary locations by applying the Forest Fire Risk Index (FFRI) and the Flood Hazard Risk Index (FHRI). Determination of forest fire risk zones and flood hazard maps requires environmental, forestry, topographic, economic and meteorological parameters to be handled within a decision support platform. For this purpose, Analytical Hierarchy Process (AHP) technique supported by Geographic Information System (GIS) was used in the creation of sensitivity maps. As a result, 1533.40 ha (11.82%) of the study area was determined as extremely risky areas for apiary areas. The results were confirmed with 1454 forest fire sites and 20 flood hazard sites where the Eşen, Dalaman, Çine, Sarıçay, Akçay, Kamışdere and Namnam rivers were stated to be highly susceptible to flood hazard.

Keywords

Forest Fire, Flood Hazard, Analytical Hierarchy Process, Site Suitability, Apiary

Türkiye Muğla İlindeki Çam Balı Arılıkları için Doğal Afet Riskinin Değerlendirilmesi

Özet

Muğla ili dünya toplam çam balı üretiminin %90'ına sahip olduğu için verimliliğin sağlanması, arılık lokasyonları için önlemlerin belirlenmesi ve risklerin önceden tahmin edilmesini gerektirmektedir. Orman yangını ve sel gibi doğal afetlerin önceden tahmin edilmesi, verimliliğin sürdürülmesinde ve ekonomik kayıpların tahmin edilmesinde hayati öneme sahiptir. Muğla ili, yoğun orman örtüsü nedeniyle yüksek bir orman yangını potansiyeline sahiptir ve her yıl yaklaşık 200 orman yangını meydana gelmektedir. Çam balı için ormanlarda yüksek miktarda (yaklaşık 15.000) arılık yeri bulunduğundan, orman yangınları arılıkları tehdit eden ana faktörlerden biridir. Öte yandan, ilde tüm koloniyi yok ederek arı kovarı yerlerini tehdit eden yüksek sel oluşum oranı (yılda 20 adet) bulunmaktadır. Bu çalışmada, Orman Yangını Risk İndeksi (FFRI) ve Taşkın Tehlike Risk İndeksi (FHRI) uygulanarak, arılık lokasyonları için sigorta sürecine rehberlik edecek Arılık Lokasyonları Risk İndeksi (ALRI) gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, çalışma alanının 1533.40 ha (%11.82)'si arılık yerleri için aşırı riskli bölgeler olarak belirlenmiştir. Sonuçlar 1454 orman yangını yeri ve Eşen, Dalaman, Sarıçay, Akçay, Kamışdere ve Namnam nehirlerinin sel tehlikesine yüksek derecede duyarlı olduğu belirtilen 20 taşkın tehlikesi yeri ile doğrulanmıştır.

Anahtar Sözcükler

Orman Yangınları, Sel Felaketi, Analitik Hiyerarşi Yöntemi, Uygunluk Analizi, Arıcılık

1. Introduction

Beekeeping activities are an indicator of economic development thanks to the derived products and pollinator role in agricultural crops (Estoque and Murayama 2010; 2011; Damián 2016). Approximately 33% of the agricultural crops pollination has been realized by honeybees which refer to an invisible economic income due to the increased yield of crops (Maris et al. 2008; Oldroyd and Nanork 2009). Considering the intensive agricultural activities and rich flora of Turkey, it provides a suitable environment for beekeeping activities. Moreover, 90% of the total pine honey production all around world is produced endemically in Muğla province which refers a significant national export (Miguel et al. 2014).

On the other hand, Muğla province has high forest fire occurrence rate due to the intensive forest cover and warm climate. Additionally, Muğla province has high precipitation rate and this leads to flood hazards in several river basins which come from through high mountains to coasts. Thus, Muğla has high potential forest fires and flood hazards occurrence rates and according to the statistics ([URL-1 2019](#)), over 200 forest fires have been occurred annually which destroys approximately 500 ha forest cover and 20 flood hazards have been revealed that damages to agricultural lands. Considering 15,000 apiary locations that are located in forestry and mountainous zones for pine honey production, forest fires and flood hazards are the most important natural hazards which threaten the apiary locations.

One of the most effective ways to achieve reliable and accurate risk predicting is Geographical Information System (GIS) aided Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) techniques approach to provide effective solutions to the complex structure of the forest fire and flood hazard susceptibilities. In MCDA concept, Analytic Hierarchy Process (AHP) is the most applied method which provides weighting each criterion via comparing them against to each other ([Saaty 1977, 1980, 1994, 2001; Saaty and Vargas 1991](#)). The AHP method includes determining the solutions within complex structure of real problems by providing a selection and assigning the importance to each criterion ([Arentze and Timmermans 2000](#)) via pairwise preference matrix ([Chen et al. 2010](#)). In recent years, a large number of MCDA methods such as AHP, ANP, COPRAS, ELECTRE, PROMETHEE, MOORA, TOPSIS, VIKOR, MABAC, MARCOS, etc. have been proposed and used to solve various problems. All the MCDA techniques have advantages and inadequacies in terms of ranking calculation and accuracy of results ([Seyed and Alireza 2017](#)). Deciding the best MCDA technique is very hard process to handle and usually differs according to the selected problem. Thus, more than one MCDA technique usage is suggested to reveal more reliable results of given problems ([Løken 2007; Jahan et al. 2012; Mulliner et al. 2016; Wang et al. 2016; Seyed and Alireza 2017](#)). In this study, only AHP method was used to determine the risk maps due to the multiple criteria existence and their different contribution value to the risk maps.

The recent studies include different criteria in the field of environmental, topographic, climatic and socio-economic and a large amount of methods to generate susceptibility maps. Although forest fire and flood hazard susceptibility are different phenomena, the criteria that affect the susceptibility are quite similar to each other. Generating realistic forest fire risk maps require considering all the factors that affect the ignition risk and spread of the fire via GIS aided functions ([Jaiswal et al. 2002; Chuvieco et al. 2010; Adab et al. 2013; Hernandez et al. 2006; Puri et al. 2011; Ajin et al. 2016; Pourghasemi 2016](#)) and integration of MCDA methods (AHP) ([Iwan et al. 2004; Vadrevu et al. 2010; Eugenio et al. 2016; Suryabagavan et al. 2016; Güngöroğlu 2017; You et al. 2017](#)) to improve prevention and prediction procedures. For flood hazards, GIS also used to provide useful information about the flood characteristics for flood risk assessment ([Zhou et al. 2000; Liu et al. 2008; Wang et al. 2011; Haq et al. 2012; Pradhan et al. 2014](#)) and MCDA techniques ([Tkach and Simonovic 1997; Wang et al. 2002; Zhang et al. 2002; Thinh and Vogel 2006; Sinha et al. 2008; Wang et al. 2011; Zou et al. 2013](#)). However, risk evaluation for apiary locations requires considering both forest fire and flood hazard risk together and the result will give valuable information about the safety of apiary locations. Thus, in this study, an Apiary Locations Risk Index (ALRI) value was realized to predict the risk rate of apiary locations by integrating forest fire and flood hazard susceptibility values which will be mentioned as Forest Fire Risk Index (FFRI) and Flood Hazard Risk Index (FHRI). 17 criteria for forest fire and 16 criteria for flood hazard susceptibility were used to determine the FFRI and FHRI separately and results are overlapped to generate ALRI for Muğla province to be able to guide insurance procedures for apiary locations.

2. Material and Methods

Generating ALRI involves determining FFRI and FHRI which requires considering all the parameters that have an effect on both forest fire and flood hazard in the field of topographic, environmental, climatic and economic factors. For the purpose of determining realistic ALRI, all the factors should be considered as much as possible and critical intervals or threshold values should be specified both for forest fire and flood hazard. Moreover, the weights of the criteria should be calculated by AHP method considering the general aspects and recent studies to increase the reliability of risk index values. At this point, the preference values in pairwise comparison matrix should be specified carefully. The implementation model of the study is given in Figure 1.

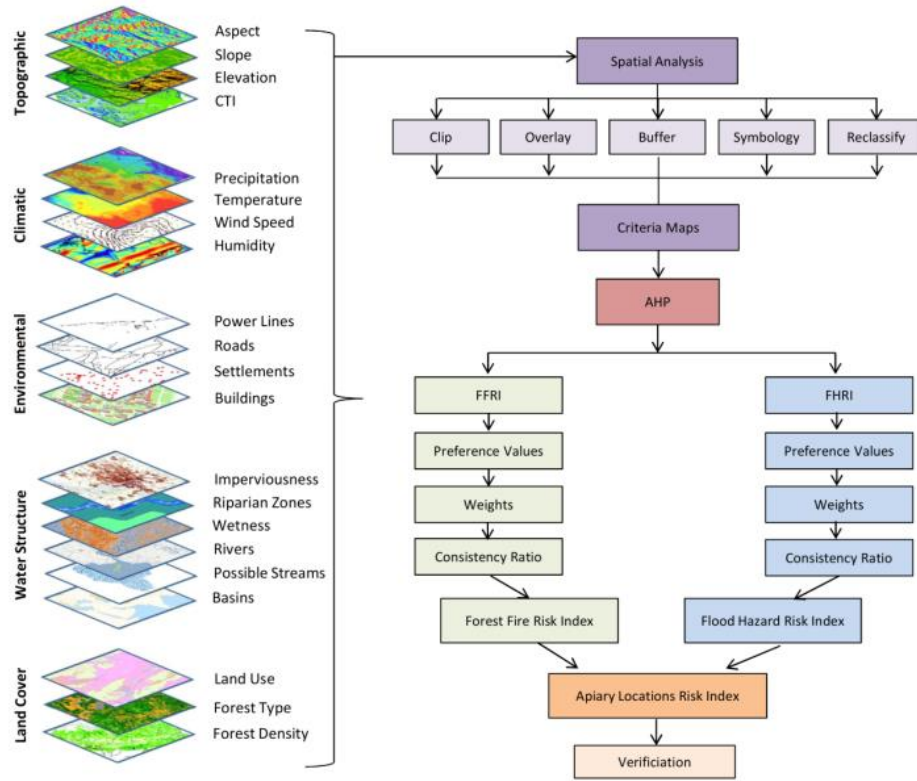


Figure 1: Implementation model of ALRI

2.1. Study Area

The study area is Muğla province is located between $27^{\circ} 13' 30''$ and $29^{\circ} 41' 00''$ W longitude and $36^{\circ} 18' 22''$ and $37^{\circ} 35' 10''$ N latitude. Muğla has vital importance thanks to the pine honey apiaries (90% of the world total production) which are located in forests. Because Muğla has high mountains and intensive forest cover, the region is quite prone to forest fires and flood hazards. The climate of Muğla is classified as warm and the rain in Muğla falls mostly in the winter, with relatively little rain in the summer with average 1200-1400 mm (URL-2 2019). The study area is given in Figure 2.

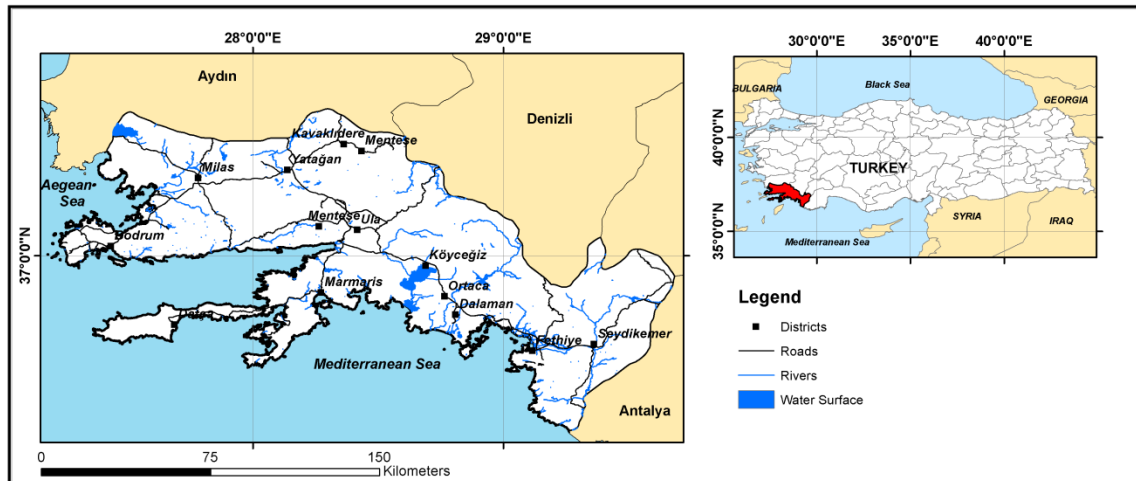


Figure 2: Study area Muğla province location

2.2. Criteria Selection

For the purpose of generating FFRI and FHRI maps accurately, all the factors should be considered which have effect on forest fire and flood hazards. Thus, topographic, environmental, climatic and economic factors should be involved in susceptibility map generation.

2.2.1. Topographic Criteria

Elevation (EL), Aspect (AS), Slope (SL) and Compound Topographic Index (CTI) criteria were included in topographic criteria category that has effect on environmental and meteorological conditions of the region. Humidity, temperature and wind are related to the elevation which define the dryness of the organic materials and increase the ignition chance (Rothermel 1983; Suryabhagavan et al. 2016). Flood hazard occurrence is also related to the elevation where lower elevations are quite prone to flood than higher elevations (Elkhrachy 2015). Slope defines the forest fire characteristics such as direction of the fire spread and preheating. When evaluating the forest fire spread, it tends to move and spread faster towards uphill than moving downhill (Rothermel 1983; Kushla and Ripple 1997). Slope defines the direction, accumulation and speed of flood because floods are tending to move faster in sloping areas (Bapalu and Sinha 2005). Aspect criterion is related to the sunlight exposure of land and also with the temperature and humidity. Because northern faces of the forests exposures to the sun less than southern faces, northern faces are less prone to forest fire due to the shortest exposure time. Thus, organic matters and soil tend to dry earlier in southern faces of the forests (Jose 2012). Floods are tending to occur in southern faces of high mountains due to the melting of snows earlier than Northern faces. CTI is an indicator of the wetness of the soil (Moore et al. 1991) which indicates the possibility of the wetness (Eq. 1).

$$CTI = \ln \left(\frac{As}{\tan \beta} \right) \quad (1)$$

Where As is catchment area in m² unit and β is the slope in radian unit (Gessler et al. 1995). While higher values represent high potential soil moisture, lower values represent firstly dry up soils which are less prone to forest fire and highly prone to floods. The topographic criteria maps are given in Figure 3.

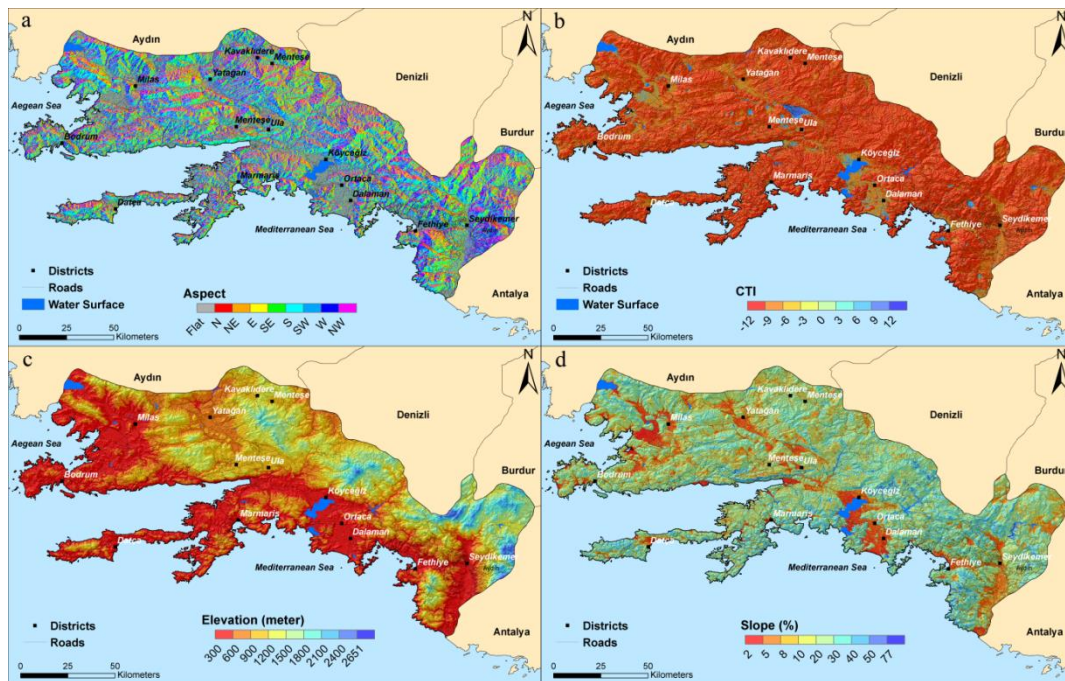


Figure 3: a) Aspect, b) CTI, c) elevation d) slope criteria maps

2.2.2. Environmental Criteria

Roads (RD), Settlements (ST), Buildings (BL) and Power lines (PL) were included in environmental criteria category which involves direct effect on forest fire and indirect effect on flood risk via manmade objects. The roads are quite prone to forest fire because of carelessly thrown objects such as bottles and cigarettes which lead forest fires very frequently (Suryabhagavan et al. 2016). The zones close to the settlements and buildings are also fire prone due to the intensive human activities and traffic movements. One of the main reasons of forest fires is contact of high voltage power lines with tree branches or any other materials which can cause arcing and ignite dry materials (Mitchell 2013). The environmental criteria maps are given in Figure 4. These data were retrieved from Open Street Map database in vector format which are belong to 2019.

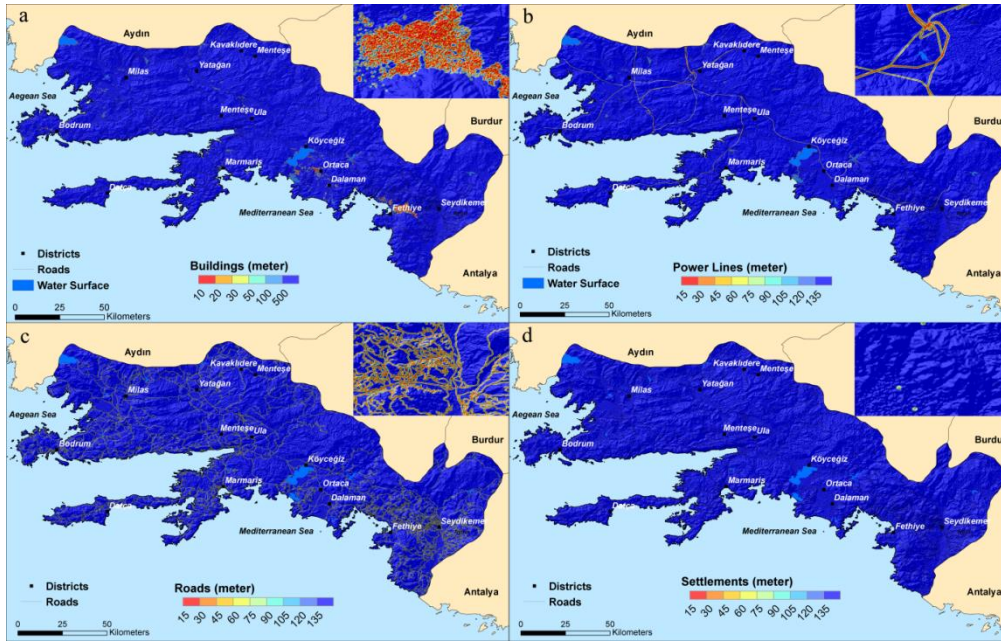


Figure 4: a) Buildings, b) power lines, c) roads d) settlements criteria maps

2.2.3. Climatic Criteria

Temperature (TM), Humidity (HM), Wind (WD) and Precipitation (PR) criteria were included in climatic criteria category and refer to the wetness of soils and fuel types which define the ignition risk (Bonora et al. 2013). Conversely, flood hazards do not occur in high temperature because of evaporation. Because higher temperature leads to faster dry up fuel types, drier climate increase the forest fire potential (Sun et al. 2014; Amraoui et al. 2015) and make fuels highly susceptible. Precipitation criterion is an indicator for humidity and water balance of forest (Vadrevu et al. 2010; Bonora et al. 2013) and one of the main indicators for flood occurrence (Elkhrachy 2015). Humidity is an indirect criterion which indicates the wetness of fuels and cumulative of water in basins. Climatic criteria maps are given in Figure 5. The climatic parameter data were retrieved from Turkish State Meteorological Service Institute records for 2019 average observations. In total, 16 station observations were used to generate the distribution maps of each variable.

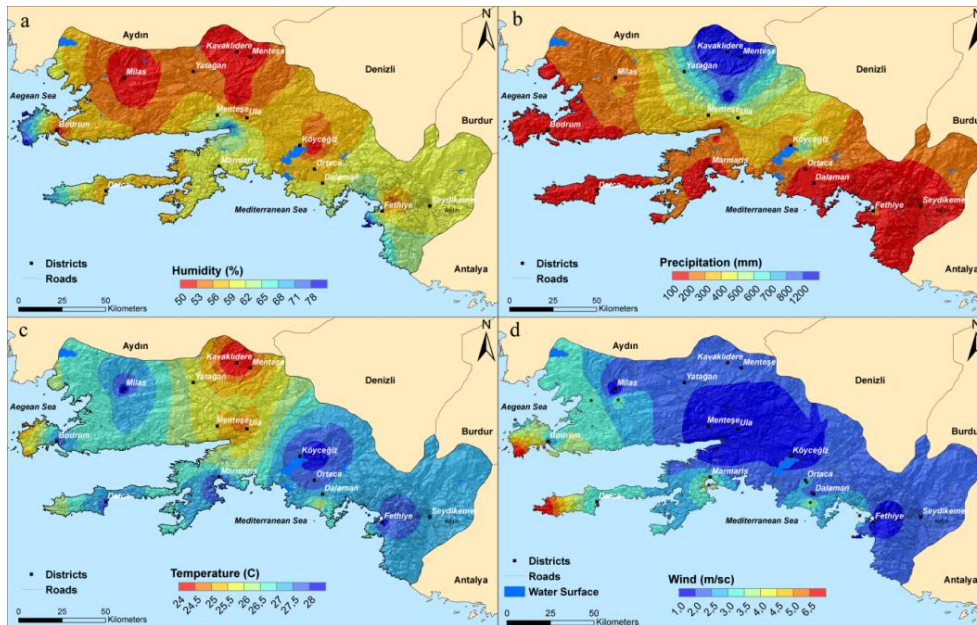


Figure 5: a) Humidity, b) precipitation, c) temperature d) wind criteria maps

2.2.4. Water Structure Criteria

Riparian zones (RZ), Wetness (WT), Imperviousness (IM), Possible Streams (PS) and Rivers (RV) were included in water structure criteria category. Although water structure criteria are the main decisive factors for flood hazards, the wetness of soil, organic matters and fuel types are related to these criteria which decrease the ignition risk. Riparian zones criterion refers to the high potential flood basins and low potential of forest fire risk. Wetness criterion includes both temporary and permanent water and wet zones which have high potential of flood risk and low potential of forest fire. Imperviousness criterion involves the potential water accumulation zones to decide the wetness and water flow directions. Possible streams were calculated via hydrology tools and include possible streams that will be revealed after rain. The river criterion involves existing water surfaces and water ways which is one of the most important criteria for flood risk. Water structure criteria are given in Figure 6. These variables were retrieved from COPERNICUS land cover project database in raster format which are belong to 2018 year. Basin and Streams variable maps were generated by using Hydrology tools in ArcGIS software using 30 x 30 meters resolution ASTER GDEM data.

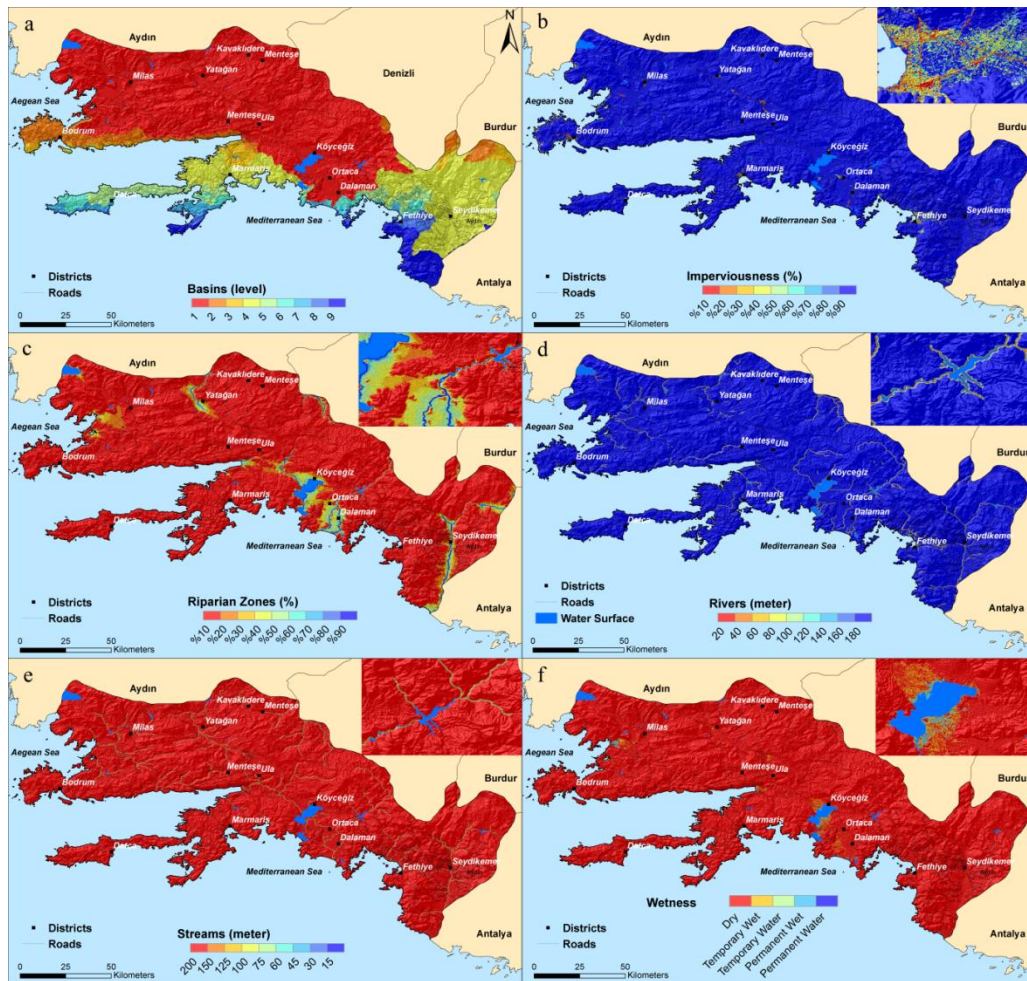


Figure 6: a) Basins, b) imperviousness, c) riparian zones d) rivers e) streams f) wetness criteria maps

2.2.5. Land Cover Criteria

Land Use (LU), Forest Density (FD) and Forest Types (FT) criteria are main decisive factors which have greatest influence on ignition risk. Shrub species and flammable vegetation types have increasing effect on forest fire risk (Güngöröğlu 2017). Densely vegetated and dry land covers have high forest fire potential comparing to moist and sparsely vegetated areas (Ajin et al. 2016). On the other hand, the types of the forests have different forest fire potential due to the fuel type (Huyen and Tuan 2008). On the other hand, forest density and land use have importance effect on flood occurrence due to the different characteristics of the land surfaces (Alexakis et al. 2014). Floods tend to be occurred on non-forest lands and bare lands because trees or land cover does not block the flow of water. Land cover criteria maps are given in Figure 7. These variables were retrieved from COPERNICUS land cover project database in raster format at 20 x 20 meters resolution.

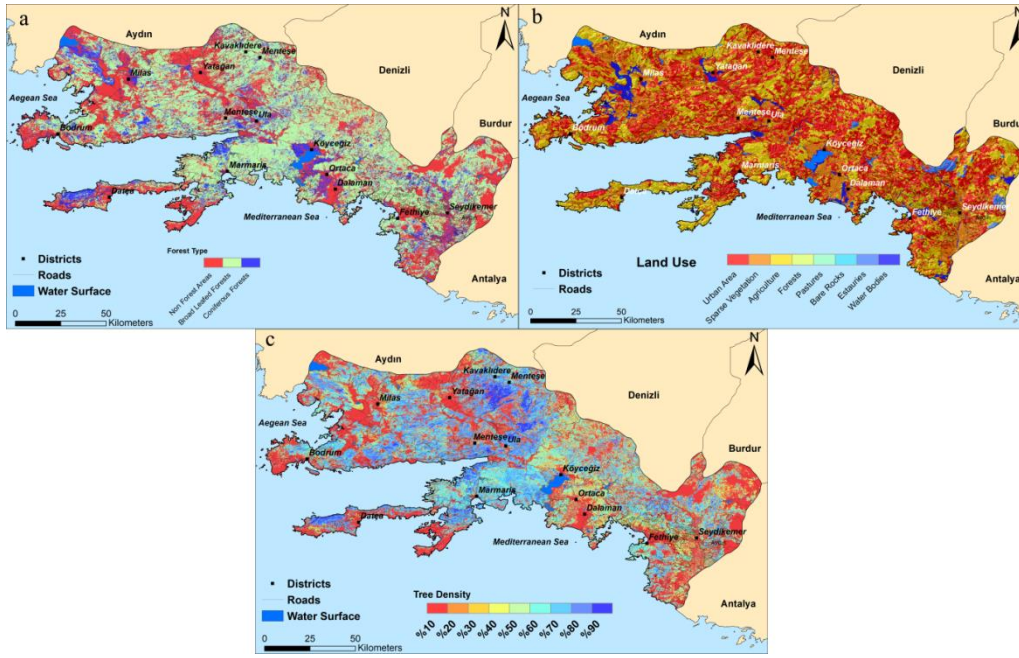


Figure 7: a) Forest type, b) land use, c) tree density criteria maps

2.3. Analytical Hierarchy Process (AHP)

The AHP method proposed by (Saaty 1977, 1980) which scales the importance of each criterion, from 1 to 9 relatively (1=Equal, 3=Moderately, 5=Strongly, 7=Very, 9=Extremely). The (a_{nn}) importance scales of each criterion involved in pairwise comparison matrix (Eq.2).

A	Criteria 1	Criteria 2	Criteria 3	...	Criteria n
Criteria 1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}
Criteria 2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	...	a_{2n}
...	...	...	...	...	...
Criteria n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	a_{nn}

Normalized matrix was determined by division of each (a_{nn}) to sum of the its own column (Eq.3).

$$a_{ij}^1 = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3)$$

The average sum refers to the weights of each criterion (Eq. 4).

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n a'_{ij}, \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (4)$$

A consistency calculation is proposed by Saaty (1994) to decide the whether weight calculation is consistent or not. For this purpose, Consistency Index (CI) is used to determine the coefficient of the pairwise comparison matrix (Eq.5).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

CI calculation required the λ_{max} (eigen value) and Rand5om Index (RI) value according to the matrix order (1,59 in this study).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right] \quad (6)$$

Consistency ratio (CR) is an indicator of the consistency of the calculation (Eq.7). If CR exceeds 0.1, based on expert knowledge and experience (Saaty and Vargas 1991), recommended a revision of the pairwise comparison matrix with different values (Saaty 1980).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

3. Generating Apiary Locations Risk Index (ALRI)

Generating ALRI requires calculating FFRI and FHRI and determining the weights of each criterion which represents the contribution rate of criterion to susceptibility separately. Then generated maps will be overlapped to calculate ALRI value as a weighted sum of FFRI and FHRI maps for Muğla province. Criteria weights were calculated with a pairwise matrix via AHP by comparing the importance of each criterion to another. The weight calculations were started with assigning Saaty from 1 to 9 preference scales to criterion classes. While 9 represent the high potential forest fire and flood hazard risk, 1 represents the non-potential areas. The criteria classifications and preference values are given in Table 1 and 2.

Table 1: Preference values for flood hazard susceptibility map

Criterion	Unit	Low risk			Moderately			High Risk		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Elevation	Meter	0	100	300	500	1000	1500	2000	2500	2500 <
Slope	%	0	5	10	15	20	25	30	40	50
CTI	Class	-12	-9	-6	-3	0	3	6	9	12 <
Roads	Meter	120 <	105	90	75	60	45	30	15	0
Buildings	Meter	80 <	70	60	50	40	30	20	10	0
Temperature	C ⁰	25	25,5	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29 <
Humidity	%	74 <	74	70	66	62	58	54	50	46
Precipitation	Mm/m ²	1800	1600	1400	1200	1000	800	600	400	200
Basins	Class	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Riparian Zones	%	>10	20	30	40	50	60	70	80	90 <
Wetness	%	>10	20	30	40	50	60	70	80	90 <
Imperviousness	%	>90	80	70	60	50	40	30	20	10 <
Possible Streams	Class	120 <	105	90	75	60	45	30	15	0
Rivers	Class	120 <	105	90	75	60	45	30	15	0
Land Use	Class	Urban	-	Forests	-	Agriculture	-	Mountain	-	Water Bodies
Forest Density	%	>90	80	70	60	50	40	30	20	10 <

Table 2: Preference values for forest fire susceptibility map

Criterion	Unit	Low risk			Moderately			High Risk		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aspect	Class	N	NW	NE	W	Flat	E	SW	SE	S
Elevation	Meter	0	100	300	500	1000	1500	2000	2500	2500 <
Slope	%	0	5	10	15	20	25	30	40	50
CTI	Class	-12	-9	-6	-3	0	3	6	9	12 <
Roads	Meter	120 <	105	90	75	60	45	30	15	0
Settlements	Meter	120 <	105	90	75	60	45	30	15	0
Buildings	Meter	80 <	70	60	50	40	30	20	10	0
Power Lines	Meter	120 <	105	90	75	60	45	30	15	0
Temperature	C ⁰	25	25,5	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29 <
Humidity	%	74 <	74	70	66	62	58	54	50	46
Wind Speed	m/sn	2 >	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6,5
Precipitation	Mm/m ²	1800	1600	1400	1200	1000	800	600	400	200
Wetness	%	>90	80	70	60	50	40	30	20	10 <
Rivers	Meter	0	15	30	45	60	75	90	105	120 <
Land Use	Class	Water Bodies	-	Bare Lands	-	Urban	-	Agriculture	-	Forests
Forest Type	%	Non-Forest	-	-	-	Mixed	-	Broad Leaved	-	Coniferous
Forest Density	%	< 10	20	30	40	50	60	70	80	90 <

The preference values should be given carefully by considering the threshold values, general aspects and researches in the past. While riparian zones, rivers and land use are the main criteria for flood hazard; power lines, forest density and slope are the most effective criteria which should have higher weights. The preference matrices and calculated weights are given in Table 3 and 4. The consistency index was calculated as 0,078 for FHRI and 0,043 for FFRI which indicate the weight calculations are consistent. The sum of the weights must be equal to 1.

Table 3: Criteria weights for flood hazard susceptibility map

Criteria	EL	SL	CTI	RD	BL	TM	HM	PR	BS	RZ	WT	IM	PS	RV	LU	FD	Weight
EL	1	1,5	3	2,1	3	3	3	2,1	1,4	0,2	1,5	1,5	0,7	0,9	1,5	1,5	0,08
SL		1	2	1,5	2	2	2	1,5	1,2	0,3	1,1	1,1	0,5	0,6	1	1	0,08
CTI			1	0,9	1	1	1	0,9	0,7	0,2	0,7	0,7	0,3	0,3	0,5	0,5	0,05
RD				1	1,1	1,1	1,1	1	0,9	0,2	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,6	0,03
BL					1	1	1	0,9	0,7	0,2	0,7	0,7	0,3	0,3	0,5	0,5	0,03
TM						1	1	0,9	0,7	0,2	0,7	0,7	0,3	0,3	0,5	0,5	0,03
HM							1	0,9	0,7	0,2	0,7	0,7	0,3	0,3	0,5	0,5	0,03
PR								1	0,9	0,2	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,6	0,03
BS									1	0,3	1	1	0,5	0,5	0,9	0,9	0,03
RZ										1	3	3	1,2	1,7	3	3	0,17
WT											1	1	0,5	0,5	0,9	0,9	0,05
IM												1	0,5	0,5	0,9	0,9	0,05
PS													1	1,1	2	2	0,05
RV														1	1,4	1,4	0,11
LU															1	1	0,10
FD																1	0,06

Table 4: Criteria weights for forest fire susceptibility map

	AS	EL	SL	CTI	RD	ST	BL	PL	TM	HM	WD	PR	WT	RV	LU	FD	FT	Weight
AS	1	0,6	0,5	0,7	1	1,3	1,3	0,5	0,6	1	1,3	0,7	0,7	0,6	0,7	0,2	0,6	0,04
EL		1	0,9	1,1	1,6	2,1	2,1	0,9	1	1,6	2,1	1,1	1,1	1	1,1	0,6	1	0,07
SL			1	1,4	2	2,2	2,2	1	1,1	2	2,2	1,4	1,4	1,1	1,4	0,7	1,1	0,07
CTI				1	1,5	2	2	0,8	0,9	1,5	2	1	1	0,9	1	0,3	0,9	0,06
RD					1	1,1	1,1	0,5	1,4	1	1,1	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	0,6	0,04
ST						1	1	0,3	0,4	0,9	1	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,03
BL							1	0,3	0,4	0,9	1	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,03
PL								1	1,1	2	2,2	1,4	1,4	1,1	1,4	0,7	1,1	0,08
TM									1	1,6	2,1	1,1	1,1	1	1,1	0,6	1	0,06
HM										1	1,3	0,7	0,7	0,6	0,7	0,2	0,6	0,03
WD											1	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,03
PR												1	1	0,9	1	0,3	0,9	0,05
WT													1	0,9	1	0,3	0,9	0,05
RV														1	1,1	0,6	1	0,07
LU															1	0,6	0,9	0,06
FD																1	1,7	0,12
FT																	1	0,07

Calculated weights were used to generate FFRI and FHRI maps by multiplying each pixel value of all criteria with weights via Equation 8.

$$\begin{aligned}
 FHRI &= \sum_{i=1}^n w_i \cdot r_i = W_{EL} \cdot EL + W_{SL} \cdot SL + W_{CTI} \cdot CTI + W_{RD} \cdot RD + W_{BL} \cdot BL + W_{TM} \cdot TM + W_{HM} \cdot HM + W_{PR} \cdot PR + \\
 &W_{BS} \cdot BS + W_{RZ} \cdot RZ + W_{WT} \cdot WT + W_{IM} \cdot IM + W_{PS} \cdot PS + W_{RV} \cdot RV + W_{LU} \cdot LU + W_{FD} \cdot FD \quad (8) \\
 FFRI &= \sum_{i=1}^n w_i \cdot r_i = W_{AS} \cdot AS + W_{EL} \cdot EL + W_{SL} \cdot SL + W_{CTI} \cdot CTI + W_{RD} \cdot RD + W_{ST} \cdot ST + W_{PL} \cdot PL + W_{TM} \cdot TM + \\
 &W_{HM} \cdot HM + W_{WD} \cdot WD + W_{PR} \cdot PR + W_{WT} \cdot WT + W_{RV} \cdot RV + W_{LU} \cdot LU + W_{FD} \cdot FD + W_{FT} \cdot FT
 \end{aligned}$$

Although FFRI and FHRI can be used separately for susceptibilities, apiary locations could be threatened by forest fire or flood hazard together. Thus, ALRI should include both risk values to represent the reliable and accurate risk zones for apiary locations. For this purpose, instead of using FFRI and FHRI separately when locating apiaries, the spatial sum should be generated with Equation 9.

$$ALRI = FFRI + FHRI \quad (9)$$

While FFRI and FHRI values are between maximum 9 and minimum 1, the ALRI will be in an interval between maximum 18 and minimum 2 thanks to the sum of two maps. Higher values will represent the existence of forest fire and flood hazard risk together, 7-12 intervals will represent the existence of forest fire or flood hazard risk and lower values will represent the non-risk areas which will be suggested for apiaries to be located.

4. Results

The FFRI and FHRI maps were generated by using Equation 8 separately and given in Figure 8. The red zones represent the high potential forest risk and flood hazard risk zones.

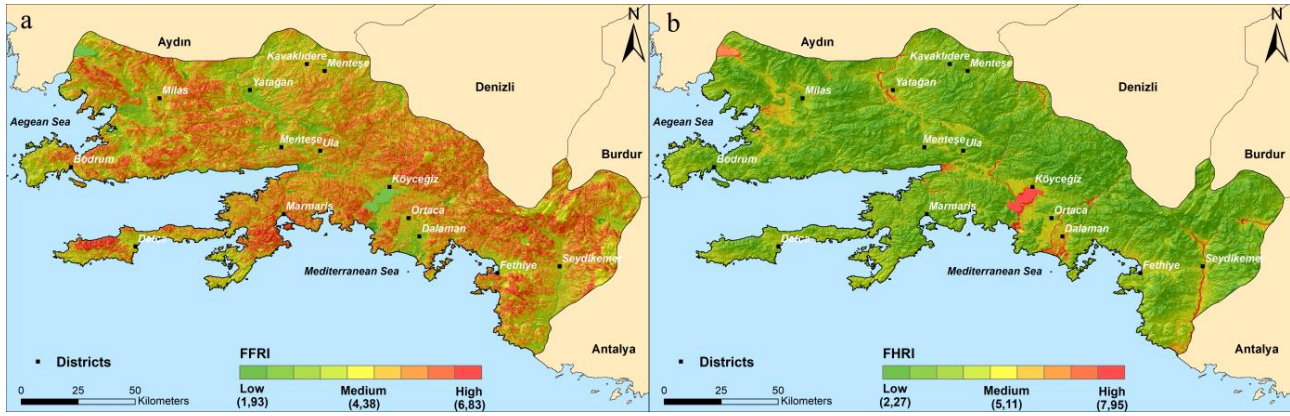


Figure 8: a) Forest fire risk index b) flood hazard risk index

The results indicated that 5556.76 ha (42,83%) of the study area is assigned as highly prone to forest fire risk according to the 7, 6 and 5 AHP and 736.92 ha (5,68%) of the study area is assigned as high potential flood area. The Marmaris, Köyceğiz, Dalaman and Fethiye districts have high forest fire potential due to the intensive forest cover. Because 41% of the weights were constituted by forest density, forest type, power lines, elevation and slope criteria, FFRI map tend to be similar to these criteria maps. Moreover, Eşen, Dalaman, Çine, Sarıçay, Akçay, Kamışdere and Namnam rivers and their basins were calculated as high potential flood areas. The most effective criteria are calculated as riparian zones, rivers and potential streams. Thus, the flood zones and flood accumulative areas are tend to be clustered more evidently. The spatial sum of the FFRI and FHRI were calculated (Eq. 9) to generate ALRI for apiary risk values and given in Figure 9.

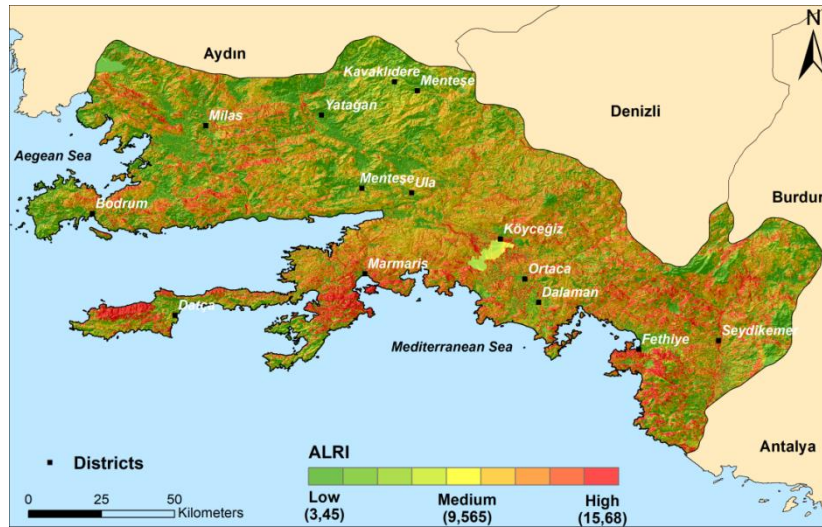


Figure 9: Apiary locations risk index

The ALRI map showed that 1533.40-ha (11,82%) of the Muğla province were calculated as extremely risk for apiary locations. The zones which are assigned as extremely risk includes both forest fire and flood hazard potential together. While maximum risk coefficient was calculated as 15.68, minimum risk coefficient was 3.45 that represent non-risk areas which will be suggested for apiaries. For the purpose of assigning non risk areas as 0 value, the following equation was applied to normalize the risk index values;

$$NALRI = ALRI - 3.45 \quad (10)$$

After this calculation, the normalized ALRI values will be equal to maximum 12.23 and minimum 0. For the purpose of classification the results according to the risk categories, the Table 5 was proposed.

Table 5: Criteria weights for forest fire susceptibility map

NALRI	Risk Category	Risk Definition
0-3	Non-Risk	Neither forest fire nor flood hazard risk
3-6	Moderately Risk	Both forest fire and flood hazard risk very low
6-8	Strongly Risk	One of the forest fire or flood hazard risk
8-10	High Risk	One of the forest fire or flood hazard risk higher than other
10-12	Extremely Risk	Both forest fire and flood hazard risk together

Considering 15,000 existing apiary locations, they tend to be clustered in forestry areas due to the pine honey production. Thus, the pine honey apiary locations have higher forest fire risk than flood hazard risk.

4.1. Verification of Susceptibility Maps

Verification of the FFRI and FHRI maps could be realized to determine the reliability and applicability of ALRI map considering the forest fire and flood hazard locations. The intersection of the forest fire and flood hazard data locations can reveal valuable information about the accuracy of ALRI. For this purpose, 1454 forest fire locations were retrieved from Republic of Turkey General Directorate of Forestry between 2013 and 2018. Moreover, the flood basins, which flood hazards mostly occurred, were retrieved from Turkish Statistical Institute. The overlap of the forest fire and flood hazard data with FFRI and FHRI are given in Figure 10.

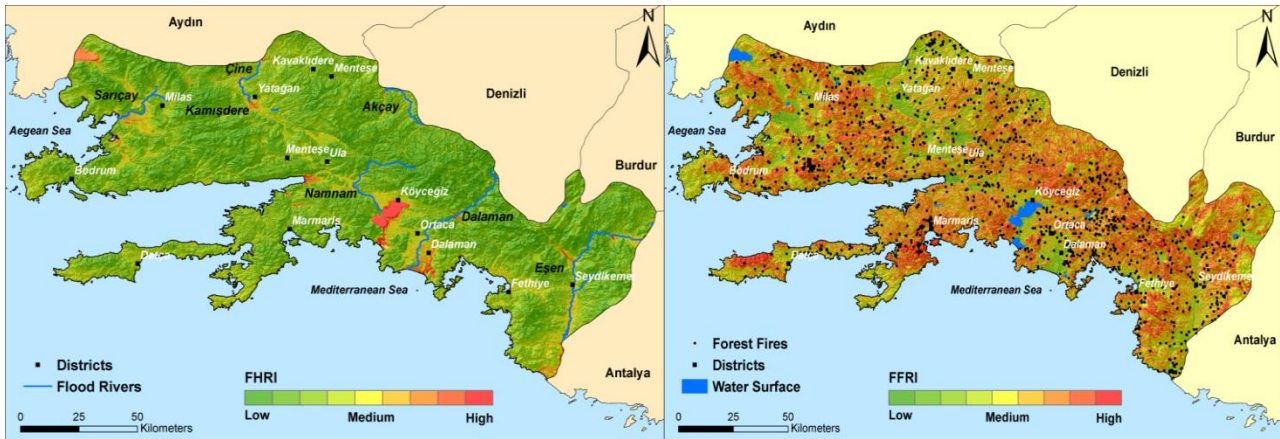


Figure 10: Intersection of forest fires and flood hazards locations with FFRI and FHRI

The results indicated that 715 forest fire locations were intersected with high potential forest fire risk zones and 589 forest fire locations intersected with moderately risk zones. However, 150 of 1454 forest fires occurred in non-risk areas. Considering the burnt area, the forest fires which destroyed the largest area overlapped with high potential forest fire risk zones. It is possible to say that 1304 (89%) of the forest fire occurred in potential forest fire locations which means FFRI reflects the forest fire risk accurately.

According to the flood statistics, Eşen, Dalaman, Çine, Sarıçay, Akçay, Kamışdere and Namnam rivers and their basins are the main locations that flood hazards were occurred. As can be seen in Figure 10, these rivers are overlapped with the highly susceptible flood areas. There was a good correlation and overlapping determined with FHRI. Especially, the low level basins of the rivers that are located in low elevation (close to the sea) have higher flood potential than the higher elevation of the rivers. These locations can be seen in figure 10 with red polygons. For a general view of ALRI verification, the intersection of forest fires and flood hazards with ALRI is given in Figure 11. The forest fires tend to be clustered in high ALRI values.

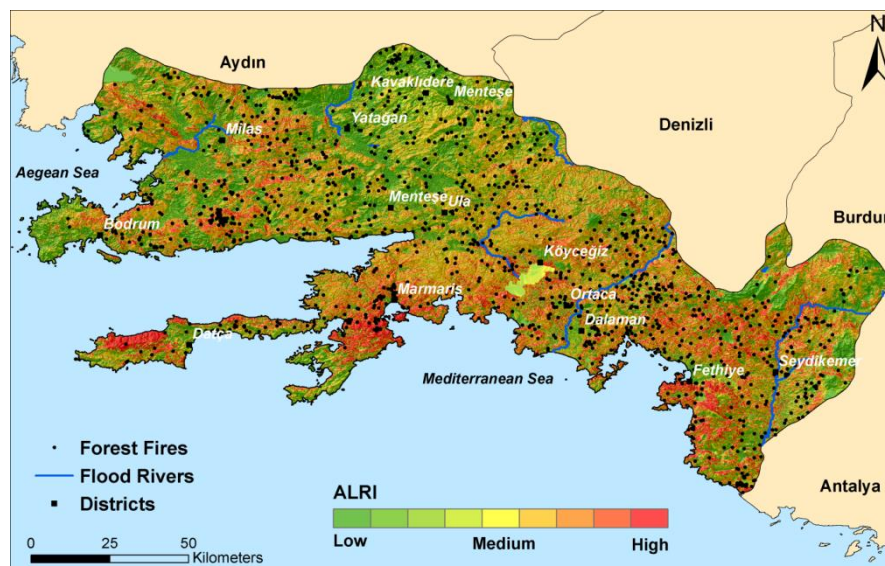


Figure 11: Intersection of forest fires and flood hazards locations with ALRI

5. Conclusions

This study presents an integrated natural hazard risk for apiaries located in Muğla province which are highly prone to forest fire and flood hazards. Although several criteria were used to detect forest fire susceptibility (Iwan et al. 2004; Vadrevu et al. 2010; Eugenio et al. 2016; Suryabhagavan et al. 2016; Güngöroğlu 2017; You et al. 2017; Sari 2021; Sivrikaya and Küçük 2022), buildings, power lines and forest density criteria were included in this study to generate forest fire susceptibility. Additionally, for flood hazard susceptibility mapping, imperviousness, riparian zones, basins and possible streams criteria were included addition to recent studies (Tkach and Simonovic 1997; Wang et al. 2002; Zhang et al. 2002; Cheng and Wang 2004; Simonovic and Nirupama 2005; Thinh and Vogel 2006; Sinha et al. 2008; Wang et al. 2011; Zou et al. 2013). The main contribution of this study is generating ALRI map which indicates a natural hazard occurrence probability combination for the study area. However, the ALRI map should be evaluated together with suitability maps for apiary locations to evaluate both suitability and risk for apiaries. The best apiaries should have high suitability and low risk to be able to increase the productivity and yield (Maris et al. 2008; Estoque and Murayama 2010; Abou-Shaara et al. 2013; Fernandez et al. 2016; Zoccali et al. 2017; Sari et al. 2020; Sari 2020).

This study is important for being a conceptual model for apiary risk assessment and can be applied to whole Turkey. Because Muğla province topography and climate reflects the Mediterranean characteristics, the model can be applied to Turkey both Aegean and Mediterranean zones directly. Due to the risks for apiary locations differ considering the different regions in Turkey, additional risk factors could be added for risk assessment such as land slide, earthquake, hurricane and frost. Special risk issues as like sinkholes or volcanic activities could be also added for risk assessment considering the regions.

The result ALRI map also indicates the prevention procedures for forest fire such as early intervention systems or locating the fire stations. Fire station locations could be examined or new station locations could be determined considering the intensive apiary locations which are located in higher ALRI values. Thus, effective intervention could be realized considering the risk values. The ALRI values also could be used as an insurance coefficient to predict the risk values according to the hive count.

References

- Abou-Shaara H.F., Al-Ghamdi A.A., Mohamed A.A., (2013), *A suitability map for keeping honey bees under harsh environmental conditions using geographical information system*, World Applied Science Journal, 22, 1099–1105.
- Adab H., Kanniah K.D., Solaimani K., (2013), *Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques*, Natural Hazards, 65(3), 1723–1743.
- Ajin R.S., Loghin A.M., Jacob M.K., Vinod P.G., Krishnamurthy R.R., (2016), *The risk assessment of potential forest fire in Idukki Wildlife Sanctuary using RS and GIS techniques*, International Journal of Advanced Earth Science and Engineering, 5, 308–18.
- Alexakis D.D., Grillakis M.G., Koutroulis A.G., Agapiou A., Themistocleous K., Tsanis I.K., Michaelides S., Pashiardis S., Demetriou C., Aristeidou K., Retalis A., Tymvios F., Hadjimitsis D.G., (2014), *GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use changes impact on flood hydrology: the case study of Yialias Basin in Cyprus*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 14, 413–426.
- Amraoui M., Pereira M.G., DaCamara C.C., Calado T.J., (2015), *Atmospheric conditions associated with extreme fire activity in the Western Mediterranean region*, Science of The Total Environment, 524, 32–39.

- Arentze T.A., Timmermans HJP., (2000), *ALBATROSS: A Learning-based Transportation Oriented Simulation System*. EIRASS, Eindhoven University of Technology, The Netherlands.
- Bonora L., Conese C., Marchi E., Testi E., Montorselli N.B., (2013), *Wildfire occurrence: Integrated model for risk analysis and operative suppression aspects management*, American Journal of Plant Sciences, 4, 705–710.
- Bapalu G.V., Sinha R., (2005), *GIS in flood hazard mapping: a case study of Kosi River Basin, India*, http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/floods/floods001pf.htm [Accessed 17 January 2014].
- Cheng S.P., Wang R.Y., (2004), *Analyzing hazard potential of typhoon damage by applying grey analytic hierarchy process*, Natural Hazards, 33(1), 77-103.
- Chen Y., Yua J., Khan S., (2010), *Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation*, Environmental Modelling & Software, 25, 1582-1591.
- Chuvieco E., Aguado I., Yebra M., Nieto H., Salas J., Martín M.P., Zamora R., (2010), *Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies*, Ecological Modelling, 221(1), 46–58.
- Damián G.C., (2016), *GIS-based optimal localisation of beekeeping in rural Kenya*, Master degree thesis, Master in Geographical Information Sciences Department of Physical Geography and Ecosystems Science, Lund University.
- Elkhrachy I., (2015), *Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Tools: A case study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA)*, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 18, 261–278.
- Estoque R.C., Murayama Y., (2010), *Suitability Analysis for Beekeeping Sites in La Union, Philippines, Using GIS and Multi-Criteria Evaluation Techniques*, Research Journal of Applied Sciences, 5(3), 242-253.
- Estoque R.C., Murayama Y., (2011), *Suitability Analysis for Beekeeping Sites Integrating GIS & MCE Techniques*, In Spatial Analysis and Modeling in Geographical Transformation Process (Murayama Y., Thapa R.B., Ed.), Springer, Netherlands, ss.215-233.
- Eugenio F.C., Dos Santos A.R., Fiedler N.C., Ribeiro G.A., Da Silva A.G., Dos Santos Á.B., Paneto G.G., Schettino V.R., (2016), *Applying GIS to develop a model for forest fire risk: a case study in Espírito Santo, Brazil*, Journal of Environmental Management, 173, 65–71.
- Fernandez P., Roque N., Anjos O., (2016), *Spatial multicriteria decision analysis to potential beekeeping assessment. Case study: Montesinho Natural Park (Portugal)*, Proceedings 19th AGILE International Conference on Geographic Information Science—Geospatial Data in a Changing World, Helsinki, Finland.
- Gessler P.E., Moore I.D., McKenzie N.J., Ryan P.J., (1995), *Soil-landscape modelling and spatial prediction of soil attributes*, International Journal of GIS, 9(4), 421-432.
- Güngöröğlu C., (2017), *Determination of forest fire risk with fuzzy analytic hierarchy process and its mapping with the application of GIS: The case of Turkey/Çakırlar*, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 23(2), 388-406.
- Haq M., Akhtar M., Muhammad S., Paras S., Rahmatullah J., (2012), *Techniques of remote sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: a case study of Sindh province, Pakistan*, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 15, 135–141.
- Hernandez-Leal P.A., Arbelo M., Gonzalez-Calvo A., (2006), *Fire risk assessment using satellite data*, Advances in Space Research, 37(4), 741–746.
- Huyen D.T.T., Tuan V.A., (2008), *Applying GIS and Multi Criteria Evaluation in Forest Fire Risk Zoning in Son La Province, Vietnam*, International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences (GIS-IDEAS) 2008, 4-6 December, Hanoi, Vietnam.
- Iwan S., Mahmud A.R., Mansor S., Mohamed Shariff A.R., Nuruddin A.A., (2004), *GIS-grid-based and multi-criteria analysis for identifying and mapping peat swamp forest fire hazard in Pahang, Malaysia*, Disaster Prevention and Management: An International Journal, 13(5), 379-386.
- Jahan M., Bahraminasab K.L., Edwards A., (2012), *Target-based normalization technique for materials selection*, Materials & Design, 35, 647-654.
- Jaiswal R.K., Mukherjee S., Raju K.D., Saxena R., (2002), *Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4(1), 1–10.
- Jose K.S., (2012), *Geospatial characterization and conservation potential for Agasthyamala Biosphere Reserve, Western ghats, India*, PhD thesis, School of Environmental Sciences, Mahatma Gandhi University.
- Kushla J.D., Ripple W.J., (1997), *The role of terrain in a fire mosaic of a temperate coniferous forest*, Forest Ecology and Management, 95, 97–107.
- Liu J.F., Li J., Liu J., Cao R.Y., (2008), *Integrated GIS/AHP-based flood risk assessment: a case study of Huaihe River Basin in China*, Journal of Natural Disasters, 17(6), 110–114.
- Løken, E., (2007), *Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(7), 1584-1595.
- Maris N., Mansor S., Shafri H., (2008), *Apicultural Site Zonation Using GIS and Multi-Criteria Decision Analysis*, Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science, 31(2), 147 – 162.
- Miguel S., Pukkala T. Yeşil A., (2014), *Integrating pine honeydew honey production into forest management optimization*, European Journal of Forest Research, 133(3), 423-432.
- Mitchell J.W., (2013), *Power line failures and catastrophic wildfires under extreme weather conditions*, Engineering Failure Analysis, 35, 726–735.
- Moore I.D., Grayson R.B., Ladson A.R., (1991), *Terrain based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data*, Water Resources Research, 27, 1177–1191.
- Mulliner E., Malys N., Maliene V., (2016), *Comparative analysis of MCDM methods for the assessment of sustainable housing affordability*, Omega, 59, 146–156.
- Oldroyd P.B., Nanork P., (2009), *Conservation of Asian honey-bees*, Apidologie Bee Conservation, 40, 296-312.
- Pourghasemi H.R., (2016), *GIS-based forest fire susceptibility mapping in Iran: a comparison between evidential belief function and binary logistic regression models*, Scandinavian Journal of Forest Research, 31(1), 80–98.

- Pradhan B., Hagemann U., Shafapour Tehrany M., Prechtel N., (2014), *An easy to use ArcMap based texture analysis program for extraction of flooded areas from TerraSAR-X satellite image*, Computers & Geosciences, 63, 34–43.
- Puri K., Areendran G., Raj K., Mazumdar S., Joshi P.K., (2011), *Forest fire risk assessment in parts of Northeast India using geospatial tools*, Journal of Forestry Research, 22, 641, doi: 10.1007/s11676-011-0206-4.
- Rothermel R.C., (1983), *How to predict the spread and intensity of forest and range fires*, USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station General Technical Report INT-143.Ogden, UT, USA, 161ss.
- Saaty T.L., (1977), *A scaling method for priorities in hierarchical structures*, Journal of Mathematical Psychology, 15, 234–281.
- Saaty T.L., (1980), *The Analytical Hierarchy Process*, New York: McGraw-Hill.
- Saaty T.L., (1994), *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with The Analytical Hierarchy Process*, RWS Publ. Pittsburg, ss.69-84.
- Saaty T.L., (2001), *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, 2nd edition, PRWS Publications, Pittsburgh PA.
- Saaty T.L., Vargas, L.G., (1991), *Prediction, Projection and Forecasting*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 25ss.
- Sarı F., (2020), *Assessment of Land Use Change Effects On Future Beekeeping Suitability Via Ca-Markov Prediction Model*, Journal of Apicultural Sciences, 64(2), 263-276.
- Sarı F., Ceylan D.A., Özcan M.M., Özcan M., (2020), *A comparison of Multi Criteria Decision Analysis Techniques for Determining Beekeeping Suitability*, Apidologie, 51(4), 481-498.
- Sarı F., (2021), *Forest Fire Susceptibility Mapping Via Multi-Criteria Decision Analysis Techniques For Mugla, Turkey: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS*, Forest Ecology and Management, 480(2), 118644, doi: 10.1016/j.foreco.2020.118644.
- Seyed H.M., Alireza S.A., (2017), *A comprehensive MCDM-based approach using TOPSIS, COPRAS and DEA as an auxiliary tool for material selection problems*, Materials & Design, 121, 237-253.
- Simonovic S.P., Nirupama N., (2005), *A spatial multi-objective decision-making under uncertainty for water resources management*, Journal of Hydroinformatics, 7(2), 117–133.
- Sinha R., Bapalu G.V., Singh L.K., Rath B., (2008), *Flood risk analysis in the Kosi river basin, north Bihar using multi-parametric approach of analytical hierarchy process (AHP)*, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 36(4), 335-349.
- Sivrikaya F., Küçük Ö., (2022), *Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region*, Ecological Informatics, 68, 101537, doi: 10.1016/j.ecoinf.2021.101537.
- Sun L., Wang Q.X., Wei S.J., Hu H.Q., Guan D., Chen X.W., (2014), *Response characteristics and prospect of forest fire disasters in the context of climate change in China*, Journal of Catastrophology, 29(1), 12–17. In Chinese.
- Suryabhadgavan K.V., Alemu M., Balakrishnan M., (2016), *GIS-based multi-criteria decision analysis for forest fire susceptibility mapping: a case study in Harenna forest, southwestern Ethiopia*, Tropical Ecology, 57(1), 33-43.
- Tkach R.J., Simonovic S.P., (1997), *A new approach to multi-criteria decision making in water resources*, Journal of Geographic Information and Decision Analysis, 1(1), 25–44.
- Thinh N.X., Vogel R., (2006), *GIS-based multiple criteria analysis for land-use suitability assessment in the content of flood risk management*, InterCarto-InterGIS 12, August 28-30, Berlin, Germany.
- URL-1, (2019), *Turkish Statistical Institute Web Page*, <http://tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=kategorist>, [Accessed 17 January 2019].
- URL-2, (2019), *Turkish State Meteorological Service Web Page*, <https://www.mgm.gov.tr/> [Accessed 17 January 2019].
- Vadrevu K.P., Eaturu A., Badarinath K.V., (2010), *Fire risk evaluation using multicriteria analysis--a case study*, Environ Monitoring and Assessment, 166(1-4), 223-239.
- Wang R.Y., Huang H.Y., Cheng S.P., (2002), *The study of fuzzy analytic hierarchy process and grey system theory for analyzing the damage potential of inundation effect*, Taiwan Water Conserv, 50, 1-23.
- Wang Y., Li Z., Tang Z., Guangming Z., (2011), *A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China*, Water Resources Management, 25, 3465, doi: 10.1007/s11269-011-9866-2.
- Wang P., Zhu Z., Wang Y., (2016), *A novel hybrid MCDM model combining the SAW, TOPSIS and GRA methods based on experimental design*, Information Sciences, 345, 27–45.
- You W., Lin L., Wu L., Ji Z., You J., Zhu J., Fan Y., He D., (2017), *Geographical information system-based forest fire risk assessment integrating national forest inventory data and analysis of its spatiotemporal variability*, Ecological Indicators, 77, 176–184.
- Zhang J., Okada N., Tatano H., Hayakawa S., (2002), *Risk assessment and zoning of flood damage caused by heavy rainfall in Yamaguchi prefecture, Japan*, In Flood Defence (Wu B.S., Ed.), Science Press, New York Ltd., ss.162-169.
- Zhou C.H., Wan Q., Huang S.F., Chen D.Q., (2000), *A GIS-based approach to flood risk Zonation*, Acta Geographica Sinica, 55(1), 15–24.
- Zoccali P., Malacrin A., Campolo O., Laudani F., Algeri G.M., Giunti G., Palmeri V., (2017), *A novel GIS-based approach to assess beekeeping suitability of Mediterranean lands*, Saudi Journal of Biological Sciences, 24(5), 1045–1050.
- Zou Q., Zhou J., Zhou C., Song L., Guo J., (2013), *Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP*, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 27, 525-546.

Köppen-Trewartha ve Thornthwaite Yöntemlerine Göre Isparta Yöresi İklim Tipinin Belirlenmesi

İbrahim Dursun^{1,*}, Nilüfer Yazıcı¹

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta.

Özet

İklim, bir bölgenin uzun zaman periyodunda takip edilmesiyle ele alınan meteorolojik olayların ortalamasına verilen ifade olarak tanımlanmaktadır. İklim aynı zamanda; bir bölgenin hava olayları bakımından karakterini ve bitki örtüsünü de belirler. İklim tipleri sayısı oldukça fazladır. Çok sayıda bilim insanı, değişik iklim sınıflandırmaları yapmıştır. İklim sınıflandırmalarının ana amacı farklı iklim tiplerini ayırt etmek, bu bakımdan alanların birbirine benzerliklerini ortaya çıkarmaktır. İklim türleri, sıcaklık ve yağış rejimi gibi durumlara bakılarak sınıflandırılabilir. Köppen ve Thornthwaite yöntemi de yaygın kullanılan iklim tipini belirleme yöntemlerindendir. Bu çalışmada, uzun süreli iklim verileri ile Köppen-Trewartha ve Thornthwaite iklim indis yöntemleri kullanılarak Isparta yöresine ait iklim tipleri ve su bütçesi belirlenmeye çalışılmıştır. Köppen-Trewartha iklim sınıflandırmasına göre Isparta ve diğer ilçe istasyonlarının tümünde "Dack" (Yazları sıcak, Kışları serin, Ilıman Karasal) olarak belirlemiştir. Thornthwaite yöntemine göre yapılan değerlendirmeler sonucunda ise Atabey ve Yalvac istasyonlarının "yarı kurak- az nemli" iklim sınıfında; Eğirdir, Isparta (Merkez), Senirkent ve Uluborlu ilçelerinin ise "yarı nemli" iklim sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada yaz mevsiminde su noksanlığı, kış mevsiminde orta derecede su fazlalığının olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler

İklim, Su Bilançosu, Köppen-Trewartha, Thornthwaite, Isparta

Determination of Climate Type in Isparta Province by Köppen-Trewartha and Thornthwaite Methods

Abstract

Climate is defined as the average of meteorological conditions observed in a location or region over a long period of time. Climate knowledge helps to estimate the character and vegetation of a region in relation to weather conditions. The number of climate types is quite large, and numerous climate classifications have been developed over the years. The main purpose of climate classifications is to distinguish different climate types and identify the areas which show similar climatic conditions. Climate types can be classified based on different climate parameters, such as temperature and precipitation. The Köppen and Thornthwaite methods are the most commonly used climate classification methods. In this study, we aimed to determine the climate types and water potential of Isparta province by long-term climate data based on Köppen and Thornthwaite climate indices. According to Köppen-Trewartha climate classification, Isparta and its districts have been classified as "Dack" (hot in summers, cold in winters, temperate continental). According to the Thornthwaite method, Atabey and Yalvac districts are in the "semi-arid- less humid" climate cluster while Isparta, Eğirdir, Senirkent, and Uluborlu are in the "semi-humid" climate cluster. A moderate excess of moisture was observed in all the stations during the season.

Keywords

Climate, Water Supply, Köppen-Trewartha, Thornthwaite, Isparta

1. Giriş

İklim, yeryüzünün herhangi bölgesinde uzun zaman periyotlarında gözlenen ve bütün hava şartlarındaki ortalama özelliklerinin yanında, bu olayların görülmesindeki zamansal dağılımlarının, gözlenen ekstrem değerlerin, şiddetli olayların ve tüm değişkenliklerin birleşimi olarak tanımlanmaktadır (Türkeş 2010). Burada uzun zaman periyotları 300-500 yıllık bir zaman aralığını ifade etmektedir. Bu jeolojik zaman ölçülerinde iklimler sürekli olarak değişim içerisinde. İklim, insan yaşamını kontrol eden ve coğrafi çevreyi şekillendiren bir etmendir (Erol 1999).

İklim aynı zamanda ekstrem hava olaylarını da içerirken; bir bölgenin hava olayları bakımından karakterini ve bitki örtüsünü de belirler. Bitkilerin yetişme şartlarının yanında iklim gelmektedir. İklim elemanları da bitki yaşamı üzerinde teker teker değil, bir arada etkili olurlar. Böylece, bir sahada yetişen bitkiler iklim elemanlarının karşılıklı, yani ortak etkileri sonucunda şekillenmektedir (Dönmez 1985).

Bitki yaşamında bu iklim elemanlarından sıcaklık, yağış ve buharlaşma koşulları son derece önem arz etmektedir. Bu elemanların karşılıklı etkileşimi sonucunda ortaya çıkan toprağın, suya doygun olması ya da su açığının bulunması gibi özellikler, bitkilerin fizyolojik faaliyetleri için ihtiyaç duydukları suyu topraktan alıp alamamalarında büyük rol oynamaktadır (Güçlü 2004).

İklim tipleri sayısı oldukça fazladır. Çok sayıda bilim adamı, çok çeşitli iklim sınıflandırmaları yapmıştır. İklim sınıflandırmalarının temel amacı, iklim koşulları altındaki özellikleri sistemli bir şekilde sınıflandırmaktır. Bu durum iklim bilimcilerin ve klimatolojinin en çok araştırılan konularının başında gelmektedir. Diğer bir ifadeyle; iklim sınıflandırmalarının amacı iklim tiplerinin belirlemek, benzer ve farklı olanların sınırlarını ortaya koymaktır (Yeşilnacar vd. 1998; Öztürk vd. 2017). İklim sınıflandırmaları bilimsel açıdan olduğu kadar, uygulama açısından da büyük öneme sahiptir. Çünkü herhangi bir coğrafi mekânın tarım, planlama, ulaşım, yerleşme, sulama gibi mekândan faydalanma ile ilgili hemen hemen tüm çalışmaları geniş ölçüde iklimle ilgilidir (Erinç 1984).

İklim insanoğlunun varoluşundan bu yana önemli bir konudur. İklim ile ilgili çalışmalar yürüten bilim insanlarının, yürüttükleri çalışmalar doğrultusunda çok sayıda iklim sınıflama yöntemi bulunmuş ve kullanılmıştır. Bu yöntemlerden ilki araştırmanın konusunu oluşturan, Köppen (1918) tarafından yapılan sınıflandırmadır. İklim tipinin belirlenmesinde bugün dünyada en kabul gören iklim sınıflandırması W. Köppen'e aittir. Köppen'in sınıflandırması, iklim tiplerinde bir taraftan yağış miktarı ve yağışın olduğu zaman, diğer taraftan da sıcaklık derecesi önemlidir. Bu yöntemde iklim, ekvator'dan kutba doğru A, B, C, D, E harfleri ile gösterilmekte ve sınırları hem nemlilik hem de sıcaklık derecesine göre tayin edilmektedir. Köppen yöntemi daha sonra yapılan çalışmalarla modifiye edilerek Köppen-Trewartha (Trewartha 1968; Trewartha ve Horn 1980) ve Köppen- Geiger (Köppen 1936; Geiger 1954) olarak bilimsel çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan Köppen-Trewartha yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntemde kurak ve nemli iklim sınıflandırmaları daha iyi yapılmakta ve bu amaçla 6 farklı iklim sınıfı kullanılmaktadır. Orijinal Köppen sınıflandırmasından farklı olarak B grubu altında kurak iklim sınıflandırması yer almaktadır.

Yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri de Thornthwaite iklim sınıflandırmasıdır. Thornthwaite iklim sınıflandırması, yağış-buharlaşma ve sıcaklık-buharlaşma ilişkisine dayanmakta ve daha çok hidroloji çalışmalarında kullanılmaktadır (MGM 2016; Yılmaz ve Çiçek 2016). Thornthwaite yöntemi, iklim tipinin belirlenmesinin yanı sıra tarım, hidrojeoloji, su kaynaklarının geliştirilmesi gibi konular ve evapotranspirasyonun doğrudan hesaplanmadığı koşullarda kullanılmaktadır. Bir bölgenin iklim tipinin bilinmesi, orada yetiştirilmesi düşünülen ürünün planlanmasından, kurulacak olan sanayi tesisine kadar birçok aktivitenin planlanması için gereklidir (Şensoy ve Ulupınar 2007).

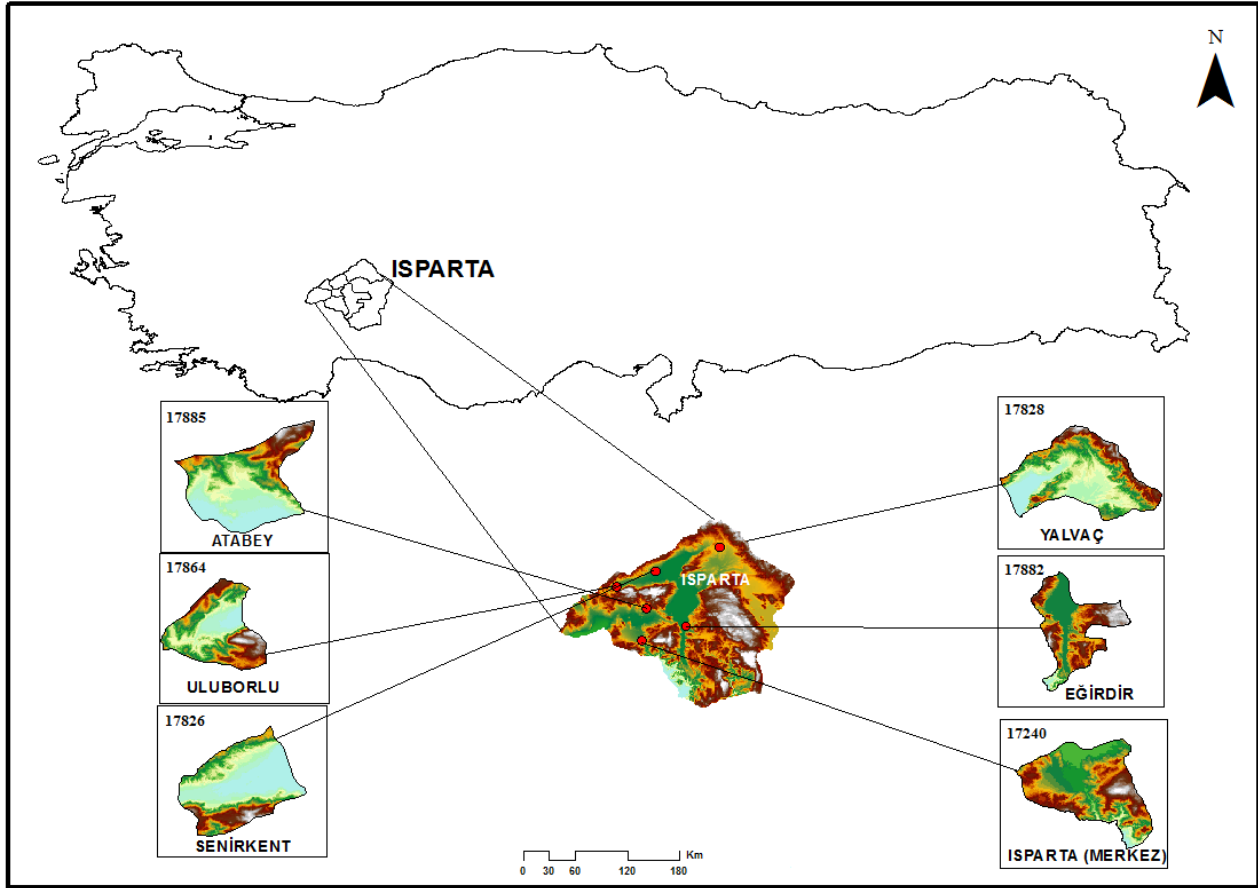
Birçok araştırmacı iklim sınıflandırma yöntemleri aracılığıyla bazı bölgelerde su bilançosu ve iklim tipini belirlemek için araştırmalar yürütmüştür (Köppen 1918; Thornthwaite 1948; Yeşilnacar vd. 1998; Bacanlı ve Saf 2005; Çoban 2013; Demir vd. 2015; Yılmaz ve Çiçek 2016). Türkiye için Thornthwaite iklim sınıf analizleri ilk olarak Erinç (1949) tarafından yapılmış, istasyon verilerinin sınırlılığı çalışmanın istenilen sonuçlara ulaşmasını engellemiştir. Çalışmanın daha ayrıntılı Çiçek (1996) tarafından 202 meteoroloji istasyonu verilerine göre yapılmış ve haritaları üretilmiştir. Benzer bir analiz MGM (2016) tarafından yapılmış, il merkezinde yer alan meteoroloji istasyonlarına ait sonuçlar yayınlanmıştır. Son iki çalışmada yapılan analizler ve haritalar istasyon değerlerine göre yapılmış olup dağılışı üzerinde diğer etkenler göz ardı edilmiştir. Ayrıca Birsoy ve Öngen (1992) Thornthwaite iklim sınıflandırmasını bilgisayar ortamında yapan bir yazılım geliştirmişlerdir (Yılmaz ve Çiçek 2016).

Bu çalışmada; Thornthwaite ve Köppen-Trewartha iklim sınıflandırması yöntemi kullanılarak Isparta ilinin iklim tipi araştırılmıştır. Çalışılan istasyonların su bilançosu çıkartılmıştır. Su bilançosu diyagramında yer alan aylık ortalama sıcaklığın ve aylık toplam yağışın tüm istasyonlar için eksiksiz olduğu 1990-2020 yılları arasında hesap yapılmıştır. Isparta ilinde yer alan 6 meteoroloji istasyonunun verileri kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular sunulmuştur. Ayrıca bu çalışma ile yöreye ait su atmosfer ile zemin arasındaki su döngüsü ve aylık değişimi tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma alanı olan Isparta ili, Akdeniz Bölgesinde yer almaktadır. Isparta'nın yüzölçümü 8933 km²'dir. Doğusunda Konya, batısında Afyon-Burdur, kuzeyinde Afyon ve güneyinde Antalya yer almaktadır (URL-1 2021). Çalışmada, Atabey, Eğirdir, Isparta (Merkez), Senirkent, Uluborlu ve Yalvaç ilçelerinde bulunan meteoroloji istasyonlarına ait 31 yıllık (1990-2020) yağış ve sıcaklık değerleri kullanılmıştır (MGM 2021).

Çalışmada, Isparta ilindeki meteoroloji istasyonları kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan istasyonlar, rakımları, enlemleri ve boylamları Tablo 1'de ve meteoroloji istasyonları sınırları içerisindeki ilçelerin topografik konumu ise Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Isparta ilinin ve istasyonların topografik konumu

Tablo 1: Çalışmada kullanılan istasyonların rakım, enlem ve boylamları

İstasyon No	İstasyon Adı	Rakım (m)	Enlem (K)	Boylam (D)
17885	Atabey	1000	37.9549°	30.6396
17882	Eğirdir	920	37.8377°	30.8720
17240	Isparta(Merkez)	997	31.7848°	30.7679
17826	Senirkent	959	38.1047°	30.5577°
17864	Uluborlu	1025	38.0860°	30.4582
17828	Yalvaç	1096	38.2830°	31.1778

2.1. Thornthwaite İklim Sınıflandırması

Thornthwaite tipi aylık su bilançosu modelleri, yağış alanının kararlı durumdaki mevsimsel (iklimsel ortalama) veya sürekli değerlerini, bölgesel su girdisini, kar örtüsünü, toprak nemini ve evapotranspirasyonu simüle etmek için kullanılan kavramsal modellerdir (Topçu 2019). Thornthwaite iklim sınıflandırması, C. Warren Thornthwaite'dan adını alan ve potansiyel evapotranspirasyon (ETP) kavramını baz alan bir yöntemdir. Bu yöntem bir bölgenin enleminin ve aylık ortalama hava sıcaklığının bilinmesi durumunda rahatlıkla uygulanabilen bir tahmin yöntemidir. ETP aşağıdaki (1), (2), (3) ve (4) nolu formüller kullanılarak tespit edilmektedir (Thornthwaite 1948; Çolak ve Memişoğlu 2021).

$$ETP = 16 * \left(\frac{10 \cdot t}{I}\right)^a * G \quad (1)$$

$$a = 6.7510 * 10^{-7} * I^3 - 7.7110 * 10^{-5} * I^2 + 1.791210 * 10^{-2} * I + 0.49239 \quad (2)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad (3)$$

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (4)$$

Bu formülde (ETP) aylık potansiyel evapotranspirasyon (mm), (t) aylık ortalama sıcaklık (°C), (i) aylık sıcaklık indisi, (I) yıllık sıcaklık indisi, (G) ise enlem düzeltme katsayısıdır.

Thornthwaite iklim sınıflandırma yönteminde ilk adım su bilançosu tablosunun oluşturulmasıdır. Su bilanço tablosu, aylık ortalama yağış, ortalama sıcaklık ve evapotranspirasyon değerlerinden faydalanılarak oluşturulmaktadır. Bu parametreler ile ETP, su fazlası, su noksanı, akış, nemlilik gibi özellikler hesaplanmaktadır.

Thornthwaite iklim sınıflandırmasının belirlenmesi dört işlem aşamasında gerçekleştirilmektedir. Her bir işlem adımı iklim tipinin bir simgesine karşılık gelmektedir. İlk harf, yağış etkinlik indeksinin hesaplanmasıdır. Bu indeks değeri (5) nolu formül kullanılarak bulunmaktadır. Kurak iklimler ve nemli iklimler olmak üzere iki büyük grupta toplanmıştır. Sonuç olarak en nemliden en kurağa doğru sıralanmaktadır (Tablo 2) (Thornthwaite 1948; Çolak ve Memişoğlu 2021).

$$I_m = \frac{(100 \cdot s - 60 \cdot d)}{ETP} \quad (5)$$

Bu formülde (s) yıllık su fazlasını, (d) yıllık su noksanı olarak verilmiştir. Thornthwaite iklim sınıflandırmasındaki ikinci harf, Thornthwaite sıcaklık etkinlik indeksinin oluşturulmasıdır. Bu değer, yıllık ETP değerleri kullanılarak belirlenmektedir (Tablo 2) (Thornthwaite 1948; Çolak ve Memişoğlu 2021).

Tablo 2: Thornthwaite yağış etkinlik indeksi ve sıcaklık etkinlik indeksi ile iklim özelliği

Im	Harf	İklim Özelliği	Yıllık ETP (mm)	Harf İklim	Yıllık Etp (mm) Harf İklim Özelliği
>100	A	Çok nemli	1141 ve fazlası	A'	Megatermal
100 – 80	B4	Nemli	998 – 1140	B'4	Mezotermal
80 – 60	B3	Nemli	856 – 997	B'3	3.Derece Mezotermal
60 – 40	B2	Nemli	713 – 855	B'2	2.Derece Mezotermal
40 – 20	B1	Nemli	571 – 712	B'1	1.Derece Mezotermal
20 – 0	C2	Yarı Nemli	428 – 570	C'2	2.Derece Mikrotermal
0 – (-20)	C1	Yarı Kurak – Az Nemli	286 – 427	C'1	1.Derece Mikrotermal
-20 – (-40)	D	Yarı Kurak	143 – 285	D'	Tundra
-40 – (-60)	E	Tam Kurak- Çöl	142 ve daha az	E'	Don

Thornthwaite sınıflandırmasındaki üçüncü harf, yağış rejimi indekslerinin oluşturulmasıdır. Bu kısımda, yıllık ETP değeri, su fazlası ve su eksiği kullanılmaktadır. Yağış rejimi indeksleri yağışlı iklimler için kuraklık indeksi (Ia), kurak iklimler için nemlilik indeksi (Ih) olarak ikiye ayrılmaktadır. Yağışlı iklimlerin kuraklık indeksi için (6), kurak iklimler için nemlilik indeksi ise (7) formülleri hesaplanarak iklim özellikleri belirlenmektedir (Tablo 3) (Thornthwaite 1948; Çolak ve Memişoğlu 2021).

$$I_a = \frac{(100 \cdot d)}{ETP} \quad (6)$$

$$I_h = \frac{(100 \cdot s)}{ETP} \quad (7)$$

Thornthwaite sınıflandırmasındaki iklim tiplerinin son harfi ise yaz aylarındaki ETP'nin, yıllık ETP'ye oranlanmasıyla bulunmaktadır (Tablo 3) (Thornthwaite 1948). Sonuç olarak, bu dört işlem aşamasının birleştirilmesiyle belirlenmek istenen lokasyona ait Thornthwaite iklim sınıflaması tespit edilmektedir.

Tablo 3: Thornthwaite kuraklık indeksi, nemlilik indeksi ile iklim özelliği ve ETP'nin üç yaz ayına oranı indeksi

Kuraklık İndeksi (Ia)	Harf	İklim Özelliği	Nemlilik İndeksi (Ih)	Harf	İklim Özelliği
0 – 16.7	r	Su noksanı olmayan veya pek az olan	0 – 10	d	Su fazlası olmayan veya pek az olan
16.8 – 33.3 olan	s	Su noksanı yaz mevsiminde ve orta derecede olan	11 – 20	s	Su fazlası kış mevsiminde ve orta derecede olan
16.8 – 33.3	w	Su noksanı kış mevsiminde ve orta derecede olan	11 – 20	w	Su fazlası yaz mevsiminde ve orta derecede olan
33.4 ve fazlası	s2	Su noksanı yaz mevsiminde ve çok kuvvetli olan	21 ve fazlası	s2	Su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan
33.4 ve fazlası	w2	Su noksanı kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan	21 ve fazlası olan	w2	Su fazlası yaz mevsiminde ve çok kuvvetli olan
Etp'nin 3 yaz Ayına Oranı	Harf		Etp'nin 3 yaz Ayına Oranı	Harf	
48 ve daha az	a'		61.7 – 68.0	b'1	
48.1 – 51.9	b'4		68.1 – 76.3	c'2	
52.0 – 56.3	b'3		76.4 – 88.0	c'1	
56.4 – 61.6	b'2		88.1 ve daha fazla	d'	

Sıcaklık ve yağışa dayalı su bilançosu modelleri Thornthwaite ve Mather tarafından geliştirilmiştir (Thornthwaite ve Mather 1955; Topçu 2019). Thornthwaite yöntemi rüzgâr hızı, bulutluluk ve radyasyon gibi parametreleri kullanmasa da iklim tipinin belirlenmesinde en iyi sonucu vermektedir (Vörösmarty vd. 1998).

2.2 Köppen-Trewartha İklim Sınıflandırması

Köppen-Trewartha iklim sınıflandırması 6 ana iklim grubundan oluşmaktadır. Trewartha'ya göre A (Tropikal İklimler), C (Subtropikal İklimler), D (Ilıman İklimler), E (Kuzey İklimleri) ve F (Kutup İklimleri) iklim grupları temel termal bölgelerdir. Altıncı grup B (Kurak İklimler), F kutup iklimi hariç diğer iklim tipleri ile kesişen kuru iklim kuşağıdır (Tablo 4). Ana iklim türleri, Köppen iklim sınıflandırması ile benzer şekilde, yıllık ve aylık hava sıcaklığı ve yağış miktarlarının uzun vadeli yıllık ortalamalarına göre belirlenir. Köppen-Trewartha iklim sınıflandırması, Köppen iklim sınıflandırması ile karşılaştırıldığında C, D ve yeni tanımlanan E tipi gruplarının farklı tanımlamaları, nemli ve kurak iklimleri ayıran farklı eşikleri vardır. Köppen-Trewartha iklim sınıflandırmasının, iklim sınıfı ve ikinci harfinin nasıl bulunacağı Tablo 4'te kurallar başlığında açıklanmıştır.

Tablo 4: Köppen-Trewartha iklim tipleri sınıflandırma kuralları (MGM 2018)

Sınıf	Türü	Tanım	Kurallar
A		Tropikal İklimler	Tsoğuk $\geq 18^{\circ}\text{C}$
B		Kurak İklimler	P limit değerden küçükse(R) $R=2.3 * T - 0.64 * P_w + 41$ R: Limit değer T:Yıllık Ortalama Sıcaklık P_w : Kış aylarında meydana gelen yıllık yağış yüzdesi.
	BS	Yarı Kurak-Step İklim	P Limitin yarısından büyükse
	BW	Kurak veya Çöl İklimi	P Limitin yarısına eşit veya küçükse
C		Subtropikal İklimler	8 ile 12 ay $> 10^{\circ}\text{C}$ ve Tsoğuk $< 18^{\circ}\text{C}$
	Cs	Subtropikal kuru yaz iklimi, Akdeniz iklimi	8 ile 12 ay $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $P \leq 89 \text{ cm}$ ve $P_{\text{min}} < P_{\text{wmax}} / 3$
	Cw	Subtropikal kuru kış iklimi	8 ile 12 ay $> 10^{\circ}\text{C}$ ve $P \leq 89 \text{ cm}$ ve $P_{\text{max}} > P_{\text{wmin}} * 10$
	Cf	Subtropikal nemli iklim.	$P_{\text{min}} > 3 \text{ cm}$
D		Ilıman İklimler	4 ile 7 ay $> 10^{\circ}\text{C}$
	Do	Ilıman Denizsel	Tsoğuk $\geq 2^{\circ}\text{C}$
	Dc	Ilıman Karasal	Tsoğuk $< 2^{\circ}\text{C}$
E		Kuzey İklimleri	1 ile 3 ay $> 10^{\circ}\text{C}$
	Eo	Kutup altı Denizsel İklim	Tsoğuk $> -10^{\circ}\text{C}$
	Ec	Kutup altı Karasal İklim	Tsoğuk $\leq -10^{\circ}\text{C}$
F		Kutup İklimleri	Tüm aylar $< 10^{\circ}\text{C}$
	Ft	Tundra İklimi	Tsıcak $> 0^{\circ}\text{C}$
	Fi	Buz İklimi	Tsıcak $\leq 0^{\circ}\text{C}$

Tablo Açıklaması: T: Yıllık Ortalama Sıcaklık, P: Yıllık Toplam Yağış, R: Limit Değer, Tsoğuk: En soğuk ay Ort.Sic. Tsıcak: En sıcak ay Ort.Sic. Ps (Yaz Ayları): Nisan-Eylül 6 ay, Pw (Kış Ayları): Ekim-Mart 6 ay, Pmin: Yaz aylarındaki en düşük yağış, Pwmin: Kış aylarındaki en düşük yağış, Pmax: Yaz aylarındaki en yüksek yağış, Pwmax: Kış aylarındaki en yüksek yağış, Pmin: En kurak ay yağışı Sınıflandırmanın üçüncü harfi bölgenin sıcaklık durumuna göre tespit edilmektedir (Tablo 5).

Köppen-Trewartha iklim sınıflandırmasında üçüncü ve dördüncü harfleri en sıcak ve en soğuk ayların ortalama sıcaklıklarına bakılarak Tablo 5'e göre yapılmaktadır.

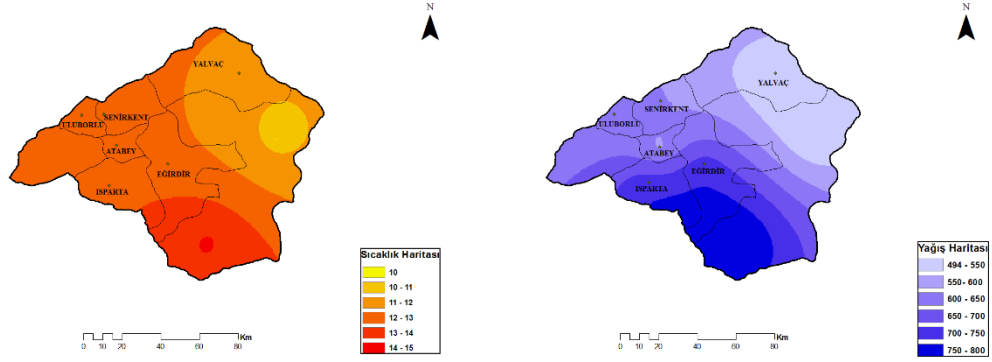
Tablo 5: Köppen-Trewartha iklim sınıflandırmasında evrensel sıcaklık ölçeği ve iklim özelliğine göre 3 ve 4'üncü harf açıklamaları (MGM 2018)

İndeks	İklim Özelliği	Aylık Ort. Sic.
i	Şiddetli Sıcak	$\geq 35^{\circ}\text{C}$
h	Çok Sıcak	28°C ila 34.9°C
a	Sıcak	23°C ila 27.9°C
b	Ilık	18°C ila 22.9°C
l	Ilıman	10°C ila 17.9°C
k	Serin	0.1°C ila 9.9°C
o	Soğuk	-9.9°C ila 0°C
c	Çok Soğuk	-24.9°C ila -10°C
d	Şiddetli Soğuk	39.9°C ila -25°C
e	Aşırı Soğuk	$\leq -40^{\circ}\text{C}$

3. Bulgular ve Tartışma

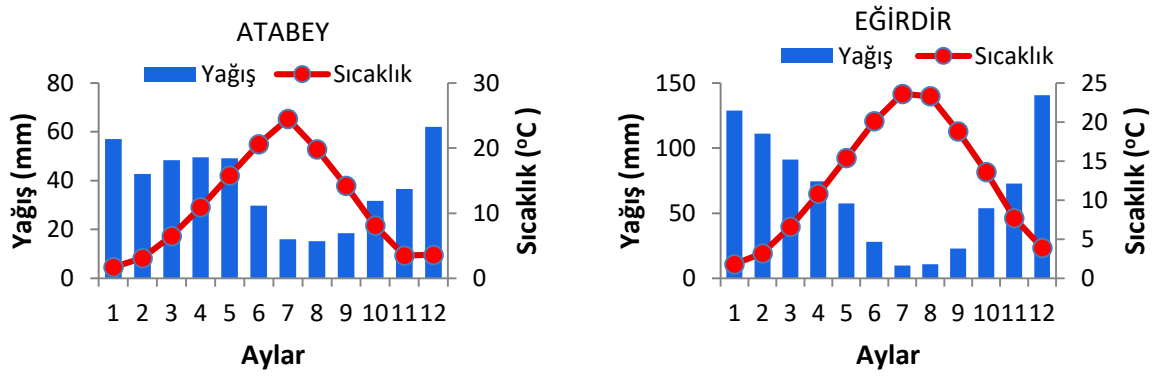
3.1. İstasyonlara Ait İklim Diyagramları

Çalışma alanının sıcaklık ve yağış haritaları 1990-2020 yılları ortalama sıcaklık ve toplam yağış verilerine göre yapılmıştır. Kriging yöntemine göre yağış ve sıcaklık tahmin haritaları elde edilmiştir (Şekil 2). Genel tahmin süreci, bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması üzerinde gerçekleştirilmiştir (Uyan 2019).

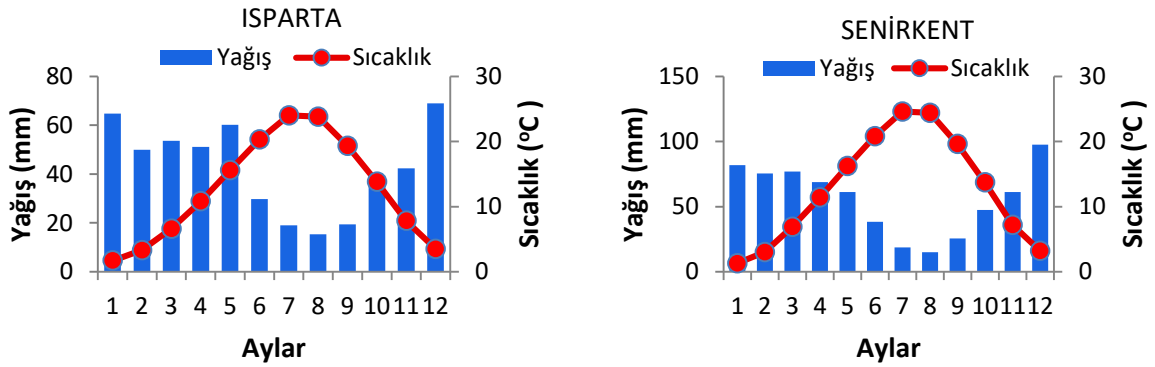


Şekil 2: Sıcaklık ve yağış haritası

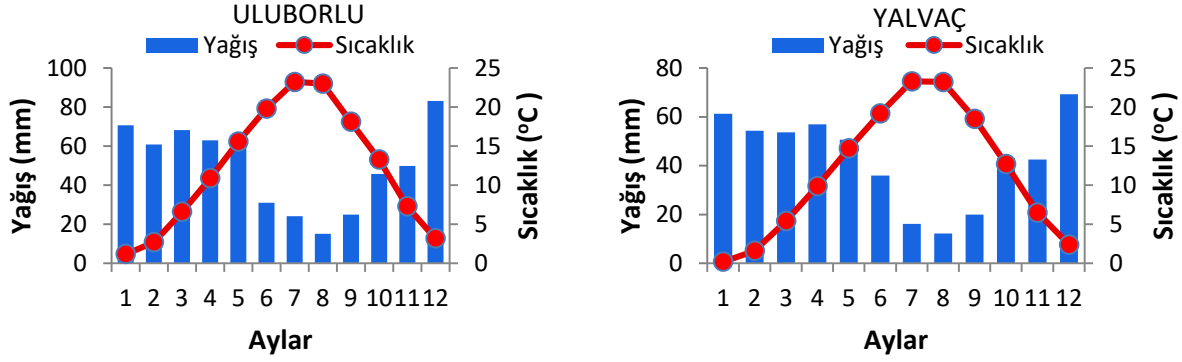
Aylık sıcaklık ve yağış değerleri kullanılarak istasyonlara ait iklim diyagramları çizilmiştir (Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5). Çizilen iklim diyagramları ile istasyonlara ait iklim tiplerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3: Atabey ve Eğirdir istasyonlarına ait iklim diyagramı



Şekil 4: Isparta ve Senirkent istasyonlarına ait iklim diyagramı



Şekil 5: Uluborlu ve Yalvaç istasyonlarına ait iklim diyagramı

Şekil 3, 4 ve 5 iklim diyagramlarını incelediğimizde; yağışsız ay bulunmamaktadır. Genel olarak en fazla yağış miktarı kış mevsiminde ve yaz mevsimine doğru azalmakta, yaz mevsiminde en az miktarı göstermektedir. Sıcaklık dağılışı ise tipiktir. Yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları soğuk ve yağışlıdır. Bu durum bize karasal iklimin özelliğini göstermektedir. En sıcak ay ile en düşük yağış kaydedilen ay çakışmamıştır.

3.2. İstasyonlara Ait Su Bilançosu Diyagramları

Çalışmanın bu bölümünde Thornthwaite tipi su bilançosu yöntemi ile hesap edilen su bilançosu bileşenlerinin yıllık döngüsü tablo ve grafik şeklinde verilmiştir. Tablo 6’da genel olarak tüm istasyonların 1990-2020 yılları arasında aylık ortalama sıcaklık, toplam yağış verilerinden hesaplanan su bilançosuna göre açık ve fazla değerleri görülmektedir. Bu tabloya göre yağışın en fazla olduğu istasyon yıllık 802 mm ortalama ile Eğirdir istasyonudur. En az yağış ise 457.10 mm ile Atabey istasyonudur. PET en az Yalvaç istasyonunda iken en yüksek Atabey istasyonundadır. Su bilançosuna göre açığın en fazla olduğu istasyon Atabey’dir. Su fazlasının en çok olduğu istasyon ise Eğirdir’dir.

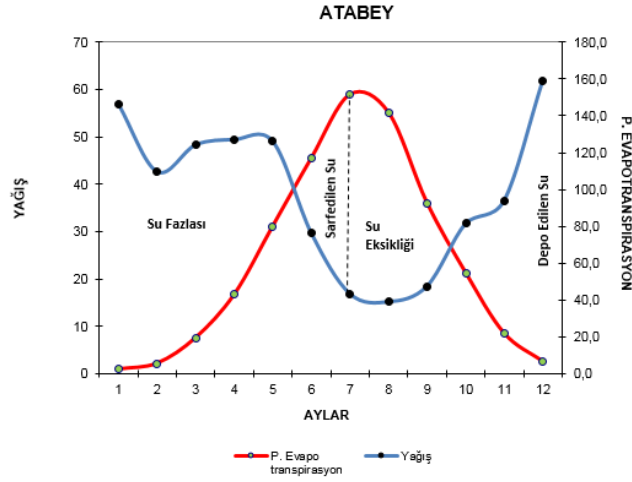
Tablo 6: İstasyonların su bilançosuna göre açık ve fazla değerleri (mm/yıl)

İstasyonlar	Yağış	PET	GET	Açık	Fazla
Atabey	457.10	651.28	360.65	376.55	126.61
Eğirdir	802	635.34	388.43	329.52	330.18
Isparta (Merkez)	511.70	614.54	383.26	342.16	145.81
Senirkent	668.20	649.69	405.44	332.34	228.46
Uluborlu	602.50	624.90	409.60	297.70	187.36
Yalvaç	515.80	606.25	365.38	324.23	162.62

GET: Gerçek Evapotranspirasyon, PET: Potansiyel Evapotranspirasyon

3.2.1. Atabey İstasyonu Su Bilançosu Sonuçları

Atabey ilçesine ait Thornthwaite iklim sınıflandırmasına bakıldığında yağış etkinlik indeksi ve iklim özelliği Tablo 2’ye göre C1 “yarı-kurak az nemli”, sıcaklık etkinlik indeksi Tablo 2’ye göre B’2 2.Derece Mezotermal, nemlilik indeksi ve iklim özelliği Tablo 3’e göre “s” su fazlası kış mevsiminde ve orta derecede olan iklim özellikleri gösterdikleri ve ETP’nin üç yaz ayına oranı indeksinin Tablo 3’e göre b’2 sınıfında olduğu hesaplanmıştır. Atabey ilçesi Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre C1, B’2 2.Derece Mezotermal, s, b’2 iklim türünde olduğu belirlenmiştir. MGM (2016)’nın Atabey ilçesi için belirlediği iklim özelliği ile benzerlik göstermektedir. Karatepe (2004)’nin çalışmasıyla da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Atabey ilçesi için iklim parametreleri analiz edilerek su bilançosu hazırlanmış (Tablo 7) ve su bilançosu parametrelerine göre de su bilançosu diyagramı çizilmiştir (Şekil 6). Su bilançosunun incelenmesi sonucunda, Atabey ilçesinde yağışın fazla olduğu ocak, şubat, mart ve nisan aylarında 126.61 mm su fazlası, diğer aylarda ise 376.55 mm su eksisi bulunmaktadır.



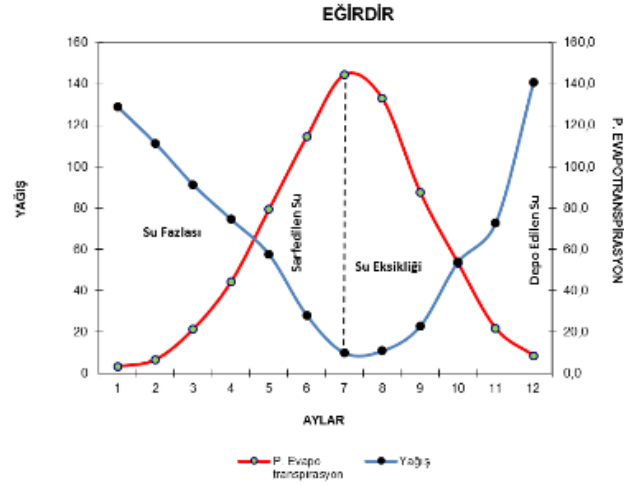
Şekil 6: Atabey istasyonuna ait su bilançosu diyagramı

Tablo 7: Atabey ilçesine ait su bilançosu

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Sıcaklık	1.7	3.1	6.5	10.9	15.8	20.6	24.5	24.5	19.8	14.2	8.1	3.5	12.8
Sıcaklık İndisi	0,20	0,48	1,49	3,25	5,71	8,53	11,09	11,09	8,03	4,86	2,08	0,58	57,40
G	0.9	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	
PET	2.9	6.8	19.0	39.1	65.7	95.1	121.1	121.1	90.0	56.6	25.9	8.0	651.28
DET	2.5	5.7	19.6	43.1	80.1	116.9	151.4	141.7	92.7	54.9	21.9	6.7	737.20
Yağış	56.9	42.7	48.4	49.5	49.1	29.7	16.9	15.2	18.5	31.7	36.6	61.9	457.10
Su Depo, mm	100	100	100	100	69	0	0	0	0	0	14.6	69.8	
Depo Değiş, mm	0	0	0	0	-31.0	-69.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6	55.2	
GET, mm	2.5	5.7	19.6	43.1	80.1	98.7	16.9	15.2	18.5	31.7	21.9	6.7	360.65
Su Fazlası, mm	54.4	37.0	28.8	6.4	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	126.61
Su Eksikliği, mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	134.5	126.5	74.2	23.2	0.0	0.0	376.55
Nemlilik%	21.6	6.5	1.5	0.10	-0.40	-0.70	-0.90	-0.90	-0.80	-0.40	0.70	8.30	34.49
Yüzeysel Akış, mm	27.2	32.1	30.45	18.4	9.2	4.6	2.3	1.1	0	0	0	0	125.4

3.2.2. Eğirdir İstasyonu Su Bilançosu Sonuçları

Eğirdir ilçesine ait Thornthwaite iklim sınıflandırmasına bakıldığında yağış etkinlik indeksi ve iklim özelliği Tablo 2'ye göre C2 "yarı nemli", sıcaklık etkinlik indeksi Tablo 2'ye göre B'2 2.Derece Mezotermal, nemlilik indeksi ve iklim özelliği Tablo 3'e göre "s2" su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan iklim özellikleri gösterdikleri ve ETP'nin üç yaz ayına oranı indeksinin Tablo 3'e göre b'3 sınıfında olduğu hesaplanmıştır. Eğirdir ilçesi Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre C2, B'2 2.Derece Mezotermal, s2, b'3 iklim türünde olduğu belirlenmiştir. MGM (2016)'nın Eğirdir ilçesi için belirlediği iklim özelliği ile benzerlik göstermektedir. Dursun ve Babalık (2021)'ın yaptığı çalışmalarıyla da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Aktaş vd. (2018) tarafından Eğirdir Gölü havzasında yapılan çalışmada iklim özelliğinin yarı kurak-nemli arası olduğu ortaya koyulmuştur. Bu sonuçların çalışmamızla benzerlik gösterdiği söylenebilir. Eğirdir ilçesi için iklim parametreleri analiz edilerek su bilançosu hazırlanmış (Tablo 8) ve su bilançosu parametrelerine göre de su bilançosu diyagramı çizilmiştir (Şekil 7). Su bilançosunun incelenmesi sonucunda, Eğirdir ilçesinde yağışın fazla olduğu aylarda 330.18 mm su fazlası, diğer aylarda ise 329.52 mm su eksikliği mevcuttur.



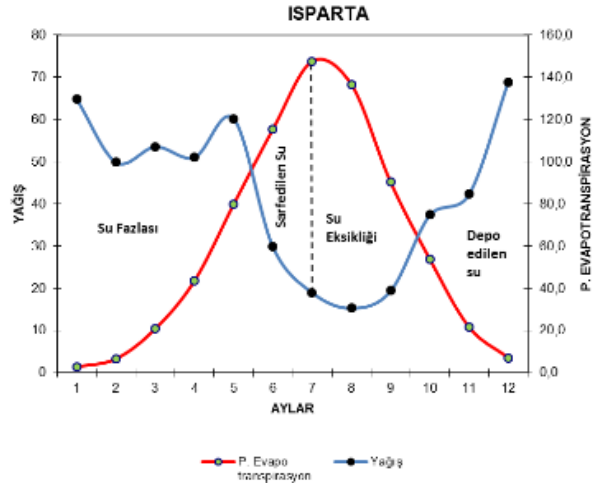
Şekil 7: Eğirdir istasyonuna ait su bilançosu diyagramı

Tablo 8: Eğirdir ilçesine ait su bilançosu

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Sıcaklık	1.8	3.2	6.6	10.8	15.4	20.1	23.6	23.3	18.8	13.6	7.7	3.9	12.4
Sıcaklık İndisi	0.21	0.51	1.52	3.21	5.49	8.22	10.48	10.28	7.43	4.55	1.92	0.69	54.51
G	0.9	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	
PET	3.6	7.8	20.7	40.3	65.0	93.1	115.6	113.6	85.1	54.9	25.5	10.2	635.34
DET	3.1	6.5	21.3	44.3	79.3	114.5	144.5	132.9	87.7	53.3	21.7	8.5	717.5
Yağış	128.8	111.1	91.1	74.4	57.6	28.1	9.9	10.9	22.8	53.8	72.8	140.7	802
Su Depo, mm	100	100	100	100	78.3	0	0	0	0	0	51.1	183.3	
Depo Değiş, mm	0	0	0	0	-21.7	-78.3	0.0	0.0	0.0	0.0	51.1	132.2	
GET, mm	3.1	6.5	21.3	44.3	79.3	106.4	9.9	10.9	22.8	53.8	21.7	8.5	388.43
Su Fazlası, mm	125.7	104.6	69.8	30.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	330.18
Su Eksikliği, mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	134.6	122.0	64.8	0.0	0.0	0.0	329.52
Nemlilik%	40.70	15.90	3.30	0.70	-0.30	-0.70	-0.90	-0.90	-0.70	0.01	2.40	15.60	75.05
Yüzeysel Akış, mm	62.8	83.7	76.8	53.4	26.7	13.3	6.7	3.4	1.66	0.8	0	0	329.3

3.2.3. Isparta (Merkez) İstasyonu Su Bilançosu Sonuçları

Isparta (Merkez)'e ait Thornthwaite iklim sınıflandırması incelendiğinde yağış etkinlik indeksi ve iklim özelliği Tablo 2'ye göre C1 "yarı-kurak az nemli", sıcaklık etkinlik indeksine göre Tablo 2'ye göre B'2 2.Derece Mezotermal, nemlilik indeksi ve iklim özelliğinin Tablo 3'e göre "s2" su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan iklim özellikleri gösterdikleri ve ETP'nin üç yaz ayına oranı indeksinin Tablo 3'e göre b'3 sınıfında olduğu hesaplanmıştır. Isparta (Merkez) için Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre C1, B'2 2.Derece Mezotermal, s2, b'3 iklim türünde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, MGM (2016)'nın Isparta ili için belirlediği iklim özellikleri ile benzerlik göstermektedir. Babalık ve Sönmez (2009) ile Dursun ve Babalık (2021)'in yaptıkları çalışmalarla da çalışmamızın benzerlik gösterdiği söylenebilir. Isparta (Merkez) ait iklim parametreleri analiz edilerek su bilançosu hazırlanmış (Tablo 9) ve su bilançosu parametrelerine göre de su bilançosu diyagramı çizilmiştir (Şekil 8). Su bilançosunun incelenmesi sonucunda, Isparta (Merkez)'da yağışın fazla olduğu aylarda 145.81 mm su fazlası, diğer aylarda ise 342.16 mm su eksikliği olduğu görülmektedir.



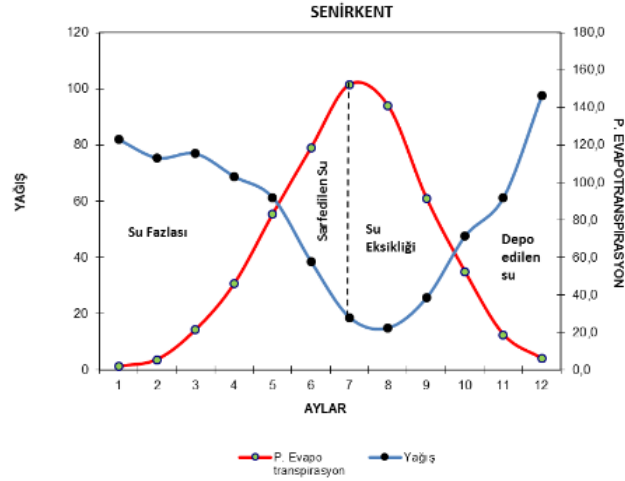
Şekil 8: Isparta (Merkez) istasyonuna ait su bilançosu diyagramı

Tablo 9: Isparta (Merkez)'e ait su bilançosu

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Sıcaklık	1.7	3.3	6.6	10.8	15.6	20.3	24	23.8	19.3	13.8	7.8	3.5	12.5
Sıcaklık İndisi	0.20	0.53	1.52	3.21	5.60	8.34	10.75	10.61	7.73	4.65	1.96	0.58	55.70
G	0.9	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	
PET	3.2	7.8	20.2	39.6	65.5	93.9	118.0	116.7	87.6	55.4	25.4	8.5	614.54
DET	2.7	6.6	20.8	43.5	79.9	115.4	147.5	136.5	90.2	53.7	21.6	7.0	725.40
Yağış	64.8	49.9	53.6	51.1	60.2	29.8	19	15.3	19.4	37.4	42.3	68.9	511.70
Su Depo, mm	100	100	100	100	80.3	0	0	0	0	0	20.7	82.6	
Depo Değiş, mm	0	0	0	0	-19.7	-80.3	0.0	0.0	0.0	0.0	20.7	61.9	
GET, mm	2.7	6.6	20.8	43.5	79.9	110.1	19	15.3	19.4	37.4	21.60	7.0	383.26
Su Fazlası, mm	62.1	43.3	32.8	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	145.81
Su Eksikliği, mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	128.5	121.2	70.8	16.3	0.0	0.0	342.16
Nemlilik%	22.90	6.60	1.60	0.20	-0.25	-0.70	-0.90	-0.90	-0.80	-0.30	0.90	8.80	37.18
Yüzeysel Akış, mm	31.0	37.2	34.9	21.3	10.6	5.3	2.6	1.3	0.6	0	0	0	145.1

3.2.4. Senirkent İstasyonu Su Bilançosu Sonuçları

Senirkent ilçesine ait Thornthwaite iklim sınıflandırmasına bakıldığında yağış etkinlik indeksi ve iklim özelliğine göre Tablo 2'ye göre C2 "yarı nemli", sıcaklık etkinlik indeksine göre Tablo 2'ye göre B'2 2.Derece Mezotermal, nemlilik indeksi ve iklim özelliğinin Tablo 3'e göre "s2" su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan iklim özellikleri gösterdikleri ve ETP'nin üç yaz ayına oranı indeksinin Tablo 3'e göre b'3 sınıfında olduğu hesaplanmıştır. Senirkent ilçesi Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre C2, B'2 2.Derece Mezotermal, s2, b'3 iklim türünde olduğu belirlenmiştir. Yıldız (2011) ile Dursun ve Babalık (2021)'in yaptığı çalışmalarıyla da benzerlik göstermektedir. Senirkent ilçesine ait iklim parametreleri analiz edilerek su bilançosu hazırlanmış (Tablo 10) ve su bilançosu parametrelerine göre de su bilançosu diyagramı çizilmiştir (Şekil 9). Su bilançosunun incelenmesi sonucunda, Senirkent ilçesinde yağışın fazla olduğu aylarda 228.46 mm su fazlası, diğer aylarda ise 332.34 mm su eksikliği olduğu görülmektedir.



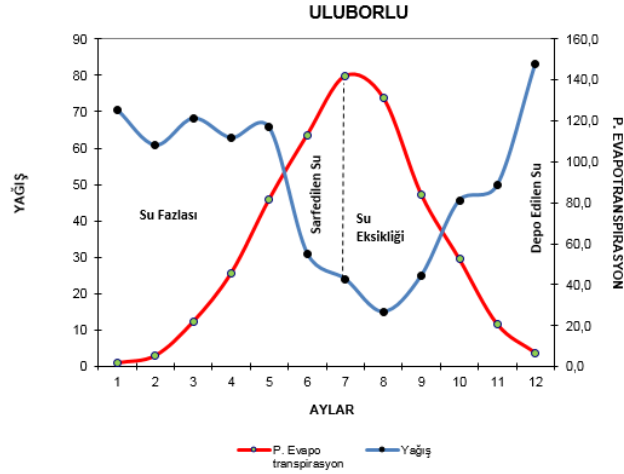
Şekil 9: Senirkent istasyonuna ait su bilançosu diyagramı

Tablo 10: Senirkent ilçesine ait su bilançosu

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Sıcaklık	1.3	3	6.9	11.4	16.2	20.8	24.6	24.4	19.6	13.7	7.2	3.2	12.7
Sıcaklık İndisi	0.13	0.46	1.63	3.48	5.93	8.66	11.16	11.02	7.91	4.60	1.74	0.51	57.23
G	0.9	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	
PET	2.0	6.5	20.8	41.8	68.1	96.4	121.8	120.4	88.8	53.9	22.0	7.1	649.69
DET	1.7	5.5	21.4	45.9	83.1	118.6	152.3	140.9	91.4	52.3	18.7	5.9	737.78
Yağış	81.9	75.4	76.9	68.8	61.3	38.4	18.6	14.9	25.6	47.5	61.3	97.6	668.20
Su Depo, mm	100	100	100	100	78.2	0	0	0	0	0	42.6	134.3	
Depo Değiş, mm	0	0	0	0	-21.8	-78.2	0.0	0.0	0.0	0.0	42.6	91.7	
GET, mm	1.7	5.5	21.4	45.9	83.1	116.6	18.6	14.9	25.6	47.5	18.7	5.9	405.44
Su Fazlası, mm	80.2	69.9	55.5	22.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	228.46
Su Eksikliği, mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	133.7	126.0	65.8	4.8	0.0	0.0	332.34
Nemlilik%	45.80	12.8	2.60	0.50	-0.30	-0.70	-0.90	-0.90	-0.70	-0.10	2.30	15.50	75.97
Yüzeysel Akış, mm	40.1	55	55.2	39.1	19.5	9.7	4.9	2.4	1.2	0.6	0	0	227.9

3.2.5. Uluborlu İstasyonu Su Bilançosu Sonuçları

Uluborlu ilçesine ait Thornthwaite iklim sınıflandırmasına incelendiğinde yağış etkinlik indeksi ve iklim özelliğine göre Tablo 2'ye göre C2 "yarı nemli", sıcaklık etkinlik indeksine göre Tablo 2'ye göre B'1 2.Derece Mezotermal, nemlilik indeksi ve iklim özelliğinin Tablo 3'e göre "s2" su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan iklim özellikleri gösterdikleri ve ETP'nin üç yaz ayına oranı İndeksinin Tablo 3'e göre b'3 sınıfında olduğu hesaplanmıştır Uluborlu ilçesi için Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre C2, B'1 2.Derece Mezotermal, s2, b'3 iklim türünde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, MGM (2016)'nın belirlediği iklim özellikleri ile benzerlik göstermektedir. Karatepe ve Kantarcı (2017)'nin çalışmasıyla da çalışmamız benzerlik göstermektedir. Uluborlu ilçesine ait iklim parametreleri analiz edilerek su bilançosu hazırlanmış (Tablo 11) ve su bilançosu parametrelerine göre de su bilançosu diyagramı çizilmiştir (Şekil 10). Su bilançosunun incelenmesi sonucunda, Uluborlu ilçesinde yağışın fazla olduğu aylarda 187.36 mm su fazlası, diğer aylarda ise 297.70 mm su eksikliği olduğu görülmektedir.



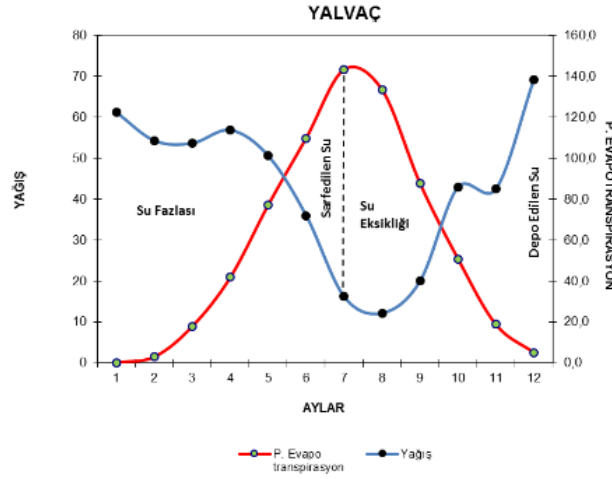
Şekil 10: Uluborlu istasyonuna ait su bilançosu diyagramı

Tablo 11: Uluborlu ilçesi su bilançosu

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Sıcaklık	1.2	2.7	6.6	10.9	15.6	19.8	23.2	23	18.1	13.3	7.3	3.2	12.1
Sıcaklık İndisi	0.12	0.39	1.52	3.25	5.60	8.03	10.21	10.08	7.01	4.40	1.77	0.51	52.90
G	0.9	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	
PET	2.2	6.6	21.4	41.7	67.0	91.9	113.4	112.1	81.6	54.3	24.5	8.2	624.90
DET	1.9	5.5	22.1	45.8	81.8	113.0	141.7	131.1	84.0	52.6	20.8	6.8	707.38
Yağış	70.6	60.9	68.3	62.9	65.7	31.1	24.1	15.1	25	45.7	49.9	83.2	602.50
Su Depo, mm	100	100	100	100	83.9	0	0	0	0	0	29.1	105.5	
Depo Değiş, mm	0	0	0	0	-16.1	-83.9	0.0	0.0	0.0	0.0	29.1	76.4	
GET, mm	1.9	5.5	22.1	45.8	81.8	115	24.1	15.1	25	45.7	20.8	6.8	409.60
Su Fazlası, mm	68.7	55.4	46.2	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.36
Su Eksikliği, mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.0	117.6	116.0	59.1	6.9	0.0	0.0	297.70
Nemlilik%	35.60	10.0	2.1	0.4	-0.2	-0.70	-0.80	-0.90	-0.70	-0.10	1.40	11.20	57.24
Yüzeysel Akış, mm	34.3	44.9	45.5	31.3	15.6	7.8	3.9	1.9	0.9	0	0	0	186.4

3.2.6. Yalvaç İstasyonu Su Bilançosu Sonuçları

Yalvaç ilçesine ait Thornthwaite iklim sınıflandırmasına bakıldığında yağış etkinlik indeksi ve iklim özelliğine göre Tablo 2'ye göre C1 "yarı-kurak az nemli", sıcaklık etkinlik indeksine göre Tablo 2'ye göre B'1 2.Derece Mezotermal, nemlilik indeksi ve iklim özelliğinin Tablo 3'e göre "s2" su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan iklim özellikleri gösterdikleri ve ETP' nin üç yaz ayına oranı indeksinin Tablo 3'e göre b'3 sınıfında olduğu hesaplanmıştır. Yalvaç ilçesi Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre C1, B'1 2.Derece Mezotermal, s2, b'3 iklim türünde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, MGM (2016)'nın belirlediği iklim özellikleri ile benzerlik göstermektedir. Karatepe ve Kantarcı (2017)'nin çalışmasında da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Yalvaç ilçesine ait iklim parametreleri analiz edilerek su bilançosu hazırlanmış (Tablo 12) ve su bilançosu parametrelerine göre de su bilançosu diyagramı çizilmiştir (Şekil 11). Su bilançosunun incelenmesi sonucunda, Yalvaç ilçesinde yağışın fazla olduğu aylarda 162.62 mm su fazlası, diğer aylarda ise 324.23 mm su eksikliği olduğu görülmektedir.



Şekil 11: Yalvaç istasyonuna ait su bilançosu diyagramı

Tablo 12: Yalvaç ilçesi su bilançosu

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Sıcaklık	0.2	1.6	5.4	9.9	14.7	19.2	23.3	23.2	18.5	12.7	6.5	2.4	11.5
Sıcaklık İndisi	0.01	0.18	1.12	2.81	5.12	7.67	10.28	10.21	7.25	4.10	1.49	0.33	50.57
G	0.9	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	
PET	0.2	3.6	17.4	38.0	63.3	89.3	114.6	114.0	85.1	52.4	22.1	6.1	606.25
DET	0.2	3.5	17.9	41.8	77.2	109.8	143.20	133.30	87.7	50.8	18.8	5.10	689.06
Yağış	61.2	54.3	53.7	56.9	50.6	36	16.2	12.2	20	43	42.5	69.2	515.80
Su Depo, mm	100	100	100	100	73.4	0	0	0	0	0	23.7	87.8	
Depo Değiş, mm	0	0	0	0	-26.6	-73.4	0.0	0.0	0.0	0.0	23.7	64.1	
GET, mm	0.2	3.6	17.9	41.8	77.2	109.4	16.2	12.2	20	43	18.8	5.1	365.38
Su Fazlası, mm	61.0	51.3	35.8	15.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	162.62
Su Eksikliği, mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	127.0	121.1	67.7	7.9	0.0	0.0	324.23
Nemlilik%	284.7	16.8	1.9	0.4	-0.3	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8	-0.2	1.3	12.6	313.97
Yüzeysel Akış, mm	30.5	40.6	38.2	26.6	13.3	6.7	3.4	1.7	0.8	0	0	0	161.8

3.3. Köppen-Trewartha İklim Sınıflandırması

Isparta ili ve ilçelerdeki (Atabey, Eğirdir, Senirkent, Uluborlu ve Yalvaç) istasyonların 1990-2020 yılları arası sıcaklık ve yağış değerleri baz alınarak Köppen-Trewartha metodu ile iklim sınıflandırması yapılmıştır. İklim tipinin belirlenmesi için Isparta istasyonu örnek alınarak hesaplama yapılmış ve aşağıdaki işlem adımları izlenmiştir (Tablo 13).

Tablo 13: Isparta istasyonuna ait uzun yıllara ait (1990-2020) sıcaklık ve yağış değerleri

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam
Sıcaklık (°C)	1,7	3,3	6,6	10,8	15,6	20,3	24	23,8	19,3	13,8	7,8	3,5	12,54
Yağış(mm)	64,8	49,9	53,6	51,1	60,2	29,8	19	15,3	19,4	37,4	42,3	68,9	511,70

1.Adım Tablo 4' e göre "A" iklim tipine girip girmediğine bakılır, buna göre Isparta istasyonu ait 1990-2020 yılları arası sıcaklık ve yağış değerleri Tablo 13'de verilmiştir. Isparta istasyonu "A" iklim tipine girmez, çünkü en düşük ay sıcaklığı 18°C'den büyük değildir.

2.Adım Tablo 4' e göre "B" iklim tipine girip girmediğine bakılır, buna göre ise "R" limit değeri bulunmaktadır. Kış ayları yağışı 31,69 cm'dir. Kış aylarında meydana gelen yıllık yağış yüzdesi $P_w = 61,93$ olduğundan limit değer $R = 30,21$ cm olarak belirlenir. Yıllık yağış 51,17 cm'dir. P "Yıllık yağış miktarı" "R" değerinden büyük bulunduğu için Isparta istasyonu "B" iklim tipine girmediği sonucuna varılmaktadır.

3. Adım Tablo 4' e göre "C" iklim tipine girip girmediğine bakıldığında P (yıllık toplam yağış) hesaplanan limit değerden yüksekse, "C" Sıcak Ilıman İklim veya "D" Soğuk İklim tipini ifade eder. Bu durumda sıcaklık değerlerine bakılır. Bu durumda sıcaklık değerlerine bakılır. 8 ila 12 ay ortalama sıcaklık 10°C'nin üstündeyse ve en soğuk ay sıcaklığı 18°C den düşükse "C" Subtropikal İklimler sınıfına girmektedir. Fakat Isparta istasyonu verileri incelendiğinde 7 ay 10°C'nin üstündedir. Bu sebepten Isparta istasyonu "C" iklim tipine girmemektedir.

4. Adım Tablo 4' e göre "D" iklim tipine girip girmediğine bakıldığında 4 ile 7 ay ortalama sıcaklık 10°C'nin üstünde olması ön koşulu aranmaktadır. Atabey istasyonu verileri incelendiğinde 7 ay 10°C'nin üstündedir. Böylelikle Isparta istasyonu "D" iklim sınıfında olduğu bulunmaktadır.

5. Adım Tablo 4' e göre belirlenen "D" iklim sınıfının 2. harfinin belirlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada en soğuk ay sıcaklığının 2°C'nin altında olması sebebiyle "Dc" "İlman Karasal" olarak belirlenmiştir.

6. Adım Tablo 4' e göre belirlenen iklim sınıfı ve 2. Harfin belirlenmesinden sonra 3. ve 4. harfin belirlenmesidir. Bu aşamada Tablo 5'den yararlanılmaktadır. En sıcak ay 24,0°C ile 3. harf "a" "sıcak" olarak belirlenirken en düşük sıcaklık 1,7°C değeriyle 4. harf "k" "serin" olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak örnek olarak ele alınan Isparta istasyonu Köppen-Trewartha iklim sınıflandırmasına göre "D"(İlman İklimler), "c"(İlman Karasal), "a"(sıcak), "k" (serin) olarak "Dack" olarak belirlenmiştir. Isparta (Merkez), istasyonundaki iklim sınıflandırması Atabey, Eğirdir, Uluborlu, Senirkent ve Yalvaç istasyonlarında da aynı sonuçlara karşılık gelmektedir.

MGM (2018)'e göre Isparta için yapılan sınıflandırma "Dack" (Yazları sıcak, Kışları serin, İlman Karasal) olarak belirlenmiştir. Bu sonuç araştırma sonucuyla benzerlik göstermektedir.

Ülkemizde Köppen İklim Sınıflandırmasında 5 sınıf görülmektedir. Aynı şekilde, Köppen-Trewartha iklim sınıflandırmasında 5 sınıf görülmüştür. Köppen iklim sınıflandırmasında %65 ile en çok Cs sınıfı görülürken, Köppen-Trewartha iklim sınıflandırmasında Cs %31'e düşerken en çok %47 ile Dc görülmektedir (MGM 2018).

3.4. Köppen-Trewartha ve Thornthwaite Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Köppen-Trewartha ve Thornthwaite yöntemleri yaygın olarak kullanılan iklim tipini belirleme yöntemlerindendir. Bu iki yöntemin karşılaştırıldığı bu çalışmada Köppen-Trewartha ve Thornthwaite iklim indis yöntemleri kullanılarak Isparta yöresine ait iklim tipleri belirlenmiştir. Köppen-Trewartha iklim sınıflandırmasına göre Isparta ve diğer ilçe istasyonlarının tümünde "Dack" (yazları sıcak, kışları serin, ılıman karasal) olarak belirlenmiştir. Thornthwaite yöntemine göre yapılan değerlendirmeler sonucunda ise Atabey ve Yalvaç istasyonlarının "yarı kurak- az nemli" iklim sınıfında; Eğirdir, Isparta (Merkez), Senirkent ve Uluborlu ilçelerinin ise "yarı nemli" iklim sınıfında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 14).

Yöntemler karşılaştırıldığında, araştırma istasyonlarının verilerine göre Thornthwaite yönteminde "yarı kurak- yarı nemli" olarak değişim gösterdiği, Köppen-Trewartha yönteminde ise tüm istasyonların "ılıman karasal" iklim özelliği gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 14). Çalışmada kullanılan yöntemlerin benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tablo 14: Köppen-Trewartha ve Thornthwaite yöntemlerinin karşılaştırılması

İstasyon	Köppen-Trewartha İklim İndisleri	Köppen-Trewartha İklim Özellikleri	Thornthwaite İklim İndisleri	Thornthwaite İklim Özellikleri
Atabey	Dack	Yazları sıcak, Kışları serin, İlman Karasal	C1, B'2, s, b'2	Yarı Kurak- Az Nemli
Eğirdir	Dack	Yazları sıcak, Kışları serin, İlman Karasal	C2, B'2, s2, b'3	Yarı Nemli
Isparta	Dack	Yazları sıcak, Kışları serin, İlman Karasal	C1, B'2, s2, b'3	Yarı Nemli
Senirkent	Dack	Yazları sıcak, Kışları serin, İlman Karasal	C2, B'2, s2, b'3	Yarı Nemli
Uluborlu	Dack	Yazları sıcak, Kışları serin, İlman Karasal	C2, B'1, s2, b'3	Yarı Nemli
Yalvaç	Dack	Yazları sıcak, Kışları serin, İlman Karasal	C1, B'1, s2, b'3	Yarı Kurak- Az Nemli

4. Sonuç ve Öneriler

Isparta ilinin iklim tipini ve su bilançosunu belirlemek amacıyla yapılmış olan bu çalışmada, Isparta il sınırları içerisindeki 6 istasyonun aylık yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak, Thornthwaite ve Köppen-Trewartha iklim indisleri hesaplanmıştır. Thornthwaite iklim sınıflandırması yöntemine göre yapılan değerlendirmeler sonucunda; Atabey ilçesinin C1, B'2, s, b'2, Eğirdir ilçesinin C2, B'2, s2, b'3, Isparta (Merkez)'nin C1, B'2, s2, b'3, Senirkent ilçesinin C2, B'2, s2, b'3, Uluborlu ilçesinin C2, B'1, s2, b'3 ve Yalvaç ilçesinin ise C1, B'1, s2, b'3 iklim türünde olduğu belirlenmiştir. Bu sınıflandırmalara bakıldığında Atabey ve Yalvaç istasyonlarının "yarı kurak- az nemli" iklim sınıfında, Eğirdir, Isparta (Merkez), Senirkent ve Uluborlu ilçelerinin ise "yarı nemli" iklim sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Köppen-Trewartha iklim sınıflandırmasında Isparta ve diğer ilçe istasyonlarının tümünde "Dack" (Yazları sıcak, Kışları serin, İlman Karasal) olarak belirlenmiştir. Araştırma alanının, Akdeniz iklimi ile karasal iklim arasında geçiş bölgesi olması nedeniyle sıcaklığın yıl içerisindeki değişiminde önemli bir etkisi vardır. Sıcaklık değerlerinde ayrıca denize olan mesafe, Eğirdir Gölü'nün etkisi ve topoğrafya gibi unsurların etkili olduğu söylenebilir. Çalışma alanının su bilançosu grafikleri analiz edildiğinde, bilhassa yaz aylarında su eksikliğinin oldukça fazla olduğu görülmektedir.

Bu bağlamda iklim tipi tespitinde kullanılan Köppen-Trewartha ve Thornthwaite yöntemleri kıyaslandığında Thornthwaite yöntemi daha ayrıntılıdır. Thornthwaite, yağış ile toprağın nemlilik derecesi, yüzeysel akış ve su ihtiyacı gibi çok önemli hususları ortaya koymaktadır. Thornthwaite sınıflandırmasının asıl amacı her ne kadar farklı iklim tiplerini belirlemekse de özellikle uygulamada tarım, hidrojeoloji, su kaynaklarının geliştirilmesi gibi konularda evapotranspirasyonun doğrudan hesaplanmadığı yerlerde geniş kullanım alanı bulmaktadır. Bununla birlikte araştırmada kullanılan yöntemlerin benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bir yerin iklim karakterinin ve su potansiyelinin bilinmesi o yöreyle ilgili her türlü aktivitenin planlanması açısından oldukça önemlidir. O bölgede yetiştirilmesi düşünülen ürünün planlanmasından kurulacak olan sanayi tesisine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. İklim sınıflandırmalarında yerel alanlarda çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmalar toprak, su, sanayi, orman ve tarım ile ilgilenenler için önemlidir. Ayrıca ormancılık çalışmaları açısından Thornthwaite'ın kullanımı yaygındır. Özellikle ağaçlandırma çalışmalarının yapılacağı bölgelerde tür tercihinin yapılması açısından iklim tipi ve su potansiyelinin bilinmesi önemlidir. Yine ağaçlandırma alanlarında yaşanan kurumaların iklimle ilişkili olup olmadığını araştırmak için de bu yöntemler kullanılmaktadır.

Çalışmamızda oluşturulan su bilançosu tablolarına göre su baskınlarının oluşabileceği ve fazla suya göre bunun şiddeti, aynı şekilde su noksanlığının oluşacağı aylarda, gereksinim duyulan su miktarının belirlenmesi ve depolanması sağlanabilir ve bu doğrultuda bir planlama yapılabilir. Baraj ve sulama göletlerinde depolanan su miktarı ile sulama amacıyla kullanılacak olan su miktarı arasında dengeyi kurmak ve bu denge durumu doğrultusunda suyun kullanımı için o bölgenin iklim tipi ve su bütçesinin bilinmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- Aktaş S., Kalyoncuoğlu Ü.Y., Anadolu Kılıç N.C., (2018), *Eğirdir Göl Havzasının De Martonne Yöntemi ile kuraklık analizi*, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(2), 229-238.
- Babalık A.A., Sönmez K., (2009), *Isparta-Davraz Dağı Kulova Yaylasında meraların otlatma periyodunun ve toprağın otlatma tavinin belirlenmesi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(2), 142-146.
- Bacanlı Ü.G., Saf B., (2005), *Kuraklık belirleme yöntemlerinin Antalya ili örneğinde incelenmesi*, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Sempozyumu, Antalya, ss.184-196.
- Birsoy Y., Ölgün K., (1992), *Thornthwaite yöntemi ile su bilançosunun ve iklim tipinin belirlenmesinde bilgisayar kullanımı*, Ege Coğrafya Dergisi, 6, 153-178.
- Çiçek İ., (1996), *Thornthwaite metoduna göre Türkiye'de iklim tipleri*, Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Araştırmaları Dergisi, 12, 33-71.
- Çoban A., (2013), *Sungurlu-Boğazkale yöresinin iklim tipleri ve bazı öneriler*, International Journal of Social Science, 6(3), 149-158.
- Çolak E., Memişoğlu T., (2021), *Thornthwaite iklim sınıflandırma yöntemine göre Karadeniz Bölgesi iklim sınır haritasının CBS ile üretilmesi*, Geomatik, 6(1), 31-43.
- Demir Y., Doğan Demir A., Meral R., Yüksel A., (2015), *Bingöl ovası iklim tipinin Thornthwaite ve Erinc indisine göre belirlenmesi*, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 2(4), 332-337.
- Dönmez Y., (1985), *Bitki Coğrafyası*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Dursun İ., Babalık A.A., (2021), *De Martonne-Gottman ve Standart Yağış İndeksi yöntemleri kullanılarak kuraklığın belirlenmesi: Isparta ili örneği*, Turkish Journal of Forestry, 22(3), 192-201.
- Erinc S., (1949), *The climates of Turkey according to Thornthwaite's classifications*, Annals of the Association of American Geographers, 39(1), 26-46.
- Erinc S., (1984), *Klimatoloji ve Metodları*, İstanbul Üniversitesi Yayın no: 3278, Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Yayın no:2, İstanbul.
- Erol O., (1999), *Genel Klimatoloji (Genişletilmiş 5. Baskı)*, Çantay Kitabevi, İstanbul, 445ss.
- Geiger R., (1954), *Klassifikation der klimate nach W. Köppen. Landolt-Börnstein-Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik*, 3, 603-607.
- Güçlü Y., (2004), *Thornthwaite ve Erinc indislerine göre Köyceğiz-Fethiye yöresinin iklim tipleri*, Sakarya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 7, 216-225.
- Karatepe Y., (2004), *Eğirdir Gölü Havzası'nın yetiştirme ortamı özellikleri ve sınıflandırılması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karatepe Y., Kantarcı M.D., (2017), *Amenajman Planlarında Meşe Ormanlarının Tür Bazında Ayrım Gerekliliğinin Ekolojik Olarak Değerlendirilmesi*, IV. Ulusal Ormancılık Kongresi İnsan-Doğa Etkileşiminde Orman ve Ormancılık, Antalya, ss. 285-296.
- Köppen W., (1918), *Klassifikation der Klimada nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Classification of climates according to temperature, precipitation and seasonal cycle)*, Petermanns Geographische Mitteilungen, 64,193-203.
- Köppen W., (1936), *Das geographische system der klimat. Handbuch der klimatologie*, 46ss.
- MGM, (2016), *Thornthwaite İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/Thornthwaite.pdf [Erişim 25 Kasım 2021].
- MGM, (2018), *Köppen-Trewartha İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/K%C3%B6ppen-Trewartha.pdf [Erişim 25 Mart 2022].
- MGM, (2021), *Isparta ili iklim verileri*, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Öztürk M. Z., Çetinkaya G., Aydın S., (2017), *Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri*, Coğrafya Dergisi, 35, 17-27.
- Şensoy S., Ulupınar Y., (2007), *İklim Sınıflandırmaları*, http://www.dmi.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari.pdf 20/10/2010, [Erişim 26 Ekim 2021].
- Thornthwaite C.W., (1948), *An approach toward a rational classification*, Geographical Review, 38(1), 55-94.

- Thornthwaite C.W., Mather J.R., (1955), *The water balance*, Publications in climatology, Vol. 8, No. 1, Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, Centerton, New Jersey.
- Trewartha G.T., (1968), *An introduction to climate*, McGraw-Hill, New York, 408ss.
- Trewartha G. T., Horn L.H., (1980), *Introduction to climate*, 5th ed., McGraw Hill, New York, NY, 416ss.
- Topçu E., (2019), *Doğu Anadolu Bölgesi'nde Thornthwaite tipi aylık su bilançosu analizi*, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 8 (2), 688-705.
- Türkeş M., (2010), *Klimatoloji ve Meteoroloji*, Kriter Yayınevi, İstanbul, 650ss.
- URL-1, (2021), *Isparta Valiliği Isparta tarihi ve coğrafi özelliği*, <https://www.isparta.gov.tr>, [Erişim 16 Mayıs 2021].
- Uyan M., (2019), *Comparison of different interpolation techniques in determining of agricultural soil index on land consolidation projects*, International Journal of Engineering and Geosciences, 4(1), 28-35.
- Vörösmarty C.J., Federer C.A., Schloss A.L., (1998), *Evaporation functions compared on US watersheds: possible implications for global-scale water balance and terrestrial ecosystem modeling*, Journal of Hydrology, 207,147-169.
- Yeşilnacar M.İ., Yazgan M.S., Gerger, R., (1998), *GAP kapsamındaki illerin su bilançosu.*, II. Ulusal Hidroloji Kongresi, İstanbul, ss.283-294.
- Yıldız Y.T., (2011), *Isparta ilinde iklim-tarım ilişkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Yılmaz E., Çiçek İ., (2016), *Türkiye Thornthwaite iklim sınıflandırması*, Journal of Human Sciences, 13(3), 3973–3993.

Volkan Patlamalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleri ile İzlenmesi: Cumbre Vieja Volkanı (İspanya) Örneği

Özer Akyürek^{1,*}

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

Özet

Doğal afetler insanlar için çeşitli kayıplar oluşturan, hayatı kesintiye uğratarak tüm canlıları etkileyen olaylar olarak tanımlanmaktadır. Volkanlar, yerkürenin var oluşundan günümüze kadar geçen süre içerisinde, doğal yaşamı çeşitli açılardan etkilemişlerdir. Çeşitli açılardan yararları olduğu gibi (ısınma-jeotermal sular vb.), zararları da olmuştur. Doğal afetlerden bir tanesi olan volkanik patlamalar insanlık tarihi boyunca birçok yıkıma ve ölüme neden olmuştur ve olmaya devam etmektedir. Günümüz teknolojisinde volkanik afetlerin izlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama araçları, yönetim ve takibin ayrılmaz birer parçası olarak kullanılmaktadırlar. CBS ve Uzaktan Algılama, modern ve kullanışlı bir veri toplama ve işleme, analiz etme, sorgulama ve güncelleme araçları olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada 19 Eylül - 15 Kasım 2021 arasında geçen süre içerisinde Pleiades-1A, CosmoSky Med-radar, GeoEye-1 ve Landsat 8 verileri kullanılarak La Palma adasındaki Cumbre Vieja volkanından çıkan lavların adada yaşayan insanlara, yapılara ve arazi örtüsüne etkileri incelenmesi amaçlanmıştır. Volkandan çıkan lavların 1,042.07 hektarlık alana yayıldığı belirlenmiştir. Bu alan içerisinde 2,749 adet binanın tamamen yıkılmış veya kısmen hasar gördüğü yapılan analizlerde ortaya çıkarılmıştır. Zarar gören ulaşım hatlarının uzunluğu ise 80.1 km'ye ulaşmıştır. Yer yüzey sıcaklığı analizi ile bölgenin patlama öncesi ve sonrasında ait sıcaklık değişimi incelenmiştir. Yapılan CBS ve UA analizleri sonucunda çeşitli tarım alanları ve ormanlık alanlar ile birlikte yerleşim alanları ve okyanusun da zarar gördüğü saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler

Coğrafi Bilgi Sistemi, Doğal Afet, Risk Analizi, Volkan Patlaması, Cumbre Vieja

Monitoring Volcanic Eruptions with Geographical Information Systems and Remote Sensing Methods: The Case Study of Cumbre Vieja Volcano (Spain)

Abstract

Natural disasters are defined as events that cause various losses for people and affect all living things by interrupting life. Volcanoes have affected natural life in various ways, from the existence of the earth to the present. While they have benefits in various aspects (heating-geothermal waters, etc.), they also have harmful effects. Volcanic eruptions, one of the natural disasters, have caused many destructions and deaths throughout human history and continue to do so. In today's technology, Geographical Information Systems and Remote Sensing tools are used as an integral part of management and monitoring for monitoring volcanic disasters. GIS and Remote Sensing are used as modern and useful data collection and processing, analysis, querying, and updating tools. In this study, it was aimed to examine the effects of lava from Cumbre Vieja volcano on La Palma island on people, structures and land cover, using Pleiades-1A, CosmoSky Med, GeoEye-1 and Landsat 8 data between 19 September and 15 November 2021. It was determined that the lava coming out of the volcano spread over an area of 1,042.07 hectares. In this area, it was revealed in the analyzes that 2,749 buildings were destroyed or partially damaged. The length of the damaged transportation lines reached 80.1 km. The Land surface temperature analysis, the temperature changes of the region before and after the explosion were examined. As a result of the GIS and UA analyzes, it was determined that various agricultural areas and forest areas, as well as residential areas and the ocean, were also damaged.

Keywords

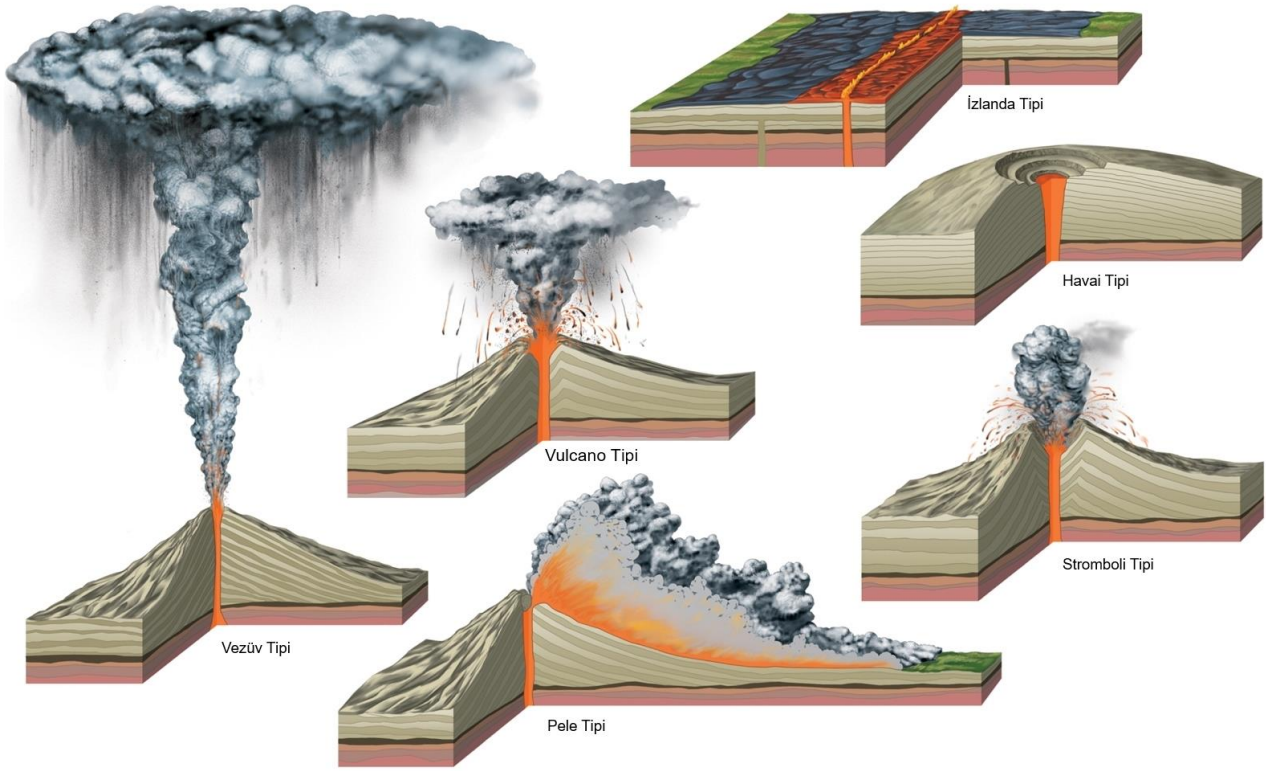
Geographical Information Systems, Natural Disaster, Risk Analysis, Volcanic Eruption, Cumbre Vieja

1. Giriş

İnsanlar için fiziksel ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, normal yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurarak veya kesintiye uğratarak toplulukları etkileyen doğal, teknolojik veya insan yapısı kökenli olaylar afet olarak tanımlanmaktadır (Ergünay 1996). Afetler doğal ve teknolojik (insan kaynaklı) olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Deprem, sel, heyelan, çığ, volkan patlaması, kasırga, tsunami gibi afetler doğal afet olarak nitelendirilmektedir. Teknolojik afetlere ise kimyasal ve nükleer kazalar, orman yangınları ve salgın hastalıklar örnek olarak gösterilebilir (Arca 2012).

Volkanlar, insanın yeryüzünde var oluşundan günümüze kadar geçen süre içerisinde, insan uygarlıklarını pek çok yönden etkilemişlerdir. Neolitik dönemde yaşayan ilkel insan, avcılık döneminde volkan lavlarının hızlı bir şekilde soğumasıyla oluşan volkanik cam (obsidiyen) kullanarak avlanmış, aktif volkanik alanlarda bulunan mağaraları ve sıcak su kaynaklarını kullanmıştır. Volkanların denetlenemez gücünden etkilenmiş ve zaman zaman onlara tapmışlardır. Öte yandan tarih boyunca da volkanların gazabından ve yıkıcı etkilerinden kurtulamamışlardır (Güngör 2017).

Volkanik püskürmelerin en önemli nedenlerinden birisini, çeşitli gazların içerisinde bulundukları magma tabakasından ayrılmaları oluşturur. Magma içindeki yüksek basınç altında bulunan gazlar, üzerlerindeki basıncın azalması ile birlikte magmadan hızla ayrılma eğilimi içerisine girerler. Üzerindeki basınç kalkan magma hafifleyerek püskürme özelliği kazanır ve bu durum sonucunda volkanik patlamalar gerçekleşir. Volkanlar, dışarıya ulaşan ergimiş magmanın türü, bileşimi ve miktarına bağlı olarak farklı şekillerde adlanır (Şekil 1). İzlanda tipi patlamada akıcı lavlar yükselerek yer yüzeyine yayılır. Vezüv tipi, çok şiddetli patlamalar hâlinde lav, kül ve gaz püskürmesi şeklinde gerçekleşir. Havai tipi patlamalarda koni oluşmazken, Vulcano tipi volkanlarda çok yüksek volkan konileri oluşabilir. Pele tipi volkanlarda ise büyük miktarda gaz, toz, kül ve lav parçaları genellikle büyük püsküren sütunlar şeklinde gerçekleşmektedir. Magma içerisinde biriken hava kabarcıklarının yüzeye ulaştığında hava basıncındaki farktan kaynaklanarak püskürmesi Stromboli tipi volkanik patlama olarak adlandırılmaktadır (URL-1 2021). Bu çalışmaya konu olan La Palma volkanı Stromboli tipi patlamalara örnek olarak gösterilir (URL-2 2021). Denetlenemez ancak öngörülebilir olan bu patlama türleri, volkanların yamaçlarında ve çevrelerinde yaşayan tüm canlılar için mutlak ve ani bir risk oluşturmaktadırlar (Güngör 2017).



Şekil 1: Volkanik patlama türleri (URL-1 2021)

Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) araçları afet yönetimi ve takibinin ayrılmaz birer parçası olmuşlardır. CBS'nin konumsal verileri yönetmedeki başarısı; konumsal analiz yapabilme yeteneği, elde edilen sonuçları görselleştirme ve sunabilme kapasitesinin yüksek olması ve ayrıca sorgulama yapabilme özelliği nedeniyle yapılan çalışmalarda tercih edilmesini sağlamıştır. UA görüntüleri ise özellikle volkan patlamaları gibi afet alanına yaklaşılamayan –erişilemeyen– durumlarda yüksek konumsal ve spektral çözünürlükte veri toplayabilme kabiliyetinden dolayı afet yönetimi ve takibinde sıklıkla kullanılmaktadır. Zamansal çözünürlük yeteneği sayesinde afetlerin öncesi ve sonrasındaki etkilerini izleyebilmede kullanılan bir veri kaynağıdır.

Literatürde CBS ve UA'nın bütüncül veya bireysel olarak kullanıldığı pek çok çalışma mevcuttur. Mouginiş-Mark (2000), volkan patlamalarında ve afet izlemede UA araçlarının öneminden bahsetmiştir. Havai, Galapagos ve Filipinler'de meydana gelen volkan patlamalarında çeşitli uzaktan algılama platformlarından sağlanan termal kızılötesi bandların nasıl kullanıldığı, uydu görüntülerinden oluşturulan dijital yükseklik modelleri ile topografik değişimlerin karşılaştırmalarının nasıl yapıldığı hakkında bilgi vermiştir. Arca (2012) doğal afet çalışmalarında UA ve CBS'nin aktif ve yaygın bir şekilde kullanıldığından ve sadece afetlerin izlenmesi ve etkilerinin belirlenmesinde değil, afetlerin öncesi ve sonrasında alınacak olan önlemlerin belirlenmesinde de kullanılabileceğini bildirmiştir.

Alcorn vd. (2013) yaptıkları çalışmalarında birçok parametreyi kullanarak CBS yardımıyla New Mexico Caldera vadisi Jemez dağlarındaki El Cajate Volkanı'nın olası bir patlama durumunda etrafında bulunan yerleşim yerlerine ait risk haritalarını oluşturmuşlardır. Ayrıca volkan çevresinde bulunan yerleşim yerlerinin zarar görebilirlik durumlarını da modellemişlerdir. Surwarsono vd. (2016) çalışmalarında 2013 yılında tekrardan aktif hale gelen Sinabung volkanını çalışmışlardır. Pek çok yıkıma sebep olan bu volkanın 2013-2016 yılları arasındaki aktivitelerini orta çözünürlükte görüntüler üreten Landsat-8 platformu ile incelemişlerdir. Çalışmalarında volkan patlamalarının ve lav akışının sebep olduğu hasarlı bölgelerin belirlenmesini amaçlamışlardır. Nurwihastuti vd. (2019) Endonezya'nın Kuzey Sumatra bölgesindeki aktif volkanlardan biri olan Sinabung Volkanı'nı çalışmışlardır. Çalışmalarından UA görüntülerini ve CBS kullanarak volkanik patlamanın jeomorfolojik karakteristiklerini analiz etmişlerdir. Bu karakteristiklerin analizinde uydu görüntülerini, jeolojik haritaları ve arazi ölçümlerini kullanmışlardır. Davila vd. (2019) çalışmalarında 2014-2016 yılları arasında Meksika'da bulunan Colima Volkanı'nın lav akışını uzaktan algılama görüntüleri ile izlemişlerdir. SPOT ve EO-1 görüntülerini kullanarak patlama öncesi ve sonrası görüntülerden elde edilen sayısal yüzey modelleri ile akan lav miktarını tespit etmişlerdir. Aldeghi vd. (2019) çalışmalarında Guatemala'da bulunan dünyanın en aktif ve en tehlikeli volkanlarından birisi olarak nitelendirdikleri Fuego Volkanı'nı yüksek çözünürlüklü (~3m) The Planet Labs CubeSat uzaktan algılama görüntüleri ile analiz etmişlerdir. Volkanın patlamasından önce, patlama sırasında ve sonrasında elde ettikleri görüntüler ile kül bulutlarının takibini, lav akışlarını ve morfolojik değişimleri incelemişlerdir. Bignami vd. (2020) ise çalışmalarında 2014-2015 yıllarında Cape Verde'de bulunan Fogo Volkanı'nı radar ve optik uydu görüntüleri ile incelemişlerdir. Görüntüler yardımıyla lav akışının takibini yapmışlar, değişim belirleme tekniklerini kullanarak volkan çevresinde meydana gelen deformasyonları analiz etmişlerdir. Cigna vd. (2020) yaptıkları derleme çalışmalarından volkanik aktivitenin izlenmesinde kullanılan uzaktan algılama araçlarından bahsetmişlerdir. Uzaktan algılama platformlarının hangi çeşitlerde veriler ürettiği ve bu verilerin volkan izlemede ne şekilde kullanıldığı hakkında bilgiler vermişlerdir. Ayrıca dünyanın çeşitli bölgelerinde faaliyet göstermiş olan volkanların analiz edildiği 2018 ile 2019 yılları arasındaki çalışmalara yer vermişlerdir. Etna, Fuego, Colima, Bezymianny, Holuhraun, Stromboli, Santorini, Lascar ve Villarrica volkanlarını UA teknikleri ile farklı şekillerde inceleyen 19 adet bilimsel makaleyi incelemişlerdir. Escayo vd. (2020) çalışmalarında 2006-2010 yılları arasında La Palma adası Cumbre Vieja Volkanı'nın izlenmesi için jeodezik (GNSS), radar interferometri (A-DInSAR) ve mikrogravimetre teknikleri ile topladıkları verileri analiz etmişlerdir. Yaptıkları analiz sonucunda yerçekimi değerlerinde herhangi bir değişiklik olmamasına rağmen konumsal ve zamansal olarak kesin bir yüzey deformasyonunun var olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Bu makalede incelenen çalışma alanı, İspanya'ya bağlı Kanarya Adaları'ndan birisi olan Afrika kıtasının kuzey batısında, Atlantik Okyanusu'nda bulunan La Palma'da 19 Eylül 2021 tarihi saat 15:10'da faaliyete geçen Cumbre Vieja Volkanı ve civarıdır (Şekil 2). La Palma Kanarya adalarının büyüklük bakımından beşinci (706 km²) ve yükseklik bakımından ise ikinci (2.423 m) adasıdır. Ada kuzey-güney yönünde uzanmaktadır ve içerisinde iki stratovolkan bulunmasından dolayı bir eyer biçiminde görünmektedir. Adanın kuzeyinde konik kuzey kalkanı ve güneyinde ise Cumbre Vieja Volkanı bulunur (Carracedo vd. 2001). Volkan 2426 metre yükseklikte ve 28.57 °K - 17.83 °B koordinatlarında bulunmaktadır. Cumbre Vieja Volkanı Kanarya Adaları'ndaki en aktif olanlardan biridir. Kuzey-Güney yönlü olan bu volkanın faaliyetleri yaklaşık 125.000 yıl öncesine kadar uzanmaktadır (URL-3 2022). 15. yüzyıldan beri kaydedilen patlamalarla Cumbre Vieja Volkanı'nı hafif şiddette patlayıcı aktivite ve yerleşim bölgelerine zarar veren lav akıntılarını üretmiştir. La Palma adasının güney ucu 1677-1678 yıllarında meydana gelen patlamalarla oluşan geniş bir lav örtüsüyle kaplıdır. 19 Eylül 2021 tarihinde meydana gelen son patlamada olduğu gibi 1585, 1646, 1712, 1949 ve 1971 yıllarında meydana gelen patlamalarda da oluşan lav akıntıları denize ulaşmıştır (URL-4 2013).

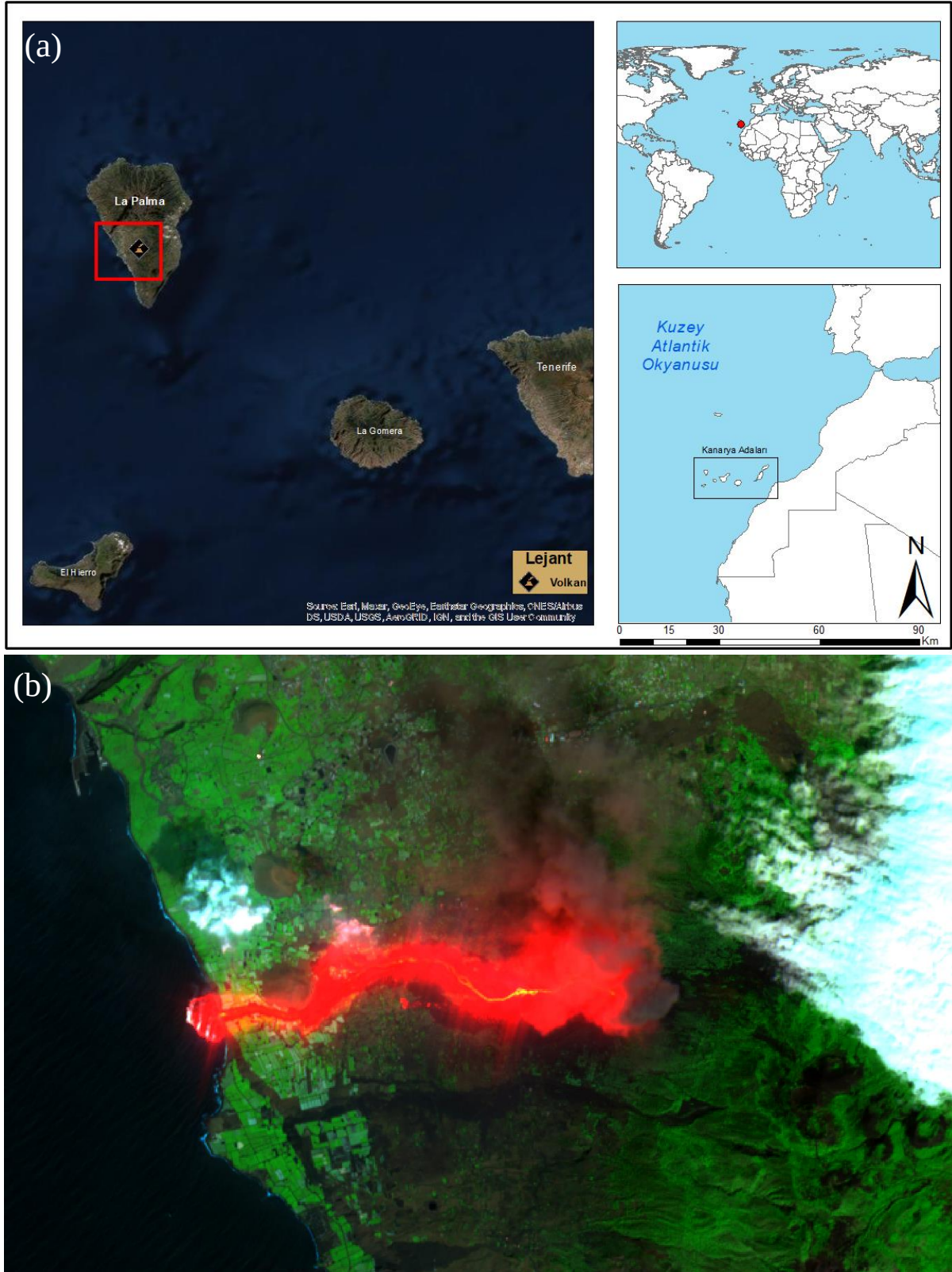
Bu çalışmada Cumbre Vieja Volkanı'nın faaliyete geçtiği gün olan 19 Eylül ile 15 Kasım tarihleri arasında 58 gün boyunca akan lav kütlelerinin yayıldığı alanlar UA ve CBS yardımıyla analiz edilmiştir. Lav akışından etkilenen yerleşim yerleri ve ulaşım hatları araştırılmıştır. Yer Yüzey Sıcaklığı (YYs) analizi ile lav akışının sebep olduğu sıcaklık artışı belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu akıştan etkilenen arazi örtüsü de analiz edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada veri seti olarak Avrupa Birliği tarafından Avrupa Çevre Ajansı ve Avrupa Uzay Ajansının destekleriyle yürütülen Kopernik (Copernicus) programı tarafından oluşturulan veriler kullanılmıştır (URL-5 2022).

Altı Kopernik Servisi, verileri işleyip analiz ederek ve bunları bilgilendirici haritalar, veri kümeleri gibi hizmetlere ve ürünlere dönüştürerek tam, ücretsiz ve açık veriler sunmaktadır. Bu servisler;

- Atmosfer İzleme Servisi
- Deniz Ortamı İzleme Servisi
- Arazi İzleme Servisi
- İklim Değişikliği Servisi
- Acil Durum Yönetim Servisi
- Güvenlik Servisidir (URL-6 2021).



Şekil 2: (a) Çalışma alanı, (b) 30.09.2021 tarihli Sentinel 2 görüntüsü (R:12, G:8A, B:4 (SWIR))

Bu çalışmada kullanılan vektör verilerin hepsi Acil Durum Yönetim Servisi (Copernicus Emergency Management Service, CEMS) tarafından oluşturulan verilerdir. Bu servis altındaki iki birimden bir tanesi olan Hızlı Haritalama (Rapid Mapping) yeryüzünde meydana gelen herhangi bir afet sonrasında saatler içerisinde çeşitli yer gözlem uyduları (optik ve radar görüntüleri) yardımıyla meydana gelen afet hakkında bilgi üretmeyi amaçlamaktadır. Birimin ürettiği veriler arasında direkt çıktı alınabilecek haritalar ve vektör veriler bulunmaktadır.

Vektör veriler Kopernik programının yetkisinde bulunan ve katkı sağlayan diğer platformlardan elde edilen görüntülerin görsel incelemesi yardımıyla oluşturulmaktadır. Görsel inceleme ile afet bölgesine ait belirlenen çalışma alanı içerisindeki binalar, ulaşım hatları, tesisler gibi birimler yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri üzerinden sayısallaştırılarak veri tabanına kaydedilir (Joubert-Boitat vd. 2020). Bu çalışmada afet öncesi görüntüsü olarak Pléiades-1A kullanılmıştır. Afet sonrasında lav akışının izlenmesi amacıyla ve lav kütlelerinin sınırlarının belirlenmesi için ise çoğunlukla COSMO-SkyMed radar ve GeoEye-1 görüntüleri üzerinden sayısallaştırma işlemi gerçekleştirilerek vektör veri tabanı CEMS tarafından oluşturulmuş ve kullanıcıların kullanımına sunulmuştur. Görüntüler üzerinden anlamlı geometrik ölçü yapılabilmesi için farklı sensörlerden alınmış görüntülerin geometrik olarak birbiri ile karşılaştırılması gerekmektedir. İlgili görüntüler üzerindeki tüm geometrik ve radyometrik işlem adımları CEMS tarafından yapılarak oluşturulan veri tabanlarında girdi veri seti olarak kullanılmıştır. İlgili birimin paylaştığı vektör veri seti içerisinde; çalışma alanı içerisinde bulunan binalar, ulaşım hatları, arazi örtüsü bilgileri, akan lav sınırları ve lavın yeryüzüne çıktığı baca konumları bulunmaktadır. Tüm bu veriler kullanılarak La Palma adasındaki Cumbre Vieja volkanından çıkan lavların ada içerisinde ve çevre adalarda bulunan insanlara, yapılara ve arazi örtüsü üzerine yaptığı etkilerin CBS ve UA teknikleri ile incelenmesi amaçlanmaktadır.

Ayrıca yer yüzey sıcaklığının takip edilebilmesi için Landsat 8 OLI/TIRS platformu tarafından algılanan görüntüler kullanılmıştır. Landsat 8 platformu bünyesinde iki farklı algılayıcı sistemi barındırmaktadır. Bunlardan ilki Operasyonel Yer Görüntüleyicisi (OLI) dir. OLI sistemi içerisinde kıyı/aerosol uygulamaları için derin mavi (Band 1), sirus bulutlarının analiz ve tespiti için kısa dalga kızılötesi (Band 9) ve band kalite değerlendirmesi amacını taşıyan 3 ek yeni banda sahiptir. İkinci algılayıcı sistem ise Termal Kızılötesi Sensör (TIRS) dir. TIRS sistemi bünyesinde 100 m konumsal (30 m yeniden örnekleme), 16 bit radyometrik çözünürlük, 10.6-12.51 μm 'lik elektromanyetik spektrum termal dalga boyunda iki adet band bulundurmaktadır (Band 10 ve 11). Landsat 8 (OLI/TIRS) algılayıcısı, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 5 TM algılayıcılarına göre daha dar spektral band genişliğine ve daha güçlü sinyal gürültü karakteristiğine sahip bir algılayıcı platformudur. Çalışma dönemi içerisinde haftalık görüntüler yardımıyla (Tablo 1) patlama sonrasında yer yüzey sıcaklığının değişimi analiz edilmiştir.

Tablo 1: Yer yüzey sıcaklığı üretilen Landsat 8 görüntülerine ait tarih bilgileri

Sıra No	Tarih	Sıra No	Tarih
a	10.09.2021	e	13.11.2021
b	26.09.2021	f	16.11.2021
c	12.10.2021	g	29.11.2021
d	28.10.2021		

Yer yüzey sıcaklıklarının belirlenmesinde Işınımsal Transfer Eşitliği (Radiative Transfer Equation, RTE) yöntemi kullanılmış ve Şekil 3'de gösterilen iş akışı takip edilmiştir. Yer yüzey sıcaklıkları elde edilirken ilk olarak uydu görüntülerindeki piksel değeri (DN) Spektral Radyans değerlerine dönüştürülmüştür. Spektral Radyans değeri belirli bir dalga boyunda, belirli bir açı ve bölgeden yansıyan veya iletilen enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır (Yıldız vd. 2017). Bu dönüşüm için;

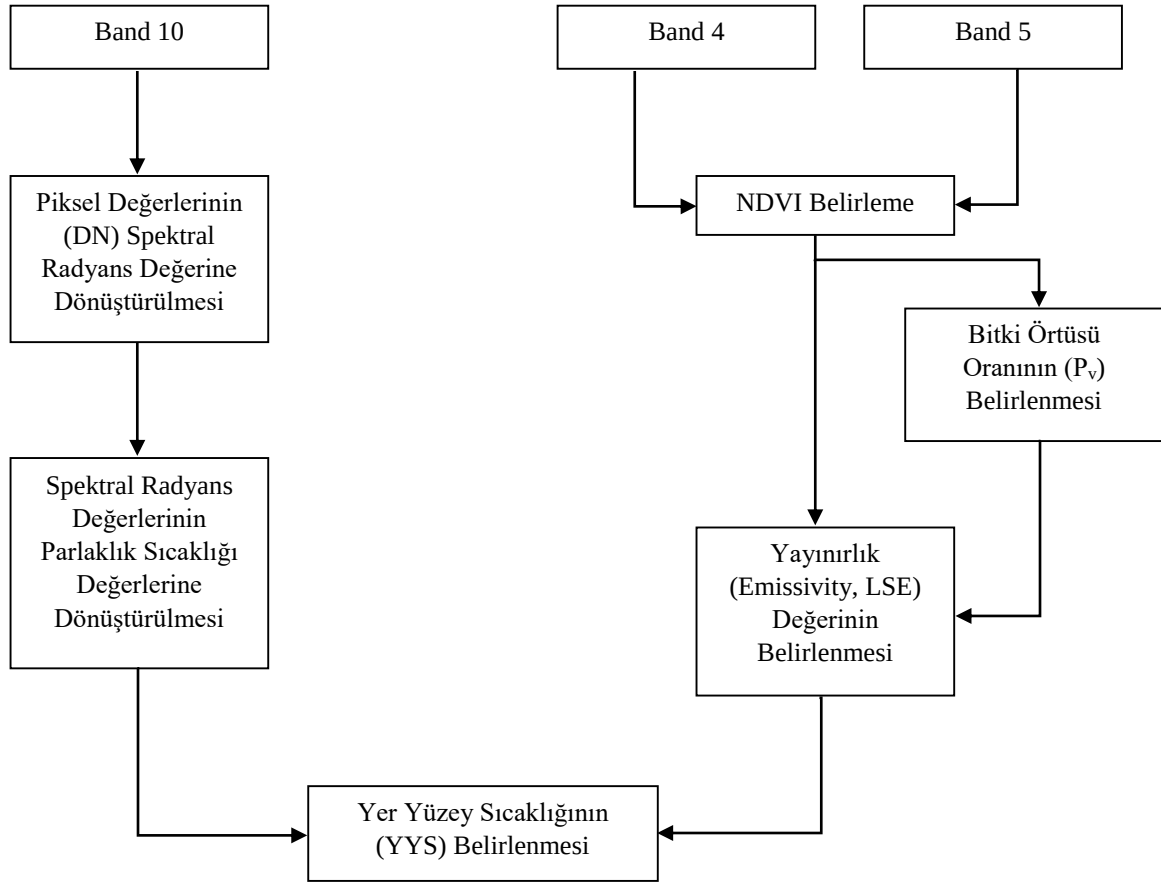
$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Buradaki L_{λ} hesaplanan Radyans değeri ($\text{W}/(\text{m}^2 * \text{sr} * \mu\text{m})$), M_L radyans çarpımsal ölçeklendirme faktörü (Uydu meta verisinden), Q_{cal} uydu görüntüsünün piksel değeri (DN) ve A_L radyans ilave ölçeklendirme faktörünü (Uydu meta verisinden) temsil etmektedir.

Görüntü bandlarına ait Radyans değerleri belirlendikten sonra bu değerlerin Parlaklık sıcaklığı değerlerine dönüştürülmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için;

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} - 273.15 \quad (2)$$

eşitliği kullanılmıştır. Bu eşitlikte bahsedilen, T parlaklık sıcaklığını (C^0), L_{λ} hesaplanan Radyans değerini ($\text{W}/(\text{m}^2 * \text{sr} * \mu\text{m})$), K_1 ve K_2 ise uydu meta verisinde bulunan Termal Band için dönüşüm sabitlerini tanımlamaktadır.



Şekil 3: Yer yüzey sıcaklığı belirleme için kullanılan iş akış şeması

Daha sonrasında Landsat 8 görüntülerinin dördüncü ve beşinci bandını kullanarak Normalize edilmiş Bitki İndeksi (NDVI) belirlenmiştir. Belirlenen NDVI'nın bitki ve toprak değerleri kullanılarak Bitki Örtüsü Oranı (P_v);

$$P_v = (NDVI - NDVI_{min} / NDVI_{max} - NDVI_{min})^2 \quad (3)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır (Sobrino vd. 2004). Yayınrlık (Emissivity, LSE) değerleri NDVI ve P_v değerleri kullanılarak;

$$NDVI < NDVI_s \text{ ise } \epsilon_{s\lambda}, NDVI_s \leq NDVI \leq NDVI_v \text{ ise } \epsilon_{v\lambda} P_v + \epsilon_{s\lambda} (1 - P_v) + C \text{ ve } NDVI > NDVI_v \text{ ise } \epsilon_{s\lambda} + C \quad (4)$$

formülü ile elde edilmiştir. Burada $\epsilon_{s\lambda}$ toprak yüzeylerden yayılan enerjiyi, $\epsilon_{v\lambda}$ ise bitkilerden yayılan enerji değerini temsil etmektedir. C değeri yer yüzeyinin pürüzlülüğünü temsil eder. Düz alanlar için sıfır kabul edilir. Tüm değerler hesaplandıktan sonra Yer Yüzey Sıcaklıkları;

$$YYs = \frac{T}{(1 + \frac{w \cdot T}{\rho}) * \ln(\epsilon)} \quad (5)$$

formülü ile hesaplanır. Burada daha önceki aşamalarda hesaplanmış olan T sıcaklık değerleri, w kullanılan termal banda ait ortalama dalga boyu değeri (10.9 μm), ϵ ise yayınrlık değerini temsil etmektedir. ρ sabit bir değer olup Planck sabiti, Boltzmann sabiti ve ışık hızı değerleri yardımıyla hesaplanmaktadır (Akyürek 2020; Şekertekin ve Bonafoni 2020). Çalışmada yapılan tüm izleme ve sorgulama analizlerinde ArcGIS 10.7 yazılımından faydalanılmıştır.

2.1 Validasyon

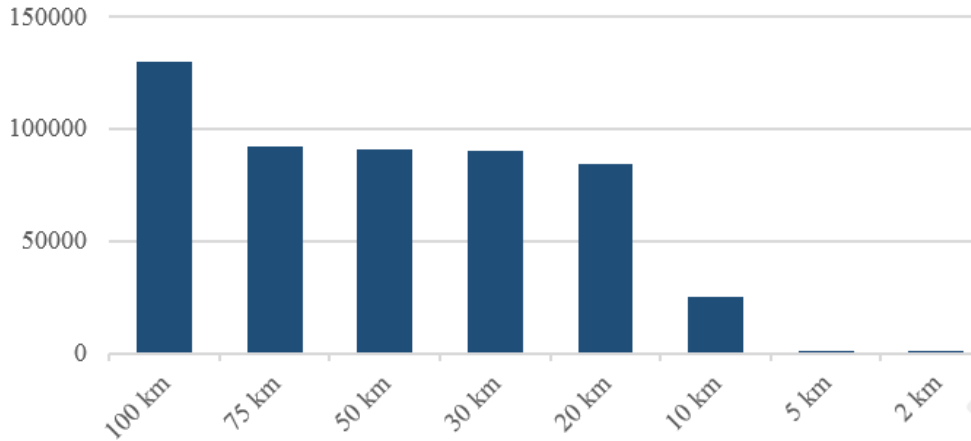
Bu çalışmada kullanılan verilerin validasyonu ve kalite kontrolü ilk olarak veriyi üreten kurum olan Acil Durum Yönetim Servisi tarafından yapılmaktadır. İkinci olarak üretilen veriler bir üst birim olan Avrupa Komisyonu'nun Birleşik Araştırma Merkezi'nde (Joint Research Centre, JRC) kontrol edilmektedir.

Acil Durum Yönetim Servisi ürettiği verilerin validasyonu için; yapılan çeşitli görüşmelerde kullanıcı geri bildirimlerinin toplanarak iş akışına olan etkilerinin araştırılması, üretilen sonuç ürünleri için kullanılan kaynaklar açısından olası iyileştirmelerin ve alternatif çözümlerin araştırılması şeklindeki adımlar uygulanmaktadır. Doğrulama faaliyetlerinin sonuçları bir öneri tablosunda toplanarak analiz edilmektedir ve sonuca bağlanmaktadır. Uygulanan bu doğrulama metodolojisi JRC tarafında geliştirilen doğrulama protokolüne dayanmaktadır (URL-7 2022). Bu çalışma içerisinde kullanılan verilerin validasyonun yapılması için yazar tarafından herhangi bir arazi çalışması işlemi gerçekleştirilmemiştir.

3. Bulgular

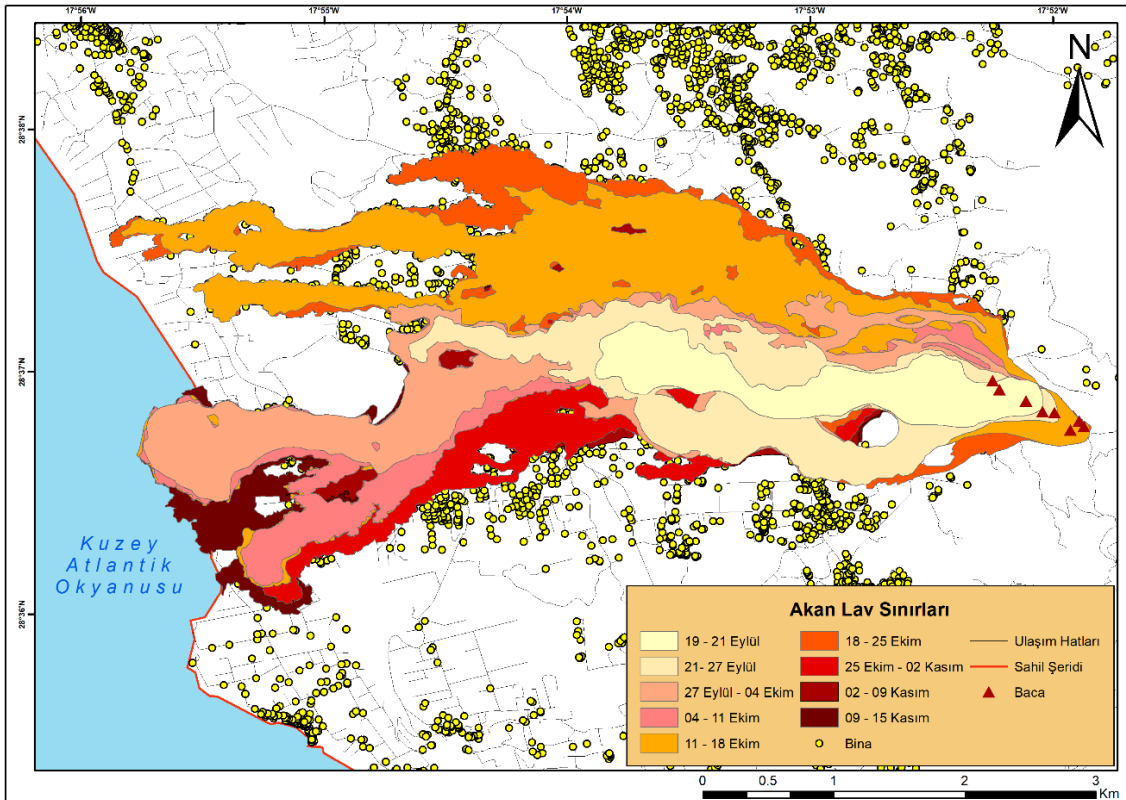
Kanarya Adaları Volkanoloji Enstitüsü (KAVE) ve İspanya Ulusal Coğrafya Enstitüsü (UCE) 11 Eylül günü saat 16:18 de La Palma adasının güney bölümünde Cumbre Vieja volkanının altında sismik hareketliliğin başladığını ve bu durumun magmatik hareketlerle ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir (URL-8 2021). 12 Eylül günü saat 16:00'a kadar geçen sürede en büyüğü mb_{Lg} ölçeğinde 2.8 olmak üzere derinlikleri 8-13 km arasında değişen 315 adet deprem kaydedilmiştir. 13 Eylül günü birden fazla kurum ve kuruluşun temsilcilerinden oluşturulan bilim kurulu volkanın çevresinde bulunan yerleşim yerleri için uyarı düzeyini sarıya (dört renkli alarm ölçeğinde ikinci düzey) yükseltildiğini açıklamışlardır. 14 Eylül saat 08:00 itibarıyla volkan etrafında en büyüğü 3.9 mb_{Lg} olan 2935 adet deprem tespit edilmiştir. Meydana gelen bu depremlerin yüzeye daha da yaklaştığı (8-10 km) belirlenmiştir. 17-19 Eylül tarihleri arasında sismik hareketlilik artarak devam etmiştir. Bölge sakinleri tarafından meydana gelen depremler sonucunda düşey deformasyonun meydana geldiği alanların varlığına dair raporlar alınmıştır. 19 Eylül sabahı 11:16'da büyüklüğü 4.2 mb_{Lg} olan deprem ile birlikte düşey deformasyon artış göstermiştir. Kanarya Adaları Volkanik Acil Durum Planı gereği yetkililer bölgeden tahliye işleminin başlatılması gerektiğini söylemişlerdir. 19 Eylül 15:10'da Cumbre Vieja Volkan'ında bir patlama meydana gelmiş ve volkan etrafında bulunan gözlemciler gaz, kül bulutu ve lav çıkışının meydana geldiği patlamayı gözlemlemişlerdir. Meydana gelen ilk patlama ve sonrasındaki patlamalar Stromboli tipi patlama olarak sınıflandırılmıştır (URL-9 2021). Patlamadan sonra kuzey güney yönünde yaklaşık 200 metre aralıkla iki adet 200 metre uzunluğunda çatlağın oluştuğu tespit edilmiştir (URL-2 2021). Yapılan ilk incelemeler sonrasında patlamanın ilk aşamalarında oluşan çatlaklar üzerinde 7 adet bacanın (vent) oluştuğu tespit edilmiştir. Volkanı anlık takip eden bilim adamları lavların ortalama akış hızını saatte 700 m ve sıcaklığını ise 1075 °C olarak belirlemişlerdir (URL-2 2021). Lav akışının başlamasıyla birlikte volkan çevresinde bulunan iğne yapraklı ormanlarda çeşitli orman yangınlarının başladığı bildirilmiştir. Patlamadan sonraki gün (20 Eylül) lav akışının ana bölümünün batı yönünde 3 km'den fazla yol kat ettiği ve daha ilk günden tahminen 166 binayı yok ettiği belirlenmiştir. Patlama ile birlikte havaya yayılan kül bulutları hayatı olumsuz etkilemiştir. Patlamadan sonraki hafta içerisinde La Palma havaalanı uçuşlara kapatılmıştır. 22 Ekim'de kül bulutlarının 3-4.6 km'ye (10,000–15,000 ft) yükseldiği bildirilmiştir. Ertesi gün ise bu sınır 5 km'ye (16,400 ft) çıkmıştır (URL-9 2021). İlk hafta içerisinde yapılan SO_2 ölçümlerinde günlük ortalama gaz çıkışının 25,000 ton olduğu tespit edilmiştir. Sonraki günlerde gaz çıkışı bir miktar azalsa da (günlük 16,000 ton) devamlılığını sürdürmüştür (URL-2 2021).

Cumbre Vieja Volkanı'nın patlamasından etkilenen en yakın yerleşim yerleri La Palma adası içerisinde Malpais, Las Caletas, Puerto Naos, Las Indias, El Paso, Fuencaliente, Brena Alta, Los Llanos, Tazacorte ve Garafidir. Ayrıca La Palma'nın güney ve güney doğusunda bulunan Hierro ve La Gomera adaları da patlamanın sonuçlarından, kül ve duman bulutları nedeniyle, hava ve deniz trafiği olarak etkilenmişlerdir. Şekil 4'te belirli yarıçap mesafelerine göre bu yerleşim yerlerinde yaşayan ve volkan patlamasından dolayı veya direkt olarak etkilenen kişilerin sayısı gösterilmektedir (URL-10 2021).



Şekil 4: Volkandan etkilenen insan sayısı (URL-10 2021)

Şekil 5’de 19 Eylül ile 15 Kasım arasında akan lav sınırları gösterilmektedir. 19-21 Eylül tarihlerinde akan lav miktarı 102.82 hektarlık alana yayılmıştır. Toplam etkilenen yerleşim yeri sayısı 190 adet ve ulaşım hatlarının uzunluğu ise 0.9 km olarak belirlenmiştir. 21-27 Eylül tarihleri arasında akan lav miktarı 258 hektarlık alana ulaşmıştır. Lav akışından etkilenen yerleşim yeri sayısı hızla artış göstererek 686’ya, hasar gören ulaşım hatlarının uzunluğu ise 22.2 km ye ulaşmıştır. 27 Eylül-4 Ekim arasında akan lavdan etkilenen alan 434.69 hektara çıkmıştır. 28 Eylül gecesi lavlar okyanusa ulaşmış ve 50 m yüksekliğinde bir lav deltası oluşturmuştur. Etkilenen yerleşim yeri sayısı 1154’e, hasar gören ulaşım hatlarının uzunluğu ise 36.5 km’ye ulaşmıştır. 04-11 Ekim tarihleri arasında akan lavın etkilediği alan miktarı 497 hektara çıkmıştır. Hasar gören yerleşim yeri sayısı 1281, ulaşım hatlarının uzunluğu ise 42.1 km’ye yükselmiştir. 11-18 Ekim tarihleri arasında lav akışı yön değiştirmiş ve kuzey-batıya doğru yönelerek hızlı bir artış göstermiştir. Lav akışından etkilenen alan bu ani artışla birlikte 811.83 ha’a yükselmiştir. Hasar gören yerleşim yeri sayısında da lav akışının yön değiştirmesine bağlı olarak hızlı bir artış gözlemlenmiştir. Etkilenen yerleşim yeri sayısı 2017’ye, hasar gören ulaşım hattı ise 64.3 km’ye yükselmiştir. 18-25 Ekim tarihlerinde de lav akışı kuzey-batıya doğru akışını sürdürmüştür. Lav sınırı 906.28 hektarlık alana ulaşmıştır. Lavdan etkilenen yerleşim yeri sayısı 2286’ya, ulaşım hatlarının uzunluğu ise 69.7 km’ye ulaşmıştır.

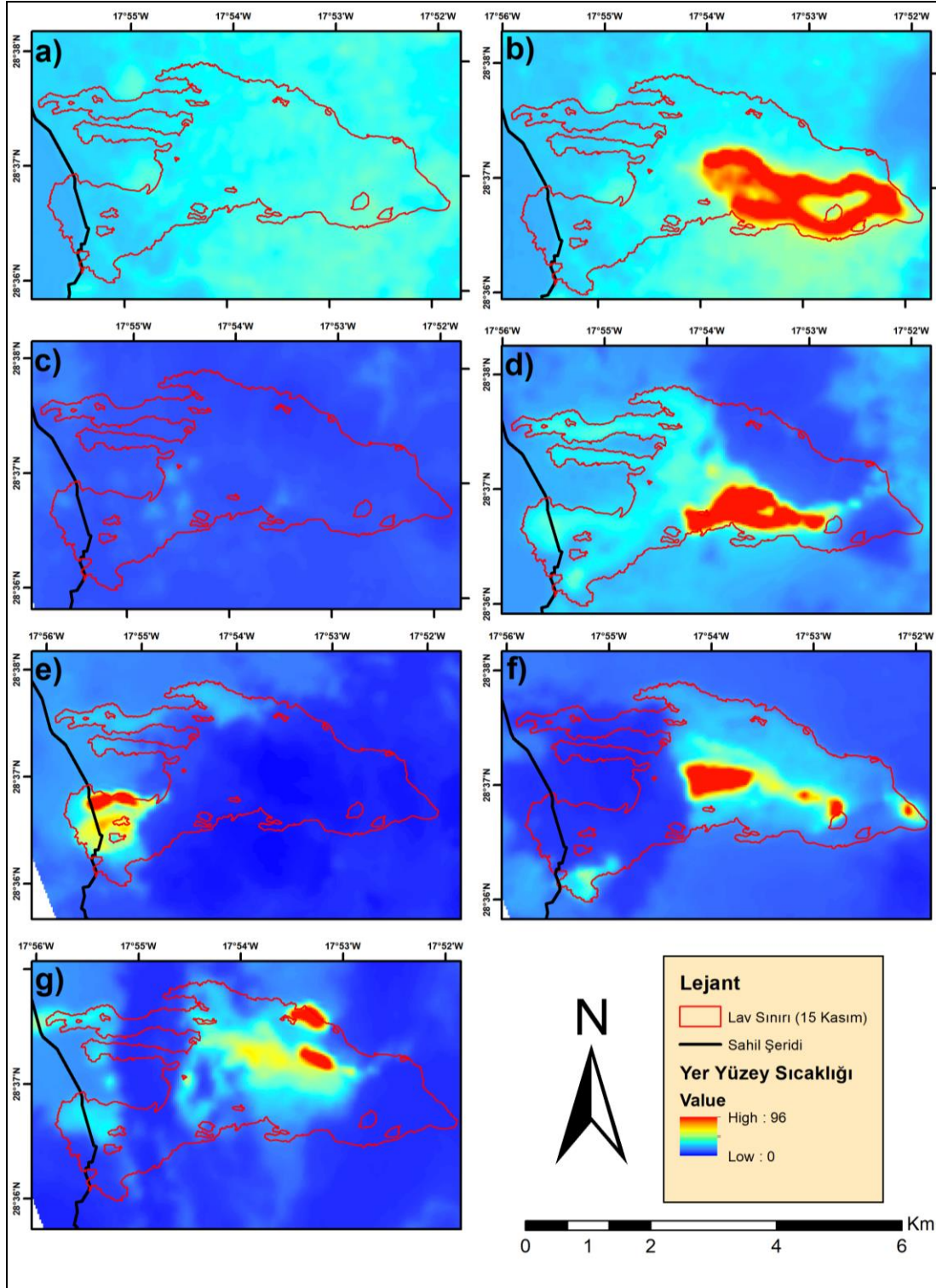


Şekil 5: 19 Eylül-15 Kasım 2021 tarihleri arasında volkandan akan ve bölgeyi etkileyen lav sınırları

Tablo 2: Lav akışından etkilenen alanlar (19 Eylül-15 Kasım)

Tarih	Akış Lav (hektar)	Tahrip olmuş ve kısmi hasarlı	
		Yerleşim Yeri (adet)	Ulaşım Hatları (km)
19-21 Eylül	102.82	190	0.9
21-27 Eylül	155.18	496	21.3
27 Eylül-04 Ekim	176.69	468	14.3
04-11 Ekim	62.31	127	5.6
11-18 Ekim	314.83	736	22.2
18-25 Ekim	94.45	269	5.4
25 Ekim-02 Kasım	81.58	463	7
02-09 Kasım	11.78	-	0.7
09-15 Kasım	402.43	-	2.7
Toplam Etkilenen	1,042.07	2,749	80.1

25 Ekim-02 Kasım tarihleri arasında lavın kuzey-batıya akışı durmuş ancak ana akış aksından güneye yönelerek yeni bir yol oluşturmuştur. Lavın etkilediği alan 987.86 ha'ya ulaşmıştır. Oluşan yeni akış hattı daha fazla ev ve ulaşım hattının zarar görmesine sebep olmuştur. 02 Kasım itibarıyla lav akışından etkilenen yerleşim yerinin sayısı 2749'a, ulaşım hatlarının uzunluğu ise 76.7 km'ye çıkmıştır. 02-09 Kasım aralığında lav akışı duraksama göstermiştir. Lavdan etkilenen alan miktarı 999.64 ha'ya çıkmış, hasar gören ulaşım hattı ise 77.4 km'ye ulaşmıştır. Son olarak 09-15 Kasım tarihleri arasında akan lav sınırı 1042.07 ha olarak belirlenmiştir. Son süreçte herhangi bir yerleşim yeri zarar görmemiş ancak hasar gören ulaşım hatlarının uzunluğu 80.1 km'ye ulaşmıştır. Tablo 2'de görüldüğü gibi 15 Kasım tarihi itibarıyla akan lav miktarı, etkilenen yerleşim yeri sayısı ve hasar gören ulaşım hatlarının uzunluğu gösterilmektedir.



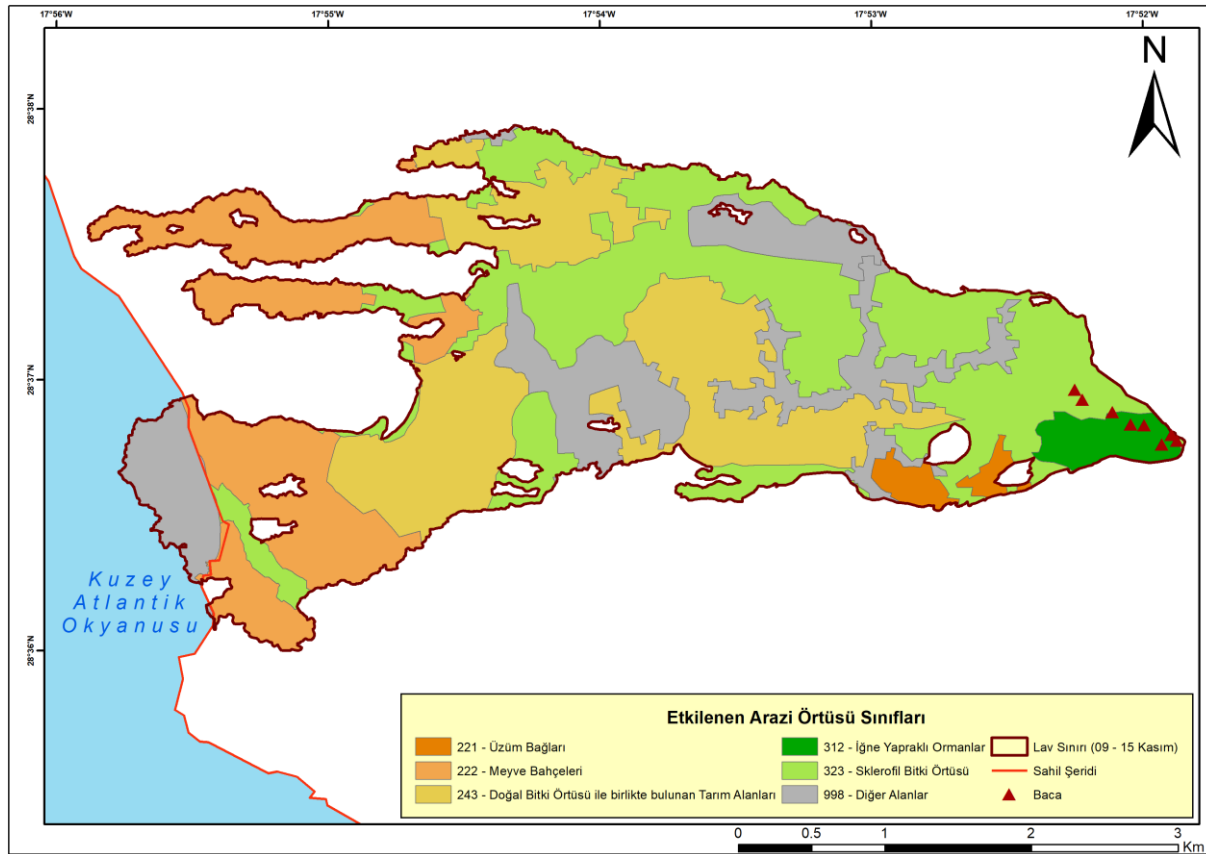
Şekil 6: Lav akışı sonrası La Palma adasındaki yer yüzey sıcaklığı değişimleri

Volkan patlaması sonrası Tablo 1’de gösterilen tarihlere ait Landsat 8 OLI/TIRS görüntüleri kullanılarak çalışma alanının 30 m yersel çözünürlüğe sahip Yer Yüzey Sıcaklık görüntüleri oluşturularak Şekil 6’da gösterilmiştir. Belirlenen sıcaklık değerleri Santigrat derece ($^{\circ}\text{C}$) cinsinden hesaplanmıştır.

Görüntüler incelendiğinde; Şekil 6-a patlama öncesine ait görüntüyü göstermektedir ve YYS değerleri ortalama 30°C civarında değişim göstermektedir. Lav akışının başlamasından sonra YYS değerleri hızla yükseliş göstermiş ve 95°C değerlerine yükselmiştir. Şekil 6-b’de patlamanın üzerinden iki hafta geçtikten sonraki durum görülmektedir. Şekil 6-c’de sıcaklık değerlerinin en düşük seviyelerde çıkmasının nedeni çalışma alanının bulutlarla kaplı olmasıdır. Bu tarihten sonraki görüntülerde de bu duruma rastlamak mümkündür.

Görüntüler içerisindeki koyu mavi alanlar (sıcaklık değerlerinin en düşük olduğu bölgeler) ilgili bölgede bulutların olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 6-d,e, f ve g görüntülerinde lav akışının ilerleyişinin devam ettiği ve sıcaklık değerlerinin halen 95°C ’lerde etkisini sürdürdüğü görülmektedir.

La Palma adasının arazi örtüsü incelendiğinde farklı türlerin bir arada bulunduğu görülmektedir. Sulanmayan ekilebilir tarım alanlarından, iğne yapraklı ormanlara kadar geniş ölçekte bir arazi örtüsüne sahiptir. Şekil 7’te 15 Kasım tarihine ait lav sınırlarına göre oluşturulmuş zarar gören arazi örtüsü gösterilmektedir. Şekil 7’e göre en çok zarar gören arazi örtüsü toplamda 479.94 ha ile tarım alanlarıdır. Bu tarım alanları içerisinde üzüm bağları, meyve bahçeleri ve doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları bulunmaktadır. İkinci olarak zarar gören arazi örtüsü 372.75 ha ile orman ve yarı doğal alanlardır. Bu arazi örtüsü içinde ise iğne yapraklı ormanlar ve sklerofil bitki örtüsü bulunmaktadır. Son olarak 189.38 ha ile veri sağlayan kurum olan Kopernik Acil Durum Yönetim Servisi tarafından diğer alanlar olarak tanımlanan yerleşim yerleri ve lav kütlelerinin okyanus üzerinde oluşturduğu alanlar bulunmaktadır.



Şekil 7: Lav akışından etkilenen arazi örtüsü sınıfları

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada 19 Eylül günü lav püskürtmeye başlayan İspanya’nın Kanarya Adalarından birisi olan La Palma adasının güneyinde bulunan Cumbre Vieja Volkan’ının patlama sonrası yeryüzüne yayılan lav sınırları, lavlardan hasar gören yerleşim yerleri, ulaşım hatları, zarar gören arazi örtüsü ve patlama sonrası yer yüzey sıcaklıklarının değişimi incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre patlama günü olan 19 Eylül’den 15 Kasım’a kadar –inceleme periyodu– geçen süre içerisinde volkandan çıkan lavlar 1,042.07 hektarlık alana yayılmıştır. Bu alan içerisinde 2,749 adet bina tamamen yıkılmış veya kısmen hasar görmüştür. Zarar gören ulaşım hatlarının uzunluğu ise 80.1 km’ye ulaşmıştır.

Bu sayılar çalışma dönemi içerisinde belirlenen sayılardır. Volkan'ın halen faaliyetini sürdürdüğü göz önüne alındığında bu sayıların her geçen gün daha da artacağına kesin gözüyle bakmak gerekir. Landsat 8 uydusu görüntüleri yardımıyla yapılan yer yüzey sıcaklığı analizinde çalışma alanının patlama öncesindeki sıcaklığı ortalama 30 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Patlama sonrasında bu sıcaklığın 95 °C seviyesine ulaştığı uydusu görüntüleri ile tespit edilmiştir (Şekil-6). Patlama sonrasında 1,042.07 hektarlık alana yayılan lavlar çeşitli arazi örtüsü sınıflarını da etkilemiş hatta yok etmiştir. Etkilenen arazi sınıfları içerisinde çeşitli üzüm bağları ve meyve bahçeleri, orman örtüsü sınıfı, tarım alanları ve yerleşim yerleri bulunduğu belirlenmiştir. Patlama pek çok insanı etkilemiş, birçoğunu evsiz bırakmıştır. Volkan çevresindeki yerleşimleri bu durumdan en çok etkilenenler olmuştur.

Adanın turistik bir bölge olmasından dolayı yerel halk ile birlikte tatil amacıyla orda olan pek çok insanda bu durumdan olumsuz şekilde etkilenmiştir. Volkandan çıkan duman ve kül bulutları nedeniyle La Palma ve çevresindeki diğer adaların hava ve deniz ulaşımı bu durumdan olumsuz şekilde etkilenmişlerdir.

Bu çalışmada kullanılan yöntem ve materyaller literatürde yapılan birçok çalışma ile paralellik göstermektedir. CBS ve UA afetlerin izlenmesinde kullanılması hızlı, etkin ve doğru sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Literatürde yapılan pek çok çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da gün gün lav akışı uzaktan algılama görüntüleri (Pléiades, GeoEye, Sentinel, Landsat ve COSMO SkyMed görüntüleri gibi) ile izlenmiş ve CBS ile analizi gerçekleştirilmiştir.

CBS günümüzde pek çok farklı kaynaktan elde edilen bilgiler ile veri tabanı oluşturma, bu verileri işleme, analiz etme, sorgulama ve güncelleme aracı olarak kullanılmaktadır. UA ise CBS'ye paralel olarak etkin bir veri toplama ve analiz etme yöntemidir. Afet yönetiminde ve müdahalesinde bilgi çok önemli bir kaynaktır. Bu nedenle bilgi üretme ve analiz etmede kullanılan CBS ve UA, afet yönetim sistemlerinin ayrılmaz birer parçası olarak görülebilir. UA verileri ile desteklenmiş olan CBS ile afet öncesi, sırası ve sonrasında karar verici kurum-kuruluşlar ve bu kararları uygulayanlar için geniş imkan ve olanaklar sağlaması, planlama ve karar verme süresini kısaltması ve simülasyon özelliklerinin güçlü olması nedeniyle afet sonrası senaryoların hızlı bir şekilde oluşturulabilmesi, afet alanına müdahalenin doğruluk oranını arttırmaktadır. Bu nedenle de bu sistemlerin kullanılması günden güne artış göstermektedir. Uydusu görüntüleriyle desteklenen CBS afet yönetiminin her safhasında etkin olarak kullanılan veriler olup birçok ülkede afet zararlarının azaltılmasında tercih edilmektedir.

Teşekkürler

Yazar, çalışmanın veri setini sağlayan kurum olan Kopernik Acil Yönetim Servisine (Copernicus Emergency Management Service - Mapping) teşekkür eder.

Kaynaklar

- Akyürek Ö., (2020) *Termal Uzaktan Algılama Görüntüleri ile Yüzey Sıcaklıklarının Belirlenmesi: Kocaeli Örneği*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(2), 377-390.
- Alcorn R., Panter K. S., Gorsevski P. V., (2013), *A GIS-based volcanic hazard and risk assessment of eruptions sourced within Valles Caldera, New Mexico*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 267, 1-14 doi: 10.1016/j.jvolgeores.2013.09.005.
- Aldeghi A., Carn S., Escobar-Wolf R., Groppelli G., (2019), *Volcano Monitoring from Space Using High-Cadence Planet CubeSat Images Applied to Fuego Volcano, Guatemala*, Remote Sensing, 11(18), 2151, doi: 10.3390/rs11182151.
- Arca D., (2012), *Afet Yönetiminde Coğrafi Bilgi Sistemi ve Uzaktan Algılama*, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 2(2), 53-61.
- Bignami C., Chini M., Amici S., Trasatti E., (2020), *Synergic Use of Multi-Sensor Satellite Data for Volcanic Hazards Monitoring: The Fogo (Cape Verde) 2014-2015 Effusive Eruption*, Frontiers in Earth Science, 8(22), 1-14, doi: 10.3389/feart.2020.00022.
- Carracedo J. C., Badiola E. R., Guillou H., de la Nuez J., Perez Torrado F. J., (2001) *Geology and Volcanology of La Palma and El Hierro, Western Canaries*, Estudios Geológicos, 57, 175-273.
- Cigna F., Tapete D., Lu Z., (2020), *Remote Sensing of Volcanic Process and Risk*, Remote Sensing, 12(16), 2567, doi: 10.3390/rs12162567.
- Davila N., Capra L., Ferres D., Gavilanes-Ruiz J.C., Flores P., (2019), *Chronology of the 2014–2016 Eruptive Phase of Volcan de Colima and Volume Estimation of Associated Lava Flows and Pyroclastic Flows Based on Optical Multi-Sensors*, Remote Sensing, 11(10), 1167, doi: 10.3390/rs11101167.
- Ergünay O., (1996), *Afet yönetimi nedir? Nasıl olmalıdır*, TÜBİTAK Deprem Sempozyumu, Ankara, Türkiye, ss.263-272.
- Escayo J., Fernandez J., Prieto J. F., Camacho A.G., Palano M., Aparicio A., Rodriguez-Velasco G., Ancochea E., (2020), *Geodetic Study of the 2006–2010 Ground Deformation in La Palma (Canary Island): Observational Results*, Remote Sensing, 12(16), 1-23. <https://doi.org/10.3390/rs12162566>.
- Güngör Y., (2017), *Dünya'yı Etkileyen önemli Afetler ve Alınan Dersler*, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Lisans Tamamlama Programı Ders Notları, http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/acilyardimveafetyonetimi_ao/deavad.pdf, [Erişim 06 Aralık 2021].
- Joubert-Boitat I., Wania A., Dalmasso S., (2020), *Manual for CEMS-Rapid Mapping Products*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-21683-4, doi:10.2760/29876, JRC121741.
- Mouginis-Mark P.J., (2000), *Remote Sensing Observations For Volcano Monitoring And Hazard Mitigation*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 33(B7), 905-910.
- Nurwihastuti D.W., Astuti A.J.D., Yuniastuti E., Perangin-Angin R.B.B., Simanungkalit N.M., (2019), *Volcanic hazard analysis of Sinabung volcano eruption in Karo North Sumatra Indonesia*, 1st International Conference on Advance and Scientific Innovation (ICASI), Medan, Endonezya.

- Şekertekin A., Bonafoni S., (2020), *Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation*, Remote Sensing, 12(2), 294, doi: 10.3390/rs12020294.
- Sobrino J.A., Jimenez-Munoz J.C., Paolini L., (2004), *Land surface temperature retrieval from Landsat TM 5*, Remote Sensing of Environment, 90(4), 434-440.
- Suwarsono H., Suprpto T., Yulianto F., Zylshal Z., Prasasti I., Sofan P., Khomarudin R., (2016), *Detecting The Damaged Areas Caused By Sinabung Volcano Eruption During 2013-2016 Using Landsat-8 Multitemporal*, The 2nd International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing (ICOIRS 2016), Yogyakarta, Endonezya, ss.212-223.
- URL-1, (2021), *Icelandic eruption*, Britannica, <https://www.britannica.com/science/Icelandic-eruption#/media/1/281355/3256>, [Erişim 22 Kasım 2021].
- URL-2, (2021), *Global Volcanism Program, Report on La Palma (Spain)*. In: Sennert, S K (ed.), *Weekly Volcanic Activity Report, 15 September-21 September 2021*, Smithsonian Institution and US Geological Survey [Erişim 16 Kasım 2021].
- URL-3, (2022), *Home page*. Smithsonian Institution National Museum of Natural History Global Volcanism Program, <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=383010#September2021>, [Erişim 04 Ocak 2022].
- URL-4, (2013), *Global Volcanism Program, Volcanoes of the World, v. 4.10.3 (15 Oct 2021)*. Venzke, E (ed.), Smithsonian Institution, <https://doi.org/10.5479/si.GVP.VOTW4-2013>, [Erişim 16 Kasım 2021].
- URL-5, (2022), *Copernicus Emergency Management Service Mapping*, COPERNICUS Emergency Management Service Mapping, <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR546>, [Erişim 08 Şubat 2022].
- URL-6, (2021), *What is COPERNIUS*, COPERNICUS Emergency Management Service Mapping, <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/what-copernicus>, [Erişim 15 Kasım 2021].
- URL-7, (2022), *Quality Control*, COPERNICUS Emergency Management Service Mapping, <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/quality-control-0>, [Erişim 11 Şubat 2022].
- URL-8, (2021), *Global Volcanism Program, Report on La Palma (Spain)*. In: Sennert, S K (ed.), *Weekly Volcanic Activity Report, 8 September-14 September 2021*, Smithsonian Institution and US Geological Survey [Erişim 04 Ocak 2022].
- URL-9, (2021), *Global Volcanism Program, Report on La Palma (Spain)*. In: Sennert, S K (ed.), *Weekly Volcanic Activity Report, 22 September-28 September 2021*, Smithsonian Institution and US Geological Survey [Erişim 08 Şubat 2022].
- URL-10, (2021), *Overall Orange alert Volcanic eruption for La Palma in Spain*, GDACS (Global Disaster Alert and Coordination Systems), <https://www.gdacs.org/Volcanoes/report.aspx?eventid=1000031&episodeid=32&eventtype=VO>, [Erişim 24 Kasım 2021].
- Yıldız A., Bağcı M., Başaran C., Çonkar F.E., Ayday C., (2017), *Landsat 8 uydu verilerinin jeotermal saha araştırmalarında kullanılması: Gazlıgöl (Afyonkarahisar) çalışması*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 277-284.

Dicle Havzasındaki Bazı İstasyonlara ait Potansiyel Evapotranspirasyon Verilerinin Trend Analizi

Okan Mert Katipoğlu^{1,*}

¹Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 24002, Erzincan.

Özet

Potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerlerindeki eğilimlerin belirlenmesi, iklim değişikliği ve kuraklık yönetimi, tarımsal su kaynaklarının daha verimli yönetimi ve sulama planlamasının optimal tasarımı konuları açısından büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada Dicle havzasında bulunan Batman, Cizre, Diyarbakır ve Hakkâri meteoroloji istasyonları için, 1964-2017 yılları arasında hesaplanan mevsimsel ve yıllık PET değerlerinin trend analizleri gerçekleştirilmiştir. Trendlerin belirlenmesinde Şen'in Yenilikçi Trend Analizi (ITA) ve Mann-Kendall Mertebe Korelasyon (MKMK) metodları kullanılmıştır. PET değerlerinin hesaplanmasında sıklıkla kullanılan, basit ve az veri gerektiren Thornthwaite metodolojisi tercih edilmiştir. Araştırma sonunda ITA yöntemine göre, havzada seçilen istasyonların PET verilerinde genelde istatistik açıdan anlamlı artış trendleri hakimken, Diyarbakır istasyonu için ilkbahar ve kış mevsimlerinde istatistik açıdan anlamlı azalan trendler tespit edilmiştir. MKMK testine göre, kış mevsimi dışında istasyon konumlarında PET değerlerinde anlamlı artışlar vardır. Ayrıca ITA ve MKMK testleri büyük ölçüde örtüşmekle birlikte bazı istasyonlarda ITA ile tespit edilen artış trendleri MKMK testi ile saptanamamıştır. Elde edilen sonuçlar tarımsal su kaynaklarının planlanması ve verimli bir şekilde kullanılmasında, küresel ısınmanın etkileriyle mücadele etmek için adaptasyon ve azaltma stratejileri geliştirilmesinde karar vericilere önemli bilgi temin etmektedir.

Anahtar Sözcükler

Potansiyel Evapotranspirasyon, Thornthwaite Denklemi, Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi, Yenilikçi Şen Trend Analizi, Dicle Havzası

Trend Analysis of Potential Evapotranspiration Data of Some Stations in the Tigris Basin

Abstract

Determining trends in potential evapotranspiration (PET) values is of great importance in climate change and drought management, more efficient management of agricultural water resources, and optimal design of irrigation planning. This study carried trend analyses of seasonal and annual PET values calculated between 1964 and 2017 for Batman, Cizre, Diyarbakır, and Hakkâri meteorological stations located in the Tigris basin. Şen's Innovative Trend Analysis (ITA) and Mann-Kendall Rank Correlation (MKRC) methods were used to determine the trends. Thornthwaite methodology, which is frequently used in the calculation of PET values, is simple and requires less data. At the end of the research, according to the ITA method, while the PET data of the stations selected in the basin generally had statistically significant increasing trends, statistically significant decreasing trends were determined for the Diyarbakır station in the spring and winter seasons. According to the MKRC test, there are significant increases in PET values at station locations, except for winter. In addition, although the ITA and MKRC tests overlap to a large extent, the increasing trends detected with ITA at some stations could not be determined by the MKRC test. The results obtained provide important information to decision-makers in planning and efficient use of agricultural water resources and developing adaptation and mitigation strategies to combat the effects of global warming.

Keywords

Potential Evapotranspiration, Thornthwaite Equation, Mann-Kendall Rank Correlation Test, Innovative Şen Trend Analysis, Tigris Basin

1. Giriş

Evapotranspirasyon (ET), terleme ile birlikte toprak, bitki örtüsü ve açık su yüzeyi bulunan alanlardan kaybolan toplam su miktarını ifade etmektedir. Su kaybı bitki yüzeyinden terleme (transpirasyon), toprak ve açık su yüzeylerinde ise buharlaşma ile meydana gelmektedir (Katul vd. 2012; Şarlak ve Bağcı 2020). Nehirler, kanallar ve açık su toplama alanlarından buharlaşmanın ve bitkiler yoluyla terlemenin toplamı ET olarak adlandırılır ve sınırsız toprak nemi mevcut olduğunda potansiyel ET (PET) olarak ifade edilir (Madhu vd. 2015). Evapotranspirasyon, küresel atmosferik sistemin ısı ve kütle akışlarında çok önemli bir rol oynar.

Güneş ışığı, sıcaklık, rüzgâr ve atmosferik nem gibi çeşitli iklim değişkenlerine göre değişen toprak nemi ve evapotranspirasyon enerji ve nem transferindeki değişiklikleri izlemek için hassas bir araç sağlamaktadır (Shenbin vd. 2006). ET su döngüsünün vazgeçilmez bir parçasıdır ve hidrolojiden tarıma, ormancılıktan insan yaşamına kadar çok çeşitli bilimsel sektörler üzerinde büyük etkisi vardır (Allen vd. 1998). ET ayrıca kuraklık, toprak tuzluluğu, düşük nehir akışları ve yeraltı sularının tükenmesi gibi çeşitli hidrolojik tehlikeleri tetikleyen temel bileşenlerdendir (Dinpashoh vd. 2019). Bu nedenle ET değerlerindeki değişimlerin incelenmesi büyük öneme sahiptir.

ET, su kaynakları yönetimi ve sulama planlaması için gerekli olan hidrolojik döngünün önemli bir bileşeni olması nedeniyle sulama planlaması, tarımsal su talebi ve mahsul üretimi açısından büyük öneme sahiptir. ET değerlerine bağlı olarak su kaynaklarında meydana gelen eksiklikler mahsul büyümesini ve verimini önemli ölçüde sınırlandırmaktadır (Mizyed 2009; Espadafor vd. 2011). Bu nedenle iklim değişikliği etkileri altında değişim gösteren ET değerlerindeki eğilimin analizi büyük öneme sahiptir. ET temel olarak hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, bağıl nem ve rüzgâr hızı gibi dört meteorolojik değişkene bağlı olarak hesaplanabilmektedir (Allen vd. 1998). Veri mevcudiyetine bağlı olarak ET değerleri farklı ampirik denklemler ile hesaplanabilmektedir. ET değerleri yalnızca aylık ortalama hava sıcaklıkları gerektiren çok basit, ampirik temelli veya basitleştirilmiş denklemlere (Blaney ve Criddle 1950; Hargreaves ve Samani 1982, 1985), günlük hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, rüzgâr hızı ve bağıl nemi gerektiren daha karmaşık, fiziksel temelli denklemlere [Örneğin FAO-56 Penman-Monteith (PM) (Monteith 1965; Allen vd. 1998) göre hesaplanabilmektedirler.

Son yıllarda, Şen (2012) tarafından geliştirilen yenilikçi eğim çözümlemesi herhangi bir varsayıma sahip olmaması sayesinde tüm zaman serilerinde kullanılabilmektedir. Bu yöntemin en önemli avantajlarından biri eğilimleri parçalı veya bütüncül olarak ifade edebilmesidir. Birçok araştırmacı bu yöntemi kullanarak hidro-meteorolojik zaman serilerinin eğilimini değerlendirmiştir (Saplioglu vd. 2014; Şen 2014; Dabanlı vd. 2016; Şen 2017a; Güçlü 2018; Şişman ve Kızılöz 2021). Öte yandan hidro-meteorolojik zaman serilerindeki trendin başlangıcının ve yönünün tespit edilmesi için birçok araştırmacı MKMK testine başvurmuştur (Sayemuzzaman ve Jha 2014; Bari vd. 2016; Tosunoğlu 2017; Topuz ve Karabulut 2018; Aydın ve Arif 2021; Yılmaz 2021).

PET değişkenindeki eğilimlerin belirlenmesi üzerine literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar genel olarak küresel iklim değişiminin PET üzerindeki etkileri üzerine odaklanmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde öne çıkanlarından bazıları; Espadafor vd. (2011) temel iklim değişkenleri ve PET verilerindeki yıllık ve mevsimsel eğilimleri parametrik olmayan Mann-Kendall testi ile değerlendirmişlerdir. PET değerlerinin hesaplanmasında Penman-Monteith, Hargreaves, Blaney-Criddle, Radyasyon ve Priestley-Taylor metodlarından faydalanılmıştır. Sonuç olarak PET değerlerinde istatistiksel açıdan anlamlı artış trendleri görülmüştür. Shadmani vd. (2012) İran'ın kurak bölgelerinde bulunan 11 sinoptik istasyondaki aylık, mevsimlik ve yıllık PET değerlerindeki eğilimleri Mann-Kendall (MK) ve Spearman's Rho (SR) testleri ile analiz etmişlerdir. Bu araştırma sonuçları, bazı şehirler için PET eğilimlerinin arttığını, buna karşın bazı bölgelerde ise azalan eğilimlerin olduğu analiz edilmiştir. Pandey ve Pandey (2013) Orta Hindistan'da bulunan Tons Nehri Havzasındaki üç meteoroloji istasyonu için aylık, yıllık ve mevsimlik PET değerlerindeki trendleri MK ve Sen eğim metodları ile incelemişlerdir. Yıllık ve mevsimsel PET değerlerinde de önemli düşüş eğilimlerinin hâkim olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada Vicente-Serrano vd. (2014) İspanya'da bulunan 46 meteoroloji istasyonunda 1961-2011 periyodundaki PET değerlerini on iki farklı metod ile tahmin ederek, PET değerlerinin mekânsal dağılımı, zamansal değişkenlik ve eğilim analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, sadece sıcaklık tabanlı olan Thornthwaite, Hargreaves gibi yöntemlerin daha karmaşık ve fazla meteorolojik veri gereksinimi olan Priestley-Taylor, Papadakis, FAO-Blaney-Criddle yöntemlerinden daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tüm yöntemlerin PET değerlerinde belirgin bir artış eğiliminin hâkim olduğu tespit edilmiştir. Arslan (2017) çalışmada, Coutagne ve Turc yöntemleri aracılığı ile hesaplanan Niğde ilindeki PET değerlerinin trendlerini Mann Kendall Mertebe Korelasyon (MKMK) testi ile incelemiştir. Sonuç olarak her iki yöntem ile elde edilen PET değerlerinde anlamlı bir trendin olmadığı tespit edilmiştir. Jerin vd. (2021) Bangladeş'te bulunan 18 meteoroloji gözlem istasyonuna ait PET değerlerinin trendlerinin zamansal ve mekânsal değişimini analiz etmişlerdir. Ortalama sıcaklıktaki artışa rağmen, güneşlenme süresinde ve rüzgâr hızındaki azalmaya bağlı olarak PET değerlerinde azalış tespit edilmiştir. Bu çalışma önemli tarımsal alanların bulunduğu Dicle havzasındaki PET değerlerindeki eğilim ve değişim yılının analiz edildiği ilk çalışmalardan olması açısından önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, Şen'in Yenilikçi Trend Analizi (ITA), ve MKMK testi ile mevsimsel ve yıllık PET değerlerindeki trendlerin yönü ve trend değişim yıllarının belirlenmesidir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı ve Veriler

Çalışma alanı olarak seçilen Dicle havzası, Güneydoğu Anadolu Projesi bölgesinde bulunması nedeniyle bölgenin enerji üretimi ve tarımsal kalkınma açısından büyük öneme sahiptir. Dicle nehri, Türkiye'de doğar, Irak topraklarından geçer ve orada Fırat'la birleşerek Basra Körfezi'ne dökülmektedir. Dicle nehri güneybatı Asya'da bulunan ikinci en uzun nehirdir. Nehrin yaklaşık uzunluğu 1900 m'dir. Dicle nehrinin Türkiye sınırlarında bulunan ana kolları, Cizre'nin yukarısında yer alan Batman, Garzan ve Botan nehirleridir (Şen 2019).

Dicle nehrinin debisi ortalama 360 m³/sn dir. Eylül ayı ortalarında 55 m³/sn ile en düşük debi değeri görülürken, şubat sonunda 2263 m³/sn ile büyük en büyük debi değerini almaktadır (Yılmaz ve Peker 2013). Çalışma alanı bozkır bitki örtüsüne sahip yarı kurak bir iklim yapısına sahiptir. Havzanın kuzeydoğu kesiminde bulunan yazlar nispeten sıcak, kışlar ise soğuk ve kar yağışlıdır. Çalışmada kullanılan istasyonların bulunduğu havzanın güney kesiminde ise iklim kuru, yazlar sıcak, kışlar orta derecede ılık ve yağışlıdır. Çalışma alanında sıcaklıklar – 9 ile 48 °C arasında değişmektedir (Şen 2019).

Tablo 1: Çalışmada kullanılan istasyonlara ait topoğrafik bilgiler

İstasyon	Enlem	Boylam	Rakım
Hakkâri	37° 34' 12"	43° 44' 24"	1727
Batman	37° 51' 36"	41° 9' 36"	610
Cizre	37° 19' 48"	42° 12' 0"	400
Diyarbakır Havalimanı	37° 53' 24"	40° 12' 0"	674

Bu çalışmada, Dicle Havzası'nda bulunan 4 meteoroloji istasyonuna (17282 nolu Batman, 17950 nolu Cizre, 17280 nolu Diyarbakır havalimanı, 17285 nolu Hakkâri) ait 1964-2017 zaman periyodundaki ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan aylık ortalama sıcaklık verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan istasyonların topoğrafik özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Ayrıca çalışmada kullanılan sıcaklık verilerine ait istatistiksel parametreler Tablo 2'de ifade edilmiştir. Buna göre en yüksek ortalama sıcaklıklar Cizre istasyonunda görülürken en düşük ortalama sıcaklıklar Hakkâri istasyonunda görülmektedir. Ayrıca kış mevsiminde Diyarbakır istasyonu dışındaki istasyonlarda ortalama sıcaklık değerleri sıfırın altında değer almaktadır. Yaz mevsiminde ise ortalama sıcaklıklar 30 dereceye yaklaşmaktadır. En düşük sıcaklıklar Hakkâri istasyonunda görülürken en yüksek sıcaklıklar Cizre istasyonunda görülmektedir (Tablo 2).

Tablo 2: Çalışmada kullanılan sıcaklık verilere ait istatistiksel parametreler

	Sıcaklık	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Yıllık
Hakkâri	Ortalama	8,10	23,05	12,76	-3,23	10,17
	Standart sapma	1,60	1,22	1,39	1,83	1,22
	Minimum	4,40	20,07	8,00	-7,27	7,36
	Maksimum	11,03	24,93	15,90	1,70	13,01
	Çarpıklık	-0,36	-0,36	-0,18	0,34	-0,05
	Basıklık	0,01	-0,58	2,22	0,44	0,05
Cizre	Ortalama	12,61	29,28	27,81	9,99	20,83
	Standart sapma	1,28	1,16	0,90	1,39	0,90
	Minimum	9,73	26,07	26,17	7,05	18,77
	Maksimum	15,90	31,37	30,17	13,25	22,67
	Çarpıklık	-0,08	-0,70	0,28	-0,07	-0,41
	Basıklık	-0,12	0,52	-0,30	-0,06	-0,23
Batman	Ortalama	14,58	28,99	17,43	3,84	16,21
	Standart sapma	1,05	0,91	0,92	1,83	0,86
	Minimum	12,23	26,77	15,37	-2,60	14,23
	Maksimum	17,70	30,77	19,90	7,10	17,77
	Çarpıklık	0,43	-0,44	0,28	-0,67	-0,24
	Basıklık	0,58	-0,12	0,23	1,59	-0,27
Diyarbakır Havalimanı	Ortalama	13,74	29,01	17,21	2,97	15,73
	Standart sapma	1,02	0,87	0,81	1,75	0,78
	Minimum	11,07	26,70	15,53	-1,77	13,12
	Maksimum	16,43	30,67	18,90	6,80	17,65
	Çarpıklık	0,13	-0,49	-0,02	-0,42	-0,52
	Basıklık	0,64	-0,13	-0,48	0,58	1,86

2.2. Run Homojenlik Testi

Run Homojenlik Testi, zaman serilerindeki homojenlik durumunu tespit edilmesi amacıyla kullanılan istatistiksel bir testtir. Run testine göre verilerin aynı toplumdaki gelip gelmediği değerlendirilmektedir (Oliver 1981). Verilerin homojenliği hipotez testlerine göre kontrol edilir; H₀: veriler homojendir, H₁: veriler homojen değildir.

Bu test için zaman serisi ortalama veya medyan değerlerine göre kesilmektedir. Bu değerlerin üzerinde ve altında kalan değerler birinin diğerine geçiş sayılarının toplamı olan Run sayısı belirlenir. Run sayısı belirlendikten sonra homojenlik durumu Denklem 1'e göre hesaplanır.

$$Z = \frac{r - \frac{2N_A N_B}{(N_A + N_B)} + 1}{\sqrt{\frac{2N_A N_B (2N_A N_B - N)}{N^2 (N - 1)}}} \quad (1)$$

Burada Z test değerini, N veri adedini, N_A medyandan büyük olan veri adedini, N_B medyandan küçük olan veri adedini, R ise run sayısını ifade etmektedir.

Elde edilen Z değeri, $\pm 1,96$ arasında ise %95 güven düzeyinde, $\pm 2,58$ aralığında ise %99 güven düzeyinde verilerin rasgele (homojen) dağıldığı kabul edilir (Swed ve Eisenhart 1943; Toros 1993).

2.3. Thornthwaite Metodu ile PET Hesabı

Bu çalışmada PET değerlerinin hesaplanmasında Thornthwaite yöntemi kullanılmıştır. PET in hesabına ilişkin denklem aşağıda 2 numaralı eşitlik ile verilmiştir. Bu denklem yağış ve yeraltı sularınca sürekli olarak ve yeterince beslendiği kabul edilen zemin ve bitki örtüsünün bulunduğu vadiler için su dengesi tarafından belirlenen PET ile aylık ortalama sıcaklığı ilişkilendirir (Thornthwaite 1948).

$$PET = 16 d (10^{T/I})^a \quad (2)$$

Burada T, ayın ortalama sıcaklığıdır (°C), I, yıllık termal endekstir, yani aylık termal endekslerin (i) toplamıdır ve $[i = (T/5)^{1,514}]$ eşitliği ile hesaplanır. d değerleri, enleme ve aya bağlı bir düzeltme faktörüdür. a değerleri ise Denklem 3 aracılığı ile hesaplanmaktadır.

$$a = 0,49 + 0,0179 I - 0,0000771 I^2 + 0,000000675 I^3 \quad (3)$$

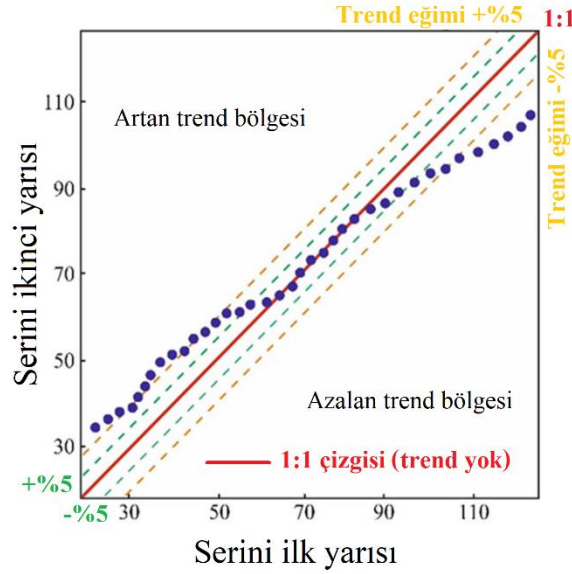
PET değerlerinin hesaplanması için kolaylık sağlayan Kuraklık Endeks Hesaplayıcı (DrinC) yazılımı kullanılmıştır.

2.4. Şen'in Yenilikçi Trend Analizi Yöntemi (ITA)

İlk olarak Şen (2012) tarafından önerilmiş olan ITA yöntemi hidro-meteorolojik değişkenlerdeki eğilimleri belirlemek için çok sayıda araştırmada kullanılmıştır. Zaman serisindeki monotonik, non monotonik, farklı alt gruplardaki trendleri ve ayrıca ITA grafiğini inceleyerek zaman serisi verilerinin farklı periyotlarındaki çeşitli trend kombinasyonlarını belirleyebilmektedir (Pour vd. 2020). ITA'yı gerçekleştirmek için sırasıyla aşağıdaki adımlar takip edilmektedir;

- Orijinal serinin verileri, eşit uzunlukta ve eşit sayıda gözleminden oluşan 2 alt seriye bölünür.
- Her seri artan bir düzende yeniden düzenlenir.
- İlk yarı döneme ait sıralı veriler ile ikinci yarı döneme ilişkin sıralı veriler karşılıklı eşleştirilerek tüm veri çiftleri Kartezyen koordinat sisteminde işaretlenir (Şekil 1).
- Veri noktaları 1:1 (45°) çizgisinde toplanıyorsa trend yoktur. Eğer veri noktalarının saçılımı 45° çizgisinin (1:1) üst (alt) kısmındaki üçgen alan içerisinde kalıyorsa artış (azalan) trend vardır (Şen 2012; Şen 2014).

Zaman içerisinde trend büyüklüğünü analiz etmek için ITA uygulamasına 1:1 düz çizgiye paralel $\pm 5\%$ ve $\pm 10\%$ gibi trend eğim çizgileri eklenmiştir (Dabanlı ve Şen 2018). Artan ve azalan trendleri görsel olarak değerlendirilmesinde kolaylık sağlamak amacıyla yüzde çizgilerinden faydalanılmıştır. Grafikteki $\pm 5\%$ ve $\pm 10\%$ eğim çizgileri, Denklem 4 kullanılarak 1:1 çizgiye paralel olarak çizilmiştir.



Şekil 1: ITA metodunun grafiksel anlatımı (Şişman ve Kizilöz 2021)

Şen (2017a) verilerin zaman serisindeki mevcut trend yapısını daha detaylı ifade edebilmek için ITA yöntemini %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyelerinde değerlendirmiştir. Trend eğiminin (s) belirlenmesi için Denklem 4'ü önermiştir.

$$s = \frac{2(\bar{y}_2 - \bar{y}_1)}{n} \quad (4)$$

Burada y_1 ve y_2 bağımlı değişkenin birinci ve ikinci yarısının aritmetik ortalamalarını ve n ise toplam veri sayısını göstermektedir. Pozitif (negatif) eğim değerleri artan (azalan) trendleri temsil ederken, sıfır eğim değeri bir trendin olmadığını gösterir. Bazen, eğim değerleri sıfırdan marjinal olarak daha büyük (küçük) olmasına rağmen bu durumda anlamlı bir pozitif (negatif) trend olmayabilir (Alashan 2020; Cui vd. 2017; Kambezidis 2018). ITA'nın anlamlılığını tahmin etmek için olasılık dağılım fonksiyonu (PDF) kullanılır. Ortalaması sıfır ve standart sapması σ_s olan bir standart normal PDF ait eğimin güven sınırları α anlamlılık düzeyinde aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$CL_{(1-\alpha)} = 0 \pm S_{ITA} \sigma_s \quad (5)$$

ITA trendinin değerlendirilen eğiminin kritik değerden büyük olduğu tespit edildiğinde, sıfır hipotezi (eğim yok) reddedilir ve istatistiksel olarak anlamlı trendin olduğu sonucuna varılır (Şen 2017b; Zhou vd. 2018).

2.5. Mann-Kendall Mertebe Korelasyon (MKMK) Testi

Bu test hidro-meteorolojik zaman serisindeki trendin başlangıcını ve yönünü ortaya çıkarılması için kullanılan parametrik olmayan bir yöntemdir. Bu metod, verinin mertebesini belirlemek için verileri sıralamaktadır. Her bir mertebe için kendinden önceki mertebelerden küçük olanlar sayılarak elde edilen n_i değerleri toplanır. n_i değerlerinin toplanması ile elde edilen test istatistik değerleri (t) aşağıda verilmiştir;

$$t = \sum_{i=1}^n n_i \quad (6)$$

Test istatistiklerinin ortalama $E(t)$ ve varyans $Var(t)$ değerleri

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad \text{ve} \quad Var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (7)$$

$u(t)$ istatistiklerinin sıralı değerleri

$$u(t) = \frac{|t - E(t)|}{\sqrt{Var(t)}} \quad (8)$$

Benzer şekilde, $u'(t)$ değerleri de serinin sonundan başlayarak geriye doğru hesaplanmaktadır. Bu test, ileri yönlü bir $u(t)$ ve geriye dönük bir $u'(t)$ olmak üzere iki seriye dayanmaktadır. $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrilerinin birkaç kez üst üste gelişi, dizide herhangi bir eğilimin bulunmadığını göstermektedir.

Bu eğrilerin kesiştiği nokta, önemli bir trendin yaklaşık başlangıç yılını temsil eder. Eğrilerin birbirlerini keserek ayrıldığı nokta azalış ya da artış yönlü eğilimin başlangıcını gösterirken %95 güven sınırlarını ($\pm 1,96$) aştığı nokta istatistiksel açıdan anlamlı trendlerin varlığını göstermektedir (Mosmann vd. 2004; Yılmaz 2021). Ayrıca $u(t)$ 'nin sıfıra yakın değerler alması trendin olmadığına işaret etmektedir (Gümüş 2006).

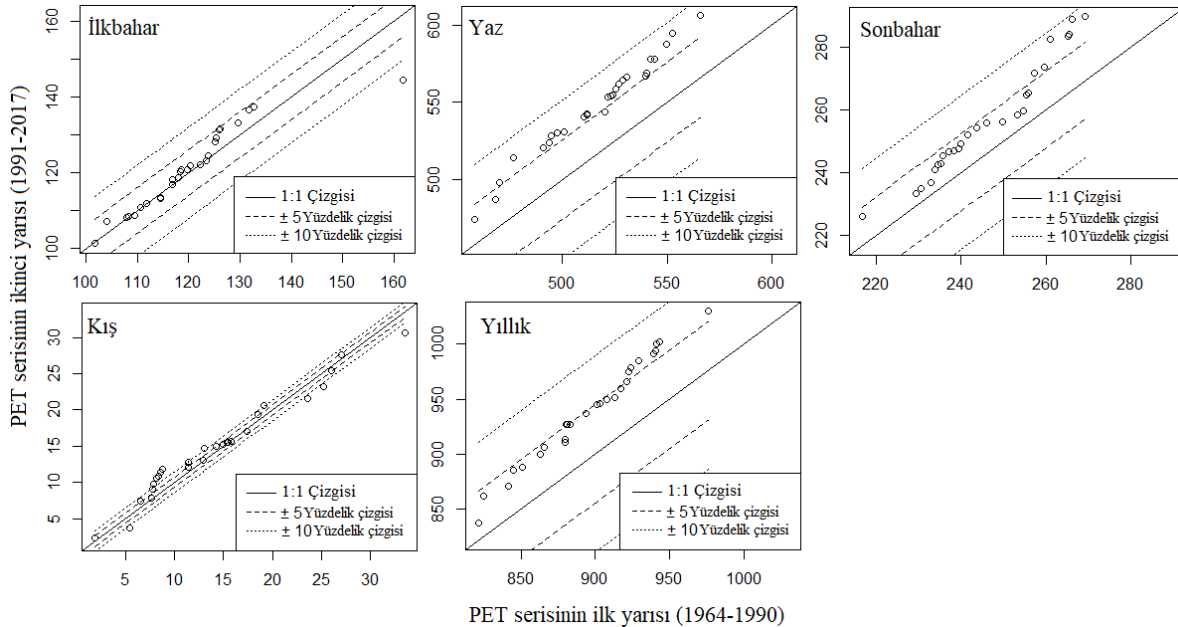
3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada Dicle havzasında seçilen bazı istasyonlardaki PET değerlerinin trendlerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak Run testi ile PET değerlerinin hesabında kullanılan sıcaklık verilerini homojenlik durumu kontrol edilmiştir (Tablo 3). Analiz sonuçlarına göre Cizre, Batman ve Diyarbakır Havalimanı istasyonlarında hesaplanan Z değerleri $\pm 2,58$ aralığında bulunması nedeniyle %99 güven düzeyinde homojen dağıldığı kabul edilmiştir. Hakkâri istasyonunda ise aralık dışında kalması nedeniyle homojen olmadığına karar verilmiştir ve trend analizine tabi tutulmamıştır.

Tablo 3: Run testi sonuçları

	Hakkâri	Cizre	Batman	Diyarbakır Havalimanı
Z	-3,842	-1,649	-0,824	0,000
Anlamlılık	0,000	0,099	0,410	1,000
Homojenlik	Homojen değil	Homojen	Homojen	Homojen

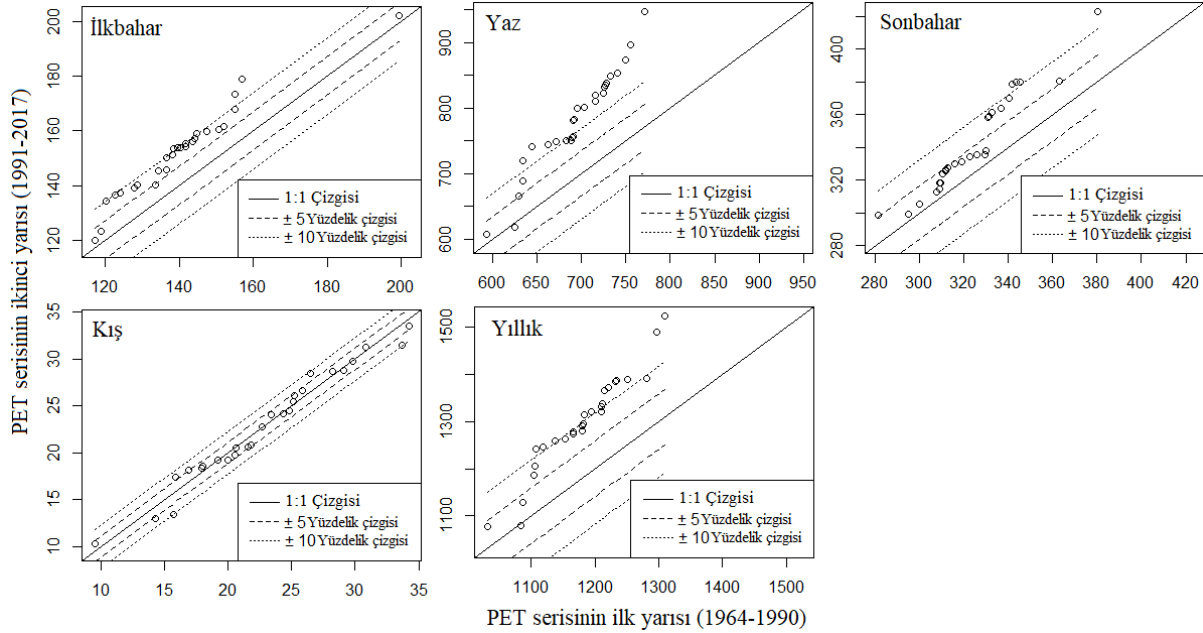
Çalışmada Dicle havzasında bulunan Batman, Cizre, Diyarbakır, meteoroloji istasyonlarındaki mevsimsel ve yıllık PET değerlerinin eğilimleri ITA ve MKMK testleri ile analiz edilmiştir. 1964-2017 periyodundaki ortalama sıcaklık verileri kullanılarak Thornthwaite denklemi ile PET değerleri hesaplanmıştır. ITA yöntemi ile analiz edilen PET değerlerindeki eğilimler Şekil 2-4'te sunulmuştur. Batman istasyonu mevsimlik ve yıllık ITA eğilim grafikleri incelendiğinde, en önemli trendin yaz mevsiminde meydana geldiği görülmektedir. Analizlere göre yaz mevsimi eğilimi ortalama olarak %10'un üzerindedir. Yaz mevsiminden sonra en büyük buharlaşmaların yaşandığı yıllık değerlerde artış eğilimleri iki alt grupta incelenebilir. 850-925 aralığındaki PET değerleri için artış eğilimleri 0-5% aralığında gerçekleşirken 925 ve üzeri PET değerlerinde 5-10% aralığında artış eğilimi söz konusudur. İlkbahar mevsimine gelindiğinde 100-125 aralığındaki PET değerleri için kayda değer bir eğilim görülmezken 125 ve üzeri PET değerlerinde 0-5% aralığında artış eğilimleri görülmektedir. Kış mevsiminde bir kararsızlık hâkim olup, artış ve azalış yönünde hareketler söz konusudur (Şekil 2).



Şekil 2: Batman istasyonundaki PET değerlerindeki trend değişiminin ITA metodu ile analizi

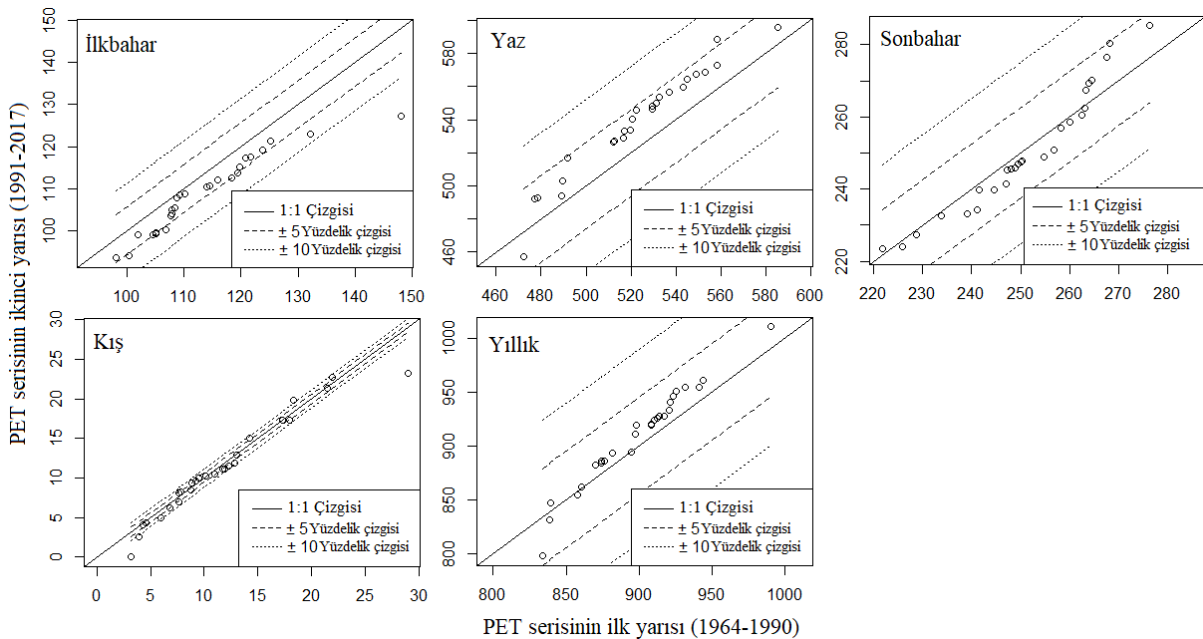
Cizre istasyonu mevsimlik ve yıllık ITA eğilim grafikleri incelendiğinde, en önemli trendin yaz mevsiminde ortaya çıktığı görülmektedir. Analizlere göre yaz mevsimi eğilimi ortalama olarak %10'un üzerindedir. Yaz mevsiminden sonra en büyük buharlaşmaların yaşandığı sonbahar aylarındaki artış eğilimleri iki alt grupta değerlendirilebilir.

280-340 aralığındaki PET değerleri için artış eğilimleri 0-5% aralığında gerçekleşirken 340 ve üzeri PET değerlerinde 5-10% aralığında ve birkaç yıl %10'un üzerinde artış eğilimi söz konusudur. İlkbahar mevsimine gelindiğinde artış eğiliminin genelde 5-10% merteye aralığında gerçekleştiği görülmektedir. Kış mevsiminde bir kararsızlık hâkim olup, artış ve azalış yönünde hareketler söz konusudur. Genelde kış mevsiminde kayda değer bir değişim söz konusu değildir. Yıllık olarak ortalama %10'luk artış eğilimi söz konusudur (Şekil 3).



Şekil 3: Cizre istasyonundaki PET değerlerindeki trend değişiminin ITA metodu ile analizi

Diyarbakır istasyonu mevsimlik ve yıllık ITA eğilim grafikleri incelendiğinde, en önemli trendin yaz mevsiminde meydana geldiği görülmektedir. Analizlere göre yaz mevsimi eğilimi ortalama olarak %0-5 aralığındadır. Yaz mevsiminden sonra en büyük buharlaşmaların yaşandığı yıllık değerlerde ortalama %10'luk artış eğilimi mevcuttur. İlkbahar mevsimine gelindiğinde ortalama %5'lik azalış eğilimi görülmektedir. Sonbahar mevsiminde görülen PET değerlerinin eğilimi iki alt grupta değerlendirilebilir. 220-260 aralığındaki PET değerleri için 0-5% aralığında azalış eğilimleri gerçekleşirken 260 ve üzeri PET değerlerinde 0-5% aralığında artış eğilimi görülmektedir. Kış mevsiminde bir kararsızlık hâkim olup, artış ve azalış yönünde hareketler söz konusudur (Şekil 4).



Şekil 4: Diyarbakır istasyonundaki PET değerlerindeki trend değişiminin ITA metodu ile analizi

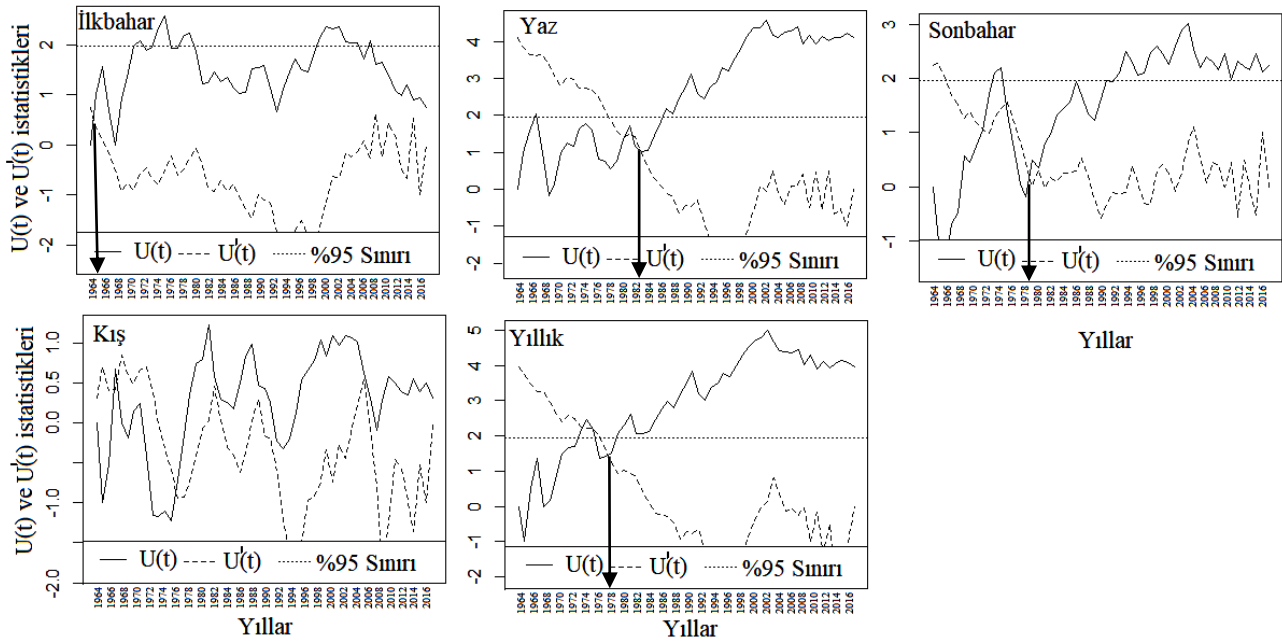
ITA eğimine göre eğilimin istatistiksel olarak önemli olup olmadığını belirlemek için Denklem 4 aracılığıyla %1 ve %5 anlamlılık seviyesindeki kritik değerler hesaplanmıştır. Elde edilen kritik değerler ITA eğimi ile karşılaştırılarak anlamlılık düzeyine karar verilmiştir. Örnek olarak Batman istasyonu yaz mevsiminde kritik alt ve üst sınırlar -0,059 ve +0,059 olarak belirlenmiştir. Bu aydaki eğim değeri (1,166) hesaplanan üst sınırdan +0,059'dan büyük olduğundan %1 anlamlılık düzeyinde artan trend olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde Batman, Cizre ve Diyarbakır istasyonlarındaki PET değerlerinin ITA yöntemi ile elde edilen eğilimlerin yönü ve anlamlılık seviyeleri Tablo 4'de verilmiştir. Buna göre havzada genellikle %99 güven aralığında (%1 anlamlılık) artan PET trendlerinin hâkim olduğu görülmektedir. Sadece Diyarbakır istasyonunda ilkbahar ve kış mevsimlerinde %1 anlamlılık düzeyinde önemli düşüş trendi görülmektedir. Ayrıca ilkbaharda Batman istasyonunda istatistiksel açıdan önemsiz artış trendi mevcut iken, Kış mevsiminde Cizre ve sonbaharda Diyarbakır Havalimanı istasyonunda istatistiksel açıdan önemsiz azalış trendi görülmektedir (Tablo 4).

Tablo 4: ITA eğimine ait sonuçlar

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Yıllık
Batman	Eğim	0,032	1,166**	0,394**	0,019**	1,611**
	Anlamlılık %5	0,039	0,045	0,035	0,012	0,058
	Anlamlılık %1	0,052	0,059	0,045	0,016	0,076
	Trend	↔	↑	↑	↑	↑
Cizre	Eğim	0,438**	3,265**	0,660**	-0,0008	4,365**
	Anlamlılık %5	0,043	0,186	0,072	0,010	0,268
	Anlamlılık %1	0,057	0,244	0,095	0,013	0,352
	Trend	↑	↑	↑	↔	↑
Diyarbakır Havalimanı	Eğim	-0,180**	0,599**	-0,020	-0,017*	0,382**
	Anlamlılık %5	0,032	0,072	0,037	0,014	0,077
	Anlamlılık %1	0,041	0,095	0,049	0,018	0,101
	Trend	↓	↑	↔	↓	↑

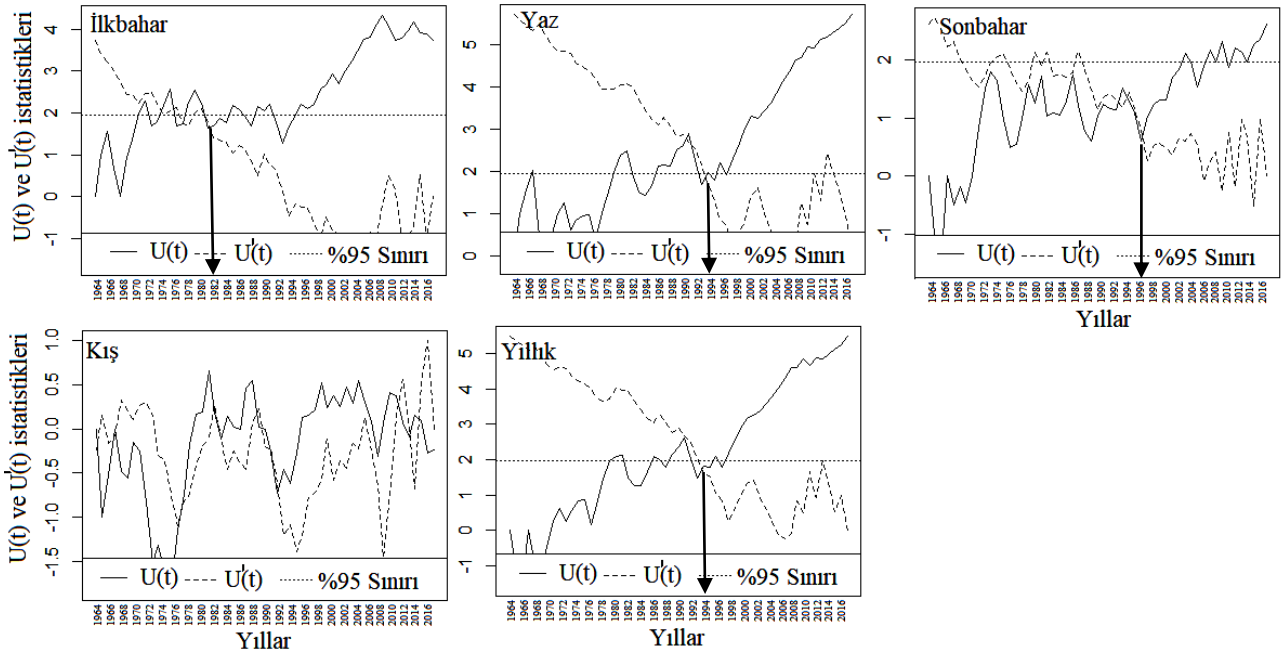
** %1 anlamlılık düzeyinde eğilim ve * %5 anlamlılık düzeyinde eğilim

Şekil 5'te Batman istasyonuna ait mevsimsel ve yıllık PET değerlerinin MKMK testi grafikleri gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde ilkbaharda $u(t)$ eğrisi, $u'(t)$ eğrisini 1965 yılında kestikten sonra %95 güven sınırını ($\pm 1,96$) aşmaktadır. Ancak gözlem periyodunun sonunda eğrilerin birbirine yaklaşması ve $u(t)$ eğrisi güven sınırının altında son bulması nedeniyle anlamlı bir trendin varlığından bahsedilemez. Yaz mevsiminde 1982 yılında $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri kesiştikten sonra %95 güven sınırını aşmaktadır. Bu nedenle PET değerlerinde 1982 yılında başlayan anlamlı artış trendlerinin meydana gelmektedir. Sonbahar mevsiminde ise PET değerlerinde 1979 yılında başlayan anlamlı artış trendlerinin meydana gelmektedir. Kış mevsiminde $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri %95 güven sınırları içerisinde birbirlerine paralel olarak hareket etmesi anlamlı bir trendin olmadığına işaret etmektedir. Yıllık PET değerlerinde ise 1978 yılında başlayan %95 güven aralığında anlamlı artış trendlerinin hâkim olduğu görülmektedir.



Şekil 5: Batman istasyonuna ait PET değerlerinin MKMK testi grafikleri

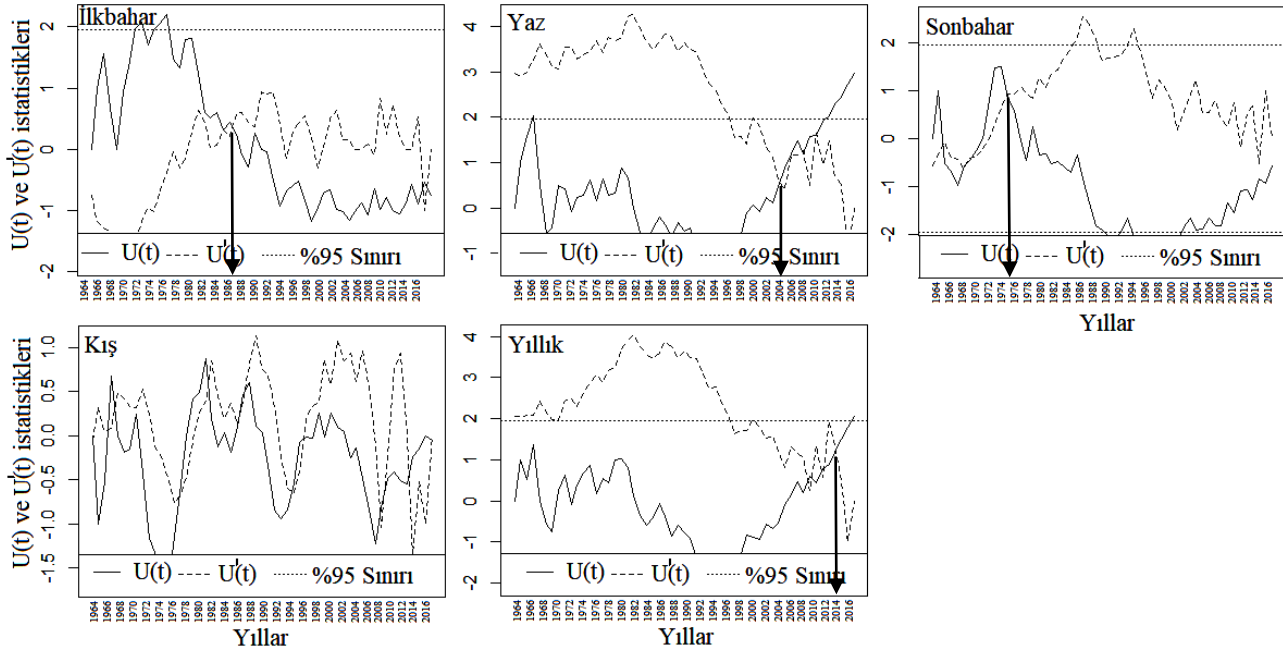
Şekil 6'da Cizre istasyonuna ait mevsimsel ve yıllık PET değerlerinin MKMK testi grafikleri gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde ilkbaharda $u(t)$ eğrisi, $u'(t)$ eğrisini 1982 yılında kestikten sonra %95 güven sınırını aşmaktadır. Bu nedenle ilkbaharda PET değerlerinde 1982 yılında başlayan ve istatistiksel açıdan anlamlı artış trendi mevcuttur. Yaz mevsiminde 1994 yılında eğriler kesiştikten sonra %95 güven sınırını aşmaktadır. Bu nedenle PET değerlerinde 1994 yılında başlayan anlamlı artış trendlerinin meydana gelmektedir. Sonbahar mevsiminde ise PET değerlerinde 1996 yılında başlayan anlamlı artış trendlerinin meydana gelmektedir. Kış mevsiminde $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri %95 güven sınırları içerisinde birbirlerine paralel olarak hareket etmesi anlamlı bir trendin olmadığına işaret etmektedir. Yıllık PET değerlerinde ise 1994 yılında başlayan %95 güven aralığında anlamlı artış trendlerinin hâkim olduğu görülmektedir.



Şekil 6: Cizre istasyonuna ait PET değerlerinin MKMK testi grafikleri

Şekil 7'de Diyarbakır istasyonuna ait mevsimsel ve yıllık PET değerlerinin MKMK testi grafikleri gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde ilkbaharda $u(t)$ eğrisi, $u'(t)$ eğrisini 1987 yılında kestikten sonra mevcut zaman periyodunun sonunda birleşmektedir. Bu nedenle ilkbaharda PET değerlerinde anlamlı bir trend mevcut değildir.

Yaz mevsiminde 2004 yılında $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri kesiştikten sonra %95 güven sınırını aşmaktadır. Bu nedenle PET değerlerinde 2004 yılında başlayan anlamlı artış trendlerinin meydana gelmektedir. Sonbahar mevsiminde ise 1976 yılında eğriler kesiştikten sonra %95 güven sınırını aşmaktadır. Ancak gözlem periyodunun sonunda eğrilerin birbirine yaklaşması ve $u(t)$ eğrisi güven sınırının altında son bulması nedeniyle anlamlı bir trendin varlığından bahsedilemez. Kış mevsiminde $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri %95 sınırları içerisinde birbirlerine paralel olarak hareket etmesi anlamlı bir trendin olmadığına işaret etmektedir. Yıllık PET değerlerinde ise 2014 yılında başlayan %95 güven aralığında anlamlı artış trendlerinin hâkim olduğu görülmektedir.



Şekil 7: Diyarbakır istasyonuna ait PET değerlerinin MKMK testi grafikleri

Tablo 5'te MKMK testine göre PET değerlerinde meydana gelen trendlerin başlangıç yılları ve yönleri gösterilmiştir. Tabloya göre Batman istasyonunda yaz, sonbahar ve yıllık zaman periyodunda başlangıcı 1978-1982 yılları arasında olan anlamlı artış trendlerinin görülmektedir. Cizre istasyonunda ise ilkbaharda başlangıcı 1982 yılını ve diğer zaman periyotlarında ise başlangıcı 1994 ve 1996 yılları olan anlamlı artış trendleri meydana gelmiştir. Diyarbakır havalimanı istasyonunda ise yaz ve yıllık zaman periyotlarında sırası ile başlangıcı 2004 ve 2014 yılları olan anlamlı trendler görülmektedir.

Tablo 5: MKMK testine göre PET değerlerindeki trendlerin yönü ve başlangıç yılları

İstasyon Zaman	Batman		Cizre		Diyarbakır Havalimanı	
	Trend	Başlangıç	Trend	Başlangıç	Trend	Başlangıç
İlkbahar	↔	1965	↑	1982	↔	1987
Yaz	↑	1982	↑	1994	↑	2004
Sonbahar	↑	1979	↑	1996	↔	1976
Kış	↔	-	↔	-	↔	-
Yıllık	↑	1978	↑	1994	↑	2014

↑ işaretli anlamlı artış trendini, ↔ işaretli ise trendin olmadığını göstermektedir.

Altındağ (2007) çalışmasında, Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) bölgesinde bulunan dokuz meteoroloji istasyonu için 1970-2005 yılları arasında toplanan verileri kullanarak hesapladıkları aylık PET değerlerinin eğilimlerini MKMK yöntemi ile belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, GAP bölgesinin orta ve güney bölümünde bulunan Şanlıurfa, Diyarbakır ve Mardin istasyonlarında PET değerlerinde artış trendleri, Adıyaman, Gaziantep, Birecik, Cizre ve Siverek'te ise azalan trendler tespit edilmiştir. Diyarbakır istasyonunda tüm periyotlarda %95 güven aralığında artan PET değerleri yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında yaz ve yıllık periyotta örtüşürken ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde farklılık göstermektedir. Cizre istasyonunda ise kış mevsimi dışında az benzerlik bulunmaktadır. Bu farklılık seçilen zaman periyodu ve PET denklemi ile açıklanabilmektedir.

Tabari vd. (2011) çalışmalarında, batı İran'da bulunan 20 meteoroloji istasyonundaki yıllık, mevsimlik ve aylık Penman-Monteith tabanlı PET değerlerindeki eğilimleri belirlemek için Mann-Kendall testi, Sen'in eğim tahmincisi ve lineer regresyon yöntemlerine başvurmuştur. Çalışmanın sonucunda yıllık PET serisinin Mann-Kendall testi ve Sen'in eğim tahmin edicisine göre istasyonların %70'inde ve lineer regresyona göre istasyonların %75'inde pozitif bir eğilim göstermiştir. Mevsimsel ölçekte, PET verilerinde kış ve yaz aylarında sonbahar ve ilkbahardakilere kıyasla daha güçlü artış eğilimleri tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları çalışma alanı ile benzer iklimsel yapıya sahip olan Tabari vd. (2011) çalışmalar ile karşılaştırıldığında mevsimsel periyotta anlamlı trendlerinin hâkim olması açısından büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.

Katipoğlu (2020) çalışmasında Fırat havzasında ortalama sıcaklıklara uygulanan homojenlik testleri sonucunda havzada 1994 ve 1995 yıllarında sıcaklık verilerinde iklimsel kırılma nedeniyle artışlar ifade edilmiştir. Havzaya komşu olan çalışma alanındaki sıcaklık tabanlı Thornthwaite denklemi ile hesaplanan PET değerlerinin kırılma yılları MKMK testine göre incelendiğinde genellikle 1980 ile 1995 yıllarında trendin başladığı ve sıcaklıklarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu durum PET değerlerindeki artan trendin küresel ısınmaya bağlı artan sıcaklıklar ile ilişkili olduğuna işaret etmektedir.

Ay vd. (2018) Fırat-Dicle Havzasındaki bazı akarsuların aylık akım verilerindeki eğilimleri belirlemek için Mann-Kendall ve Sen'in yeni eğilim testlerine başvurmuşlardır. Sonuç olarak akımlarda anlamlı düşüş eğilimi tespit etmişlerdir. Elde edilen bulgular yapılan çalışmadaki PET değerlerindeki değişimler ile ilişkilendirildiğinde, PET değerlerindeki artış eğilimleri akışlardaki azalış eğilimi ile uyumludur. Bu açıdan artan PET eğilimlerinin çalışma alanındaki su kaynaklarını etkileyerek hidrolojik kuraklıklara neden olabileceği düşünülmektedir.

Özdel (2020) Batman, Çermik, Diyarbakır, Ergani ve Siirt meteoroloji istasyonlarının ortalama sıcaklık, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık ve toplam yağışlardaki eğilimler çeşitli trend analizi metodları ile değerlendirilmiştir. Trend testlerine göre istasyonların yıllık ortalama sıcaklık serilerinde Diyarbakır istasyonu hariç, istatistiksel olarak anlamlı ısınmalar tespit edilirken, yağışlarda ise genellikle azalış eğiliminin hâkim olduğu sonucuna varmıştır. Yapılan çalışmaya göre tespit edilen artan sıcaklık tabanlı PET trendleri, Özdel (2020) çalışmasında elde edilen sıcaklıklarda artış ve yağışlarda azalış trendleri ile büyük ölçüde örtüşmektedir.

Bahadır (2011) GAP alanında gelecekte sıcaklık ve yağışlardaki olası değişimleri ARIMA modeli kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak yağış verilerinde azalma, sıcaklık verilerinde ise artma eğilim tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular mevcut çalışmayı desteklemektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Dicle havzasında bulunan üç meteoroloji istasyonundaki PET verilerinin eğilim analizi ITA ve MKMK testleri ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma, iklim değişikliği etkileri altında su kaynakları yönetiminin, tarımsal mahsul üretiminin ve çevrenin korunmasının sürdürülebilir planlamasına yardımcı olacak niteliktedir.

PET değerlerinin trend analizinde ITA ve MKMK testlerinin sonuçları büyük ölçüde benzerlik göstermiştir. Ancak PET değerlerinde ITA yöntemiyle elde edilen bazı anlamlı trendler MKMK testi ile tespit edilememiştir. MKMK yönteminde trendin başlangıç yılının belirlenmesi ITA ile karşılaştırıldığında bir avantajdır. Sonuç olarak PET değerlerindeki değişimin değerlendirilmesinde, ITA yöntemi farklı değer aralıklarında eğilimleri ve MKMK ise trend değişim yılını etkili olarak ortaya çıkarılabilmektedir.

Trend analizleri sonucunda Dicle havzasında PET değerlerinde artış eğiliminin hâkim olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular kuraklıkların havzada önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle çalışma alanında kuraklık yönetim planının uygulanması, iklim değişikliğine adaptasyon ve uyum stratejilerini geliştirilmesi, tarımsal sulamada su tüketimi azaltan yöntemlerin yaygınlaştırılması önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında kullanılan aylık ortalama sıcaklık verilerini temin eden Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Alashan S., (2020), *Innovative trend analysis methodology in logarithmic axis*, Konya Journal of Engineering Sciences, 8, 573-585.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., (1998), *Evapotranspiration*, FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. Rome, Italy, 300, 6541.
- Altındağ M., (2007), *GAP alanında farklı yöntemlere göre hesaplanan referans bitki su tüketimi değerlerinin gidiş analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Arslan O., (2017), *Niğde İl'indeki potansiyel evapotranspirasyon tahminlerinin trend analizi*, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2), 602-608.
- Ay M., Karaca Ö.F., Yıldız A.K., (2018), *Mann-Kendall ve Sen'in yeni eğilim testlerinin Fırat-Dicle Havzasındaki bazı akarsuların aylık akış serileri ile karşılaştırılması*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 34(1), 78-86.

- Aydın M., Arif Ö.Z., (2021), *Van Gölü Havzasında hidrometeorolojik verilerin eğilim analizi*, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 36(2), 441-456.
- Bahadır M., (2011), *Güneydoğu Anadolu Proje (GAP) alanında sıcaklık ve yağışın trend analizi*, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 4(16), 46-59.
- Bari S.H., Rahman M.T.U., Hoque M.A., Hussain M.M., (2016), *Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh*, Atmospheric Research, 176, 148-158.
- Blaney H.F., Criddle W.D., (1950), *Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data*, USDA SCSTP-96. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
- Cui L., Wang L., Lai Z., Tian Q., Liu W., Li J., (2017), *Innovative trend analysis of annual and seasonal air temperature and rainfall in the Yangtze River Basin, China during 1960–2015*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 164, 48-59.
- Dabanlı İ., Şen Z., Yeleğen M.Ö., Şişman E., Selek B., Güçlü Y.S., (2016), *Trend assessment by the innovative-Şen method*, Water Resources Management, 30(14), 5193-5203.
- Dabanlı İ., Şen Z., (2018), *Classical and innovative-Şen trend assessment under climate change perspective*, International Journal of Global Warming, 15(1), 19-37.
- Dinpashoh Y., Jahanbakhsh-Asl S., Rasouli A., Foroughi M., Singh V.P., (2019), *Impact of climate change on potential evapotranspiration (case study: west and NW of Iran)*, Theoretical and Applied Climatology, 136, 185-201.
- Espadafor M., Lorite I.J., Gavilán P., Berengena J., (2011), *An analysis of the tendency of reference evapotranspiration estimates and other climate variables during the last 45 years in Southern Spain*, Agricultural Water Management, 98(6), 1045-1061.
- Güçlü Y.S., (2018), *Alternative trend analysis: half time series methodology*, Water Resources Management, 32(7), 2489-2504.
- Gümüş V., (2006), *Fırat havzası akımlarının trend analizi ile değerlendirilmesi*, Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Hargreaves G.H., Samani Z.A., (1982), *Estimating potential evapotranspiration*, Journal of the Irrigation and Drainage Division, 108(3), 225-230.
- Hargreaves G.H., Samani Z.A., (1985), *Reference crop evapotranspiration from temperature*, Applied Engineering in Agriculture, 1(2), 96-99.
- Jerin J.N., Islam A.R.M., Shahid S., Hu Z., Badhan M.A., Chu R., Elbeltagi A., (2021), *Spatiotemporal trends in reference evapotranspiration and its driving factors in Bangladesh*, Theoretical and Applied Climatology, 144(1), 793-808.
- Kambeizidis H.D., (2018), *The solar radiation climate of Athens: Variations and tendencies in the period 1992–2017, the brightening era*, Solar Energy, 173, 328-347.
- Katipoğlu O.M., (2020), *Fırat havzası'ndaki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların analizi*, Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Katul G.G., Oren R., Manzoni S., Higgins C., Parlange M.B., (2012), *Evapotranspiration: a process driving mass transport and energy exchange in the soil-plant-atmosphere-climate system*, Reviews of Geophysics, 50(3), doi: 10.1029/2011RG000366.
- Madhu S., Kumar T.L., Barbosa H., Rao K.K., Bhaskar V.V., (2015), *Trend analysis of evapotranspiration and its response to droughts over India*, Theoretical and Applied Climatology, 121(1), 41-51.
- Mizyed N., (2009), *Impacts of climate change on water resources availability and agricultural water demand in the West Bank*, Water Resources Management, 23 (10), 2015–2029.
- Monteith J.L., (1965), *Evaporation and the environment. The state and movement of water in living organisms*, In: Proc. 19th Symp. Soc. Exp. Biol., Cambridge University Press, Swansea, UK.
- Mosmann, V. Castro, A. Fraile, R. Dessens, J. Sánchez. J., (2004), *Detection of statistically significant trend in the summer precipitation of mainland Spain*, Atmospheric Research, 70(1), 43-53.
- Oliver R.L., (1981), *Measurement and evaluation of satisfaction processes in retail settings*, Journal of Retailing, 57(3), 25-48.
- Özdel M.M., (2020), *Diyarbakır havzasında sıcaklık ve yağış parametrelerinin trend analizi*, Yüksek lisans tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Nevşehir.
- Pandey A., Pandey R.P., (2013), *Analysing trends in reference evapotranspiration and weather variables in the Tons River Basin in Central India*, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 27(6), 1407-1421.
- Pour S.H., Abd Wahab A.K., Shahid S., Ismail Z.B., (2020), *Changes in reference evapotranspiration and its driving factors in peninsular Malaysia*, Atmospheric Research, 246, 105096, doi: 10.1016/j.atmosres.2020.105096.
- Saplioglu K., Kilit M., Yavuz B.K., (2014), *Trend Analysis of Streams in the Western Mediterranean Basin of Turkey*, Fresenius Environmental Bulletin, 23(1A), 313-324.
- Sayemuzzaman M., Jha M.K., (2014), *Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States*, Atmospheric Research, 137, 183-194.
- Shadmani M., Marofi S., Roknian M., (2012), *Trend analysis in reference evapotranspiration using Mann-Kendall and Spearman's Rho tests in arid regions of Iran*, Water resources management, 26(1), 211-224.
- Shenbin C., Yunfeng L., Thomas A., (2006), *Climatic change on the Tibetan Plateau: potential evapotranspiration trends from 1961–2000*, Climatic change, 76(3), 291-319.
- Şarлак N., Bağcı S.Ç., (2020), *Ampirik potansiyel evapotranspirasyon tahmin yöntemlerinin değerlendirilmesi: Uygulama Konya kapalı havzası*, Teknik Dergi, 31(1), 9755-9772.
- Şen Z., (2012), *Innovative trend analysis methodology*, Journal of Hydrologic Engineering, 17, 1042-1046.
- Şen Z., (2014), *Trend identification simulation and application*, Journal of Hydrologic Engineering, 19, 635-642.
- Şen Z., (2017a), *Innovative trend methodologies in science and engineering*, Springer International Publishing, New York.
- Şen Z., (2017b), *Innovative trend significance test and applications*, Theoretical applied climatology, 127, 939-947.
- Şen Z., (2019), *Climate change expectations in the upper Tigris River basin, Turkey*, Theoretical and applied climatology, 137(1), 1569-1585.
- Şişman E., Kizilöz B., (2021), *The application of piecewise ITA method in Oxford, 1870–2019*. Theoretical and Applied Climatology, 145(3), 1451-1465.

- Swed F.S., Eisenhart, C., (1943), Tables for testing randomness of grouping in a sequence of alternatives, *The Annals of Mathematical Statistics*, 14(1), 66-87.
- Tabari H., Marofi S., Aeini A., Talaei P.H., Mohammadi K., (2011), *Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran*, Agricultural and forest meteorology, 151(2), 128-136.
- Thorntwaite C.W., (1948), *An approach toward a rational classification of climate*, Geographical review, 38(1), 55-94.
- Toros H., (1993), *Klimatolojik Serilerden Türkiye İkliminde Trend Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tosunoğlu, F., (2017), *Trend analysis of daily maximum rainfall series in Çoruh Basin, Turkey*, Journal of the Institute of Science and Technology, 7(1), 195-205,
- Topuz M., Karabulut, H.F.M., (2018), *Türkiye'de Yağış Eğilimleri (1955-2013) ve Atmosferik Dolaşım*, TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 3-6 Ekim 2018, Ankara.
- Vicente-Serrano S.M., Azorin-Molina C., Sanchez-Lorenzo A., Revuelto J., López-Moreno J.I., González-Hidalgo J.C., Moran-Tejedaa E., Espejo F., (2014), *Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961–2011*, Global and Planetary Change, 121, 26-40.
- Yılmaz A., (2021), *Muğla'da sıcaklık verilerinin trend analizi*, Turkish Studies - Social, 16(5), 1871- 1896.
- Yılmaz M.L., Peker H.S., (2013), *Su kaynaklarının Türkiye açısından ekono-politik önemi ekseninde olası bir tehlike: Su savaşları*, Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3(1), 57-74.
- Zhou Z., Wang L., Lin A., Zhang M., Niu Z., (2018), *Innovative trend analysis of solar radiation in China during 1962–2015*, Renewable energy, 119, 675-689.

Use of the WinTR-55 Hydrologic Model on Determination of Flood Peak Discharge: The Case of Kırklareli Vize Stream and Samsun Minoz Stream Watersheds

Çayan Alkan^{1,*} 

¹Department of Biosystem Engineering, Bilecik Seyh Edebali University Faculty of Agriculture and Nature Science, Bilecik, Turkey.

Abstract

Climate change is the main parameter affecting water resources. This parameter will exacerbate hydrologic extreme events like drought and flood. Determination of possible peak flow in the agricultural watershed is important in terms of preventing crop losses. The materials and the methods suitable for agricultural watersheds (hydrology) were used in this study. The general aim of this study is to determine the success of estimation power of the Windows Technical Release-55 (WinTR-55) Model. In this study, the peak flows estimated by the WinTR-55 model using the data of the Kırklareli Vize and Samsun Minoz Stream watersheds were compared with the observed peak flows. The most successful estimation was for the 100-year return period with error 25% in the Vize stream watershed and was for the 10-year return period with error 2% in the Minoz Stream watershed. With the aid of the WinTR-55, which tends to predict larger peak flow rates, greater peak flow rates were estimated compared with observed peak flow for each return period. So, it was understood that WinTR-55 can be used for the prevention of flood damage in the Vize and Minoz Stream watersheds confidently. As a result, it is recommended that calculated peak flow in public institutions such as State Hydraulics Works (SHW) should made with the help of the WinTR-55 model.

Keywords

Flood Peak Discharge, Vize and Minoz Stream Watersheds, Wintr-55, Hydrologic Model

Taşkın Pik Debininin Belirlenmesinde WinTR-55 Hidrolojik Modelinin Kullanımı: Kırklareli Vize Deresi ve Samsun Minöz Deresi Havzaları Örneği

Özet

İklim değişikliği, su kaynaklarını etkileyen başlıca parametredir. Bu parametre, kuraklık ve sel gibi ekstrem hidrolojik olayları şiddetlendirecektir. Tarımsal havzalarda muhtemel pik debilerin belirlenmesi, ürün kayıplarının önlenmesi açısından önemlidir. Tarımsal havzalara (hidrolojiye) uygun materyal ve yöntemin kullanıldığı, bu çalışmanın genel amacı; Windows Technical Release-55 (WinTR-55) modelinin tahmin gücünün başarısını belirlemektir. Bu çalışmada, Kırklareli Vize Deresi ve Samsun Minöz Deresi havzalarının verileri kullanılarak WinTR-55 modeliyle tahmin edilen pik debiler, gözlenen pik debilerle karşılaştırılmıştır. En başarılı tahmin; Vize Çayı havzasında %25 hata ile 100 yıllık tekrerrür için, Minöz Çayı havzasında %2 hata ile 10 yıllık tekrerrür için gerçekleşmiştir. Daha büyük pik debiler tahminlemeye eğilimli olan WinTR-55 yardımıyla, her bir tekrerrür periyodunda gözlenen pik debilere kıyasla, daha büyük pik debiler tahmin edilmiştir. Böylece WinTR-55'in; Vize deresi ve Minöz deresi havzasında taşkın zararlarının önlenmesinde güvenle kullanılabileceği anlaşılmıştır. Sonuç olarak; Devlet Su İşleri (DSİ) gibi kamu kurumlarında hesaplanan pik debinin, WinTR-55 modeli yardımıyla yapılması önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler

Taşkın Pik Debisi, Vize ve Minöz Dereleri Havzası, Wintr-55, Hidrolojik Model

1. Introduction

It would be expected that climate change, which will be one of the remarkable events soon, will stimulate hydrologic extreme events like drought and flood. The agriculture sector is very sensitive to the climatic disasters. So, it is thought that usage of hydrologic models as a decision support element helps to prevent from flood damage of farming land simply. In addition, the true prediction of flood peak flow, which is a component of runoff in the hydrologic cycle, is one of the most important factors to affecting construction cost on the dimensioning of the agricultural drainage channels.

The need for easy to use and reliable methods (like the WinTR-55 model) is increasing in institutions dealing with this issue for agricultural watersheds of our country (like Vize and Minoz Stream watersheds). Hydrologic models make it possible to reach different outputs with a series of inputs related to the use of equations, and facilitate the determination of the effect of the change in the peak flow in response to the land-use change (Alkan 2016).

Various classifications and names of hydrologic models can be summarized as follows:

Event-based hydrologic models simulate individual precipitation-runoff events by focusing on leakage and runoff. Continuous models explicitly consider all flow components and consider the re-change of soil moisture that changes with different storm events (Daniel et al. 2011).

Compared to distributed models, the results of lumped models are easier to interpret due to their simple nature. Lumped models consider the entire basin as a homogeneous system and estimate the flow at the outlet, rather than calculating specific flows in the basin (Poovakka and Eldho 2019).

Some hydrologic models are Gridded Surface/Subsurface Hydrologic Analysis (GSSHA), Precipitation-Runoff Modeling System (PRMS) (Swathi et al. 2020), Xinanjiang precipitation-runoff model, Areal Non-Point Source Watershed Environmental Simulation (ANSWERS), Agricultural Non-Point Source Pollution Model (AGNPS), Kinematic Runoff and Erosion (KINEROS), Water Erosion Prediction Project (WEPP) and Penn State Runoff Model (PSRM) (Daniel et al. 2011). Popular and actual hydrologic models are Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), Soil & Water Assessment Tool (SWAT), MIKE-SHE, Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF), Storm Water Management Model (SWMM) and Watershed Modeling System (WMS) (Alkan 2016).

The WMS, developed by Environmental Modeling Systems at Brigham Young University, is a comprehensive graphical modeling environment for all phases of watershed hydrology and hydraulics. WMS includes information about the watershed description, geometric parameter calculations, Curve Number (CN), precipitation, and roughness coefficients. WMS provides an interface for various Geographic Information Systems (GIS)-based (compatible) hydrology and hydraulics models. Hydrologic modeling components packaged in the system are HEC-HMS, TR-20, TR-55, National Flood Frequency Model (NFF), SWMM, Modified Rational Method Model (MODRAT) and HSPF. Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS), Quantum GIS and CE-QUAL-W2 in the WMS perform hydraulics modeling (Daniel et al. 2011; Gulbaz 2019).

HSPF and SWMM can be used to simulate flow and water quality (point and non-point source pollution). The United States Environmental Protection Agency (USEPA) SWMM is a hydrodynamic, one-dimensional, comprehensive mathematical model that simulates water flow and quality in urban areas. SWMM (hydrologic-hydraulics) model is a lumped parameter and continuous simulation model (Lee et al. 2010). HSPF is a semi-distributed and continuous model that simulates hydrologic and water quality processes. HEC-1, which is developed to simulate hydrologic processes (precipitation, leakage, base flow, flow conversion and translation) in watersheds with an area of 1-100 000 km², produces flow hydrographs. MIKE-SHE is a distributed and physically based watershed model that simulates the main processes in the hydrologic cycle (Daniel et al. 2011). Krishna Rao et al. (2018) used to train the artificial neural networks (ANN) using climate parameters. They developed six ANN models. Their results showed that the developed ANN models outperform the empirical models.

The calibration and validation parameters of the models can be summarized as follows:

After the flow simulations (the performance differences of the groups), the statistical significance of the differences at the model performance statistics (eg at the 0.05 significance level), evaluation can be made by using tests such as Mann-Whitney U (M-W) test, t-test and f variance equality test (one-way analysis of variance-ANOVA).

As evaluation criteria in model simulations (in calibration-validation stages), root mean square error (RMSE)-observation standard deviation ratio, percent bias (PBIAS), efficiency index (EI), coefficient of determination (R^2), correlation coefficient (R), absolute error (AE), percent difference (%), relative error (RE) and Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) coefficient can be used (to compare the performance of the models) to evaluate the results of hydrologic modeling (Lee et al. 2010; Yaghoubi et al. 2019; Poovakka and Eldho 2019).

Pearson correlation coefficient, also known as linear correlation coefficient (R), indicates the linear relationship between observations and simulations. R is expected to be greater than 0.5 for successful estimation. During the calibration and validation phase, R is expected to be greater than 0.7 (Poovakka and Eldho 2019). The coefficient of determination (R^2) value is an indication of the strength of the correlation between the measured and estimated values. R^2 ranges from 0 to 1. R^2 and efficiency index (EI) values close to 1 represent a more accurate estimation (Lee et al. 2010).

Many studies have been conducted on hydrologic models in the World. Bauer (2005) combined the TR-55 model with a Genetic Algorithm (GA) and integrated it in AutoCAD Civil 3D 2008. For this process, Visual Basic for Applications (VBA) is used. The study aimed to develop an optimization application for a new retention pool design. Henning (2009) made stormwater modeling of campus of the University of Nevada Reno. The researcher determined peak discharge for the return period by using the WinTR-55 model. Results showed that the south of the campus was durable against the stormwater in terms of hydrologic modeling. Sutjiningsih et al. (2015) aimed to test the feasibility of a modified Schaffernak approach for annual sediment yield estimation in Sugutamu, a small sub-basin in the Ciliwung River. The results showed that it is possible to quantify the sediment yield by using the modified Schaffernak approach with the WinTR-55 application.

Mesta et al. (2019) made the watershed modeling with HEC-HMS. The established model was calibrated using daily data between 1997-2002 and verified using data between 2003-2005. The Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) coefficient for the Yenicegoruce station of the model was calculated as 0.8 and 0.75 for the calibration and validation stages, respectively. Gulbaz (2019) created the hydrologic model of the Sazlıdere Basin in Istanbul and the hydraulics model of the Turkkose Stream. He modeled the physical characteristics of the watershed in his study with WMS.

He used HEC-HMS for the hydrologic model and HEC-RAS for the hydraulics model. As a result, he obtained the flood spread maps of 03–05 July 2005. He modeled that the water depth in the residential area is 5 m and wide of the flood spread is 250 m. Thus, he made the flood analysis of Turkkoş Stream with the model and determined the areas that could be affected by the flood in the residential area. [Sorman et al. \(2020\)](#) compared the HEC-HMS and HBV model between 2008–2015 in Aras Basin in Turkey. The performance of both models was evaluated with Nash-Sutcliffe. As a result, the models have a calibration success greater than 0.8 and a validation greater than 0.7 according to discharge values. So, they state that this modeling in the Aras Basin was successful. [Gholami and Khaleghi \(2021\)](#) optimized the initial loss (IL) values in the HEC-HMS model. IL reflects vegetation, infiltration, and antecedent moisture condition (AMC). To simulate the discharge values, they entered the IL values as input into the ANN. After all, forests can increase IL values and reduce discharge. They state that the ANN predictions are more successful than the HMS model.

[Lane et al. \(2019\)](#) used four hydrologic models in 1000 basins in the United Kingdom (UK). The results showed successful simulations in most of the UK. Besides, each model produced simulations over 0.5 Nash-Sutcliffe efficiency for at least 80% of watersheds. All four models produced better simulations in wetter basins in the West and produced unsuccessful results in central Scotland and southeast England. [Fidal and Kjeldsen \(2020\)](#) aimed to investigate the effect of associating soil moisture and urban runoff on precipitation-runoff. They tested their two new conceptual models in 28 urban watersheds in the United Kingdom. Besides, they used the SWMM and MIKE models. [Swathi et al. \(2020\)](#) used different methods for discharge and discharge translation estimation. For discharge translation, the SWMM model uses kinematic wave (KW) and dynamic wave (DW) methods. The SWMM was tested with four precipitation events and was calibrated with six precipitation events. Discharge translation methods KW, DW and Muskingum-Cunge (M-C) have been found to have minor effects on the discharge. [Poovakka and Eldho \(2019\)](#) used the GR4J, Australian Water Balance Model (AWBM) and Sacramento model for flow simulation. These models were calibrated by using the NSE coefficient. During the calibration of the GR4J, AWBM and Sacramento models, four, eight and twenty-two parameters were used, respectively. After all, all models were found to give satisfactory results. However, researchers determined that the GR4J model predicted more successfully than the AWBM and Sacramento models. [Citakoglu et al. \(2017\)](#) did a regional frequency analysis of peak discharge for the Black sea region by using the L-Moments method. The generalized normal distribution was determined to be the best probability distribution in half of the region. Lastly, regional peak discharge maps covering a range of return periods from 2 to 1000 years were produced. [Demir and Keskin \(2020\)](#) aimed to determine Manning roughness coefficient and flood by using remote sensing. They used the HEC-RAS 2D and FLO-2D programs to flood modeling in Samsun-Turkey. Their results showed that the overall classification accuracy was 93% and the kappa coefficient was 91%. [Demir and Keskin \(2022\)](#) aimed to obtain discharge rates by using an unit hydrograph in Mert River-Samsun. For this purpose, they also used the Synder, DSI Synthetic and Mockus methods. The most appropriate statistical distribution was determined by the Kolmogorov-Smirnov (K-S) test. Lastly, the discharge rates were modeled by using the FLO-2D.

[Demir and Kisi \(2016\)](#) prepared the flood risk maps of the Mert Stream watershed, Samsun, by using HEC-RAS and ArcGIS for the 10-year, 25-year, 50-year and 100-year return period. [Demir and Keskin \(2019\)](#) aimed to determine the roughness coefficient of Manning by using remote sensing and Cowan method in Mert Stream watershed, Samsun. As a result, the researchers obtained the accuracy and kappa coefficient over the 90% in the classification. [Ulke et al. \(2017\)](#) made numerical modeling of Mert Stream discharges in Samsun by using MIKE model for the 100-year and 500-year return period. [Gulbahar \(2016\)](#) evaluated performance of the conventional flood methods in Istanbul. Some of the methods were unit hydrograph, Rational, Mockus, Snyder and Natural Resources Conservation Service (NRCS). As a result, the researcher found that NRCS method gave minimum discharge while Snyder method gave maximum discharge. Besides, results of unit hydrograph method were closest the actual discharges. In addition, Rational method were more suitable for small watershed (<25 km²). Lastly, Mockus method gave results closer to the observed discharges compared to Snyder method. [Sonmez et al. \(2012\)](#) aimed to determine discharge values of eight streams in Istanbul. For this, the researchers used NRCS, Mockus, Snyder and Kirpich methods. [Ozturk et al. \(2003\)](#) used Rational, Mockus and DSI synthetic methods to determine peak flow in five streams in Konya and Malatya, Turkey. As a result, Mockus method produced larger peak flow compared to the other methods.

Compared to such hydrologic models in the literature, the WinTR-55 model requires fewer input data and is easy to use to determine peak flow. Besides, the model is more suitable for use in agricultural watersheds ([Roberts et al. 2009](#)). Determination of possible peak flow in agricultural watersheds is important in terms of preventing crop losses. In this study, Vize and Minoz Stream watersheds are important because they are agricultural watersheds where cereal production is intense. Besides, these watersheds were investigated because they are located in areas suitable for flash floods ([Erel 2010; Bakanogullari and Gunay 2010](#)). Therefore, the importance of the study is that an alternative method (WinTR-55) against the traditional methods (such as Mockus method) were proposed in flood-sensitive agricultural watershed. Flood peak flows are determined by traditional methods (such as Mockus and Rational methods) in institutions of Turkey (such as DSI-State Hydraulics Works and municipalities). This study, which proposes an alternative method for these institutions, also contributes to the literature in this respect.

The general aim of this study is to determine the success of estimation power of the WinTR-55 model in two selected sample agricultural watersheds and to investigate the success of the model against traditional methods (such as Mockus method).

In this study, the peak flows estimated by the WinTR-55 model using the data of the Kırklareli Vize and Samsun Minoz Stream watersheds were compared with the results of the Mockus method and the observed peak flows. The materials and the methods suitable for agricultural watersheds (hydrology) were used.

As a result, in institutions of Turkey, it was recommended to use the reliable and actual method (WinTR-55 model) in agricultural watershed. These situations show the originality side of this study.

2. Material and Methods

2.1. Kırklareli-Vize Stream Watershed

The Vize Stream watershed is located in the Topcu village of Vize County allied with Kırklareli Province. The Vize Stream flows into the Meric River. The research area is in the Thrace Region of Turkey. The average elevation of the watershed is 215 meters (Figure 1). The location of the watershed output is between (North) Latitude 41.3053 and (East) Longitude 27.4120. It is 185 meters above from the sea level. The watershed consists of heathland 2.74 km² (58.6%), cereals 1.88 km² (40.5%) and vegetables 0.02 km² (8%) ([Bakanogullari and Gunay 2010](#)).

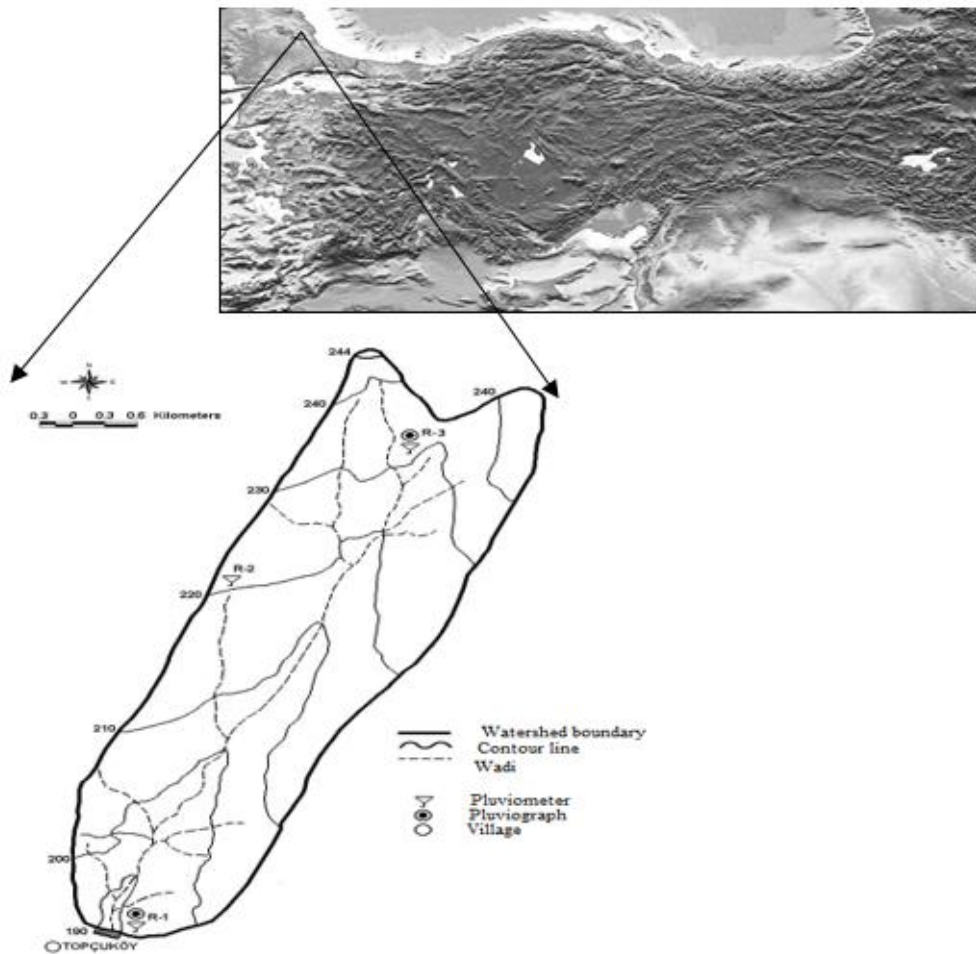


Figure 1: Topographic map and location of the Vize Stream watershed ([Bakanogullari and Gunay 2010](#))

Watershed characteristic, one of the inputs data of the WinTR-55 model, is in Table 1. Circadian (24-hours) rainfall amount, the other inputs data of the WinTR-55 model, is in Table 2. According to the result of the K-S test, the best distribution in terms of rainfall values was Gama-2 for Vize Stream watershed in Table 2.

Table 1: Used watershed characteristics of the Vize Stream watershed in the WinTR-55 model (Bakanogullari and Gunay 2010)

Watershed characteristics	Value
Watershed area	4.64 km ²
Main waterline length	4.5 km
Watershed average slope	3%
Watershed curve number	70.6
Time of concentration	3.45 hours

Table 2: Used circadian rainfall amount of the Vize Stream watershed in the WinTR-55 model (Bakanogullari and Gunay 2010)

Return period (year)	Circadian rainfall amount (mm)
2	53.3
5	61.5
10	64.6
25	67.2
50	68.3
100	69.4

2.2. Samsun-Minoz Stream Watershed

The Minoz Stream watershed is located in Cakalli village of Kavak County allied with Samsun Province. The watershed has an area of 7.89 km² and the watershed outlet is 430 m above sea level. The research watershed is located within the F-36-d1 sheet on the 1/25000 scale topographic map and between the coordinates 253500-257500 m E and 4559500-4557500 m N (UTM). The research area is in the Black Sea Region of Turkey. The average elevation of the watershed is 664 meters (Figure 2).

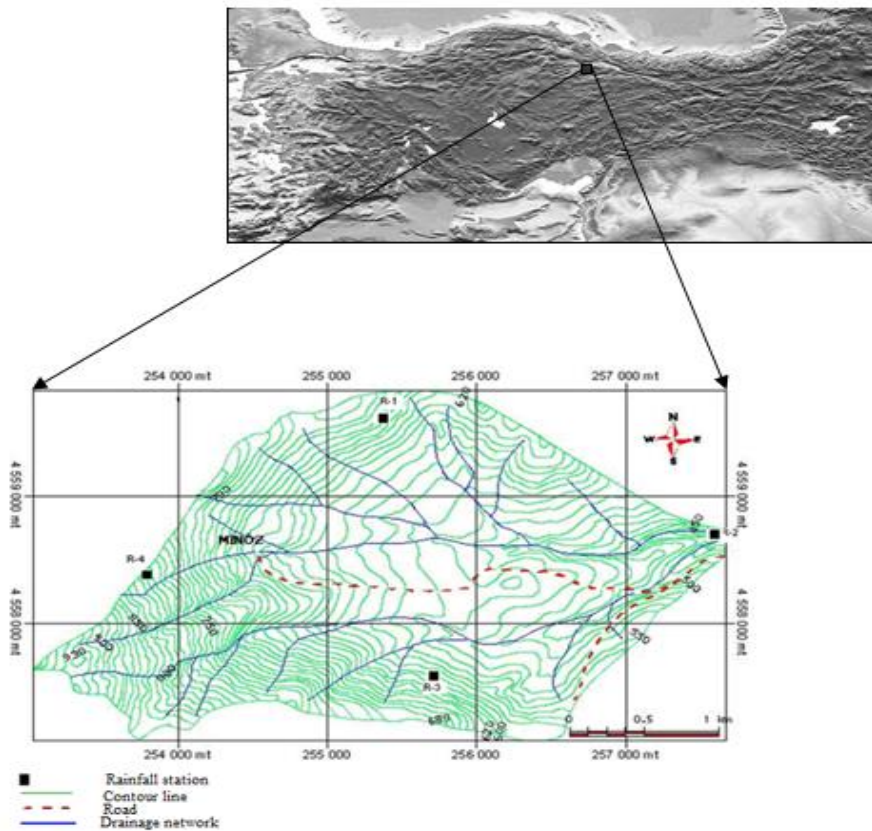


Figure 2: Topographic map and location of the Minoz Stream watershed (Erel 2010)

Watershed characteristic, one of inputs data of the WinTR-55 model, is in Table 3. Circadian rainfall amount, the other inputs data of the WinTR-55 model, is in Table 4. According to the result of the K-S test, the best distribution in terms of rainfall values was Pearson type-3 for Minoz Stream watershed in Table 4 (Erel 2010).

Table 3: Used watershed characteristics of the Minoz Stream watershed in the WinTR-55 model (Erel 2010)

Watershed area	7.89 km²
Main waterline length	4.93 km
Watershed average slope	15%
Watershed curve number	74
Time of concentration	1.51 hours

The land-use and vegetation status of the watershed are as follows: Dry farming is carried out in the watershed. Wheat, corn and tobacco are the main crops in the watershed. The watershed consists of hoe crops (4%), cereals (15.57%), pasture (5.76%), village settlement (5.76%), degraded forest (25.4%) and empty land (43.52%) (Erel 2010).

Table 4: Used circadian rainfall amount of the Minoz Stream watershed in the WinTR-55 model (Erel 2010)

Return period (year)	Circadian rainfall amount (mm)
2	38.60
5	48.05
10	52.75
25	57.59
50	60.62
100	63.28

2.3. WinTR-55 Model

NRCS-TR 55 method, uses for determining flood peak flow in small watersheds, needs circadian rainfall amount data. The WinTR-55 computer simulation model, which uses the NRCS-TR 55 method, calculates flood peak flows with the following equation (Huffman et al. 2013; Alkan 2016).

$$q_p = q_u A Q F_p \quad (1)$$

where q_p = Peak runoff flow (m³/s), q_u = Unit peak runoff flow (km²/cm) A = Watershed area (km²), Q = Runoff depth, which consists of a circadian rainfall of the desired return period (mm)
 F_p = Swamp and pond adjustment factor (From Table 5)

Table 5: Adjustment factor, F_p (Huffman et al. 2013)

Percentage of swamp and pond area in watersheds	F_p
0.0	1
0.2	0.97
1	0.87
3	0.75
5	0.72

q_u can be determined from various schedules depending on the concentration duration (Equation 1). If the user wants to manually calculate the time of concentration, it is recommended to use the following equation.

$$T_c = L^{0.8} \left[\frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{4407 (S_g)^{0.5}} \right] \quad (2)$$

where T_c : Concentration duration (hour), L : Length of the longest waterway, which is from the farthest point of the watershed to the watershed outlet (meter), CN : Runoff curve number, S_g : Average watershed slope (m/m).

The limitations in Table 6 must be considered for the WinTR-55 model to operate without error.

Table 6: Limitations and capabilities of the WinTR-55 model (Roberts et al. 2009)

Variables	Limitations
Minimum area	0.4047 hectare
Maximum area	6500 hectare
Concentration duration for any sub-area (hour)	$0.1 \leq T_c \leq 10$
Reach routing (Translation method)	Muskingum-Cunge
Rainfall duration	24 hours
Antecedent Moisture Condition	2
CN	40-98

The Win TR-55 model can determine peak flow rates for 2, 5, 10, 25, 50 and 100-years recurrent rainfall using Type II rainfall distribution and 24-hours rainfall time. The Win TR-55 model is based on the NRCS-CN method. This is the most widely used rainfall-runoff model in the United States of America (USA). TR-55 can calculate flow volume, hydrographs, peak flow and required storage volume for floodwater reservoirs. CN is based on hydrologic soil group, land cover type and antecedent moisture condition (Bauer 2005).

In the WinTR-55, a hydrograph can be created for each sub-basin. The hydrograph translation method used in this model is the Muskingum-Cunge method. Muskingum-Cunge (M-C) method is used as a delay method in drainage channels. This method is widely used in basins where there is no observed flow data. M-C model parameters such as storage coefficient and weight factor are determined according to the channel properties. The use of the M-C method is very popular due to the scarcity of calibration data and the availability of channel size data (Swathi et al. 2020).

2.4. Mockus Method

Mockus method is easy to use and to draw hydrograph (as triangular). The method can be applied to watershed areas with a time of concentration (T_c) of up to 30 hours. In larger areas, the watershed area is divided into subbasin parts and the hydrograph to be drawn for each part are superposed according to the lag times (Ozturk et al. 2003; Sonmez et al. 2012; Gulbahar 2016). The formulas of the method are as follows (Gulbahar 2016),

$$T_c = 0.00032 (L_h^{0.77} / S^{0.385}) \quad (3)$$

$$D = 2\sqrt{T_c} \quad (4)$$

$$\Delta D = T_c / S \quad (5)$$

$$T_p = 0.5\Delta D + 0.6 T_c \quad (6)$$

$$q_p = K \cdot A / T_p \quad (7)$$

$$Q_p = q_p h_a \quad (8)$$

Where T_c : Time of concentration (hour), L_h : The length of watershed area (meter), S : Average slope of watershed area (%), D : Time of duration of precipitation (hour), ΔD : Time of heavy precipitation (hour), T_p : Time of duration for peak flow (hour), h_a : Annual precipitation depth (cm), K : Coefficient of watershed (between 0.2 and 1.6), q_p : Flow generated by 1 mm precipitation, Q_p : Flow generated by (2, 5, 10, 25, 50, 100 years) precipitation (m^3/sec)

2.5. Kolmogorov-Smirnov Test (Frequency Analysis)

Kolmogorov-Smirnov (K-S) test is based on the examination of two cumulative distributions function. The first function is cumulative distributions in H_0 hypothesis. The second function is the observed cumulative distributions from the sample in H_1 hypothesis (Demir and Keskin 2022). The hypothesis of K-S test (o: observed, e: estimated):

H_0 : $O_v = E_v$ (The observed frequencies match the estimated frequencies.)

H_1 : $O_v \neq E_v$ (The observed frequencies do not match the estimated frequencies. The difference is important.)

$$\Delta = \max |F_o - F_e| \quad (9)$$

Δ : The test statistic, which is the largest of the absolute difference between the cumulative relative frequencies of the observed and estimated values.

F_o : Observed cumulative relative frequencies, F_e : Estimated cumulative relative frequencies.

If $\Delta_c < \Delta_t$, H_0 is accepted (H_1 is rejected)

Δ_t : Obtained critical value from the K-S test table for the Δ statistic

Δ_c : Calculated critical value from the sample for the Δ statistic

2.6. Calibration and Validation of the Model

Nash-Sutcliffe (NSE) is used to test the predictive power of hydrologic models. NSE takes values between $-\infty$ and 1. When NSE is equal to 1, it means that the observed and estimated flow are in perfect agreement, that is, the modeling is successful. NSE values between 0.50-0.65 are reported to be acceptable and NSE values between 0.65-0.75 are reported to be good. R^2 values greater than 0.6 are acceptable (Mesta et al. 2019; Poovakka and Eldho 2019).

The coefficient of determination (R^2), Nash-Sutcliffe (NSE) and absolute percent error (%) calculation equations are shown below (Abdi and Ayenew 2021). In equations, G: Observed, T: Estimated values.

$$R^2 = \frac{(\sum(G_i - \bar{G})(T_i - \bar{T}))^2}{\sum(G_i - \bar{G})^2 \sum(T_i - \bar{T})^2} \quad (10)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum(G_i - T_i)^2}{\sum(G_i - \bar{G})^2} \quad (11)$$

$$\text{Absolute percent error (\%)} = \left| \frac{T - G}{G} \right| \times 100 \quad (12)$$

3. Results

The Vize and Minoz Stream watersheds had a peak value of observed flow. The distribution that best matches the peak flow in return periods was determined using statistical distributions. For this purpose, the most appropriate distribution was determined by the K-S test (by using observed flow). According to the result of the K-S test, the best distribution was Gama-2 in Vize Stream watershed and was Pearson type-3 in Minoz Stream watershed. So, the flow results of Gama-2 were accepted as an observed flow for Vize Stream watershed and the flow results of Pearson type-3 were accepted as an observed flow for Minoz Stream watershed. In general, the estimations in the Minoz Stream watershed were more successful than the estimations in the Vize Stream watershed ($R^2: 0.99 > 0.91$).

3.1. Results Related to the Kırklareli-Vize Stream Watershed

The WinTR-55 flows were compared with the observation flows, because WinTR-55 model was more successful in estimation phase compared to Mockus method. The observed values (frequency analysis results of the observed flows in the Vize stream watershed) and estimated values of the model were shown in Table 7. The graphic representation of Table 7 is presented in Figure 3. As the return period increases, the estimated and observed flows converge to each other (Figure 3). According to literature (Mesta et al. 2019; Poovakka and Eldho 2019), NSE and R^2 values greater than 0.6 are acceptable. In the Vize stream watershed, considering the R^2 value (0.9), NSE (0.7) value and the absolute percent error (%) of the observed and predicted flow rates, it can be said that the estimation is successful. The most successful estimation was for the 100-year return period with error 25% in Table 7.

Table 7: The analysis of estimated and observed peak flow values with WinTR-55 model in Kırklareli-Vize Stream watershed

Return period (year)	Estimated flow with Mockus method (m^3/sec)	Estimated flow with WinTR-55 model (m^3/sec)	Observed flow (Gama-2) (m^3/sec)	Difference between estimated and measured flow (m^3/sec)	Difference between estimated and measured flow, absolute percent error (%)
2	0.83	0.59	0.15	0.44	293
5	3.53	0.84	0.34	0.5	147
10	7.39	0.94	0.47	0.47	100
25	15.87	1.03	0.63	0.4	63
50	25.71	1.06	0.75	0.31	41
100	39.3	1.1	0.88	0.22	25

In the Vize Stream watershed, the WinTR-55 method found results farther from the measured flow rates at low return periods, while it found closer results as the return periods got larger. Estimated flow rates followed a nearly curvilinear line. In terms of logarithmic distribution, the observed flows fitted the logarithmic distribution more than the estimated flows ($R^2: 0.99 > 0.89$) (Figure 3).

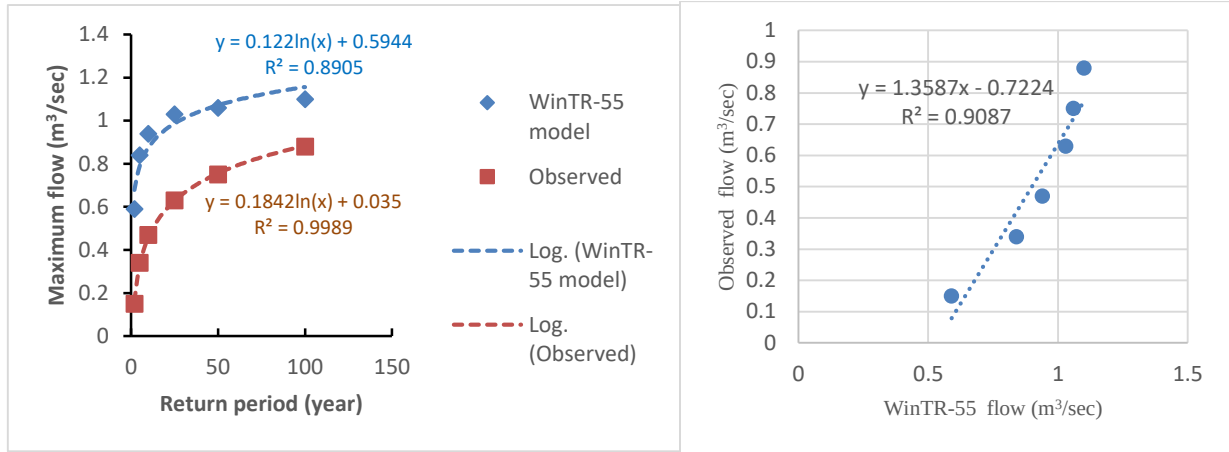


Figure 3: A comparison chart of flow values observed with peak flow values modeled by WinTR-55 in Kırklareli-Vize Stream watershed and the scatter diagram (Bakanogullari and Gunay 2010)

3.2. Results Related to the Samsun-Minoz Stream Watershed

The WinTR-55 flows were compared with the observation flows, because WinTR-55 model was more successful in estimation phase compared to Mockus method. The observed values (frequency analysis results of the observed flows in the Minoz stream watershed) and estimated values of the model were shown in Table 8. The graphic representation of Table 8 is presented in Figure 4. It was seen that the estimated with WinTR-55 and observed flows rates are very compatible with each other in various return periods and follow a curvilinear line (Figure 4). According to literature (Mesta et al. 2019; Poovakka and Eldho 2019), NSE and R^2 values greater than 0.6 are acceptable. In the Minoz Stream watershed, considering the R^2 value (0.98), NSE (0.88) value and the absolute percent error (%) of the observed and predicted flow rates, it can be said that the estimation is successful. The most successful estimation was for the 10-year return period with error 2% in Table 8.

Table 8: The analysis of estimated and observed peak flow values with WinTR-55 model in Samsun-Minoz Stream watershed

Return period (year)	Estimated flow with Mockus method (m^3/sec)	Estimated flow with WinTR-55 model (m^3/sec)	Observed flow (Pearson type-3) (m^3/sec)	Difference between estimated and measured flow (m^3/sec)	Difference between estimated and measured flow, absolute percent error (%)
2	0.29	1.26	1	0.26	26
5	0.4	3	2.8	0.2	7
10	0.47	4.11	4.2	0.09	2
25	0.54	5.37	6	0.63	11
50	0.58	6.22	7.4	1.18	16
100	0.63	7.02	8.8	1.78	20

In the Minoz Stream watershed, the WinTR-55 method found results closer to the measured flow rates at low return periods, while it found farther results as the return periods got larger. Compared to the observed flow rates, the WinTR-55 model estimated greater flow at low return periods and it estimated lower flow at large return periods. In terms of logarithmic distribution, the observed flows fitted the logarithmic distribution more than the estimated flows ($R^2: 1 > 0.99$) (Figure 4).

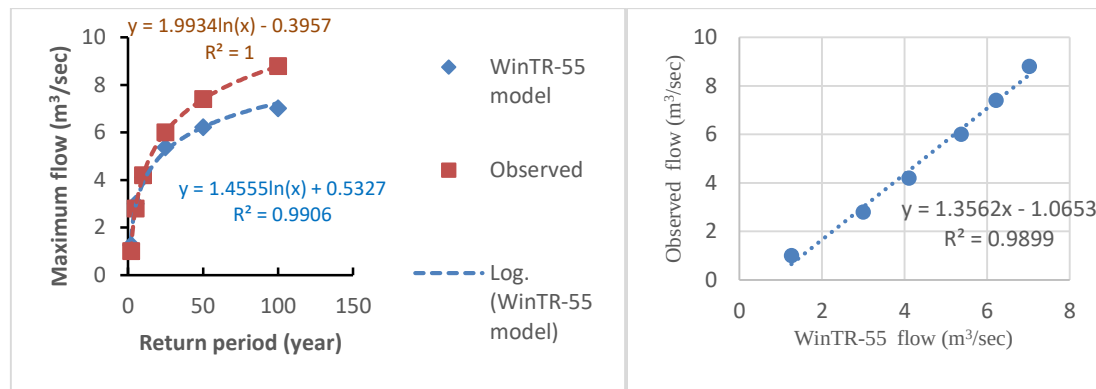


Figure 4: A comparison chart of flow values observed with peak flow values modeled by WinTR-55 in Samsun-Minoz Stream watershed and the scatter diagram (Erel 2010)

4. Discussion and Conclusion

According to Alkan (2016), the WinTR-55 model tends to determine a larger peak flow value than other determination methods of synthetic peak flow. According to Roberts et al. (2009) and Sutjiningsih et al. (2015) the WinTR-55 model requires fewer input data and is easy to use to determine peak flow and sediment yield. On the other hand, the model produces more reliable results in small watersheds. According to Gulbahar (2016) NRCS method tends to give minimum discharge and unit hydrograph method tends to be close to actual discharges. Besides, Rational method are more suitable for small watershed. According to Sonmez et al. (2012) NRCS method is simple, physical and successful. Besides, Snyder method tends to predict larger peak flow while Mockus and NRCS methods tends to predict smaller peak flow. To choose the right method, area and slope of the watershed should be taken into account. According to Ozturk et al. (2003) Mockus method tends to produce larger peak flow compared to Rational and DSI synthetic method. Besides, Mockus method is more reliable because it takes into account efficient watershed parameters compared to the other methods.

Watershed characteristics (such as area and slope) are effective in choosing the right method. Like the Rational method, the WinTR-55 model is suitable for small watershed. The results of the Mockus method are more variable and sensitive depending on the watershed characteristics. Therefore, the WinTR-55 model, which uses less and more effective input data, is more advantageous compared to the other methods.

By using the WinTR-55 model, larger peak flows than the actual peak flows were estimated in this study. The WinTR-55 model, which tends to predict larger peak flow rates, shows that the model can be safely used in the Vize Stream watershed to be protected from flood damage.

Materials and methods suitable for agricultural watersheds (hydrology) were used in this study. Moreover, in institutions of Turkey, it was recommended to use the reliable and actual method (WinTR-55 model) in agricultural watershed. This situation shows the originality of the study.

Compared to the hydrologic models in the literature, the WinTR-55 model requires fewer input data and is easy to use to determine peak flow. Besides, the model is more suitable for use in agricultural watersheds. Determination of possible peak flow in agricultural watersheds is important in terms of preventing crop losses. In this study, Vize and Minoz Stream watersheds are important because they are agricultural watersheds where cereal production is intense. Besides, these watersheds were investigated because they had areas suitable for flash floods.

The distribution that best matches the rainfall-flow in return periods is determined using statistical distributions. For this purpose, the most appropriate distribution can be determined by the K-S test (by using observed rainfall and flow). According to the result of the K-S test in terms of rainfall and flow, the best distribution was Gama-2 in Vize Stream watershed and was Pearson type-3 in Minoz Stream watershed.

In the Kırklareli Vize Stream watershed, corresponding to 2, 5, 10, 25, 50 and 100 year return periods, estimated peak flows by using WinTR-55 were determined 1.40 m³/sec, 2.29 m³/sec, 2.67 m³/sec, 3.00 m³/sec, 3.15 m³/sec and 3.30 m³/sec, respectively. In the Samsun Minoz Stream watershed, corresponding to 2, 5, 10, 25, 50 and 100 year return periods, estimated peak flows by using WinTR-55 were determined 2.66 m³/sec, 6.86 m³/sec, 9.55 m³/sec, 12.66 m³/sec, 14.76 m³/sec and 16.68 m³/sec, respectively. The most successful estimation was for the 100-year return period with error 25% in the Vize stream watershed and was for the 10-year return period with error 2% in the Minoz Stream watershed.

The estimation of the peak flow was more successful in the Minoz watershed compared to the Vize watershed because the estimated values were much closer to observed values in the Minoz watershed. Even so, the WinTR-55 model can be safely used in the Vize Stream watershed to be protected from flood damage because the estimated values were higher than observed values in the Vize watershed.

There are serious problems in reaching the correctly measured data of flood peak flows in watersheds. The number of basins with measured peak flow values is few. It is thought that it will be useful to compare the peak flow rates of these basins with the WinTR-55 model results.

It is recommended that institutions of Turkey (such as State Hydraulics Works and municipalities) should determine peak flows in agricultural watersheds with hydrologic models (such as WinTR-55) instead of traditional methods (such as Mockus and Rational methods). The zoning plans of important areas should be made by using the hydrologic models in basins. Endangered places can be determined with the help of flood spread maps. As a result, the regions to be opened for settlement can be created according to these findings.

References

- Abdi D.A., Ayenew T., (2021), *Evaluation of the WEAP model in simulating subbasin hydrology in the Central Rift Valley basin, Ethiopia*, Ecological Processes, 10, 41, doi: 10.1186/s13717-021-00305-5.
- Alkan C., (2016), *A Research on Applicability of Small Watershed Hydrologic Model WinTR-55 to the Basin of Some Small Earth Dams Aimed at Irrigation in Bursa*, MSc Thesis, Graduate of school of natural and applied sciences of Uludağ University, Department of Biosystem Engineering, Bursa, Turkey.
- Bakanogullari F., Gunay S., (2010), *Rainfall and Discharge Characteristics of Kırklareli – Vize Stream Watershed*, Ataturk Directorate of Soil and Water Resources Research Institute, Kırklareli, 97ss.
- Bauer R. D., (2005), *Optimization of detention ponds for urbanizing watersheds*, MSc thesis, Department of Civil and Environmental Engineering in the Graduate School, Southern Illinois University, USA.
- Citakoglu H., Demir V., Haktanir T., (2017), *Regional frequency analysis of annual flood peaks of natural streams discharging to the Black sea by the L-moments method*, Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, 6(2), 571-580.
- Daniel E. B., Camp J. V., LeBoeuf E. J., Penrod J. R., Dobbins J. P., Abkowitz M. D., (2011), *Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review*, The Open Hydrology Journal, 5, 26-50.
- Demir V., Keskin A. U., (2019), *Determination of Manning roughness coefficient by Cowan method and Remote Sensing*, Gazi journal of engineering sciences, 5(2), 167-177.
- Demir V., Keskin A. U., (2020), *Obtaining the Manning roughness with terrestrial-remote sensing technique and flood modeling using FLO-2D: A case study Samsun from Turkey*, Geofizika, 37 (2), 131–156.
- Demir V., Keskin A. U., (2022), *Flood flow calculation and flood modeling in rivers that do not have enough flow measurement (Samsun, Mert River sample)*, Journal of Geomatics, 7(2), 149-162.
- Demir V., Kisi O., (2016), *Flood hazard mapping by using Geographic Information System and Hydraulic Model: Mert River, Samsun, Turkey*, Advances in Meteorology, 2016, 4891015, doi: 10.1155/2016/4891015.
- Erel A., (2010), *Rainfall and Discharge Characteristics of Samsun-Minoz Stream Watershed (Report 1994-2008)*, T.R. ministry of agriculture and rural affairs general directorate of agricultural research, Topraksu-2010/99, Samsun.
- Fidal J., Kjeldsen T. R., (2020), *Accounting for soil moisture in rainfall-runoff modeling of urban areas*, Journal of Hydrology, 589, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125122.
- Gholami V., Khaleghi M. R., (2021), *A simulation of the rainfall-runoff process using artificial neural network and HEC-HMS model in forest lands*, Journal of Forest Science, 67(4), 165–174.
- Gulbahar N., (2016), *A comparison study of some flood estimation methods in terms of design of water structures*, International journal of engineering Technologies, 2(1), 8-13.
- Gulbaz S., (2019), *Developing Flood Extent Map by using Numerical Models and Determination of Areas under Flood Risk: Türkköse Stream Case*, Journal of Natural Hazards and Environment, 5(2), 335-349.
- Henning J. L., (2009), *Stormwater and flooding on the UNR campus: A current and future modeling assessment*, MSc Thesis, Graduate of University of Nevada, Department of Environmental Science and Health, Nevada, USA.
- Huffman R. L., Fangmeier D. D., Elliot W. J., Workman S. R., (2013), *Soil and water conservation engineering*, American society of agricultural and biological engineers (ASABE), Michigan, 515ss.
- Krishna Rao D. V. S., Premalatha M., Naveen C., (2018), *Analysis of different combinations of meteorological parameters in predicting the horizontal global solar radiation with ANN approach: A case study*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 91, 248–258.
- Lane R. A., Coxon G., Freer J. E., Wagener T., Johnes P. J., Bloomfield J. P., Greene S., Macleod C. J. A., Reaney S. M., (2019), *Benchmarking the predictive capability of hydrological models for river flow and flood peak predictions across over 1000 catchments in Great Britain*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 23, 4011–4032.
- Lee S. B., Yoon C. G., Jung K. W., Hwang H. S., (2010), *Comparative evaluation of runoff and water quality using HSPF and SWMM*, Water Science and Technology, 62, 6, doi: 10.2166/wst.2010.302.
- Mesta B., Kargi P. G., Tezyapar I., Ayvaz M. T., Goktas R. K., Kentel E., Tezel U., (2019), *Determination of rainfall-runoff relationship in Yenicegoruce Basin with HEC-HMS hydrologic model*, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences 25(8), 949-955.
- Ozturk M., Kaya N., Aşkan A. H., (2003), *Evaluation of the flood calculation methods used in the design of the culverts*, Sakarya University Journal of Science, 7 (2), 167-171.
- Poovakka A.K., Eldho T.I., (2019), *A comparative study of conceptual rainfall-runoff models GR4J, AWBM and Sacramento at catchments in the upper Godavari river basin, India*, J. Earth Syst. Sci., 128, 33, doi: 10.1007/s12040-018-1055-8.
- Roberts R., Lea J., Foreman L., Moody H. F., Quan Q. D., Merkel W., Visser K., Hoefl C., McNeill A., McClung J., Funderburk T., Werner J., Cronshey R., Woodward D., (2009), *Small Watershed Hydrology Win Tr 55 User Guide*, United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service Conservation Engineering Division, USA.
- Sutjiningih D., Soeryantono H., Anggraheni E., (2015), *Estimation of sediment yield in a small urban ungauged watershed based on the Schaffernak approach at Sugutamu watershed, ciliwung, west java*, International Journal of Technology, 5, 809-818.

- Swathi V., Raju K. S., Varma M. R. R., (2020), *Addition of overland runoff and flow routing methods to SWMM—model application to Hyderabad, India*, Environmental Monitoring and Assessment, 192, 643, doi: 10.1007/s10661-020-08490-0.
- Sonmez O., Ozturk M., Dogan E., (2012), *Estimation of flood discharge in Istanbul rivers*, Sakarya University Journal of Science, 16(2), 130-135.
- Sorman A. A., Tas E., Dogan Y. O., (2020), *Comparison of hydrological models in upper Aras Basin*, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 26(6), 1015-1022, doi:10.5505/pajes.2019.98852.
- Ulke A., Beden N., Demir V., Menek N., (2017), *Numerical modeling of Samsun Mert River floods*, European Water, 57, 27-34.
- Yaghoubi B., Hosseini S. A., Nazif S., (2019), *Monthly prediction of streamflow using data-driven models*, J. Earth Syst. Sci., 128, 141, doi: 10.1007/s12040-019-1170-1.

Küresel Isınmanın Etkisi Altında Sürdürülebilir Mimari Tasarım

Nihal Zengin^{1*}, Ruşen Yamaçlı²

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Zile Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 60400, Tokat.

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 26555, Eskişehir.

Özet

Kentleşme, birçok faktörün etkisi altında kalarak artmakta ve barınma ihtiyacı karşılanamamaktadır. Oluşan bina stoku, kentsel alanlarda yığılmaya sebep olmaktadır. Kentsel yığılmanın sebep olduğu iklim değişikliği, küresel anlamda sıcaklık değişiminin yaşanmasına yol açmaktadır. Gizli ısı üreten kentleşmeyle sıcaklık artışları yaşanmaktadır. Küresel ısınmayla birlikte iklim değişikliği ortaya çıkmaktadır. Değişen iklimde, yapıların bugün ve gelecekteki termal performansları mimari tasarım sürecinde ele alınmalıdır. Sürdürülebilir mimari tasarım, planlama ve malzeme seçiminde gelecek kuşakları düşünerek mevcut kaynakları etkin ve verimli kullanarak küresel ısınmada etkin rol oynayan bina sektörünün ortaya çıkardığı CO₂ emisyon oranının olumlu yönde değişmesini sağlayacaktır. Bu araştırma makalesinde, küresel ısınmanın etkisi altında mimari tasarımın nasıl bir süreç olması gerektiği ve yapılan tasarımın sürdürülebilirliğinin nasıl sağlanabileceği sorularına cevap aranmaktadır. Bu sebeple Biyofilik Tasarım önerilerek, iklimlendirme ihtiyacının ve enerji tüketiminin azalacağını ve bu sayede sera gazı ve gaz halindeki reaktif nitrojen bileşikler emisyonlarının düşürülerek daha sürdürülebilir kentlerin ortaya çıkacağı belirlenmiştir. Bu araştırma makalesinin sonucunda, sürdürülebilir bir mimari tasarım modeli ile birlikte iklim sorunları için acil eylem planlarının ve uzun vadeli stratejilerin önemi ortaya konmaktadır.

Anahtar Sözcükler

Küresel Isınma, Sürdürülebilir Mimari Tasarım, Biyofilik Tasarım, Ahşap

Sustainable Architectural Design Under the Effect of Global Warming

Abstract

Urbanization is increasing under the influence of many factors and the need for shelter cannot be met. The resulting building stock causes agglomeration in urban areas. Climate change caused by urban agglomeration leads to global temperature change. Temperature increases are experienced by urbanization, which produces latent heat. With global warming comes climate change. In the changing climate, the present and future thermal performances of buildings should be considered in the architectural design process. Sustainable architectural design, planning and material selection will ensure that the CO₂ emission rate of the building sector, which plays an active role in global warming, will change positively by using existing resources effectively and efficiently by considering future generations. In this research article, answers are sought to the questions of what kind of a process architectural design should be under the influence of global warming and how the sustainability of the design can be ensured. For this reason, by proposing Biophilic Design, it has been determined that the need for air conditioning and energy consumption will decrease, and thus more sustainable cities will emerge by reducing greenhouse gas and gaseous reactive nitrogen compounds emissions. As a result of this study, the importance of emergency action plans and long-term strategies for climate problems along with a sustainable architectural design model is revealed.

Keywords

Global Warming, Sustainable Architectural Design, Biophilic Design, Wood

1. Giriş

İş olanakları ve barınma gereksinimiyle kentlerde yaşanan hızlı kentleşmenin sonucunda görülmektedir ki insanoğlunun yarısından fazlası kentsel alanlarda yaşamaktadır. Kentlerin sunduğu iş olanakları ve ulaşım kolaylığı gibi faktörler ise kentleşmenin daha da ivmelenerek artmasına sebep olmaktadır. Günümüzde yaşanan kentleşme ve onun sonuçlarına bakıldığında Endüstri Devrimi'nden bugüne kadar olan en hızlı kentleşmenin yaşandığı görülmektedir. Kentleşmenin sonuçlarından biri olan kentsel yığılmalar yönetilmesi zor ve karmaşık durumlardır. Bu karmaşıklığı çözebilmek adına etkin ve verimli bir yönetim planının olması sürdürülebilir kentlerin ortaya çıkması için kaçınılmazdır. Fakat bu planlama yapılırken bir tarafta yerel ve küresel iklim, diğer tarafta bina tasarımı birbiriyle bağlantılı olan çok önemli etkenlerdir.

İnsanoğlu yerleşik düzene geçtikten sonra şehirler inşa etmeye başlamıştır (Bonine 2016). Geleneksel kentin tasarımı ise uzun bir evrim süreci sonucunda olmuştur. Yerel iklim, antik çağda kent ve bina tasarımının en önemli dış faktörlerinden biri olduğu için, dünyanın birçok yerinde yerel iklime uygun kent ve yapı tasarımları gelişmiştir. Sıcak yerel iklime sahip olan beyaz Yunan kentleri ve Sahra ve Orta Doğu'daki yoğun yapıli çöl kentleri iklime uygun bina ve kent tasarımına örnek olarak gösterilmektedir (Linhares de Siqueira 2015). Ayrıca bazı sıcak yerleşmelerde kenti serin ve yaşanabilir kılmak için rüzgâr tutucu görevi gören kuleler, güneşin etkisini kesmek için cadde ve sokaklarda saçaklar tasarlanmıştır (Azami 2005). Günümüzün kentlerine baktığımızda ise kent ve bina tasarımını etkileyen faktörlerin değiştiği görülmektedir. Ekonomik çıkarlar, ulaşım gereksinimleri ve siyasi prestij, kent ve bina tasarımında öne çıkan faktörler haline gelmiştir. Birleşik Arap Emirlikleri'nde önceleri sürdürülebilir bir kent olarak tasarlandığı söylenen Masdar kentinin daha sonra ekonomik ve politik hedefler doğrultusunda planlandığı görülmektedir (Cugurullo 2016). Tasarım aşamasında alınan kararların süreci etkileyen unsurlar sonrasında değiştiği görülmektedir.

Hızlı kentleşmenin sonucu olarak ortaya çıkan bina stokunun küresel sera gazı emisyonlarının kaynaklarından biri olduğu bilinmektedir. Özellikle de inşaatla ilgili CO₂ emisyonları, 2009 yılında küresel ekonomik faaliyetlerden kaynaklanan emisyonların %23'ünü oluşturmaktaydı. Bu oran yaklaşık olarak 5,7 milyar tona denk gelmektedir (Huang vd. 2018). Daha yakın tarihe bakıldığında ise 2018 yılında inşaat ile ilişkin uygulamaların küresel enerji kullanımında %36, CO₂ emisyonlarında ise %39 oranıyla en büyük paya sahip olduğu ifade edilmektedir (UNEP 2019). Mevcut bina stokunun 2060 yılına kadar iki katına çıkması beklenmektedir (URL-1 2019). Bu artış birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu sorunların en başında ise kentlerin maruz kaldığı yeni göç dalgaları gelmektedir. İşte bu noktada demografik yapısında değişimlerin olduğu kentlerin planlanmasında ve binaların tasarımında sürdürülebilirlik konusu gündeme gelmektedir.

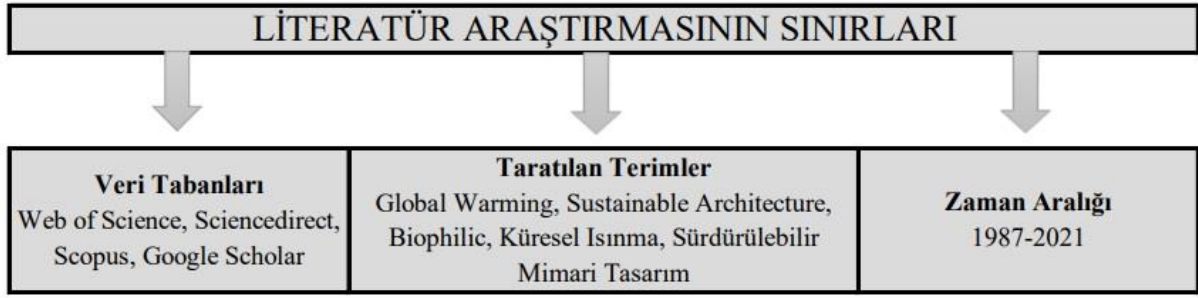
1987 yılında Brundtland Raporu (Ortak Geleceğimiz) ile modern tartışmaya dahil edilen sürdürülebilirlik kavramının anlamı, büyük ölçüde uygulandığı bağlama ve kullanımının sosyal, ekonomik veya çevresel bir perspektife dayanıp dayanmadığına bağlı olduğu ifade edilmektedir (Brown vd. 1987). Bu tanıma göre bir kent ekonomik olarak yaşanabilir, sosyal olarak adil, politik olarak iyi yönetilebilir ve insan konforunun en üst seviyede olduğu anda sürdürülebilirlikten söz etmek mümkündür (Panagopoulos vd. 2016). Sürdürülebilir kentsel planlama ve bina tasarımında, kent veya bölgenin tarihsel gelişimi ve yöreye uygun malzemeye dikkat edilerek amaca uygunluk sağlanmalıdır.

Sürdürülebilirlik kavramı; günümüzdeki kaynakları verimli ve etkin kullanarak gelecek nesillere aktarabilmek olarak tanımlanmakta ve ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarının olduğu ifade edilmektedir (Brundtland 1987). Kavramı oluşturan üç boyut aynı yönde ve aynı anda olması durumunda sürdürülebilirliğin sağlanabileceği vurgulanmaktadır. Ekonomik sürdürülebilirlik göstergeleri kişi başına düşen GSMH, yatırım oranları, borç oranı, gelir-gider dengesi, dışarıdan alınan yardımların GSMH'ye oranı, kişi başına düşen harcanan enerji; çevresel sürdürülebilirlik göstergeleri ekosistemler, yeraltı su kaynakları, tarım ve orman arazileri, yapılaşmaya açılan alanlar, sera gazı oranı; sosyal sürdürülebilirlik göstergeleri ise suç oranı, nüfus artış hızı, kişi başına düşen insan yerleşimleri, ölüm oranı, işsizlik oranı, toplum katılımı olarak özetlenmektedir (UNCSD 2007). Sürdürülebilirlik kavramın başlıca amacı üç boyutun uzun vadeli istikrarlı ilişkisini kurmaktır.

Bu makalenin amacı, mevcut ve gelecekteki iklim koşulları düşünülerek bina stokunun sebep olduğu küresel ısınmanın önüne geçebilmek ve sürdürülebilir insan yerleşmeleri oluşturabilmek amacıyla sürdürülebilir mimari tasarımın önemini ortaya koymaktır. Makalenin kapsamı, 1.bölüm yani giriş bölümünde kentleşme etkileri, yıllara göre kentlerin değişimi, zararlı gazların değişen oranları, sürdürülebilir kent planlama ve mimari tasarıma neden ihtiyaç duyulduğu açıklanmıştır. 2.bölümde derinlemesine bir literatür taramasına dayanan makalenin yöntemi ve izlenilen yol açıklanmaktadır. 3.bölümde yapılan taramalar sonucu ulaşılan bulgular yer almaktadır. Araştırmanın bulguları bağlamında küresel ısınma, sürdürülebilir mimari tasarım ve küresel ısınma etkisi altında sürdürülebilir mimari tasarım kavramları açıklanmış ve tasarım ve planlamada sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla çevreye duyarlı ve uyumlu bir tasarım yaklaşımı olan Biyofilik Tasarım önerilmiştir. 4.bölüm yani sonuç ve değerlendirme bölümünde kentleşme etkisiyle artan bina stokunun çevreyle uyumlu ve duyarlı olması için somut unsurlar eşliğinde sürdürülebilir mimari tasarım ve planlama modelini içeren süreç akış diyagramı sunulurarak farkındalık oluşturulması amaçlanmıştır. Böylelikle bu araştırma makalesinin, yasa ve yönetmeliklerin küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele ve uyum kapsamında düzenlenmesinde rehber niteliğinde olması beklenmektedir.

2. Materyal ve Metot

Küresel ısınma etkisi altında sürdürülebilir mimari tasarım ve planlamanın nasıl olacağına dair somut veriler oluşturmak adına ilgili literatür taranmıştır. Makalenin de amacını oluşturan sürdürülebilir mimari tasarım yaklaşımları ve araştırmalara ait raporlar incelenmiştir. Literatür taramasında "Web of Science", "Scencedirect", "Scopus" ve "Google Scholar" veri tabanları kullanılmıştır. Sürdürülebilirlik kavramının ilk kez resmi olarak Brundtland Raporu'nda yer aldığı 1987 yılı literatür taramasında başlangıç olarak kabul edilmiş ve 1987-2021 yılları arasındaki yayınlar incelenmiştir. Literatür taranırken anahtar kelimelerde, yayınların başlıklarında veya tüm makalede "global warming", "sustainable architecture", "biophilic", "küresel ısınma", "sürdürülebilir mimari tasarım" terimleri aratılmıştır. Şekil 1'de literatür taramasının sınırları ve izlenen yol özetlenmektedir.



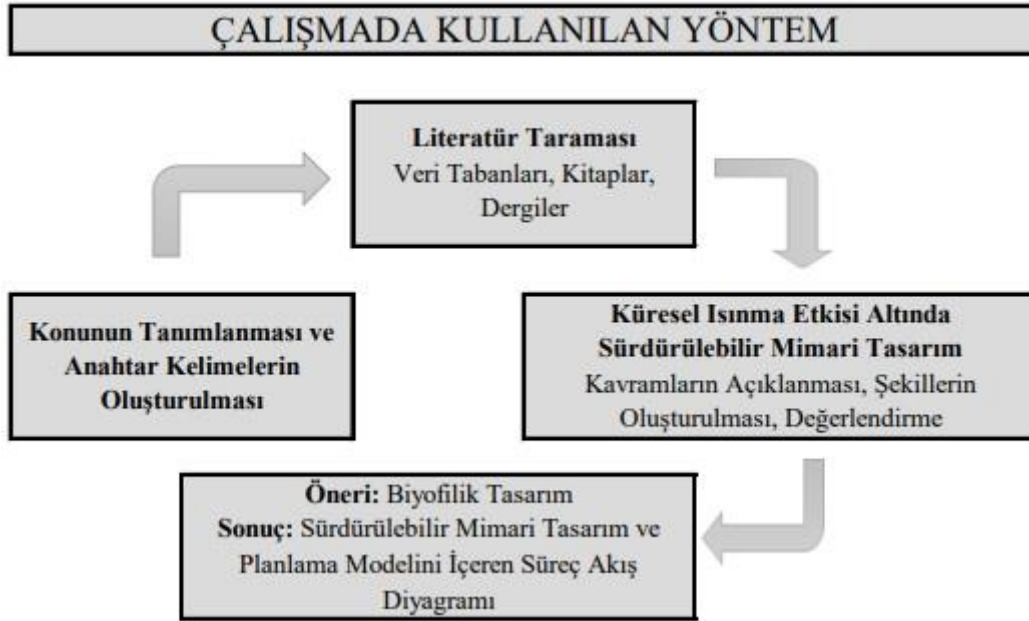
Şekil 1: Literatür araştırmasının sınırları ve izlenen yol

Literatür taramasından elde edilen makalelerin içerikleri kontrol edilerek çalışmaya dahil edilmiştir. Ek olarak sürdürülebilir mimari tasarımın hedefleri ve stratejileri küresel ısınma bağlamında değerlendirilmiş ve detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışmalarla birlikte çalışmada kullanılan yöntem üç aşamadan oluşmakta ve Şekil 2’de gösterilmektedir.

1.Aşama (Literatür Taraması): Çalışma ile ilgili derinlemesine bir literatür taraması yapılarak ilgili veri tabanlarından dergi, makale, kitap ve araştırma raporları taranmıştır.

2.Aşama (Küresel Isınma Etkisi Altında Sürdürülebilir Mimari Tasarım): Literatür taraması sonucuna göre çalışmada yer alan kavramlar açıklanarak şemalar oluşturulmuştur. Küresel ısınma etkisi altında mimari tasarımın sürdürülebilir olması adına değerlendirme yapılmıştır.

3.Aşama (Öneriler ve Sonuç): Yapılan literatür taramasının değerlendirilmesinin ve araştırmaların sonucunda küresel ısınma etkisi altında mimari tasarımın sürdürülebilir olması adına Biyofilik Tasarım yaklaşımı önerilmiştir. Makalenin sonucunda kentleşme etkisiyle artan bina stokunun çevreyle uyumlu ve duyarlı olması için somut unsurlar eşliğinde sürdürülebilir mimari tasarım ve planlama modelini içeren süreç akış diyagramı sunularak farkındalık oluşturulması amaçlanmıştır.



Şekil 2: Çalışmanın yöntemi

3. Bulgular

3.1. Küresel Isınma

Kentleşmenin ortaya çıkardığı çevre sorunları yerel ve küresel anlamda iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Karada, denizde ve atmosferde ölçülen ortalama sıcaklık artışı küresel ısınma olarak tanımlanmaktadır. Küresel ısınma, başta CO₂ olmakla birlikte atmosferde biriken sera gazlarının yoğunluğu sebebiyle oluşmaktadır. Atmosferdeki bu yoğunlaşma sanayi devrimi öncesi dönemde yaklaşık milyonda 280 birimken (parts per million-ppm); 2050 yılında tahminlerde göre milyonda 500 birimi aşması beklenmektedir (Erim 2008).

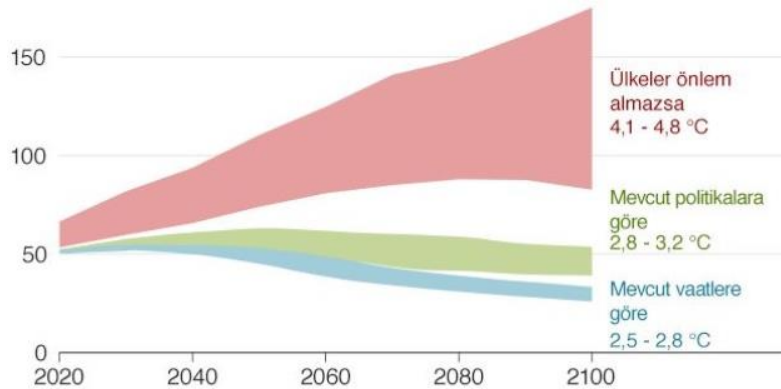
Atmosferi oluşturan su buharı, metan gazı ve CO₂ oranlarındaki değişim küresel ısınmanın başlıca sebebidir. Fosil yakıt kullanımı ile ortaya çıkan zehirli gazlar atmosferin bileşiminin dengesini değiştirmektedir. Kentlerde bina stokunun artmasına paralel olarak motorlu taşıt kullanımının da arttığı görülmektedir. Motorlu taşıtlardan çıkan egzoz gazları da yine atmosferin bileşimini yüksek oranda tehdit etmektedir. Kentlerde artan elektrik ihtiyacına cevap verebilmek adına kurulan santrallerde kömür kullanıldığında atmosferdeki karbondioksit oranı artmakta ve aynı şekilde hidroelektrik santrallerde tutulan su sebebiyle atmosferdeki su buharı oranı da artmaktadır. Kentsel atıklardan oluşan çöpler ise metan gazı salınımını artırarak atmosferde sera etkisi oluşturmaktadır. Kentleşme gizli ısı üretmektedir. Şöyle ki; kentlerde yoğun olarak kullanılan beton ve asfalt ısıyı tutarak sıcaklığın değişmesine olumsuz yönde katkıda bulunmaktadır. Bu durum da yeryüzünün sıcaklığının değişmesine, özel iklimlerin ortaya çıkmasına özetle küresel ısınmaya yol açmaktadır.

Kent ikliminin en önemli özellikleri arasında daha yüksek hava ve yüzey sıcaklıkları, radyasyon dengelerindeki değişiklikler, daha düşük nem ve yerel kaynaklardan kirleticilerin birikmesine neden olan sınırlı atmosferik değişim yer almaktadır. Özel bir kentsel iklimin dört ana nedeni şunlardır (Marzluff vd. 2008):

- Doğal toprağın, çoğunlukla yapay ve güçlü bir 3 boyutlu yapıya sahip kapalı yüzeylerle değiştirilmesi,
- Bitki örtüsüyle kaplı yüzey alanının azaltılması,
- Kanyon şeklinde olan sokaklar sebebiyle yüzeylerin uzun dalga emisyonunun azalması,
- Katı, sıvı ve gaz atmosferik kirleticilerin ve atık ısılarının salınması.

Bu faktörlerin hepsinin kentsel enerji bütçesi, su depolaması ve yüzeye yakın katmanlardaki atmosferik değişim üzerinde ciddi etkileri vardır (Marzluff vd. 2008). Son yıllardaki kentsel iklim çalışmaları çoğunlukla küresel ısınma kaynaklı kentsel ısı adaları ve hava kalitesi üzerinde odaklanmaktadır (Li vd. 2019). Yaya konforu veya termal konfor bu durumdan doğrudan etkilenerek halk sağlığını tehdit eden bir unsur haline gelmektedir (Salmond vd. 2018). Dünya nüfusunun yaklaşık olarak yarısının kentlerde yaşadığı düşünüldüğünde, insanlar için çekici imkanlar sunan kentlerin planlanmasının ve özellikle bina tasarımının küresel ısınmadan kaynaklı iklim değişikliğine uyum sağlaması beklenmektedir. Aynı şekilde, insanların konaklaması ve daha çeşitli iç mekan aktiviteleri gerçekleştirebilmesi için binalardan konfor koşullarını sağlaması da beklenmektedir.

Küresel ısınma kavramına dünya ölçeğinde bakıldığında nüfusun yaklaşık %45'inin kırsal alanlarda yaşadığı düşünüldüğünde, kentlerde daha rahat yaşam koşullarına sahip olmak adına gerçekleştirilen üretim ve tüketim faaliyetleri fazlasıyla sera gazı emisyonu yaymaktadır. Enerji tüketiminin yaklaşık olarak %75'inin kentlerde gerçekleştiği ve bu tüketimin de toplam sera gazı emisyonlarının %80'inin oluşturduğu düşünülmektedir (Martos vd. 2016). 2100 yılına kadar beklenen CO₂ salınımı ve küresel anlamda sıcaklığa olan etkisi Şekil 3'te gösterilmektedir. Böyle bir durumda görülmektedir ki kentler hem sera gazı emisyonlarının artmasında aktif rol oynamakta hem de bu artışın getirmiş olduğu olumsuz sonuçlardan dolayı mağdur olmaktadır.



Şekil 3: 2100 yılında dünyada beklenen CO₂ salınımı ve küresel ısınmaya etkisi (URL-2 2021)

İklim değişikliğine bağlı olarak ortaya çıkan türlerin yok olması, kuraklık, gıda yetersizliği ve sel gibi etkiler yine kenti ve kentte yaşayanları etkilemektedir. İklim değişikliği ve küresel ısınma bağlamında ülkelerden ziyade kentlerin yapmış olduğu çalışmalar ve aldıkları önlemler ön plana çıkmaktadır. Kentler kendi stratejilerini belirleyerek iklim değişikliği ile mücadele kapsamında kendi eylem planlarını oluşturmaktadırlar. Paris, Londra, Tokyo ve Berlin kentlerinin kendi eylem planlarını oluşturarak iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya karşı mücadelede kendi stratejilerini belirledikleri bilinmektedir. İklim değişikliği ve küresel ısınmaya karşı mücadele kapsamında yapılan çalışmalara bakıldığında, mücadelenin iki farklı yoldan ilerlediği görülmektedir. İlki, değişime ve ısınmaya sebep olan sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik olan çalışmalar iken; ikinci ise değişime ve ısınmaya uyum şeklinde ilerlemektedir. İklim değişikliği konusu yaklaşık olarak son elli yıldır küresel anlamda dikkatleri üzerine çekmektedir.

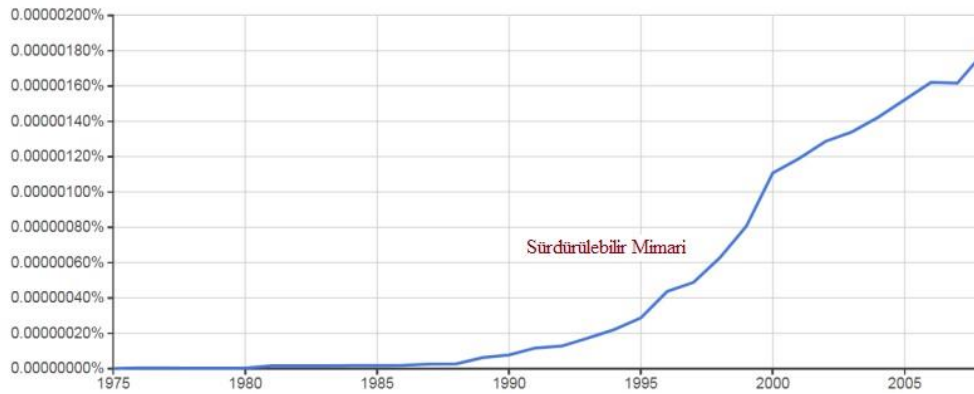
Gelinen noktaya bakıldığında mevcut sera gazı emisyonlarının sıfırlandığı düşünüldüğünde- ki mümkün değil- yaşanan iklim değişikliğinin etkilerinin yaklaşık olarak 50,100 belki de 200 yıl süreceği ön görülmektedir. Bu durumda iklim değişikliğinin olası etkilerini kabul ederek ve göze alarak kentlerin yaşanabilir ve sürdürülebilir yerleşmeler olması adına stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir.

İklim değişikliği ve küresel ısınmayla mücadele kapsamında izlenen iki yol olan azaltma ve uyum kapsamında, enerjinin verimli ve etkin kullanılması, sürdürülebilir ulaşım, elektrik, su, konut, sanayi ve atık yönetimi konuları ile ilgili eylem planları yer almaktadır.

İklim değişikliği ve küresel ısınma ile ilgili mücadele kapsamında bilim insanları tarafından sunulan bulgular, mücadelenin gerekliliğini göstermekte ve ulusal ve uluslararası platformda strateji ve politikaların belirlenmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda, 1992 yılında imzaya sunulan ve 1994 yılında yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi dahilinde 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü uluslararası anlamda yapılan ve en bilinen sözleşmelerden biridir. Sözleşmenin amacı her ne kadar sera gazı emisyonlarını ve etkilerini azaltmak olsa da amaca giden yolda hedeflerini gerçekleştirmediği görülmektedir. Kyoto Protokolü sonrasında iklim değişikliği ve küresel ısınmayla mücadele kapsamında yapılacak eylemlere yön vermesi adına Fransa'nın Paris kentinde 30 Kasım – 11 Aralık tarihlerinde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne taraf olan 196 ülkenin temsilcilerinin katılımıyla gerçekleşen 21. Taraflar Konferansı (The 21st Conference of the Parties, COP 21) sonucunda Paris İklim Antlaşması üye ülkeler ve Avrupa Birliği'nin imzası ile kabul edilmiştir. Bahsi geçen anlaşmanın amacı; küresel anlamda sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutmak ve sanayi öncesi düzeyin 1.5°C'de sınırlandırmaktır (UN 2015). Paris İklim Antlaşması 4 Kasım 2016 yılında yürürlüğe girmiştir.

3.2. Sürdürülebilir Mimari Tasarım

Artan nüfus, hızla gelişen sanayi, teknolojik gelişmeler ve küreselleşmenin etkisiyle yenilenemeyen enerji kaynaklarının hızla tüketilmesi sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına bir yönelim söz konusudur. İşte bu noktada sürdürülebilirlik kavramı çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla birlikte ön plana çıkmakta ve sorunların çözümü olarak görülmektedir. İklim değişikliği ve küresel ısınmaya karşı mücadele kapsamında kaynakların verimli ve etkin bir şekilde kullanılmasının gündeme gelmesiyle hem sorunların kaynağı olarak görülen hem de mağdur olan kentlerin planlamasının ve binaların tasarımının sürdürülebilirliği gündeme gelmektedir. Sürdürülebilir mimari kavramının tarihsel süreç içerisinde kullanım sıklığına ilişkin oranlar Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4: Sürdürülebilir mimari kavramının tarihsel süreçte kullanım sıklığı (URL-3 2021)

Şekil 4 incelendiğinde sürdürülebilir mimari kavramının kullanımının 1990'lı yıllardan sonra artmaya başladığı ve 2000'li yıllardan sonra da küresel anlamda yaşanan olaylara bağlı olarak alınan kararlar doğrultusunda kullanım sıklığının hızla arttığı görülmektedir.

Sürdürülebilir mimari tasarımın şekillenmesinde toplumun yaşam biçimi, coğrafya, ekonomik, sosyal ve çevresel ihtiyaçlar etkin rol almaktadır. Zamanla değişen koşullar, iklim, nüfus ve yenilenemeyen kaynakların hızla tüketilmesi sürdürülebilir mimari tasarımın gelişmesine olumlu yönde katkı sağlamıştır. Ek olarak sürdürülebilir mimari tasarımda yöreye özgü malzeme, yenilenebilir kaynak ve geri dönüştürülmüş veya dönüştürülebilen yapı malzemesinin kullanımı bina kullanıcılarının konfor koşullarının rahatlığını da ifade etmektedir. Aynı zamanda bir binanın çevresiyle uyumlu hale gelebilmesi için sürdürülebilir mimari tasarımın gerekli olduğu savunulmaktadır (Milosevic 2004). Ancak son elli yılda iklim bilimi hakkında önemli bir bilgi birikimi geliştirilmiş olsa da bu bilgilerin kentsel planlama ve bina tasarım uygulamalarına dahil olduğuna dair çok az çalışmanın olduğu görülmektedir (Mills vd. 2010). Sürdürülebilir mimari tasarım yaklaşımı ile ilgili mevcut literatür tarandığında Fisher (1993), sürdürülebilir mimarlığı enerjiyi koruyan, geri dönüşümü mümkün ve yenilenebilir malzeme kullanan, fosil yakıt kullanım oranını azaltan şeklinde tanımlarken; Foster (2001) ise en azla en çoğu gerçekleştirmenin sürdürülebilir tasarım olduğunu ifade etmektedir.

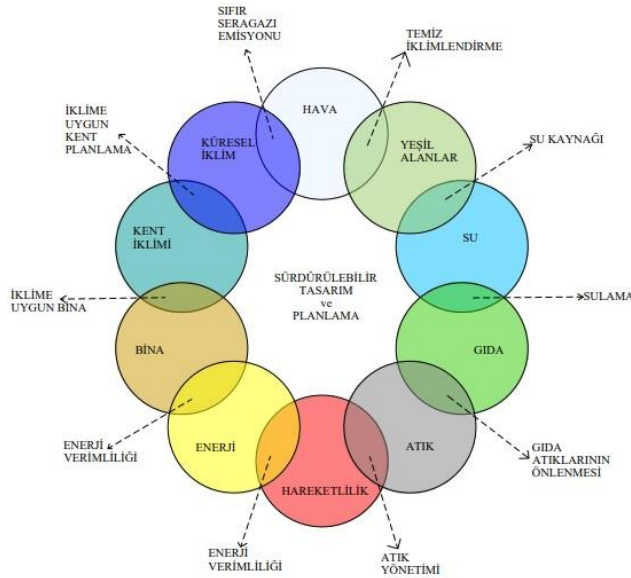
Küresel ısınmaya olumsuz anlamda katkı sağlayan, yenilenemeyen kaynakları kullanan, kirlilik üreten kaynak kullanımını azaltan pasif mimari tasarım sürdürülebilir mimari olarak tanımlanmaktadır (Foster 2001). Sev (2009) tarafından sürdürülebilir mimarlık, mevcut koşullarda ve her dönemde gelecek kuşakların düşünüldüğü, yenilenebilir kaynak kullanımının öncelikli olduğu, çevreye duyarlı, bulunduğu alanı, malzemeyi, enerjiyi ve suyu etkin ve verimli

şekilde kullanan, bireyin sağlık ve konfor şartlarını koruyan yapılar üretme faaliyetlerinin tümü olarak belirtilmektedir. Sürdürülebilir mimari tasarımda üç temel ilke bulunmaktadır (Sev 2009). Bunlar:

- Kaynak Yönetimi: Yapımda kullanılan doğal kaynakların tekrar ve etkin bir şekilde kullanımı ile geri dönüştürülmesidir.
- Yaşam Döngüsü Tasarımı: Yapını tasarımdan yıkımına kadar olan süreçte çevre üzerindeki etkilerinin analiz edilmesidir.
- Yaşam Kalitesi İçin Tasarım: Doğal çevre ve insan arasında uyumu sağlamaktır.

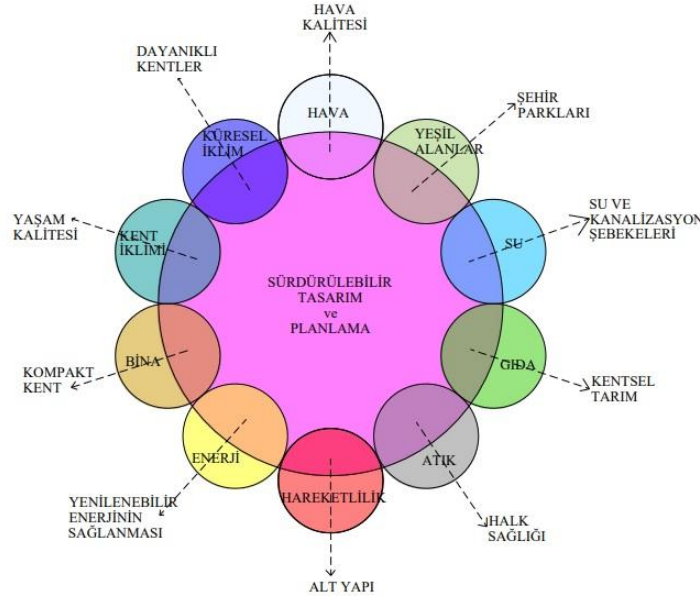
Sürdürülebilir mimarlığın amacı Mollison ve Slay (1994) tarafından kendi ihtiyaçlarını kendi karşılayan, ekosisteme zarar vermeyen, ekonomik olarak uygun, çevreyi kirliletmeyen ve sömürmeyen sistemler olarak tanımlanmakta ve bu şekilde sürdürülebilirliğin sağlandığı ifade edilmektedir. Günümüzde ise sürdürülebilir mimarlık genel bir tanımla iklime uyumlu, enerjinin verimli ve etkin kullanıldığı, sosyo-kültürel yapıya saygılı ve sahip çıkan, doğal kaynak kullanımı konusunda ekonomik olan, ekosistem üzerinde en az etkiye sahip tasarım bilinci olarak ifade edilmektedir (Williamson vd. 2003). Sürdürülebilir insan yerleşmeleri oluşturma adına sürdürülebilir mimari tasarım önem arz etmektedir.

Yaşam döngüsü içerisinde önemli miktarda malzeme ve enerji tüketen binaların bu tüketimini azaltmak için sürdürülebilir mimari ortaya çıkmıştır. Mevcut bina, kullanıcısının ve mevcut koşulların ihtiyaçlarını karşılayabiliyorsa ve ilerleyen zamanda da aynı şekilde değişen duruma ayak uydurabiliyorsa malzeme ve enerji tasarrufu sağlanıyor demektir. Buradan hareketle ilerleyen zamanla değişen ihtiyaçların, mimarlık disiplininin karşılaştığı temel sorunlardan biri olduğu belirtilmektedir. Zamanla değişen kullanıcı istekleri ve ihtiyaçlarına cevap verebilmesi için, binaların esnek yapı ve mekânsal kurguya ihtiyaç duyduğu ifade edilmektedir (Estaji 2017). Şekil 5'te sürdürülebilir mimari tasarım ve kentlerin karşılaştığı sorunlar özetlenmektedir.



Şekil 5: Sürdürülebilir tasarım ve planlamada karşılaşılan sorunlar (Satterthwaite (2008)'den yorumlanmıştır)

Sürdürülebilir tasarım ve planlamada karşılaşılan sorunlara bakıldığında bina ve enerjinin kesişimi olarak enerjinin verimliliği gösterilmektedir. Binalarda enerjinin etkin ve verimli kullanılmamasından kaynaklı olarak ısı kayıpları olmakta ve atmosfere salınan zehirli kimyasal miktarı artmaktadır. Aynı şekilde kent iklimine uygun bina tasarımı yapılmadığı takdirde de tasarımın sürdürülebilirliği sorgulanmaktadır. Sera gazı emisyonları, temiz iklimlendirme, su kaynakları, sulama, gıda atıkları, atık yönetimi, enerji verimliliği, iklime uygun bina tasarımı ve kent planlama da sürdürülebilir tasarım ve planlamada karşılaşılan diğer sorunlardır. Bu sorunların çözümüne yönelik birtakım stratejiler geliştirilmektedir. Bu stratejilerin, sorunlara uzun vadede çözüm olacağı düşünülmektedir. Geliştirilen stratejiler Şekil 6'da özetlenmektedir.

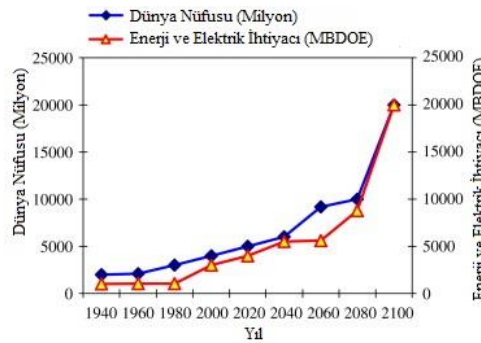


Şekil 6: Sürdürülebilir tasarım ve planlamada karşılaşılan sorunlara yönelik çözümler (Satterthwaite (2008)'den yorumlanmıştır)

Şekil 6 incelendiğinde birtakım stratejiler görülmektedir. Örnek olarak binalarda sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi adına kompakt kent önerilmektedir. Kompakt terim olarak sıkı ve sürekli anlamına gelmektedir. Sürdürülebilir kent modellerinden olan kompakt kent modelinde kent içinde tanımsız boşluklar azdır ve parçalı olmayan, bir bütün oluşturan yapılaşma görülmektedir. Bu kent modeli karma arazi kullanım düzeni olarak da bilinmektedir. Bu modelde kentsel toprak kaynak olarak görülmekte; en etkin ve verimli bir şekilde kullanılması hedeflenmektedir. Ayrıca kente, çevre ve enerji alanlarında fayda sağlayan bu kent modeli insan odaklı tasarımı benimsemesinden dolayı sosyal anlamda da sürdürülebilirliği sağlamaktadır (Çalışkan 2004). Başka bir örnek ise sürdürülebilir kent ikliminin optimum seviyede olduğu düşünüldüğünde yaşam kalitesinin artacağı yönünde bir düşünce oluşmaktadır. Bir diğer örnekte ise atık yönetimin başarılı olduğu durumda halk sağlığının olumlu yönde olacağı öngörülmektedir. Hava kalitesi, dayanıklı kentler, şehir parkları, su ve kanalizasyon şebekeleri, kentsel tarım, alt yapı ve yenilenebilir enerjinin sağlanması da sürdürülebilir tasarım ve planlamanın karşılaştığı sorunlara yönelik çözüm olarak geliştirilen diğer stratejilerdendir.

3.3. Küresel Isınmanın Etkisi Altında Sürdürülebilir Mimari Tasarım

Küreselleşme ile birlikte göç dalgasına maruz kalan kentlerde nüfus hızla artmaktadır. Buna bağlı olarak artan nüfusun enerji ihtiyacı da artmaktadır. 2100 yılına kadar dünyada beklenen nüfus artışı ve enerji ihtiyacı Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7: 2100 yılına kadar dünyada beklenen nüfus artışı ve enerji ihtiyacı (Ömer 2008)

Artan enerji ihtiyacının sonucu olarak artan enerji tüketimi küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Değişen bir iklime uyum sağlamak için bina tasarımında birtakım değişiklikler olmaktadır. Bu değişiklikler şiddetli sağanak, dolu ve yoğun kar yüklerinden oluşan sorunlara çözüm olmak adına daha dayanıklı binaların inşa edilmesine yardımcı olmaktadır. Bu çözüm önerileri yerel ve küresel iklimde ve yerel ve küresel enerji ve madde akışlarındaki değişikliklerle ilgili olarak dayanıklı hale gelmesi düşünülen sürdürülebilir bir kentin yalnızca küçük bir bölümdür. Daha dirençli ve dayanıklı kentler şekillendirmek için yüksek sıcaklıklar, kötü hava kalitesi ve gürültünün insan sağlığına vermiş olduğu stres de azaltılmalıdır.

Bu hedeflerin her birine ulaşmak için stratejiler ve eylemler arasındaki etkileşime dikkat edilmelidir. Örnek olarak kentsel ısı adası hafifletme önlemlerinin bir sonucu olarak hava kalitesinin daha da kötüleşme ihtimali bulunmaktadır (Fallmann vd. 2017). İklim değişikliğine uygun kent ve binaların ortaya çıkması için sürdürülebilirlik bütün boyutları ile koordineli bir şekilde ele alınmalıdır. Şekil 8’de sürdürülebilir bina tasarımına yönelik boyutlar özetlenmektedir.



Şekil 8: Sürdürülebilir bina boyutları (Kohler 1999)

İklim değişikliği ve küresel ısınmayla mücadele kapsamında bina tasarımına yönelik önlemler, kentsel yeşil ve maviyi geliştirmeye yönelik önlemler, kentleri yeniden planlamaya yönelik önlemler ve son olarak kentsel alanların genel anlamda dayanıklılığını güvence altına almaya yönelik önlemler ve gerçekleştirilecek eylem alanları ayrıntılı olarak ele alınmalıdır.

Küresel ısınma etkisi altında sürdürülebilir mimari tasarımda binaların tasarımında kentsel yüzeylerin değiştirilmesi, pasif güneş mimarisi (ısıtma ve soğutma), yapı malzemeleri (sera gazı, ahşap, geri dönüşüm), pasif rüzgâr mimarisi ve iklime uygun çatı formu kullanılmaktadır. Aynı zamanda binalara yakın alanda yeşil alanların tasarlanması, özellikle kent merkezlerinde küçük yeşil alanların oluşturulması, tasarımda su ögesinin kullanılması da yine mücadele kapsamında gerçekleştirilecek eylemler arasındadır.

Hem pratikte hem de teoride enerji tüketimi, iklim değişikliği ve küresel ısınma üzerine mimarlık alanındaki çalışmaların ciddiyetle devam ettiği görülmektedir. Örnek olarak Norman Foster, Thom Mayne, Christoph Ingenhoven ve Glen Murcutt gibi mimarlar tasarladıkları binalarda yaptıkları seçimlerle enerji tüketimi ile ilgili olarak hassasiyetlerini ve iklim değişikliği ve küresel ısınmaya karşı duruşlarını sergilemektedirler. Mimar Edward Mazria da yine bu alanda yaptığı kapsamlı çalışmalarla gündeme gelmektedir. Ünlü mimar küresel ısınmayla mücadele kapsamında 2002 yılında Architecture2030 hareketini başlatmıştır. Bu hareket kâr amacı taşımadan, yapılı çevreyi sera gazından kaynaklı oluşan iklim krizlerine karşı çözüme ulaştırmayı misyon olarak belirlemiştir. Belirlenen amaç doğrultusunda küresel ısınmaya olumsuz yönde en büyük katkının insan faaliyetlerinden kaynaklandığını ve bu faaliyetlerin iş-ticaret, ulaşım, endüstri ve konut olarak dört gruba ayrıldığı bu hareket kapsamında ortaya konulmaktadır. Yapılan araştırmalara göre mimari ürünlerin %76 oranında, endüstrinin %23 oranında ve ulaşımın %1 oranında küresel ısınmaya etki ettiği belirtilmektedir (URL-4 2021). Edward Mazria’nın tasarladığı The Bosque School isimli proje küresel ısınma ve iklim değişikliğine karşı mücadeleye verilecek iyi örneklerden biridir. Okulun konumu Rio Grande Nehri’nin kenarında bulunmaktadır. Binada çevresindeki eğitim yapılarının kullandığı ortalama enerjinin yarısının kullanılması amaçlanmıştır. Bu eğitim binası tamamen gün ışığı ile aydınlatılmış ve böylece elektrik kullanımı %70 oranında azaltılmıştır. Binanın güney cephesinde bulunan pencereler yaz aylarında güneşten gelecek fazla ısıyı engellemek için gölgelendirilmiş ve bu ısının kış aylarında binanın ısıtılması için depolanarak enerjiye dönüştürülmüştür.

Sürdürülebilir mimari tasarım yaklaşımı olarak son yıllarda iklime uygun bina tasarımında “Biyofilik Tasarım” öne çıkmaktadır. Biyofili terimi ilk kez 1973 yılında Alman psikanalist Eric Fromm tarafından “yaşam sevgisi” olarak tanımlanmıştır (Wilson 1984). Kavram daha sonra Amerikalı biyolog E.O. Wilson tarafından yazılan “Biophilia” isimli kitapta geliştirilerek ele alınmış ve bireyin tüm yaşam formları ile doğuştan gelen yakınlığı olarak belirtilmiştir (Cabanek vd. 2020). Bina ölçeğinden kent ölçeğine kadar geniş bir yelpazede uygulanabilen bir tasarım yaklaşımı olan Biyofilik Tasarım, yapının biyolojisi ile kentin ekolojisine destek sağlarken doğayı yaşama daha fazla katmaktadır. Biyofilik mimari tasarım, 1960’larda F. Lloyd Wright’ın tasarladığı Falling Water House ile popüler olan organik mimarlık yaklaşımının günümüzdeki versiyonu niteliğindedir (Şekil 9). Bu tasarım yaklaşımı “iyileştiren tasarım” ya da “iyileştiren mimari” olarak da bilinmekte ve çevreyi tasarıma dahil ederek bireyin ve toplumun sağlığını desteklemekte ve nefes alan biyolojik ortamlar sunmaktadır. Farklı bir ifadeyle yapılı çevrede insan-doğa ilişkisinin olumlu yönde ilerlemesine olanak sağlamaktadır. Biyofilik tasarım yaklaşımı ile birlikte bireylere doğal aydınlatma ve doğal ısıtma-soğutma sunulurken; yapıların da iklimlendirme ve aydınlatma gibi performanslarının artarak çevreye duyarlı ve uyumlu olması sağlanmaktadır (Kaya ve Selçuk Arslan 2018). Aynı zamanda kısa vadede çevrenin mevcut koşullarının doğa ile uyum içinde olmasını, uzun vadede ise sürdürülebilir bir çevrenin oluşumunu desteklemektedir. Biyofilik tasarımın ana amacı, kopma noktasına gelen insan-doğa ilişkisini yeniden kurarak doğanın sağladığı psikolojik faydaları yapılı çevreye dahil etmektir. Bu bağlamda bir mimari tasarım yaklaşımı olarak mimarlık, doğa ve yaşam teorilerini içinde bulunduran yeni bir yaklaşımdır (Ünlü 2017).



Şekil 9: Şelale evi, Pensilvanya, ABD (URL-5 2021)

Biyofilik kentler, doğa ile birlikte tasarlanmış, doğa ile uyumlu, biyolojik çeşitlilik içeren, tasarıma doğal kaynakları ve çevre özelliklerini dahil eden kentsel alanlar, kamusal alanlar ve yapıları içeren yerleşmelerdir. Biyofilik planlamanın ana amacı kentte var olan unsurların (yeşil koridor, kentsel avlu, yeşil duvar, yeşil çatı, yeşil kuşak vb.) korunması ve yeni kentsel alanların oluşturulmasıdır. Kentsel alanlarda biyofilik tasarım uygulamalarıyla birlikte kentsel ısı adalarının azalması, mikroiklimlerin ortadan kalkması, hava kalitesinin iyileşmesi, sera gazı emisyonlarının azalması gibi olumlu yönde gelişmeler beklenmektedir. İnsan-doğa ilişkisini yeniden kurarak, bina cephelerinde yeşil dokularla birlikte su, hava, rüzgâr ve güneş gibi doğal unsurları tasarıma dahil ederek kenti canlı bir oluşum gibi düşünen biyofilik tasarım esasen çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik için bir zorunluluk olduğu görülmektedir.

Biyofilik mimari tasarım yaklaşımında bina ölçeğinden kent ölçeğine kadar farklı uygulamalarda bahçeler, avlular, biyoduvarlar, yaşayan döşemeler, dikey ormanlar gibi birçok farklı formda ve yöntemde uygulamalar mevcuttur. Bina iç mekan tasarımında ise materyal olarak yoğun bitki kullanımı görülmektedir.

Biyofilik tasarımın, yapıları çevrede insan ve doğa arasındaki bağlantıyı teşvik ederek toplumun refah seviyesini yükselttiği belirtilmektedir. Yapılan araştırmalara göre, doğal alanlara yakın yerlerde yaşayan insanların (eğitim düzeyi ve gelirden bağımsız olarak) daha az sağlık ve sosyal sorunlar yaşadığı ifade edilmektedir (Kellert vd. 2011). Bu tasarım yaklaşımı düşük çevresel etkili tasarım olarak da bilinmekte, gerçekçi ve kalıcı sürdürülebilirlik sağlamaktadır. Çevresel etkili tasarımın temel hedefleri enerji ve kaynak verimliliği, sürdürülebilir ürünler ve malzemeler, güvenli atık üretimi ve geri dönüşümü, kirliliğin azaltılması, biyolojik çeşitliliğin korunması ve kaliteli çevredir. Sürdürülebilir mimari tasarımda bu hedeflere ulaşabilmek için birtakım sertifikasyon sistemleri tasarıma dahil edilmiştir. Buna örnek olarak ABD Yeşil Bina Konseyi'nin Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik (LEED) derecelendirme yaklaşımı bu sertifikasyon sistemine dahil edilmiştir (Kellert vd. 2011). Diğer sertifikasyon sistemleri ise Yapı Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Metodu (BREEAM), Alman Sürdürülebilir Yapı Sertifikası (DGNB), Yapılar İçin Bir Çevresel Değerlendirme Metodu (IISBE), Yeşil Yıldız (GREENSTAR), Binaların Çevresel Etkinliği İçin Detaylı Değerlendirme Sistemi (CASBEE) olarak sıralanmaktadır. Biyofilik tasarım, sürdürülebilir bina tasarımı için çeşitli ihtiyaçları bir araya getiren ve böylece sürdürülebilir planlama ihtiyaçları için bütünsel çözümler sunan kapsayıcı bir strateji olarak ifade edilmektedir. Bu tasarım yaklaşımı Şekil 5'te bahsedilen atmosferik ve iklimsel etkiler nedeniyle ortaya çıkan birtakım ihtiyaçların karşılanmasına yardımcı olmaktadır. Buna örnek olarak kentsel ısı adalarının azaltılması, dış hava kalitesinin artırılması ve gölgeleme yoluyla daha iyi bir iç mekan iklimi sağlaması gösterilmektedir. Biyofilik tasarım, iklimlendirme ihtiyacını azaltarak, enerji tüketimini azaltıp sera gazı ve gaz halindeki reaktif nitrojen bileşiklerini emisyonlarını azaltarak daha sürdürülebilir şehirler oluşturmaya da yardımcı olmaktadır.

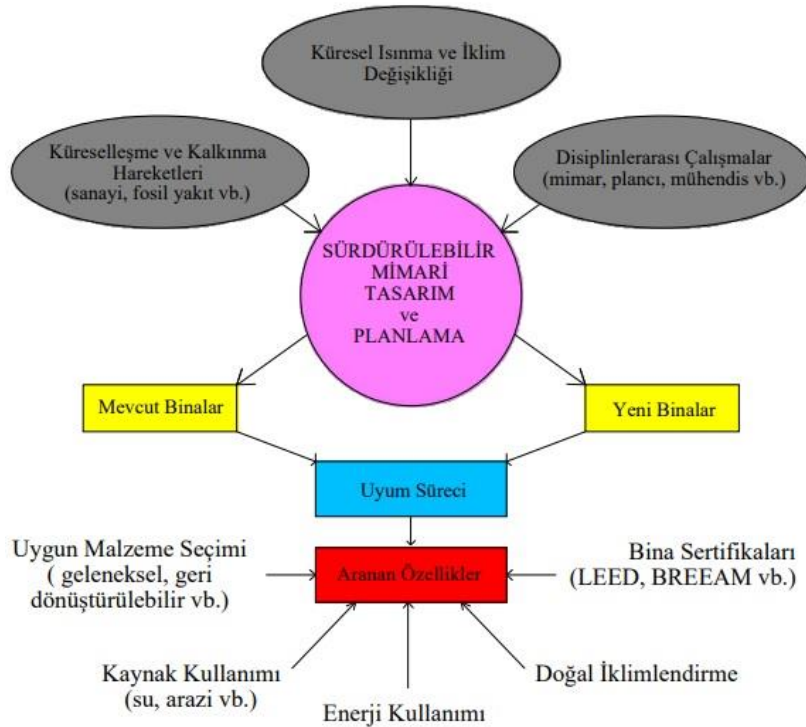
Sürdürülebilir mimari tasarımda geri dönüşmüş ya da geri dönüştürülebilir malzeme kullanımı önem arz etmektedir. Binaların tasarımda seçilen malzemeler ile enerji bakımından daha verimli bir binanın ortaya çıkması mümkündür. Bir binanın içerdiği enerji, beton ve çelik gibi karbon içerikli malzemelerin yerine ahşap malzeme kullanarak azaltmanın mümkün olduğu görülmektedir (Gustavsson vd. 2017; Sathre ve O'Connor 2010). Üretildiğinde CO₂ yayan beton ve çeliğin aksine, ağaçlar büyüdükçe CO₂'i doğal olarak emer ve depolar. Daha fazla karbon içeren malzemelerin yerine binalarda kullanılan ahşap miktarının artırılması, inşaat sektöründen kaynaklanan toplam emisyonları azaltma potansiyeline sahiptir (Hill 2019). Binalarda yapı malzemesi olarak ahşabın kullanılması, inşaat sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde kilit bir stratejidir (Huang vd. 2018). Bu stratejiye göre yeni yapılacak binaların %50'sinde ahşabın kullanılması, sıcaklıkların 1.5°'den fazla yükselmesini önlemek için 2030 yılına kadar ihtiyaç duyulan yıllık emisyon azalımının %9'unu karşılayabileceği düşünülmektedir (Churkina vd. 2020). Bu sonuç seçilen malzemenin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

İnsanoğlu varoluşundan bu yana doğa ile iç içedir. Son zamanlarda dünya gündeminde olan kentleşme, insan ile doğanın tek taraflı ilişkisinin ürünü olmakla beraber insanın doğayı sömürdüğü bir ilişki durumudur. Kırdan kente olan göç dalgası ile birlikte hız kazanan kentleşmeyle bina stokunun önlenemez artışı ortadadır. Bu durumda yaşanan çevre sorunları sağlık alanında sorunları beraberinde getirmektedir.

Betonarme binalar hızlı kentleşmeden ortaya çıkan kentsel bir sorundur ve hızlı üreten ve hızlı tüketen toplumun bir ürünüdür. Binalarda geleneksel, sürdürülebilir veya geri dönüşümü olabilen yapı malzemelerini kullanmak yerine betonun seçilmesi ile bina ve doğa uyumu sorgulanmaya başlanmıştır. Doğa ve bina uyumunun yakalanabilmesi adına seçilen malzemelerde enerjinin verimli kullanılabilmesi için dikkatli olunması gerekmektedir. Beton malzemenin yerine daha az ısı tutan, doğa ile uyumlu yapı malzemeleri seçildiğinde betonlaşmanın önüne geçileceği öngörülmektedir. Bir kentleşme politikası olarak yüksek katlı ve cephesinde kaplama malzemeleri olan bina tasarımı yerine, daha az katlı, doğa ile uyumlu ve sürdürülebilir malzeme ve tasarımın önüne çıktığı binalar uzun vadede hem iklime hem de küresel ısınmaya olumlu yönde fayda sağlayacaktır. Bu sebeple bu makalenin bulgularından olan Biyofilik Tasarım, insan-doğa uyumunu desteklemesi, tasarım ve planlamada çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğin sağlanmasında bir zorunluluk haline gelmesi sebebiyle küresel ısınma ve iklim değişikliğine uyum ve mücadele kapsamında önerilmektedir. Bina ölçeğinden kent ölçeğine kadar geniş bir yelpazede uygulama örnekleri sunan biyofilik tasarımla birlikte sürdürülebilir binalar ve kentlerin oluşması beklenmektedir. Bu tasarım yaklaşımı, binaların tasarlanması, planlanması ve yapım tekniklerinde çevrenin sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla kendi içinde tedbirler barındırmaktadır. Seçilen malzeme ve kullanılan yöntem insan ve doğanın uyumunda önemli bir yer teşkil etmektedir. Ayrıca bu tasarım yaklaşımında yerli doğal malzemelerin kullanımı önerilmektedir. Böylelikle yoksulluk azalmakta, inşaat maliyetleri düşmekte ve malzemelerin geri dönüştürülmesi de sağlanmaktadır.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği artık kendi başına üstüne gidilmesi gereken konular haline gelmiştir. Kentlerde enerjinin yaklaşık olarak %40'ı binalar tarafından tüketilmektedir. Konutlarda tüketilen enerji miktarı ise CO₂ salınımında önemli bir yer tutmaktadır. Bu durumda bina tasarımının ve planlamanın önemi ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda Şekil 10'da küresel ısınma etkisi altında sürdürülebilir mimari tasarım ve planlama modelini içeren süreç akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 10: Sürdürülebilir mimari tasarım ve planlama modelini içeren süreç akış diyagramı

Yerel ve küresel anlamda ısınan bir iklimin etkisi binaların termal performans değerlendirmesi (mevcut ve gelecekteki yapı stoku) için önem arz etmektedir. Bu sebeple enerji ve konfor çalışmaları bina tasarım kriterlerinde ve enerjiye ait yönetmeliklerde dikkate alınmalıdır. Sürdürülebilir mimari tasarımla birlikte küresel ve kentsel olarak iklim dostu ve sürdürülebilir binalar ve kentler inşa etmenin yolu açılmaktadır.

Tasarımlarda kullanılacak düşük enerji harcayan ve geri dönüşüm imkanı olan malzemelerin düşük emisyonun sağlanmasına katkısı olacağı hatta halk sağlığında da iyileşmelerin olacağı, hastaneye gitme oranında düşüşün yaşanacağı öngörülmektedir. Tasarımda dikkat edilecek bir diğer husus ise iç mekan hava kalitesidir. Özellikle Covid -19 pandemi sürecinde konutlardan çıkılmadığı düşünüldüğünde konut içindeki sirkülasyona bağlı olarak iç mekan hava kalitesinin önemi daha da artmaktadır. Yoğun trafik gürültü kirliliğinin yanı sıra egzoz gazları sebebiyle dış mekan hava kalitesini de düşürmektedir. Bu unsurlar kentsel ve küresel iklimin değişmesine ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Değişen ve hatta kentin kendi coğrafi konumuna ait bir iklim haline gelen kentsel iklim sonucunda beklenmedik sağanak yağışların ve sel, toprak kayması gibi doğal afetlerin yaşandığı görülmektedir. Buna benzer sonuçları yaşamamak için bu araştırma makalesinin hedefini de kapsayan kentsel ve küresel iklim dostu mimari tasarım ve planlama süreci akış diyagramının önemini öncelikli olarak farkında olunmalı hem acil eylem planları hem de uzun vadeli stratejiler belirlenmeli ve uygulamaya geçilmelidir. Sürdürülebilir mimari tasarım bir seçenek olarak değil; bir zorunluluk haline gelmeli ve bu konuda toplum bilinci oluşturulmalıdır. Sertifikasyon sistemleri, malzemenin uygun seçilmesi, kaynakların ve enerjinin etkin ve verimli kullanılması gibi unsurlar yasa ve yönetmeliklerde belirtilmelidir.

Kaynaklar

- Azami A., (2005), *Badgir in traditional Iranian architecture*, International Conference Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment, 19-21 May, Santorini, Greece ss.1021-1026.
- Bonine M.E., (2016), *From uruk to casablanca*, J. Urban Hist. 3 (2), 141–180.
- Brown J.B., Hanson M.E., Liverman D.M., Merideth R.W., (1987), *Global sustainability: toward definition*, Environ. Manag. 11, 713–719.
- Brundtland G.H., (1987), *Our common Future*, Report of the World Commission on Environment and Development, https://www.are.admin.ch/dam/are/en/dokumente/nachhaltige_entwicklung/dokumente/bericht/our_common_futurebrundtlandreport1987.pdf.download.pdf/our_common_futurebrundtlandreport1987.pdf, [Erişim 04 Aralık 2021].
- Cabanek A., Baro M., Newman P., (2020), *Biophilic Streets: A Design Framework for Creating Multiple Urban Benefits*, Sustainable Earth, 2-17.
- Churkina G., Organschi A., Reyer C.P.O., Ruff A., Vinke K., Liu Z., Reck B.K., Graedel T.E., Schellnhuber H.J., (2020), *Buildings as a global carbon sink*, Nature Sustainability, 3, 269–276.
- Cugurullo F., (2016), *Urban eco-modernisation and the policy context of new eco-city projects: where Masdar City fails and why*, Urban Studies, 53(11), 2417–2433.
- Çalışkan O., (2004), *Sürdürülebilir Kent Formu: Derişik Kent*, Planlama Dergisi, 3, 33- 54.
- Erim A., (2008), *RIBA İklim Değişikliği Bilgi Notu*, TMMOB Mimarlar Odası Belgeler Bülteni, 11, 18-26.
- Estaji H., (2017), *A Review of Flexibility and Adaptability in Housing Design*, International Journal of Contemporary Architecture, 4(2), 37-49.
- Fallmann J., Lewis H., Castillo J.M., Arnold A., Ramsdale S., (2017), *Impact of sea surface temperature on stratiform cloud formation over the North Sea*, Geophysical Research Letters, 44(9), 4296–4303.
- Fisher T.R., (1993), *Architectural Education as a Design Problem*, Harvard Architecture Journal.
- Foster N., (2001), *Green Architecture*, Architectural Design, 71(4), John Wiley, London, 152ss.
- Gustavsson L., Haus S., Lundblad M., Lundstrom A., Ortiz C.A., Sathre R., Truong N.L., Wikberg P.E., (2017), *Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensive materials and fossil fuels*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 612–624.
- Hill C.A.S., (2019), *The environmental consequences concerning the use of timber in the built environment*, Frontiers in Built Environment, 5, 129, doi: 10.3389/fbuil.2019.00129.
- Huang L., Krigsvoll G., Johansen F., Liu Y., Zhang X., (2018), *Carbon emission of global construction sector*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 1906–1916.
- Kaya H., Selçuk Arslan S., (2018), *Biyofilik Tasarım ve İyileştiren Mimarlık: Sağlık Yapıları Üzerine Bir Değerlendirme*, EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences, 3, 35-47.
- Kellert S.R., Heerwagen J., Mador M., (2011), *Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life*, John Wiley & Sons, New York, NY, 432ss.
- Kohler N., (1999), *The Relevance of the Green Building Challenge: An Observer's Perspective*, Building Research and Information, 27(4/5), 309-320.
- Li D., Liao W., Rigden A.J., Liu X., Wang D., Malyshev S., Shevliakova E., (2019), *Urban heat island: aerodynamics or imperviousness?* Science Advances, 5(4), 4299, doi: 10.1126/sciadv.aau4299.
- Linhares de Siqueira G., (2015), *Klimaadaptive Entwurfsmethodik: eine Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Klimadaten, klimagerechten Entwurfsmethoden und dem adaptiven Komfortmodell*, Dissertation, HafenCity Universität Hamburg, Germany.
- Martos A., Pacheco-Torres R., Ordonez J., Jadraque-Gago E., (2016), *Towards successful ~ environmental performance of sustainable cities: intervening sectors, A Review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57, 479–495.
- Marzluff J.M., Alberti M., Bradley G., Endlicher W., Ryan, C., Shulenberg E., Simon U., ZumBrunnen C., (2008), *Urban Ecology: An International Perspective on the Interaction between Humans and Nature*, Springer, Boston, MA, 834ss.
- Mills G., Cleugh H., Emmanuel R., Endlicher W., Erell E., McGranahan G., Ng E., Nickson A., Rosenthal J., Steemer K., (2010), *Climate information for improved planning and management of mega cities (needs perspective)*, Procedia Environmental Sciences, 1, 228–246.
- Milosevic P., (2004), *The concept and principles of sustainable architectural design for national parks in Serbia*, Spatium, 11, 91-105.
- Mollison B., Slay R.M., (1994), *Introduction to permaculture*, Tagari Publications, Tyalgum. Australia, 216ss.

- Ömer A.M., (2008), *Energy, environment and sustainable development*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(9), 2265-2300.
- Panagopoulos T., Gonzalez Duque J.A., Bostenaru Dan M., (2016), *Urban planning with respect to environmental quality and human well-being*, Environmental Pollution, 208, 137–144.
- Salmond J., Sabel C., Vardoulakis S., (2018), *Towards the integrated study of urban climate, air pollution, and public health*, Climate 6(1), 14, doi:10.3390/cli6010014.
- Sathre R., O'Connor J., (2010), *Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution*, Environmental Science & Policy, 13(2), 104–114.
- Satterthwaite D., (2008), *Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions*, Environment & Urbanization, 20(2), 539–549.
- Sev A., (2009), *Sürdürülebilir Mimarlık*, YEM Yayınları, Güzel Sanatlar Matbaası, İstanbul, 223ss.
- UN, (2015), *Paris Agreement*, United Nations, https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf [Erişim 08 Kasım 2021].
- UNCSD (2007), *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and methodologies*, <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/guidelines.pdf> [Erişim 08 Kasım 2021].
- UNEP, (2019), *Emissions Gap Report 2019*, United Nations Environment Programme, <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2019> [Erişim 08 Kasım 2021].
- URL-1, (2019), *World green building Council annual report 2018/19*, World Green Building Council, <https://www.worldgbc.org/>, [Erişim 04 Aralık 2022].
- URL-2, (2021), *İklim değişikliği: 7 grafikte krizin neresindeyiz, her birimiz neler yapabiliriz?*, <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-51133428> [Erişim 08 Kasım 2021].
- URL-3, (2021), *Sustainable architecture*, Books Ngram Viewer, https://books.google.com/ngrams/graph?content=sustainable+architecture&year_start=1975&year_end=2008&corpus=15&smoothing=5&share=&direct_url=t1%3B%2Csustainable%20architecture%3B%2Cc0#t1%3B%2Csustainable%20architecture%3B%2Cc0-1 [Erişim 08 Kasım 2021].
- URL-4, (2021), *Architecture 2030*, <https://architecture2030.org/> [Erişim 08 Kasım 2021].
- URL-5, (2021), *Fallingwater Evi (Şelale Evi)*, <https://www.arkitektuel.com/fallingwater-evi-selale-evi/> [Erişim 04 Aralık 2021].
- Ünlü E., (2017), *Mimarlıkta Biyofili Olgusu ve Sağlık Yapıları Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Gebze.
- Williamson T., Radford A., Bennetts H., (2003), *Understanding Sustainable Architecture*, Taylor and Francis, London, 176ss.
- Wilson E.O., (1984), *Biophilia*, Harvard University Press, Cambridge, 176ss.

Rapor Edilmeyen Sızıntıların Yönetiminde Aktif Kaçak Kontrolünün Planlanması ve Sahada Uygulanması

Mahmut Fırat^{1,*}, Mustafa Yıldırım²

¹İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44250, Malatya.

²Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, 44200, Malatya.

Özet

Dağıtım sistemlerinde sızıntıların önemli bir kısmını yüzeye çıkmayan arızalar oluşturmaktadır. Bu çalışmada yüzeye çıkmayan arızaların yönetilmesi ve azaltılmasında aktif kaçak kontrolü metodolojisi önerilmiş ve sahada uygulanarak sonuçlar tartışılmıştır. Bu kapsamda Malatya ili merkez dağıtım sisteminde pilot uygulama gerçekleştirilmiştir. Bir idarede bu metodolojinin uygulanması ve sistemin işletmeye alınması için çeşitli veri tabanları geliştirilmiş ve yol haritaları önerilmiştir. Sahada yapılan çalışmalarda 3 pilot izole bölgede minimum gece debileri izlenmiş, potansiyel önlenebilir sızıntılar hesaplanmış ve akustik yöntemlerle yeri belirlenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda 3 pilot bölgede toplam 38 adet yüzeye çıkmayan sızıntı noktası belirlenmiş, onarılmış ve bunun sonucunda 3 bölgede toplamda 35 l/s debi sisteme kazandırılmıştır. Bu debinin azaltılmasıyla sırasıyla 3023 m³/gün, 90720 m³/ay ve 1088640 m³/yıl hacim sisteme kazandırılmıştır. Aktif kaçak kontrolünün uygulanması ile önemli oranda su verimliliği sağlanmıştır. Özellikle terfili sistemlerde bu hacimlerin önlenmesi ile enerji tüketimleri de azaltılmış olacaktır. Sonuç olarak bu çalışmadan elde edilen çıktıların özellikle uygulayıcılar için önemli referans oluşturacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler

Dağıtım Sistemi, Aktif Kaçak Kontrolü, Sızıntı Yönetimi, İzole Bölge

Planning and Implementation of Active Leakage Control in the Management of Unreported Leakages

Abstract

A significant part of the leaks in distribution systems consist of the unreported failures. In this study, active leak control methodology is proposed in the management and reduction of non-surface failures and the results are discussed by applying it in the field. In this context, a pilot application was carried out in the central distribution system of Malatya province. Various databases have been developed and roadmaps have been proposed for the implementation of this methodology in an administration. During the field studies, minimum night flow rates were monitored in 3 pilot isolated areas, potential recoverable leaks were calculated and their location was determined by acoustic methods. As a result of these studies, a total of 38 unreported leak points were identified and repaired in 3 pilot regions, and as a result, a total of 35 l/s flow rate was saved to the system in 3 regions. By reducing this flow, 3023 m³/day, 90720 m³/month and 1088640 m³/year volumes were added to the system, respectively. The implementation of active leakage control has resulted in significant water efficiency. By preventing these volumes, especially in pumped systems, energy consumption will be reduced. As a result, it is thought that the outputs obtained from this study will constitute an important reference especially for practitioners.

Keywords

Distribution System, Active Leak Control, Leak Management, Isolated Zone

1. Giriş

İçme suyu dağıtım sistemlerinde sızıntıların önemli bir kısmı zemin yüzeyine çıkmamaktadır. Bu tür arızalar rapor edilemeyen arıza olarak ifade edilmektedir. Birçok idarede su kayıpları ile mücadelede sadece yüzeye çıkan arızaların onarılması faaliyetleri yapılmaktadır. Ancak sızıntıların önemli bir kısmının (% 85-90) yüzeye çıkmadığı göz önüne alınırsa bu arızalarla mücadele etmek oldukça önem arz etmektedir. Yüzeye çıkmayan arızaların fark edilmesi ve yerinin belirlenmesi için uygulanan metodoloji aktif kaçak kontrolü olarak ifade edilir. Bu yöntemde temel amaç yüzeye çıkmayan sızıntıların önlenmesi ve yönetilmesidir. Bu yöntemin uygulanmasında temel olarak izole bölgelerin tasarımı ve sahada uygulanması, minimum gece debisi analizinin yapılması ve potansiyel önlenebilir sızıntı miktarının belirlenmesi, akustik yöntemlerle sızıntı yerinin belirlenmesi ve sistemin sürekli izlenmesi gibi çalışmalar yapılmalıdır.

Literatür incelendiğinde dağıtım sistemlerinde yüzeye çıkmayan arızaların yönetilmesinde; izole ölçüm bölgesi (DMA) tasarımı ve uygulanması (Mutikanga vd. 2010; Eggimann vd. 2017; Azevedo vd. 2018; Gupta ve Kulat 2018), basınç kontrol yönetimi (Roshani ve Filion 2014; Lima vd. 2018; Jadhao ve Gupta 2018), minimum gece debisinin analiz edilmesi ve sızıntı yerinin belirlenmesi (Eugene 2017; Farah vd. 2017; García vd. 2006; Jadhao ve Gupta 2018), hidrolik model ve bölgesel izleme sistemleri ile sızıntıların yönetilmesi gibi birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. DMA, şebeke ve elemanlarının izolasyon vanaları ile diğer bölgelerden izole edilmiş ve genelde bir veya 2 girişe sahip bölge olarak ifade edilir. DMA tanımlanan sistemlerde her bir DMA kendi içinde değerlendirilmekte ve su kayıp yönetimi DMA bazlı yapılmaktadır.

Al-Washali vd. (2018), yaptığı çalışma ile Ürdün Zarqa kentinde sızıntı oranını, sızıntı bileşenlerini ve sızıntı azaltma yöntemlerini incelemiştir. Yapılan çalışmalarda oluşturulan DMA bölgelerinde gece debisi analizleri yapılarak kaçak seviyeleri izlenmiştir. Dağıtım sistemlerinde sızıntıların azaltılması için uygulanan farklı yöntemler (basınç yönetimi, aktif sızıntı kontrolü vb.) sahada uygulandığı sırada birbirlerini etkilemekte ve buna bağlı olarak sızıntı azaltma potansiyellerinin fazla tahmin edilme riski ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bu yöntemlerin fayda ve maliyetlerinin ayrı ayrı değerlendirilmesinin doğru olmadığını savunmuşlardır. Lipiwattanakarn vd. (2019), sızıntılarla mücadelenin ve sızıntıların onarılmasının enerji ve sistem işletme maliyeti üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Uygulama alanında izole bölgede sızıntıların onarılmasından sonra izole bölge giriş debisinin % 9 azaldığını buna bağlı olarak sistem giriş enerjisinde % 8 azalma tespit edildiği, aktif kaçak kontrolü uygulanmasıyla sistem verimliliğinin iyileştiği vurgulanmıştır. Creaco vd. (2019), gerçek zamanlı kontrol ve otomasyon sistemleri ile su dağıtım sistemlerinin ve bileşenlerinin (sistem basıncı, depo seviye, pompa çalışma süresi ve enerji optimizasyonu, basınç kontrol vanaları vb.) izlenmesi ve kontrol edilmesinde önemli faydalar sağladığını vurgulamıştır. Güngör vd. (2019), yaptıkları çalışmada pilot bölgeler için uygulanan basınç yönetimi stratejisi ile sisteme daha az su verilerek önemli tasarruflar sağlanabileceğini göstermişlerdir. Ayrıca, denetleyici kontrol ve veri toplama bir kontrol sistemi (SCADA), abone yönetim sistemleri ve ölçülebilir alt bölgeler ile daha etkili bir su yönetim strateji ortaya konulabileceğini savunmuşlardır. SCADA sistemi, dağıtım sistemlerinde ölçülen hidrolik parametrelerin (sistem giriş debisi, depo seviye ve işletme basıncı) ve terfi istasyonlarının anlık olarak izlenmesini ve müdahale edilmesini sağlayan sistem olarak ifade edilebilir. Yılmaz vd. (2021) dağıtım sistemlerinde basınç yönetimi yaklaşımının altyapı kaçak indeksi üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Çalışma kapsamında basınç yönetimi için fayda maliyet analiz yapılmış ve basınç seviyesine göre sızıntının indirilebileceği en uygun seviye belirlenmiştir. Bu kapsamda optimizasyon tabanlı bir algoritma önerilmiştir. Fırat vd. (2021a) su idarelerinin su kayıp yönetimi performansının analiz edilmesi ve izlenmesi için web tabanlı bir model geliştirmiştir. Geliştirilen model ile izole bölgelerde veya sistem genelinde uygulanan yöntemler için süreç göstergeleri analiz edilmektedir. Fırat vd. (2021b) tarafından yapılan çalışmada dağıtım sistemlerinde sızıntıların yönetilmesinde uygulanan yöntemler için fayda maliyet analizi standardı tanımlanmış ve ekonomik kaçak seviyesi modeli önermiştir. Geliştirilen model ile bir dağıtım sisteminde sızıntıların önlenmesinde uygulanması gereken yöntemler önerilmekte ve sızıntıların azaltılabileceği en ekonomik seviye analiz edilmektedir.

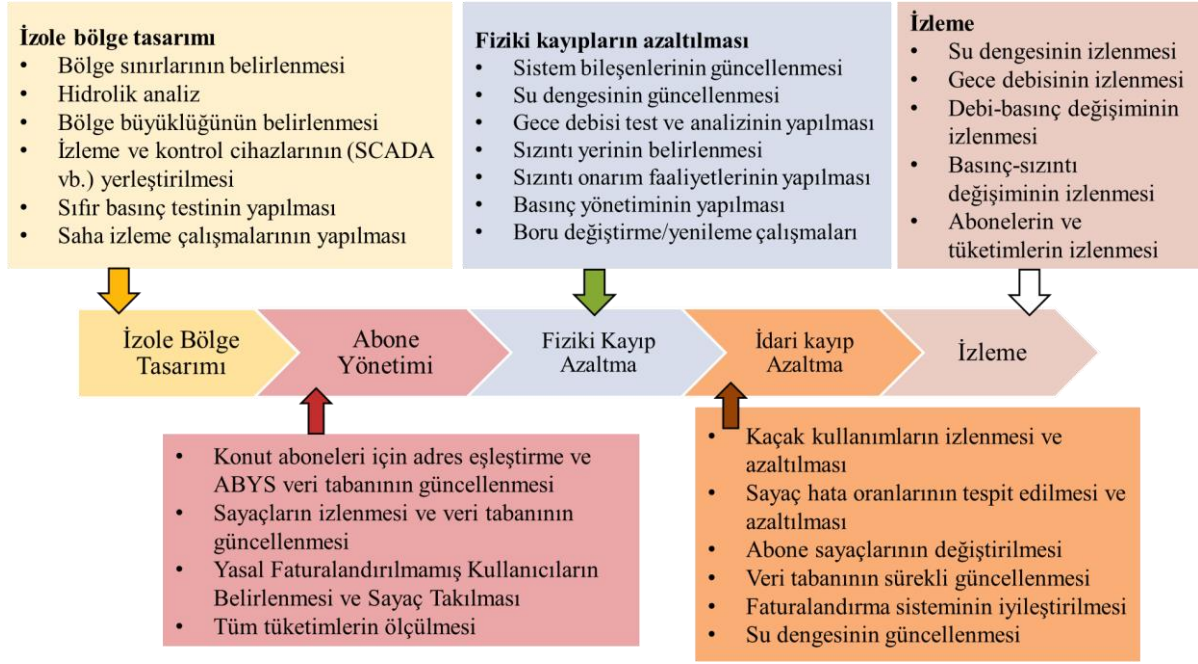
Bu çalışmada rapor edilmeyen sızıntıların farkına varılması, önlenmesi ve yönetilmesi için aktif kaçak kontrolü metodolojisi önerilmiş, gerçek saha problemlerine uygulanmış ve elde edilen kazanımlar sunulmuştur. Bu yöntemin uygulanmasında karşılan zorluklar, ortaya çıkan maliyetler ve bu yöntemin sağladığı faydalar kıyaslamalı olarak tartışılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen çıktıların özellikle uygulayıcılar için referans oluşturacağı düşünülmektedir.

2. Aktif Kaçak Kontrolü

Dağıtım sistemlerinde arızalar genel olarak yüzeye çıkan (rapor edilen), yüzeye çıkmayan (rapor edilmeyen) ve belirsiz sızıntılar şeklinde sınıflandırılmaktadır (Pearson 2019). Bu tür arızalarla aktif bir şekilde mücadele edilmesi su, enerji ve finansal verimliliğin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Ancak ülkemizde birçok su idaresinde ve belediyede genelde sadece rapor edilen arızalarla mücadele politikası uygulanmakta ve yeterli görülmektedir. Ancak sızıntıların önemli bir kısmının (% 80-85 oranında) yüzeye çıkmadığı göz önüne alındığında yüzeye çıkan arızalarla mücadelede oldukça fazla önem arz etmektedir (Boztaş vd. 2019). Bu tür sızıntılarla mücadele genel olarak aktif kaçak kontrolü olarak ifade edilir (Farley vd. 2008; Yılmaz 2021). Aktif kaçak kontrolü metodolojisinde temel amaç, yüzeye çıkmayan şebeke ve/veya servis bağlantı arızalarının/sızıntılarının farkına varılması, önlenbilir sızıntı miktarının belirlenmesi, sızıntı yerinin tespit edilmesi ve yeni arıza oluşumuna anlık fark etmek için sistemin sürekli izlenmesini kapsamaktadır. Bu yöntemin uygulanması ile zemin yüzeyine çıkmayan ve görünmeyen önemli miktardaki sızıntının önlenmesi ve sisteme kazandırılması mümkün olmakta, su ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması sağlanmakta, sistemde abonelere sunulan hizmet kalitesi artmakta ve şebeke işletme koşulları iyileştirilmektedir.

Aktif kaçak kontrolü metodolojisinde bahsedilen faydaların elde edilmesi için sahada çalışmaların ve imalatların yapılması gerekir. Bu kapsamda temel olarak, izole bölgelerin planlanması ve sahada uygulanması, giriş debi ve basınç değişiminin düzenli ölçülmesi ve izlenmesi, minimum gece debisi analizinin yapılması ve önlenbilir sızıntı miktarının belirlenmesi, akustik ve/veya bölgesel tespit ekipmanlarıyla sızıntı yerinin tespit edilmesi ve onarılması faaliyetleri gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle bu çalışmada aktif kaçak kontrolü kapsamında geliştirilen ve uygulanması önerilen süreçler ve analizler Şekil 1'de gösterilmiştir. Aktif kaçak kontrolü tek seferlik bir uygulama olmayıp dinamik süreçleri içermektedir.

Şebeke özellikleri (yaş, uzunluk) ve abone bilgileri (sayı, türü, sayaç yaşı) sürekli değişmekte ve bu da potansiyel kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle Şekil 1’de önerilen faaliyetlerin sürekli ve sistematik bir şekilde uygulanması gerekmektedir.



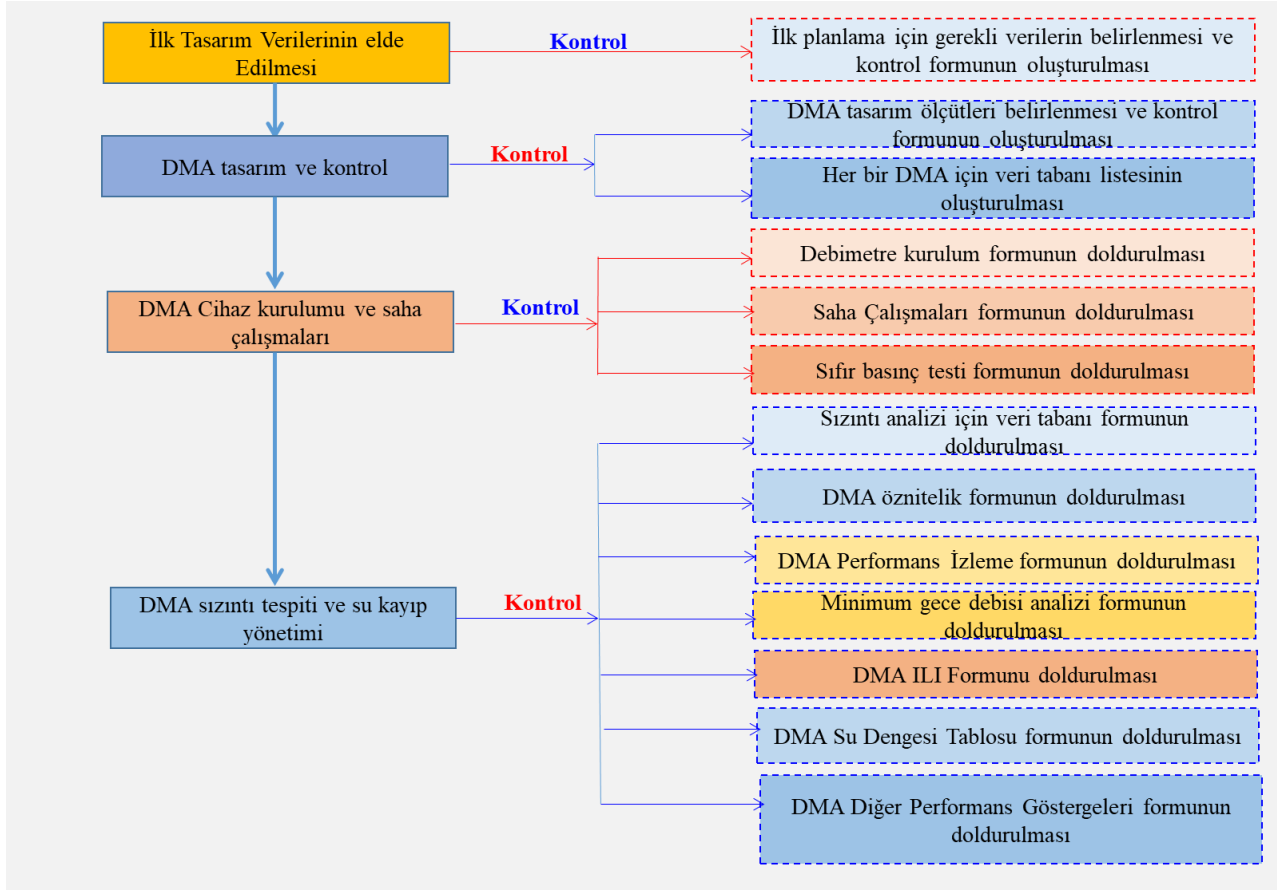
Şekil 1: Aktif kaçak kontrolü yöntemine göre sızıntı ve abone yönetimi süreçleri

İzole bölge tasarımı, aktif kaçak kontrolünün temelini oluşturmaktadır. Gece debisi analizinin yapılabilmesi, su bütçesinin doğru bir şekilde oluşturulabilmesi ve sızıntı yerinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için öncelikle bölge sınırlarının belirlenmesi ve diğer bölgelerden izole edilmesi gerekir. İzole bölge tasarımı, şebeke uzunluğu (genelde 4 km ile 30 km arasında, ortalama 15 km), servis bağlantı sayısı ve/veya abone sayısı (500 ile 3000 arasında), bölgedeki kot farkı, giriş nokta sayısı gibi parametreler dikkate alınır (Gomes vd. 2013). İzole bölgelerin çok fazla büyük planlanması ilk yatırım maliyetini düşürse de şebeke veya abone sayısı fazla olacağından sızıntı yönetimi zorlaşmaktadır. Diğer taraftan bölge küçük planlanırsa sızıntı yönetimi daha kolay olmakla birlikte ilk yatırım maliyeti (saha imalatları ve ekipman) ve işletme maliyeti artmaktadır. Bu nedenle maliyetler ve sızıntı yönetimi gibi faktörler esas alınarak en uygun bölge büyüklüğü belirlenmelidir.

Sınırları belirlenmiş bir izole bölgede yüzeye çıkmayan arızaların farkına varılmasında uygulanan en temel yaklaşım minimum gece debisi analizidir. Bir dağıtım sisteminde veya izole bölgede su dengesi yönteminde sadece toplam kayıplar aylık/yıllık olarak hesaplanmakta ve oranlar belirlenmektedir. Ancak bölgedeki sızıntıların yeri hakkında bilgi sunmamaktadır. Bu nedenle sızıntıların anlık olarak izlenmesi ve yerinin doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesi için daha etkin yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Minimum gece debisi yaklaşımında, gece tüketiminin en düşük olduğu saatlerde (genelde gece 02:00-04:00 arasında) giriş debisi ölçülmekte, gece yasal tüketimler ve belirsiz sızıntılar hesaplanarak giriş debisinden çıkarılmakta ve bölgede potansiyel önlenilebilir sızıntı miktarı belirlenmektedir (Choi vd. 2015). Belirlenen bu sızıntı miktarı akustik yöntemlerle sahada belirlenebilecek ve sisteme kazandırılacak sızıntı miktarını temsil etmektedir.

Bu analizlerin yapılabilmesi için izole bölge girişinde giriş debisinin düzenli ölçülmesi, SCADA ile izlenmesi, bölge içindeki abone bilgilerinin (abone türü, sayısı, tüketim özellikleri) bilinmesi, şebeke veri tabanının güncel olması (şebeke uzunluğu, servis bağlantı sayısı, vana bilgileri) gerekmektedir. Ayrıca bu analizlerden beklenen faydanın elde edilmesi için kurumsal deneyim, personel bilgi ve yetenek düzeyi ve ekipman alt yapısının yeterli olması oldukça önemlidir.

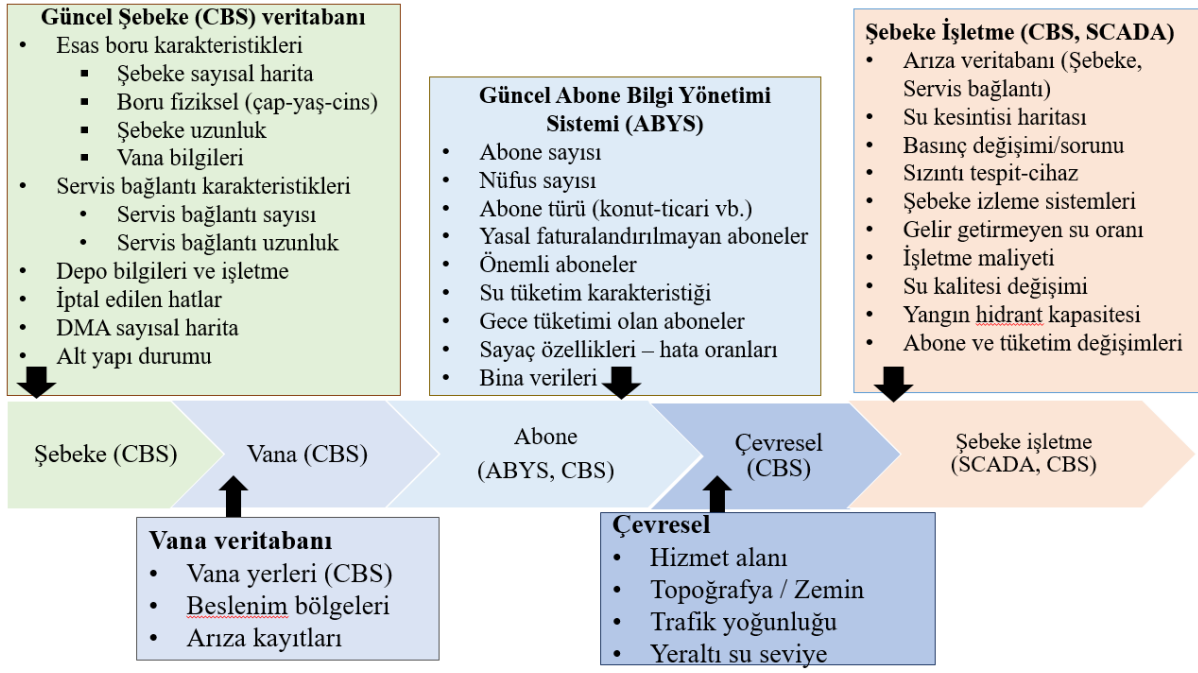
Bir su kanal idaresinde yukarıda bahsedilen faaliyetlerin doğru ve sistematik bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için yol haritasının oluşturulması gerekmektedir. Bu faaliyetler genelde birçok durumda karmaşık ve zaman alıcı süreçler içerdiği için her bir aşamada yapılması gereken çalışmalar iyi bir şekilde planlanmalıdır. Bu kapsamda bir su idaresinde aktif kaçak kontrolü için oluşturulan yol haritası, doldurulması için geliştirilen veriler ve uygulanması gereken süreçler Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Aktif kaçak kontrolü için yol haritası

Şekilden de görüldüğü gibi, bir dağıtım sisteminde aktif kaçak kontrolü uygulamak için öncelikli olarak temel verilerin toplanması (şebeke, abone), en uygun tasarım ölçütlerinin belirlenmesi, veri tabanlarının oluşturulması ve ekipmanların yerleştirilmesi gibi çalışmaları içermektedir. Ayrıca izole bölgelerde sistemin işletmeye alınmasından önce sıfır basınç testinin yapılması ve SCADA entegrasyonu ile sisteme ait hidrolik parametrelerin izlenmesi gerekmektedir. İzole bölge işletmeye alındıktan sonra çeşitli yöntem ve göstergeler kullanılarak mevcut sızıntı oranlarının hesaplanmalı ve zaman içindeki değişimlerinin izlenmelidir. Bu kapsamda her bir izole bölge için standart su dengesi analizi (aylık/yıllık), minimum gece debisi analizi ve debi-basınç değişiminin izlenmesi (günlük), altyapı kaçak indeksi (ILI) hesaplanması (aylık/yıllık) ve diğer süreç göstergelerinin hesaplanması (yıllık) gerekmektedir.

Aktif kaçak kontrolü yaklaşımında şekilde verilen çalışmaların temelini “sahayı temsil eden ve sistematik bir şekilde ölçülen veriler” oluşturmaktadır. Bu nedenle gerek tasarımı ve planlama gerekse de işletme aşamasında her bir izole bölge için sürekli güncellenmesi gereken veri tabanları Şekil 3’te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, su kayıp yönetiminde kullanılan veri tabanları genel olarak, coğrafi bilgi sistemler (CBS), abone bilgi yönetim sistemi (ABYS), SCADA sistemleridir.



Şekil 3: Aktif kaçak kontrolü çalışmaları için gerekli olan veri tabanları

Şekil 3 incelendiğinde, aktif kaçak kontrolünün uygulanmasında en temel yönetim sistemleri CBS ve SCADA sistemleridir. Dağıtım sistemlerinde verilerin saklanması, izlenmesi, analiz edilmesi ve anlık olarak yönetilmesi için bu veri tabanları ve bilgi yönetim sistemleri önemli faydalar sunmaktadır. Ancak bu sistemlerden beklenen faydanın elde edilebilmesi için veri tabanlarının saha verilerine göre sürekli ve doğru bir şekilde güncellenmesi gerekmektedir. Güncel veri tabanlarının olması, minimum gece debisi analizinin ve sızıntı miktarının daha doğru yapılmasına ve sızıntı yerinin daha hızlı belirlenmesine imkan tanımaktadır.

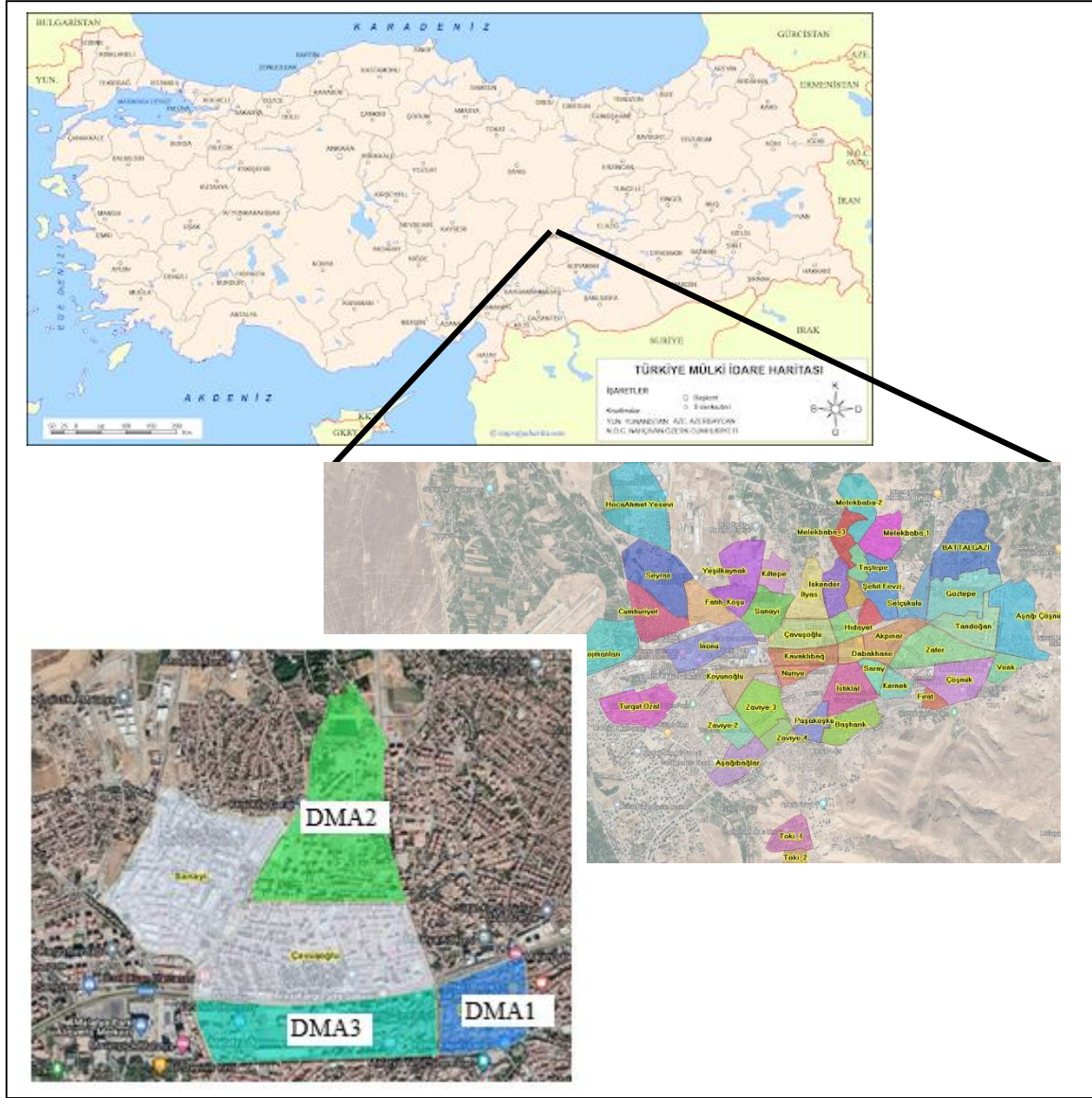
Ülkemizde bazı Su İdarelerinde aktif kaçak kontrolü yöntemi uygulanırken birçok idarede ise sadece rapor edilen arızalarla mücadele programı uygulanmaktadır. Aktif kaçak kontrolünün uygulanmamasındaki temel sebepler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kurum üst yönetiminin farkındalığının olmaması, gerekli önemi ve desteği vermemesi
- Teknik personelin farkındalığının eksik olması, yeterli bilgi ve tecrübenin olmaması
- Süreçlerin uygulanmasında yol haritasının olmaması
- Saha çalışmaları için yeterli ekip ve ekipman olmaması
- İzleme sistemlerinin olmaması veya yetersiz olması, kurulması için yeterli bütçenin olmaması
- Veri tabanlarının sahada güncellenmesi için planlama olmaması, sahayı temsil edecek verilerin olmaması
- Verilerin sahada güncellenmesi için farkındalık, bilgi, tecrübe ve yol haritasının olmaması
- Minimum gece debisi analizi için yeterli teknik, personel ve ekonomik altyapının olmaması
- Sızıntı yerinin tespiti için personel ve ekipman altyapısının olmaması

3. Aktif Kaçak kontrolü: Saha Uygulamaları

Önceki bölümde detaylı bir şekilde verilen aktif kaçak kontrolü yaklaşımı ve alt süreçleri için saha uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Malatya ili uygulama alanı olarak seçilmiştir. Malatya il merkezinde Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğü sahasında izole bölgeler planlanmış, pilot izole bölgelerde minimum gece debisi analizleri gerçekleştirilmiş ve sızıntı yerleri akustik yöntemlerle belirlenmiştir. Bu çalışmalar MASKİ Genel Müdürlüğü teknik personeli ile birlikte planlanarak saha personelleri ile uygulanması sağlanmıştır. Malatya il merkezi yaklaşık 2000 km şebeke uzunluğuna sahiptir. Bu kadar büyük ve karmaşık yapıya sahip dağıtım sisteminde sızıntıların sistematik ve doğru bir şekilde yapılması oldukça güç olmaktadır. Bu nedenle aktif kaçak kontrolü süreçlerinin uygulanması ile daha kısa sürede sızıntıların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için oluşturulan izole bölgeler Şekil 4'te gösterilmiştir (MASKİ 2021).

Uygulama alanında planlama yaparken ve çalışmalar gerçekleştirilirken Şekil 2'de verilen işlem adımları dikkate alınmıştır. Her bir işlem adımında gerekli tablolar doldurulmuş, veri tabanları oluşturulmuş ve güncellenmiştir.



Şekil 4: Aktif kaçak kontrolü için pilot izole bölgeler

Uygulama alanında izole bölgeler oluşturulduktan sonra bölgedeki güncel CBS ve SCADA veri tabanları esas alınarak öncelikle debi-basınç değişimleri izlenmiş, minimum gece debileri analiz edilmiş ve potansiyel olarak önlenebilir sızıntı miktarları belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1: Pilot izole bölgelere ait karakteristik bilgiler

Parametreler	DMA 1	DMA 2	DMA 3
Şebeke Uzunluğu (km)	5.91	11.00	7.59
Servis Bağlantı Sayısı (adet)	399	454	523
Abone Sayısı (adet)	3753	2248	3807
Çalışma Başlangıcı Ölçülen Giriş Debisi (l/s) (02:00-04:00arası)	29	44	39
Hesaplanan Gece Yasal Tüketim (l/s)	0.30	1.20	0.35
Hesaplanan Belirsiz Sızıntı (l/s)	0.23	0.44	0.30
Potansiyel Önlenebilir Sızıntı (l/s)	27.09	42.80	37.06

Tabloda yer alan şebeke uzunluğu, izole bölgedeki şebeke uzunluğunu ifade eder. Ayrıca, servis bağlantı sayısı, bölgedeki şebeke ana hata bağlı olan bina bağlantı sayısını ve abone sayısı ise bölgede hizmet verilen konut ve ticari abone sayılarının toplamı şeklinde açıklanabilir.

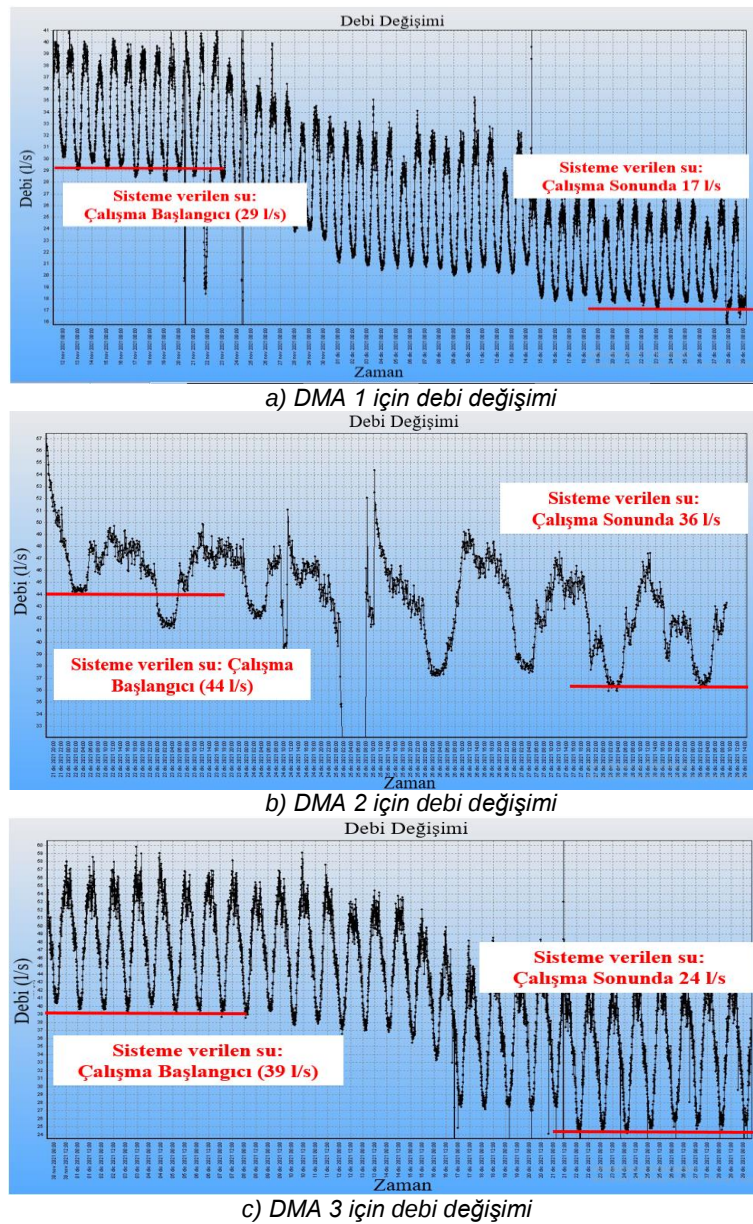
Minimum gece debisi (MNF) analizinde önemli olan hususlardan biri, gece tüketimlerinin en doğru şekilde tespit edilebilmesidir. Bilindiği üzere bir dağıtım sisteminde su tüketimi gece saatlerinde (özellikle 02:00-04:00 arası) minimum seviyeye inmekte ve bu saatlerde sisteme fazla su girişi gözlenirse sızıntı veya kaçak kullanım ihtimali göz önüne alınmalıdır. Bu kapsamda öncelikle denklem (1) kullanılarak belirsiz sızıntılar hesaplanmaktadır. Daha sonra gece saatlerinde abone profiline bağlı olarak denklem (2) kullanılarak gece yasal tüketimler hesaplanmaktadır (Lambert vd. 1999).

$$Q_{\text{sızıntı}} = (C_1 * L_m + C_2 * N_c) * (0.028 * P - 0.347) \quad (1)$$

$$Q_{\text{tüketim}} = 500 + N_{\text{konut}} * 1.7 + N_{\text{tic}} * 8 \quad (2)$$

Bu denklemlerde, L_m ; şebeke uzunluğu (km), N_c ; Servis bağlantı sayısı, P ; gece debisi saatlerinde ortalama basıncı (m), C_1 ve C_2 sırasıyla boru ve özel bağlantı sızıntısı katsayısı, N_{konut} , konut abone sayısı, N_{tic} , ticari abone sayısını ifade etmektedir. Bölgede bu bileşenler hesaplandıktan sonra, MNF anındaki giriş debisinden gece yasal tüketimler ve belirsiz sızıntılar çıkarılarak potansiyel önlenebilir sızıntı hesaplanmaktadır.

Sistemdeki debi-basınç değişiminin izlenmesi için SCADA sistemine entegrasyon sağlanmış ve hidrolik parametrelere ait veriler anlık olarak alınmıştır (Şekil 5).



Şekil 5: İzole bölgelerde scada sisteminde izlenen debi değişimleri (MASKİ 2021)

Çalışma alanında DMA 2 için saha çalışmaları ve SCADA entegrasyonu diğer bölgelerden sonra gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle debi değişim verileri diğer bölgelere göre daha kısa süreli olarak temin edilmiştir. İzole bölgelerde sızıntı tespiti için MASKİ İçme suyu dairesi tarafından oluşturulan bir ekip (sızıntı tespiti için 2 kişi) ile sahada düzenli denetimler yapılmıştır. Denetimler insan hareketliliğinin en az olduğu gece saatlerinde her gün sistematik olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan denetimler yer mikrofonu ekipmanları kullanılarak tahmin edilen arıza noktaları işaretlenmiştir (Şekil 6).



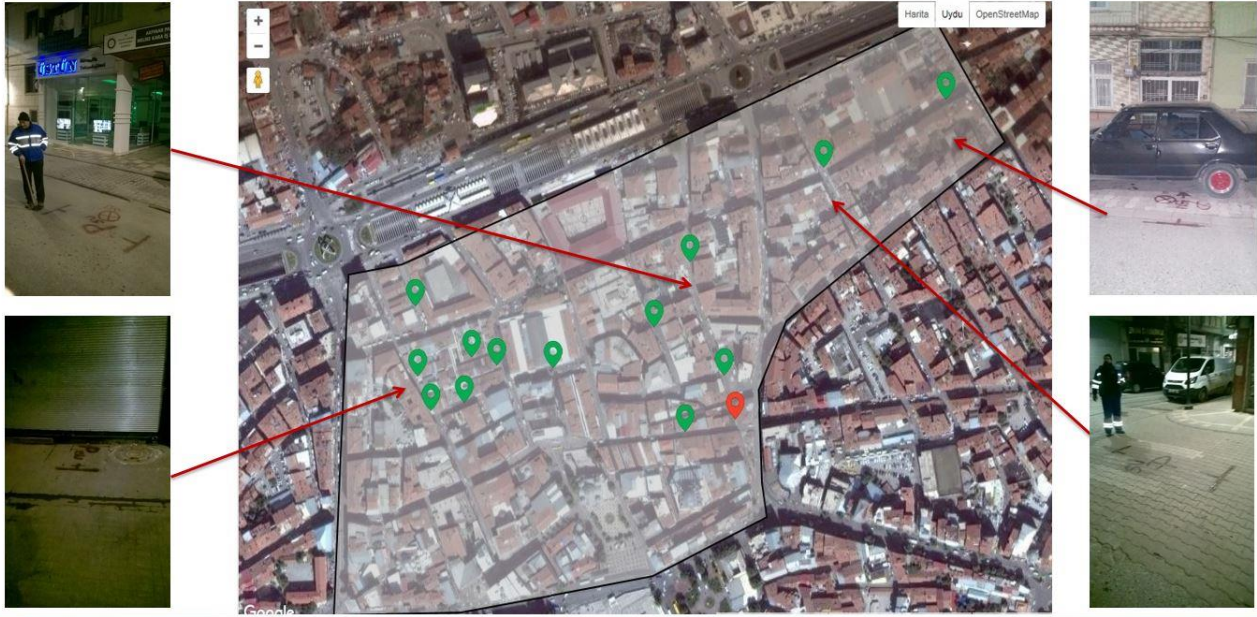
a) Yer mikrofonu



b) Çalışma alanı

Şekil 6: Yer mikrofonu ve çalışma alanı (MASKİ 2021)

İzole bölgelerde Maski tarafından kurulmuş olan sızıntı tespit ekipleri, insan ve trafik hareketinin ciddi oranlarda azaldığı ve ses dinleme kalitesinin de dış etmenlerden en az etkilendiği gece vakitlerinde saha taramalarını yapmaktadır. Tarama işlemleri öncelikle şebeke ana hat borusunun geçtiği güzergah biliniyorsa bu hat hizalanarak yapılmaktadır. Böylelikle öncelikli olarak tespit edilme ihtimali daha fazla olan şebeke arızalarının bulunması hedeflenmektedir. Şebeke ana hat taramalarının tamamlanmasının ardından ekipler abone hatlarında meydana gelmesi muhtemel arızaların tespit edilmesi amacıyla tarama yapılan sokak veya cadde üzerinde alternatif güzergahlarda da dinlemeler yapmaktadırlar. Bu kapsamda tespit edilen arıza noktaları Şekil 7’de sunulmuştur.



Şekil 7: Arıza tespit lokasyonları (MASKİ 2021)

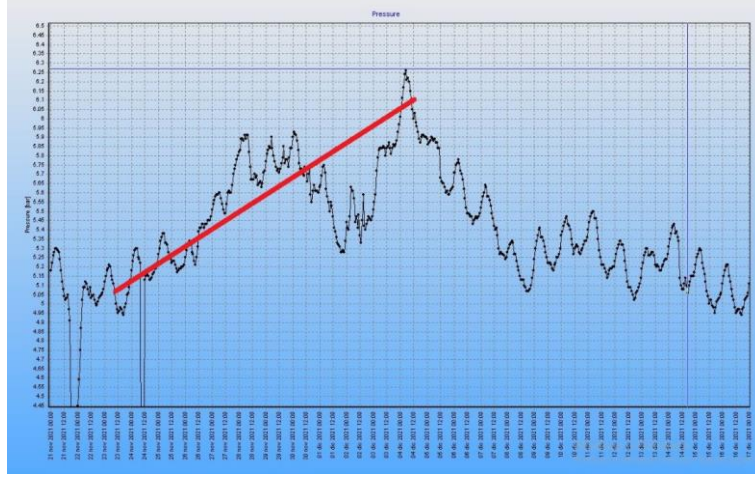
İzole bölgelerde aktif kaçak kontrolü faaliyetleri kapsamında bundan sonraki aşamada, Tablo 1’de verilen potansiyel önlenebilir sızıntıların yerinin sahada belirlenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bunun için yer mikrofoni ekipmanı kullanılarak MASKİ ekiplerince sahada sızıntı lokasyonları için denetimler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda DMA 1 için toplam 21 sızıntı noktası, DMA 2 için 2 sızıntı noktası ve DMA 3 için ise toplam 15 sızıntı noktası belirlenerek onarımları gerçekleştirilmiştir. Her bir izole bölgede sızıntılar onarıldıktan sonra minimum gece debilerindeki değişimler izlenmiştir (Şekil 5). Şekil incelendiğinde DMA 1’de başlangıçta 29 l/s olan debi değeri çalışma sonunda 17 l/s olarak ölçülmüş ve toplamda 12 l/s ‘lik debi sisteme kazandırılmıştır. Ayrıca, DMA 2 bölgesinde başlangıçta 44 l/s olan giriş debisi 36 l/s değerine indirilerek 8 l/s’lik debi sisteme kazandırılmıştır. Benzer şekilde DMA 3 için başlangıçta 39 l/s olan debi 24 l/s değerine düşürülerek 15 l/s kazanım sağlanmıştır. Bölgelerde sızıntı tespit ve onarımları ile elde edilen kazanımlar Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2: Pilot izole bölgelerde tespit edilen sızıntılar ve kazanımlar

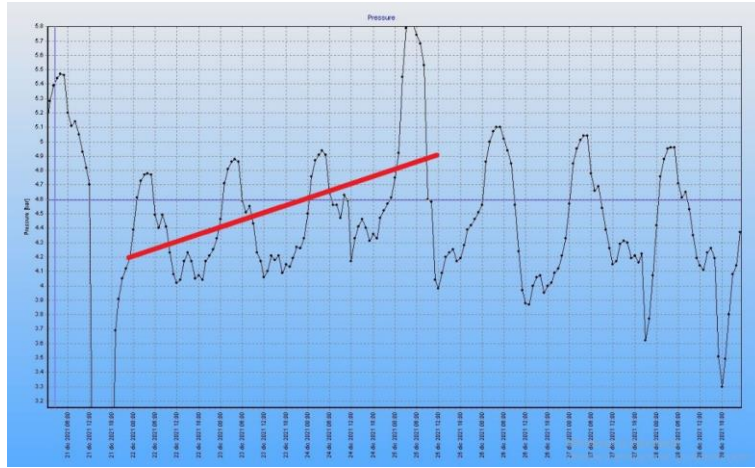
Parametreler	DMA 1	DMA 2	DMA 3
Çalışma Başlangıcı Ölçülen Giriş Debisi (l/s) (02:00-04:00arası)	29	44	39
Çalışma Sonunda Ölçülen Giriş Debisi (l/s) (02:00-04:00arası)	17	36	24
Giriş Debisindeki Azalma (l/s)	12	8	15
Çalışma Başlangıcı Potansiyel Önlenebilir Sızıntı (l/s)	27.09	42.80	37.06
Çalışma Sonunda Potansiyel Önlenebilir Sızıntı (l/s)	15	34	9
Sisteme Kazandırılan Hacim (m ³ /gün)	1050	691	1296
Sisteme Kazandırılan Hacim (m ³ /ay)	31000	20730	38880
Sisteme Kazandırılan Hacim (m ³ /yıl)	373 000	248 760	466 560
Her üç bölgedeki toplam kazanım (m ³ /gün)	3024		
Her üç bölgedeki toplam kazanım (m ³ /ay)	90720		
Her üç bölgedeki toplam kazanım (m ³ /yıl)	1 088 640		

Tablo 2’de verilen ve sahadan doğrudan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, pilot bölgelerde yüzeye çıkmayan arızaların oluşturduğu sızıntılar önemli oranlara ulaşmaktadır. Bölgelerde aktif kaçak kontrolünün uygulanmasıyla başlangıçta yüksek seviyede olan giriş debilerinde azalma olduğu görülmektedir. DMA 1 için çalışmalar sonucunda 12 l/s, DMA 2’de 8 l/s ve DMA 3’te ise 15 l/s giriş debisi azalmış ve toplamda 35 l/s daha az su sisteme verilmiştir. Bu debiler aktif kaçak kontrolü yönteminin uygulanmaması durumunda sızıntı yoluyla zemine karışmaya devam edecektir. Bu bölgelerde yapılan çalışmalar sonucunda günlük sisteme kazandırılan hacim 3023 m³/gün, şeklinde elde edilmiştir. Benzer şekilde aylık ve yıllık kazanımların toplamı ise sırasıyla 90720 m³/ay ve 1088640 m³/yıl şeklinde hesaplanmıştır. Aktif kaçak kontrolünün uygulanmasıyla bu sızıntılar sisteme kazandırılmış olmakta ve başka bölgelerde ihtiyacı karşılamak için kullanılmaktadır.

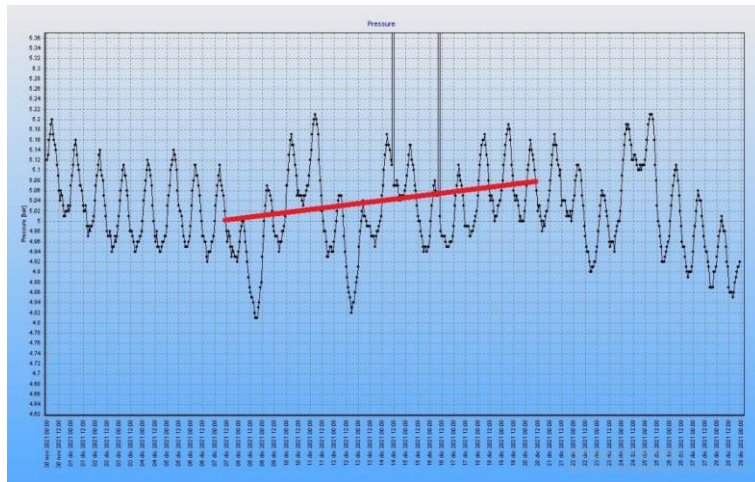
Çalışma yapılan bölgelerde tespit edilen arızaların sahada onarımlarının ardından bölgelerdeki basınç değişimleri de takip edilmiştir. İzole bölgelerde basınç yönetimi içme suyu depoları yardımıyla yapılmakta ve ilave bir basınç yönetim uygulaması (basınç kırıcı vanalar vb.) bulunmamaktadır. Bu nedenle sızıntıların onarımlarının ardından sistemdeki debinin artmasına bağlı olarak basınçlarda ilave artışlar gözlemlenmiştir (Şekil 8). Bu artışların kontrol edilmemesi halinde, şebekelerin de mevcut yaşları ve yıpranma payları göz önüne alındığında yeni arızalara neden olacağı aşikârdır. Bu nedenle aktif kaçak yönetimi yapılan bölgelerde ayrıca basınç yönetiminin uygulanması da gerekli olabilmektedir.



a) DMA 1 için basınç değişimi



b) DMA 2 için basınç değişimi



c) DMA 3 için basınç değişimi

Şekil 8: İzole bölgelerde scada sisteminde izlenen basınç değişimleri (MASKİ 2021)

Ülkemizde projelendirmelerde günlük kişi tüketimin yaklaşık 150 litre/kişi/gün alındığı göz önüne alınırsa sisteme kazandırılan bu sızıntı hacmi yaklaşık 20 000 kişinin günlük ihtiyacını karşılayabilecektir. Sahadan elde edilen verilere göre aktif kaçak kontrolü yüzeye çıkmayan arızaların fark edilmesi, miktarının belirlenmesi, yerinin tespit edilmesi ve onarılması faaliyetlerinin önemli kazanımlar sağladığı tespit edilmiştir. Ancak önceki bölümlerde de verildiği gibi aktif kaçak kontrolü zaman alıcı ve maliyetli süreçler içerdiği için idarelerde yeterli deneyimin olması, personel-bilgi-tecrübe ve teknik altyapının yeterli olması ve süreçler için yol haritasının olması gibi temel koşulların sağlanması gerekir. Ayrıca, saha ölçümlerinin doğru ve sistematik yapılmalı, veri tabanları güncel olmalı ve izleme sistemleri (CBS, SCADA) uygulanabilir durumda olmalıdır. Bu çalışmada sunulan bilgilerin, veri tabanların, yol haritalarının, sahadan elde edilen sonuçların ve kazanımların teknik personeller ve uygulayıcılar için önemli referans oluşturacağı düşünülmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinde meydana gelen yüzeye çıkmayan arızaların yönetilmesi ve azaltılmasında aktif kaçak kontrolü metodolojisi önerilmiş ve sahada uygulanarak sonuçlar tartışılmıştır. Bu kapsamda aktif kaçak kontrolünün sahada uygulanabilir bir yapıda olması için yol haritası oluşturulmuştur. Daha sonra her bir adımda doldurulması gereken veriler belirlenmiştir. Ayrıca bir idarede bu metodolojinin uygulanması ve sistemin işletmeye alınması için çeşitli veri tabanları geliştirilmiş ve önerilmiştir. Daha sonra Malatya merkez dağıtım sistemi için pilot bölgelerde uygulama gerçekleştirilmiştir. Sahada yapılan çalışmalarda 3 pilot izole bölgede minimum gece debileri izlenmiş, potansiyel önlenabilir sızıntılar hesaplanmış ve akustik yöntemlerle yeri belirlenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda 3 pilot bölgede toplam 38 adet yüzeye çıkmayan sızıntı noktası belirlenmiş ve onarılmıştır. Bunun sonucunda 3 bölgede toplamda 35 l/s gibi önemli bir oranda daha az debi sisteme verilmiştir. Yani 3 bölgede toplamda 35 l/s 'lik debi sisteme kazandırılmıştır. Bu orandaki debinin azaltılmasıyla günlük, aylık ve yıllık sisteme kazandırılan hacimler sırasıyla 3023 m³/gün, 90720 m³/ay ve 1088640 m³/yıl şeklinde elde edilmiştir. Böylece aktif kaçak kontrolünün uygulanması önemli oranda su verimliliği sağlanmaktadır. Özellikle terfil sistemlerde bu kadar büyük hacimlerin önlenmesi ile enerji tüketimleri de azaltılmış olacaktır. Sonuç olarak bu çalışmadan elde edilen çıktıların özellikle uygulayıcılar için önemli referans oluşturacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (İÜ BAP-FBA 2021-2457) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür etmektedir. Ayrıca veri ve teknik desteklerinden dolayı Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğüne teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

- AL-Washali T., Sharma S., AL-Nozaily F., Haidera M., Kennedy M., (2018), *Modelling the leakage rate and reduction using minimum night flow analysis in an intermittent supply system*, Water, 11(1), 48, doi: 10.3390/w11010048.
- Azevedo B.B., Saurin T.A., (2018), *Losses in Water Distribution Systems: A Complexity Theory Perspective*. Water Resources Management, 32, 2919–2936.
- Boztaş F., Ödemir Ö., Durmuşçelebi F.M., Fırat M., (2019), *Analyzing the effect of the unreported leakages in service connections of water distribution networks on non-revenue water*, International Journal of Environmental Science and Technology, 16, 4393–4406.
- Creaco E., Campisano A., Fontana N., Marini G., Page P.R., Walski T., (2019), *Real time control of water distribution networks: A state-of-the-art review*, Water Research, 161, 517–530.
- Choi T., Mijin H., Jinkeun K., Jayong K., (2015), *Efficient Minimum Night Flow Analysis Using Bayesian Inference*, Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, 64(1), 10-18..
- Eggimann S., Lena M., Omar W., Mariane Y.S., Dorothee S., Matthew M.D.V., Philipp B., Max M., (2017), *The Potential of Knowing More: A Review of Data-Driven Urban Water Management*, Environmental Science and Technology, 51(5), 2538–2553.
- Eugene M., (2017), *Predictive Leakage Estimation Using the Cumulative Minimum Night Flow Approach*, American Journal of Water Resources, 5(1), 1-4, doi: 10.12691/ajwr-5-1-1.
- Farley M.G., Wyeth Z.B.M., Ghazali A., Sigh S., (2008), *The Manager's Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses*, Ranthill Utilities Bernhad and USAID, Malaysia, ss.98.
- Farah, E., Isam S., (2017), *Leakage Detection Using Smart Water System: Combination of Water Balance and Automated Minimum Night Flow*, Water Resources Management, 31, 4821–4833.
- Fırat M., Orhan C., Yılmaz S., (2021a), *Su İdarelerinin Su Kayıp Yönetim Performansının Analizi ve Temel Performans Göstergesi Hesaplama Aracının Geliştirilmesi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1), 75-88.
- Fırat M., Yılmaz S., Ateş A., Özdemir Ö., (2021b), *Determination of Economic Leakage Level with Optimization Algorithm in Water Distribution Systems*, Water Economics and Policy, 7(3), 2150014, doi: 10.1142/S2382624X21500144.
- García V.J., Cabrera E., Enrique Cabrera J. (2006), *The Minimum Night Flow Method Revisited*, In 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, ASCE, Cincinnati, Ohio, USA, ss.1-18, doi: 10.1061/40941(247)35.
- Gomes R., Alfeu S.A., Joaquim S., (2013), *District Metered Areas Design Under Different Decision Makers' Options: Cost Analysis*, Water Resources Management, 27(13), 4527–4543.

- Gupta A., Kulat K.D., (2018), *A Selective Literature Review on Leak Management Techniques for Water Distribution System*, Water Resources Management, 32 (10), 3247–3269.
- Güngör M., Yazar U., Cantürk Ü., Fırat, M., (2019), *Increasing performance of water distribution network by using pressure management and database integration*, Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 10(2), 1–8, doi: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000367.
- Jadhao R.D., Gupta R., (2018), *Calibration of Water Distribution Network of the Ramnagar Zone in Nagpur City Using Online Pressure and Flow Data*, Applied Water Science, 8, 29, doi: 10.1007/s13201-018-0672-3.
- Lambert A.O., Brown T.G., Takizawa, M., Weimer D., (1999), *A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems*, Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua, 48(6), 227–237.
- Lima, G.M., Brentan, B.M., Luvizotto Jr., E., (2018), *Optimal Design of Water Supply Networks Using an Energy Recovery Approach*, Renewable Energy, 117, 404–413.
- Lipiwattanakarn S., Kaewsang S., Pornprommin A., Wongwiset, T., (2019), *Real benefits of leak repair and increasing the number of inlets to energy*, Water Science&Technology, 14(3), 714–725.
- MASKİ, (2021), *İçme suyu dairesi yıllık işletme raporu*, Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Malatya.
- Mutikanga H., Sharma S., Vairavamoorthy K., Cabrera E., (2010), *Using Performance Indicators as a Water Loss Management Tool in Developing Countries*, Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua, 59(8), 471–481.
- Pearson D., (2019), *Standard Definitions for Water Losses: A Compendium of Terms and Acronyms and Their Associated Definition in Common use in the Field of Water Loss Management*, IWA Publishing, London, UK, ss.80.
- Roshani E., Filion Y., (2014), *WDS Leakage Management through Pressure Control and Pipes Rehabilitation Using an Optimization Approach*, Procedia Engineering, 89, 21–28.
- Yılmaz S., Fırat M., Ateş A., Özdemir Ö., (2021), *Analysis of Economic Leakage Level and Infrastructure Leakage Index Indicator by Applying Active Leakage Control*, ASCE's Journal of Pipeline Systems - Engineering and Practice, 12(4), 04021046, doi: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000583.

Sanayi Kaynaklı Noktasal Emisyonların Hava Kalitesine Katkısı: Kayseri İli Örneği

Zeynep İpek¹, İbrahim Uyanık^{2,*}

¹Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Su Arıtma Dairesi Başkanlığı, 06050, Ankara.

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri.

Özet

Bu çalışmada Kayseri İl Merkezinde endüstriyel amaçlı enerji üretim tesislerine ait enerji santrallerinin hava kirliliğine katkısı araştırılmıştır. Bu nedenle, Kayseri İli'nde 2015-2019 yılları arasındaki 5 (beş) yıllık dönemde sanayide kullanılan doğalgazın yanı sıra, endüstriyel enerji temini için kömür kullanan santrallerden alınan verilerle emisyon miktarları ortaya çıkarılmıştır. Bu kaynakların, hava kirliliğine katkıları da Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı verileriyle yıllık bazda ayrıca değerlendirilmiştir. Ayrıca, emisyon miktarları ile kirlenici konsantrasyonlarının yıllık bazdaki birbiriyle ilişkisi Pearson korelasyonu ile incelenmiştir. Çalışma süresi olan 2015-2019 yıllarını kapsayan 5 yıllık süre zarfında toplam PM (partiküler madde), SO₂ ve NO_x parametreleri için hesaplanan emisyon miktarları sırasıyla; 1.540 ton, 500 ton ve 10.328 ton şeklindedir. PM, SO₂ ve NO_x parametreleri için hesaplanan emisyon miktarları (ton/yıl) sonucunda üç kirlenicinin emisyon yüzdeleri sırası ile %14, %4 ve %82 şeklindedir. Endüstrilerde enerji santrallerinde kullanılan kömür ile sanayide kullanılan doğalgazın Kayseri İli hava kirliliğine katkısı karşılaştırıldığında, bu parametrelere, PM %89, SO₂ %97 ve NO_x %62 ile en fazla katkıyı kömürün yaptığı görülmüştür. 2015 yılından 2019 yılına doğru gerçekleşen PM₁₀ konsantrasyonlarında azalma ve NO_x konsantrasyonlarındaki artışın, kentte doğalgaz kullanımının artması ile ilişkili olabileceği, endüstriyel doğalgaz ve kömür kullanımı ile SO₂ konsantrasyonlarındaki değişimin ilişkilendirilemediği sonucuna varılmıştır. Sanayi tesislerinde enerji eldesi için kömür kullanımı kaynaklı NO_x emisyon miktarlarının NO_x konsantrasyonu ile yüksek korelasyona sahip olduğu bulunmuştur. Sonraki çalışmalarda evsel kaynaklı kömür ve doğalgaz kullanımının da belirlenmesiyle her bir noktasal kaynağın hava kirliliğine katkısı belirlenebilir.

Anahtar Sözcükler

Noktasal Kaynak, Doğalgaz, Kömür, Emisyon, Endüstri

The Contribution of Industrial Point Emissions on Air Pollution: A Case Study for Kayseri Province

Abstract

In this study, the contribution of power plants belonging to industrial power generation facilities in Kayseri City Center to air pollution was investigated. For this reason, in the five-year period between 2015-2019 in Kayseri Province, besides the natural gas used in the industry, the emission amounts have been revealed with the data obtained from the power plants that use coal for industrial energy supply. The contributions of these sources to air pollution are also evaluated on an annual basis with the data of the National Air Quality Monitoring Network. In addition, the relationship between emission amounts and pollutant concentrations on an annual basis was examined using the Pearson correlation. The emission amounts calculated for the total PM (particulate matter), SO₂ and NO_x parameters during the five-year period, 2015-2019, are 1,540 tons, 500 tons and 10,328 tons, respectively. As a result of the emission amounts (tons/year) calculated for the PM, SO₂ and NO_x parameters, the emission rates of the three pollutants are 14%, 4% and 82%, respectively. When the contribution of coal used in power plants in industries and natural gas used in industry to air pollution in Kayseri is compared, it is seen that coal makes the highest contribution with 89% of PM 97% of SO₂ and 62% of NO_x. It was concluded that the decrease in PM₁₀ concentrations and the increase in NO_x concentrations from 2015 to 2019 may be associated with the increase in natural gas use in the city. The use of industrial natural gas and coal could not be associated with the change in SO₂ concentrations. It has been found that the NO_x emission amounts originating from the use of coal for energy production in industrial facilities have a high correlation with the NO_x concentration. In future studies, the contribution of each point source to air pollution can be determined by determining the use of domestic coal and natural gas.

Keywords

Point Source, Natural Gas, Coal, Emission, Industry

1. Giriş

106 ülkeyi kapsayan 2020 Dünya Hava Kirliliği Raporu'nda hava kirliliği açısından, Türkiye 46'ncı sırada yer almaktadır. Rapora göre Türkiye'de hava kirliliğinin en yoğun olduğu kentler Çorum, Erzurum ve Düzce'dir. Kayseri ise hava kirliliği açısından Türkiye'de 7. sırada yer almaktadır (URL-1 2020). Kayseri merkezi topografik yapısı itibarıyla çukurda kalmaktadır. Doğu, güney ve güneydoğu tarafları dağlarla çevrilidir. Rüzgarlar hafif ve orta şiddettedir. Bulunduğu bölge ve rüzgar şiddeti nedeniyle Kayseri'de hava sirkülasyonunun gerçekleşmesi zorlaşmakta ve bu nedenle de özellikle kış mevsiminde şehirde hava kirliliği problemi ortaya çıkmaktadır. Bu durum hava akımını engellediğinden ilin hava kalitesi olumsuz yönde etkilenmektedir. Özellikle kentte son yıllarda yoğun bir sanayileşme, hızlı nüfus artışı ve düzensiz kentleşme mevcuttur. Şehirde yoğun trafik arterleri, çok sayıda sanayi tesisine sahip üç organize sanayi bölgesi (OSB) ve konut ısıtması potansiyel hava kirletici kaynaklarını oluşturmaktadır (Dadaşer-Çelik ve Kırmacı 2011).

2015-2016 yıllarında Kayseri'de il sınırları içinde gerçekleşen çevre problemleri önem ve önceliklerine göre sıralandığında hava kirliliği 4. öncelikli sırada yer almaktadır (Kartal 2018). Kayseri ile ilgili hava kirliliğine yönelik yapılan çalışmalar ile hava kirliliğinin kaynağı olarak özellikle konut ısınması, endüstri ve trafikte kullanılan yakıtlar gösterilmektedir (Dadaşer-Çelik ve Kırmacı 2011).

Geçmiş yıllarda yakıt olarak kullanılan fuel-oil ve kömürün düşük kalitede olması ve kükürt oranının yüksek olması nedeniyle Kayseri'de özellikle SO₂ miktarları yüksek konsantrasyonlarda ölçülmüştür (Kartal 2018). Ayrıca, durgun meteorolojik şartlar, endüstri ve trafik nedeniyle PM (partiküler madde) konsantrasyonları da yüksek oranlarda ölçülmektedir. Kayseri İli SO₂ ve PM₁₀ derişim miktarları ile hava kirliliği bakımından Türkiye'de bulunan iller sıralamasında genel olarak ön sıralarda bulunmaktadır. Aynı zamanda Kayseri şehirleşme ve endüstrileşme açısından da Türkiye'deki iller arasında önemli bir düzeydedir (Dadaşer-Çelik ve Kırmacı 2011).

Hava kirliliği konusunda dünyada birçok araştırma yapılmakta ve çevre üzerine etkileri araştırılmaktadır Abd Rani vd. (2018) tarafından Malezya'da yapılan bir çalışma ile ülkenin sanayileşme yolunda ilerlediği ve hava kirliliğinin bu ilerlemeye bağlı olarak ülke için endişe kaynağı olduğu belirtilmiştir. Malezya'daki sürekli hava izleme istasyonlarında 2010 yılından 2015 yılına kadar genellikle yüksek endeks değerleri ölçülmüş ve sağlıklı, çok sağlıklı, tehlikeli, çevre ve mülke önemli ölçüde zarar vermesi muhtemel acil durum seviyelerinde ölçümler elde edilmiştir. Pachón vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada Kolombiya'nın en büyük şehri olan Bogoto'da yüksek emisyon seviyelerine sahip bölgelerin endüstriyel ve ticari faaliyetlerin yoğunlaştığı güney ve güneybatı ile ülkenin geri kalanına bağlanan önemli otoyollar olduğunu belirtmişlerdir. Yue vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada Çin'in başkenti Pekin'de, 2015 yılında, PM₁₀, PM_{2.5}, CO, SO₂, NO_x, UOB (uçucu organik bileşikler)ler dahil olmak üzere çoklu hava kirleticilerinin birim bazlı kapsamlı bir emisyon envanteri çıkarılmıştır. 2015 yılında Pekin'deki hem kömür hem de doğalgaz kullanan endüstriyel tesisler karşılaştırıldığında kömürle çalışan kazanlar CO, SO₂, PM_{2.5} ve PM₁₀ emisyonlarının ana kaynağı iken, doğalgazla çalışan kazanların ise UOB ve NH₃ emisyonlarının ana kaynağı olduğu sonucuna varmışlardır. Gutikunda vd. (2019) tarafından Hindistan'da yapılan çalışmada 22 milyonluk nüfusa sahip Delhi'nin, dünyanın en kirli başkentlerinden biri olduğu ve endüstrilerin aynı zamanda, SO₂, NO_x ve UOB'ler için en büyük emisyon kaynağı olduğu vurgulanmıştır. Kawashima vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, Brezilya'da sabit kirletici kaynaklarından oluşan toplam 16 rafinasyon ünitesi, 1730 termik santral, 96 çimento endüstrisi ve 64 kağıt ve selüloz endüstrisinin emisyon envanteri oluşturulmuştur. Sonuçlar NO_x için 857.000 ton/yıl, SO_x için 123.000 ton/yıl, CO için 212.000 ton/yıl, PM için 104.000 ton/yıl, TOC (toplam organik karbon) için 114.000 ton/yıl, CO₂ için 476.000 ton/yıl değerlerini göstermiştir.

Ülkemizde yakıt kullanımının hava kirliliği üzerine katkıları ve özellikle konut ısınması amacıyla kullanılan kömür tüketiminin hava kirletici emisyonları üzerine etkilerinin yüksek olduğu konusunda birçok araştırma mevcuttur. Endüstriyel tesislerde ise kullanılan yakıtların farklılıkları, yakma kazanlarının tipi ve ısıtma kapasitelerindeki farklılıklar nedeniyle, endüstrilerin hava kirliliğine katkısı konusunda çok fazla araştırma bulunmamaktadır. Bu konuda genel veriler üzerinden yürütülen, endüstrilerden kaynaklı hava kirliliği hakkında ülkemizde yapılan birkaç araştırmaya yer verilmiştir. Çetin ve Demirci (2016) tarafından yapılan çalışmada; 1992 yılındaki Erzincan depremi sonrasında düzenli kentleşmeye gidilmesi ve endüstri için uygun yer seçimi yapılması önlemleri kapsamında ilde bulunan organize sanayi bölgesinin şehir dışına kurulmuş olması, valilik ve belediyelerin kalitesiz kömürlerin denetimi konusunda önlemler alması ve doğalgaz kullanımına geçilmesi sonucunda şehir merkezlerinde hava kirliliğinin önlendiği belirtilmiştir. Morcalı ve Akan (2017) tarafından yapılan çalışmada; Kahramanmaraş'ta SO₂ kirleticisinin 3 aylık kış döneminde, diğer dönemlerle karşılaştırıldığında, miktarlarının yüksek olmasının en büyük nedeninin, kış aylarında farklı tür katı yakıtların kullanılması olduğu belirtilmiştir. Kahramanmaraş ili merkez ilçelerinde 59 adet fabrikanın faaliyet gösterdiğinden ve bu tesislerin PM₁₀ kirleticisini daha çok baca gazı vasıtasıyla yaydığından bahsedilmiştir. Çukurluoğlu ve Besim (2015) tarafından Denizli Organize Sanayi Bölgesinde (DOSB) bulunan sanayi tesislerinin enerji gereksinimlerini karşılamak üzere kullandıkları yakıtlardan kaynaklanan emisyon envanterleri hesaplanmış ve bölgede 2012 yılında toplam 12.100,2 ton/yıl PM₁₀, 3.953,5 ton/yıl SO_x, 750,4 ton/yıl NO_x, 6,0 ton/yıl NMVOC (metan harici uçucu organik madde) ve 0,99 ton/yıl N₂O emisyonu olduğu belirlenmiştir. DOSB 2012 yılı emisyonlarının sektörel bazda değerlendirmesi yapıldığında tekstil endüstrisinin toplam emisyon miktarındaki payının %70 civarında olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışmada Kayseri ilinde 2015-2019 yılları arasında endüstrilerde enerji elde edilmesi amacıyla kullanılan kömür ile sanayide kullanılan doğalgaz kullanımı sonucu oluşan emisyon miktarları hesaplanmıştır. Böylece, sanayi amaçlı kullanımlar sonucu oluşan emisyon miktarları ile hava kirliliğine katkı hesaplanmıştır. Ayrıca, Kayseri İli hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan veriler ile hesaplanan emisyon değerlerinin istatistiksel ilişkisi ortaya konulmuştur.

2. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Bu çalışmada 2015-2019 yılları arasından 5 (beş) yılda; Kayseri merkez ilçelerindeki sanayi tesislerinden kaynaklı enerji santralinde kullanılan kömür verileri, sanayide kullanılan doğalgaz verileri ve hava kalitesi izleme istasyonundan alınan veriler kullanılmıştır. Verilerle ilgili detaylar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Çalışma kapsamında elde edilen veriler ve türleri

VERİ TÜRÜ	VERİ ALINAN YER / KURUM	TARİH ARALIĞI	VERİ TÜRÜ	VERİ İÇERİĞİ
Hava Kalitesi İstasyon Verileri	havaizleme.gov.tr	2015-2019	Yıllık ortalama ölçüm sonuçları	-PM ₁₀ (µg/m ³) -SO ₂ (µg/m ³) -NO _x (µg/m ³)
Yakıt	KAYSERİGAZ	2015-2019	Yıllık Tüketim Miktarı	-Doğalgaz(Sm ³)
	Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (Sanayi Kuruluşları)	2015-2019	Yıllık Tüketim Miktarı	-Kömür (kg) -Yakıt Analiz Bilgileri

2.1 Kömür ve Doğalgaz Kullanım Verileri

Endüstrilerde kullanılan doğalgaz tüketim verileri (2015-2019 yılları arası) Kayseri Doğalgaz Dağıtım Pazarlama ve Ticaret A.Ş.’den (KAYSERİGAZ) elde edilmiştir. KAYSERİGAZ’dan alınan doğalgaz verileri kapsamında 2015-2019 yıllarına ait endüstrilerde kullanılan doğalgaz kullanım miktarları, Kayseri İl Çevre Durum Raporlarından elde edilen verilere uygun olarak belirlenmiştir (URL-2 2021). Doğalgazın yoğunluğu 0,78 kg/m³’tür (URL-3 2021). Endüstrilerde kullanılan doğalgazdan kaynaklı emisyon miktarlarını hesaplamak için tesislerin %20’sinin ısıtma kapasitesinin 29 MW’ın üzerinde, %80’inin ise 29 MW’ın altında olduğu kabul edilmiştir (Dadaşer-Çelik ve Azgın 2020).

Kayseri İlinde 2015-2019 yılları arasında merkez ilçelerde bulunan endüstrilerde enerji eldesi amacıyla kullanılan kömür kullanım miktarları ve yakıt analiz bilgileri Kayseri Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden elde edilmiştir. Endüstrilerde santrallerde kömür kullanımı sonucu oluşan emisyon miktarlarını hesaplamak için, Kayseri Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü’nden alınan Kayseri İlinde faaliyet gösteren fabrikalarda kullanılan yerli ve ithal kömürlerin analiz sonuçlarına göre Tablo 2’de verilen kül ve kükürt yüzdeleri ile ısı değerleri kullanılmıştır. Analiz sonuçları bulunmayan bazı firmaların kullandıkları yakıtlar için benzer yakıt kullanan firmaların analiz sonucu mevcut olan yılların değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca, bazı sektörlerde 2015-2019 yılları arasındaki 5 (beş) yıllık verinin toplam olarak temin edilmesinden dolayı her yıl eşit miktarda kömür kullanıldığı varsayımı yapılmıştır.

Tablo 2: Endüstrilerde enerji eldesi amacıyla santrallerde kullanılan kömürler için kül ve kükürt yüzdeleri ve ısı değerleri

SEKTÖR ADI	Kül Oranı (%)	Kükürt Oranı (%)	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	Alt Isıl Değer (GJ/g)
Süt Ürünleri Endüstrisi-İthal Kömür (Bitümlü)	15,8	0,34	7.538	31,56
Çimento Sanayi –İthal Petrokok	0,29	6,28	8.011	33,54
Çimento Sanayi -İthal Linyit	7,41	0,87	6.902	28,89
Çimento Sanayi -Yerli Linyit	0,27	5,27	8.001	33,49
Yalıtım - Ambalaj Sanayi –İthal Linyit	7,96	0,57	6.902	28,89
Yalıtım - Ambalaj Sanayi –İthal Kömür (Bitümlü)	15,8	0,34	7.538	31,56
Yalıtım - Ambalaj Sanayi –İthal Kömür	5,03	0,21	7.712	32,39
Şeker Endüstrisi -Yerli Linyit	15,88	0,94	6.114	25,58
Şeker Endüstrisi- İthal Linyit	8,51	0,27	6.991	29,27
Kireç ve Tuğla Kimya Sanayi-İthal Kömür	5,03	0,21	7.712	32,39
Yıkama Sanayi – İthal Kömür	5,03	0,21	7.712	32,29
Kağıt Endüstrisi-Yerli Linyit	30,12	1,72	4.242	17,76
Kağıt Endüstrisi- İthal Linyit				

2.2 Hava Kirliliği Verileri

Kayseri İl Merkezi olarak tanımlanan Melikgazi, Kocasinan, Talas ve Hacılar ilçelerini kapsayan alanları içine alarak il merkezinde bulunan ve T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığına ait Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarında ölçülen, kentin hava kirliliği verileri, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'nın web sitesinden tedarik edilmiştir ([URL-4 2021](#)).

2007 yılından itibaren ili temsil edecek 3 bölgede, ısınma ve sanayi amaçlı yakıtlardan ve trafikten kaynaklanan kirlenici emisyonlarının ölçülmesi amacıyla hava kalitesi ölçüm istasyonu faaliyet göstermektedir. Bunlar Organize Sanayi Bölgesinde, Özel Melikgazi Hastanesi bahçesinde ve Hürriyet Mahallesinde kurulu bulunan hava kalitesi ölçüm istasyonlarıdır. PM₁₀ (partikül madde), SO₂ (kükürt dioksit), CO (karbon monoksit), NO_x (azot oksitler) parametreleri; Özel Melikgazi Hastanesi bahçesinde, Organize Sanayi Bölgesinde ve Hürriyet Mahallesinde kurulu bulunan 3 ayrı istasyonda yapılmaktadır ([URL-5 2021](#)). Bu istasyonların tipleri, ölçtüğü parametreler ve koordinatları Tablo 3'te verilmiştir. Hava kalitesi ölçüm sonuçları www.havaizleme.gov.tr adresinden online olarak izlenebilmekte ve geçmiş yönelik verilere ulaşılabilir (URL-4 2021).

Tablo 3: Kayseri İli hava kalitesi izleme istasyonları, istasyon tipleri, ölçülen parametreler ve koordinatları

İSTASYON ADI	ÖLÇÜLEN PARAMETRELER	İSTASYON TİPİ	KOORDİNATLAR		ÇALIŞMAYA BAŞLADIĞI TARİH
			Enlem	Boylam	
OSB	SO ₂ , PM ₁₀ ve Meteorolojik Sensörler	Sanayi	38,765583	35,296800	2007
Melikgazi	SO ₂ ve PM ₁₀	Isınma	38,724683	35,490500	2007
Hürriyet	SO ₂ , PM ₁₀ , NO, NO ₂ , NO _x , CO	Isınma	38,740183	35,418367	2007

2.3 Emisyon Miktarının Hesaplanması

Kayseri il merkezinde 2015-2019 yılları arasında endüstrilerde kullanılan kömür ve doğalgazdan kaynaklı havaya salınan kirleniciler esas alınarak, endüstrilerde yakıt kullanımı sonucu oluşan PM, SO₂ ve NO_x emisyon miktarları hesaplanmıştır. Bunun için emisyon faktörleri kullanılmıştır. Emisyon faktörü, yıllık olarak tüketilen yakıt miktarı ve yakıtın türüne göre ortalama emisyon miktarını tahmin etmeye yardımcı olan birim yakıt başına havaya verilen kirlenicinin kütlesini ifade etmektedir. Emisyon miktarları aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{Emisyon Miktarı} = (\text{Yakıt Miktarı}) \times (\text{Emisyon Faktörü}) \quad (1)$$

Ülkemizde oluşturulmuş özel emisyon faktörleri bulunmadığından önceki çalışmalarda (Elbir ve Müezzinoğlu 2004; Dadaşer Çelik ve Azgın 2020) kullanılan ve uluslararası kuruluşlar tarafından geliştirilen emisyon faktörleri kullanılmıştır. Yakıtlardan kaynaklanan emisyon miktarlarını hesaplamak için kullanılan emisyon faktörleri CORINAIR (CITEPA 1992)’dan ve ABD Çevre Koruma Ajansı’nın (USEPA) kaynak emisyon faktörleri kataloğundan alınmıştır (USEPA 1995). Bu çalışmada endüstrilerden kaynaklanan kirletici emisyonlarını hesaplamak için kullanılan emisyon faktörleri Tablo 4’te özetlenmiştir.

Tablo 4: Endüstriyel emisyon faktörleri (CITEPA 1992; USEPA 1995; EPA 1996, EPA 1998)

Yakıt Türü	PM	SO ₂	NO _x
Linyit (kg/ton)	2	19,44*S	8,42
Petrokok (g/GJ)		500*S	300
Endüstri Doğalgaz (kg/ton) <29 MW	0,174	0,014	4,34
Endüstri Doğalgaz (kg/ton) >29 MW	0,174	0,014	2,28

S: Yakıttaki kükürt oranı (%)

Bu veriler ışığında emisyon faktörleri de kullanılarak Denklem 1’deki eşitlik yardımı ile yakıtların yıllık emisyon miktarları hesaplanmıştır. Yakıt kullanımından kaynaklanan emisyon miktarları ile hava kalitesi ölçüm istasyonlarından alınan ölçüm sonuçları tablolar ve grafikler üzerinde gösterilerek yakıt kullanımı ve hava kirliliği arasındaki ilişki ortaya konulmuştur.

2.4 İstatistiksel Analiz

Bir önceki bölümde hesaplanan emisyon miktarlarının, 2015-2019 yılları arasındaki hava kirliliği verileriyle ilişkisinin incelenmesi için SPSS 10.0 programı kullanılmıştır. Veriler yıllık ortalamalar şeklinde programa tanıtılmış olup “Pearson Correlation” aracı kullanılarak negatif ya da pozitif anlamda yüksek korelasyona sahip değişkenler belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Endüstrilerde Yakıt Tüketimi

Kayseri ilinde faaliyet gösteren ve enerji eldesi amacıyla kömür kullanılan fabrikalarda 2015-2019 yılları arasında kullanılan kömür tüketim miktarları Tablo 5’te verilmiştir. Toplam kömür tüketiminde 130-140 bin ton civarlarında seyrederken bunun yaklaşık yarısı çimento sanayisi kaynaklıdır. Şeker ve kağıt endüstrisi ise çimentodan sonra gelen en yüksek kömür tüketimine sahiptir. Türkiye’de çimento sektörü kaynaklı enerji ihtiyacının yüksek olduğu bilinmektedir (Oğulata 2002).

Tablo 5: 2015-2019 yılları arasında fabrikalarda kullanılan kömür miktarları

SEKTÖR ADI	TON				
	2015	2016	2017	2018	2019
Süt Ürünleri Endüstrisi-İthal Bitümlü Kömür	228	269	264	206	141
Çimento Sanayi -Petrokok	76.561	76.561	76.561	76.561	76.561
Çimento Sanayi -İthal Linyit	8.613	8.613	8.613	8.613	8.613
Çimento Sanayi -Yerli Linyit	82	82	82	82	82
Yalıtım - Ambalaj Sanayi -İthal Linyit	300	300	300	300	Doğalgaza geçilmiş
Yalıtım - Ambalaj Sanayi -İthal Bitümlü Taş Kömürü	300	300	300	300	300
Yalıtım - Ambalaj Sanayi -İthal Kömür	720	720	720	720	720
Şeker Endüstrisi -Yerli Linyit	20.748	24.375	20.510	17.965	21.270
Şeker Endüstrisi- İthal Linyit	4.535	2.040	6.677	5.970	4.294
İnşaat Ürünleri ve Kimya Sanayi-İthal Kömür	244	244	244	Üretim yapılmıyor	-
Yıkama Sanayi - İthal Kömür	120	120	120	120	120
Kağıt Endüstrisi-Yerli Linyit	16.773	11.041	26.134	24.706	19.957
Kağıt Endüstrisi- İthal Linyit	9.199	11.533			
TOPLAM	138.426	136.201	140.527	135.544	132.059

2015-2019 yılları arasında endüstrilerde doğalgaz kullanımı miktarları Tablo 6’da verilmiştir. İl Merkezinde çalışma yıllarında toplam doğalgaz tüketimi 3.087.301.856 Sm³’tür. 1.286.597.188 Sm³ ise endüstrilerde kullanılmıştır. İlde toplam doğalgaz tüketiminin % 41’i endüstrilerde kullanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri’nde doğalgazın %33’ü endüstriyel amaçla kullanılırken, %38’i enerji santrallerinde kullanılmaktadır (EIA 2020).

Tablo 6: 2015-2019 yılları arası doğalgazın endüstrilerde kullanım miktarı

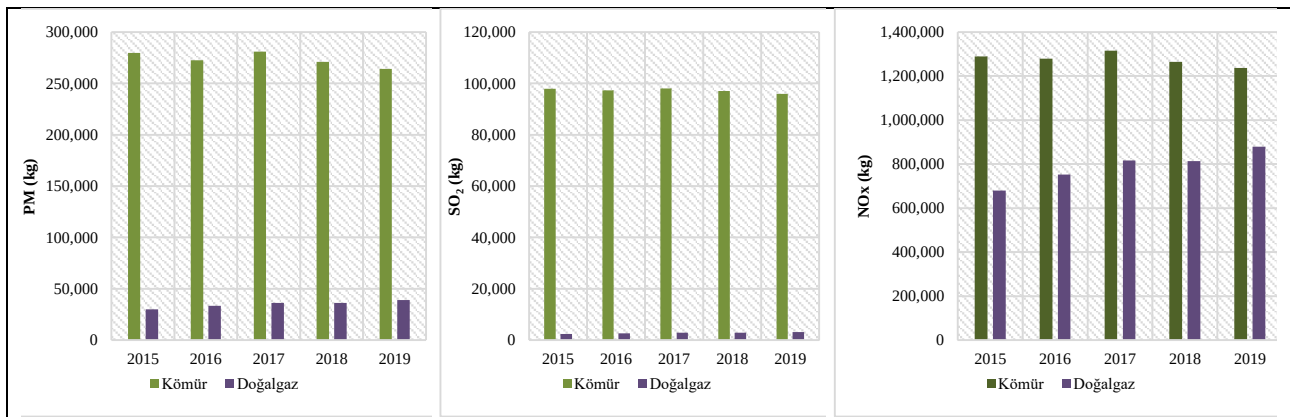
YIL	Doğalgaz (Sm ³)
2015	221.807.501
2016	245.548.968
2017	266.549.912
2018	265.652.319
2019	287.038.488

3.2 Endüstrilerde Yakıt Kullanımı Kaynaklı Emisyon Miktarları

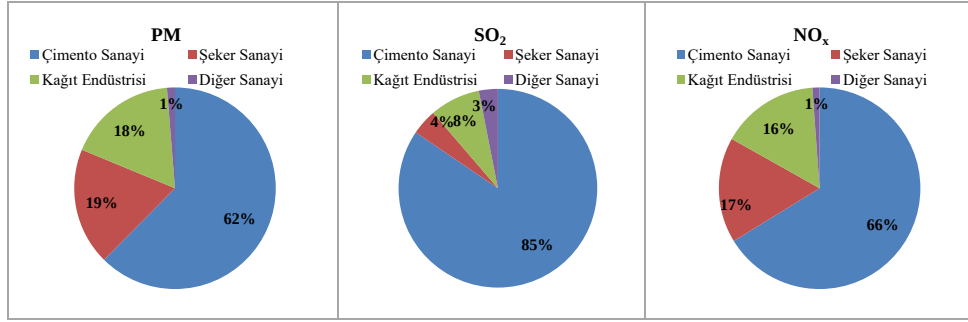
Kayseri İlinde endüstriyel santrallerde kullanılan kömür ve sanayide doğalgaz kullanımı sonucu 2015-2019 yılları arasında oluşan PM, SO₂ ve NO_x emisyon miktarları Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1’de PM, SO₂ ve NO_x emisyon miktarları incelendiğinde kömür kullanımının bu üç parametre üzerine katkısının doğalgaz kullanımına göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Çalışma dönemi olan beş yıllık süreçte emisyon miktarları toplamı alındığından kömür kullanımı sonucu oluşan emisyon miktarları PM, SO₂ ve NO_x için sırası ile 1.368 ton, 486 ton ve 6.386 ton şeklindedir.

Endüstriyel santrallerde kömür kullanımından kaynaklı emisyon miktarları sektörlere göre incelendiğinde, emisyon miktarlarında en yüksek oranlar, Şekil 2’de de görüldüğü gibi, PM için %62, SO₂ için %85 ve NO_x için %66’lık oran ile çimento endüstrisine aittir. PM ve NO_x için kağıt ve şeker sanayisi emisyonları sırasıyla %37 ve %33 iken farklı kömür türü (düşük kükürt oranına sahip) kullanıldığından dolayı SO₂ emisyonu bu sektörler için %12’de kalmıştır. Dolayısıyla, emisyonların kullanılan yakıtın kalitesiyle de ilişkili olduğu söylenebilir.

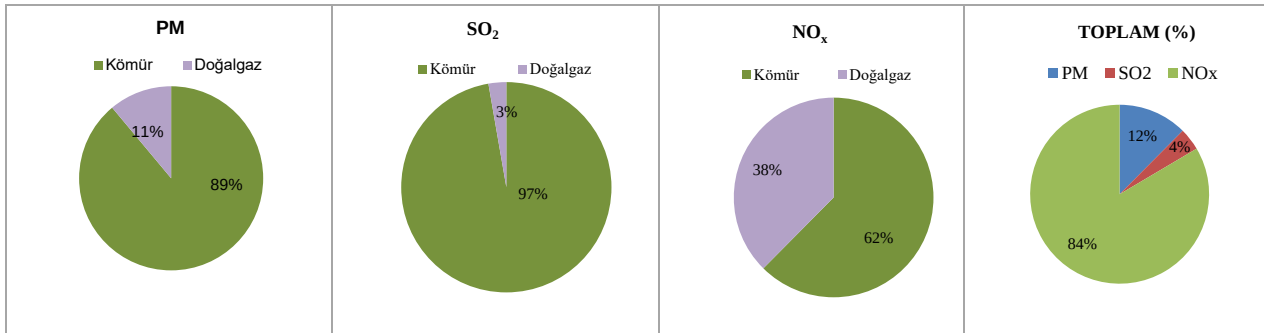
Beş yıllık süreçte endüstrilerde doğalgaz kullanımı sonucu oluşan emisyon miktarları; PM için toplam 174 ton iken, SO₂ için toplam 14 ton ve NO_x için toplam 3.941 ton şeklindedir. Doğalgaz ve bahsi geçen kömür kullanımı sonucu oluşan emisyon miktarlarından da anlaşılacağı üzere Şekil 3’te görüldüğü gibi kömür kullanımı sonucu oluşan emisyonların oranı doğalgaz kullanımına göre PM için %89, SO₂ için %97 ve NO_x için %62 oranında gerçekleşmiş ve kömür kullanımının daha yüksek emisyon oluşturduğu görülmektedir. Dolayısıyla, PM ve SO₂ kirleticileri için endüstriyel kaynaklı santrallerde kömür emisyonlarının büyük katkısı olduğu söylenebilir. NO_x emisyonlarında ise doğalgazın da kirliliğe katkısı belirgin olmakla beraber, hem yakıt içeriğinden kaynaklı hem de yanma şartlarından kaynaklı NO_x emisyonlarının varlığı göz önünde bulundurulmalıdır (Normann vd. 2008). Endüstrilerde doğalgaz ve santral kaynaklı kömür kullanımı sonucu oluşan emisyon miktarları toplamı PM emisyon miktarı 1.540 ton, SO₂ emisyon miktarı 500 ton ve NO_x emisyon miktarı 10.328 tondur. Bu nedenle, NO_x emisyonlarının toplam emisyonlar içinde aldığı pay en yüksek (%84) olmuştur (Şekil 3).



Şekil 1: Endüstrilerde kömür ve doğalgaz kullanımı sonucu oluşan emisyon miktarları grafiği



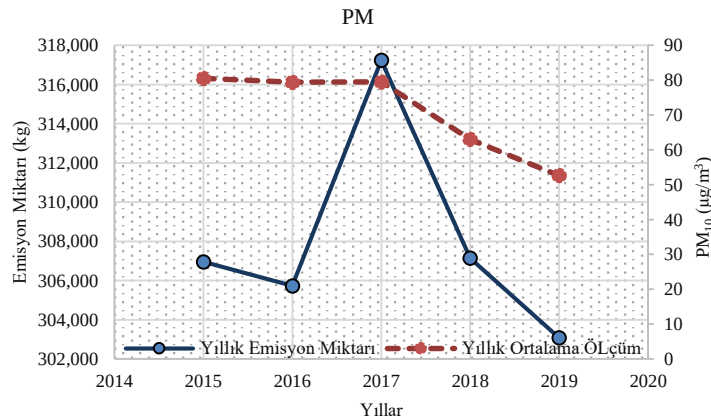
Şekil 2: Endüstrilerde enerji eldesi amaçlı santrallerde kömür kullanımı sonucu sektörlere göre emisyon oranları



Şekil 3: 2015-2019 yılı endüstrilerde kömür ve doğalgaz kullanımı sonucu oluşan emisyon oranları

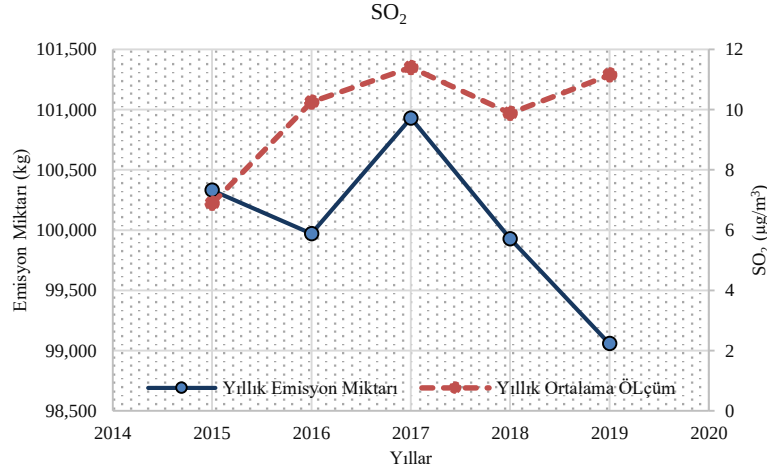
3.3 Endüstrilerde Yakıt Kullanımı ve Hava Kirliliği Arasındaki İlişki

2015-2019 yılları arasında Kayseri ili merkez ilçelerinde endüstriyel santrallerde kömür ve toplam doğalgaz kullanımından kaynaklı oluşan yıllık emisyon miktarları ile hava kalitesi ölçüm istasyonlarından alınan yıllık ortalama ölçüm sonuçları arasındaki ilişkiyi incelemek için Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da bulunan grafikler verilmiştir. Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'nın web sitesinde, Kayseri'de bulunan Tablo 3'te belirtilmiş olan üç istasyondan PM₁₀, SO₂ ve NO_x kirleticilerinin 2015-2019 yılları arasındaki yıllık ortalama ölçüm sonuçları alınmıştır. Üç istasyonun yıllık ölçüm sonuçlarının ortalaması alınarak Kayseri için o yılın ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

Şekil 4: 2015 -2019 yılları arası yıllık PM emisyon miktarı ve PM₁₀ ortalama ölçüm sonuçları

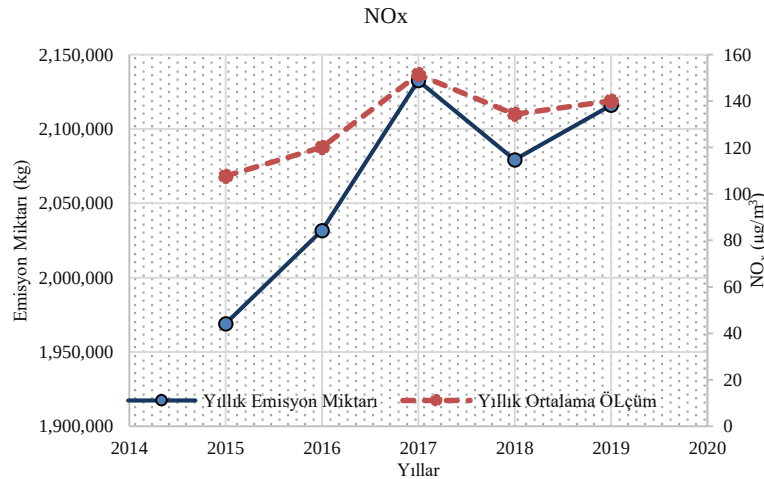
Kayseri ilinde kaydedilen PM₁₀ ölçüm sonuçları ile endüstrilerde yakıt kullanımı sonucu oluşan PM emisyon miktarları incelendiğinde iki faktörde de genel olarak paralellik olduğu görülmektedir. 2015 yılında parametrenin yıllık ortalama ölçüm sonucu 80,5 µg/m³ iken 2016 yılında ortalama ölçüm sonucu 79,4 µg/m³ şeklinde gerçekleşmiştir. Aynı düşüş grafikte görüldüğü gibi emisyon miktarlarında da oluşmuştur. Grafikte 2017 yılında emisyon miktarındaki artışın asıl nedeni olarak bu yılda kömür kullanımının bir önceki yıla göre yüksek olduğudur. 2017 yılı için emisyon miktarında oluşan artış, parametrenin ölçüm sonucuna göre daha yüksek oranda gerçekleşmiş olsa da yıllık ortalama ölçüm sonucu olarak 79,5 µg/m³ olarak ölçülmüş ve ölçüm sonucunda da yine bir önceki yıla göre artış olduğu belirlenmiştir.

2017 yılından itibaren ise muhtemelen evsel kömür kullanım miktarındaki azalma ile paralel olarak ölçüm değerlerinin düştüğü görülmektedir. Tablo 6'da verilen doğalgaz kullanım miktarının her geçen yıl artmasının PM parametresi üzerine etkisinin kömüre oranla az olduğu görülmektedir. Kentlerde kömür kullanımının azalması ve doğalgaz kullanımının artmasına paralel olarak 2015-2019 yılları kapsayan dönem içerisinde genel olarak her geçen yıl PM₁₀ konsantrasyonunun azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde başka bir çalışmada, Türkiye'de 2005-2015 yılları arasında PM₁₀ değerlerinde azalma gerçekleştiği ve bu duruma yıllar içerisinde kentlerde kömür kullanımından doğalgaz kullanımına geçişin etkisinin yüksek olduğu belirlenmiştir (İnandı vd. 2017).



Şekil 5: 2015 -2019 yılları arası yıllık SO₂ emisyon miktarı ve ortalama ölçüm sonuçları

SO₂ parametresi için endüstrilerde yakıt kullanımı sonucu oluşan emisyon miktarları ve yıllık ortalama ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde 2016, 2017 ve 2018 yıllarında iki faktörde de artış ve azalışlar paralellik göstermektedir. Yine endüstrilerde enerji eldesi için kömür kullanımı sonucu oluşan emisyon miktarları ile ölçüm değerleri arasında paralellik beklenirken 2015-2016 yılları arası kömür kullanımındaki azalışa rağmen SO₂ ölçüm sonuçlarında artış gerçekleşmiştir. 2019 yılında ise emisyon miktarında azalış gerçekleşirken parametrenin ortalama ölçüm sonucu bir önceki yıla göre artış göstermiştir. Bu durumun oluşmasında trafik kaynaklı bir girişimin olmayacağı açık olduğu için, yüksek kükürt içerikli bir yakıtın varlığından söz edilebilir. Bu yüzden, özellikle düşük kaliteli evsel kömür tüketiminin SO₂ emisyonlarına etki ettiği düşünülmektedir. Kayseri'de yapılan bir başka emisyon envanteri çalışmasında toplam evsel kömür tüketiminin %10-20'sini düşük kaliteli kömürün oluşturduğu belirtilmiştir (Dadaşer-Çelik ve Azgın 2020). Ancak, PM ve NO_x emisyonlarındaki paralellik (Şekil 4 ve Şekil 6) burada görülmemektedir. Bunun nedeni olarak, emisyon miktarlarına SO₂ açısından diğer yakıtlara göre daha fazla katkı yapan bir kaynağın varlığından söz edilebilir ya da diğer varsayım hatalarından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 6: 2015 -2019 yılları arası yıllık NO_x emisyon miktarı ve ortalama ölçüm sonuçları

NO_x parametresi için emisyon miktarındaki artış ve azalışa paralel olarak konsantrasyon miktarında da artış ve azalış gerçekleşmiştir. Şekil 6'da görüldüğü üzere NO_x emisyon ölçüm sonuçları üzerinde doğalgaz kullanımının etkisinin diğer parametrelere göre daha yüksek olduğu söylenebilir.

2018 yılında doğalgaz kullanım miktarının 2017 yılına göre daha düşük olması sonucu, NO_x emisyon miktarındaki düşüş ile birlikte yıllık ortalama konsantrasyonunun da düştüğü görülmektedir. 2019 yılında NO_x emisyon miktarının artması ile birlikte ölçüm sonucunun da arttığı belirlenmiş olup bu durum doğalgaz kullanımının NO_x emisyonu üzerine etkisinin yüksek olduğunu göstermektedir. NO_x emisyonlarının ozon oluşumuna katkı sağladığı düşünüldüğünde bu durumun Kayseri İli için gelecekte yüksek ozon konsantrasyonları ölçülmesine zemin sağlayabileceği düşünülmektedir.

Tüm emisyon miktarlarının ve hava kirliliği konsantrasyonlarının istatistiksel analizi yapılmış olup anlamlı bir korelasyon olup olmadığı belirlenmiştir. Endüstrilerde enerji eldesi amacıyla yakılan kömürlerin ve kullanılan doğalgazın ortaya çıkardığı her bir parametrenin toplam emisyonu ile Kayseri ili hava kirliliği ölçüm istasyonlarından alınan kirlletici parametrelerin ortalama konsantrasyonunun korelasyonu incelenmiştir. Tablo 7’deki sonuçlara göre, PM emisyon miktarı ile SO₂ emisyon miktarı arasında anlamlı bir korelasyon bulunmaktadır. Benzer şekilde, SO₂ emisyon miktarının da PM emisyon miktarıyla ilişkili olduğu görülmüştür. Bu nedenle, endüstriyel enerji eldesi amaçlı yakılan kömürlerin hem SO₂ emisyonlarına hem de PM₁₀ emisyonlarına etki ettiği söylenebilir. Burada diğer emisyon kaynakları da göz ardı edilmemelidir. Bu yüzden, sadece santrallerde yakılan kömürlerin SO₂ emisyonlarına etki ettiği söylenemez. Ayrıca, NO_x emisyonlarının da SO₂ ve NO_x konsantrasyonlarıyla ilişkili olduğu görülmüş olup kömür ve doğalgaz kaynaklı NO_x emisyonlarının SO₂ ve NO_x konsantrasyonlarına etki ettiği belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak, yakıtta bulunan azotlu bileşikler ile yanma odasının tasarımına bağlı oluşan emisyonlar gösterilebilir (Askarova vd. 2016).

Tablo 7: Emisyon miktarları ile hava kirlletici parametreleri arasındaki ilişki

Parametre	Analiz	PM emis.	SO ₂ emis.	NO _x emis.	PM ₁₀ kons.	SO ₂ kons.	NO _x kons.
PM emisyonu	Pearson Correlation	1	,884*	,373	,540	,258	,515
	Sig. (2-tailed)		,047	,536	,347	,675	,375
SO ₂ emisyonu	Pearson Correlation	,884*	1	-,095	,835	-,161	,061
	Sig. (2-tailed)	,047		,879	,078	,795	,922
NO _x emisyonu	Pearson Correlation	,373	-,095	1	-,498	,922*	,986**
	Sig. (2-tailed)	,536	,879		,393	,026	,002
PM ₁₀ konsantrasyonu	Pearson Correlation	,540	,835	-,498	1	-,393	-,386
	Sig. (2-tailed)	,347	,078	,393		,512	,521
SO ₂ konsantrasyonu	Pearson Correlation	,258	-,161	,922*	-,393	1	,877
	Sig. (2-tailed)	,675	,795	,026	,512		,051
NO _x konsantrasyonu	Pearson Correlation	,515	,061	,986**	-,386	,877	1
	Sig. (2-tailed)	,375	,922	,002	,521	,051	

*: $p < 0,05$ anlamlılık düzeyinde iki uçlu test

** : $p < 0,01$ anlamlılık düzeyinde iki uçlu test

Meteorolojik şartlar ve topografik yapısından dolayı Kayseri ili için hava kirliliği önemli bir sorun olmuştur (Dadaşer-Çelik ve Azgın 2020). Kayseri ilinde 2015 yılı sonunda yapılan çalışmalara göre hava kirliliğine neden olan kaynakların başında %40’lık bir oranla ısınma kaynaklı oluşan emisyonların geldiği tespit edilmiştir. Bunu %30’luk oran ile trafikten kaynaklanan emisyonlar, %20’lik oranla diğer etkenler ve %10’luk oranla topografya ve meteorolojik faktörlerin izlemekte olduğu belirlenmiştir (Kartal 2018). Bu oranlar ile Kayseri İlinde hava kirliliğine neden olan etkenlerin başında, ısınma ve endüstrilerde enerji eldesi amacıyla kullanılan yakıtlar gelmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre PM, NO_x ve SO₂ emisyonlarının endüstriyel amaçlı enerji santrallerinde doğalgaz ve kömür kullanımı ile birçok yılda ilişkili olduğu hem grafiklerde hem de istatistiki verilerde ortaya çıkmıştır. İlâveten, evsel kaynaklı kirliliğin de endüstriyel kaynaklara oranla katkısının önemli bir karşılaştırma olacağı düşünülmekte olup, ilave verilerle yeni çalışmaların yapılması gerekmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada 2015-2019 yılları arasında Kayseri ili; Melikgazi, Kocasinan, Talas ve Hacılar İlçelerini kapsayan alanlarda bulunan, endüstrilerde kullanılan kömür ve doğalgaz tüketim miktarları üzerinden, PM, SO₂ ve NO_x hava kirliliği parametrelerine ait yıllık emisyon miktarları hesaplanmıştır. Aynı zamanda hava kalitesi ölçüm istasyonlarından alınan; PM₁₀, SO₂ ve NO_x parametrelerinin yıllık ortalama ölçüm sonuçları ile yakıt kullanımı kaynaklı emisyon miktarları arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Kayseri İlinde endüstrilerde enerji üretimi amaçlı kömür kullanımının emisyon miktarları üzerine katkısının doğalgaz kullanımına göre daha yüksek olduğunu sonucuna varılmıştır.

Ayrıca yakıt kullanımı kaynaklı emisyon miktarları ve emisyon ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, kentte doğalgaz kullanımının artması ve kömür kullanım miktarındaki azalmanın emisyon miktarlarındaki değişimden kaynaklı olarak özellikle PM₁₀ miktarında azalışa neden olduğu belirlenmiştir. SO₂ miktarındaki artış ve azalışların nedeni olarak ise doğalgaz ve kömür kullanımı dışında başka etmenlerin de (diğer düşük kalite vb. yakıt kullanımı) önemli etkisinin olduğu düşünülmektedir. NO_x emisyon miktarındaki artışta ise doğalgaz kullanımının katkısının da yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılmak üzere verileri elde etmiş olduğumuz; Kayseri Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ve KAYSERİGAZ'a sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Abd Rani N.L., Azid A., Khalit S.I., Juahir H., Samsudin M.S., (2018), *Air pollution index trend analysis in Malaysia, 2010-15*, Polish Journal of Environmental Studies, 27(2), 801-807.
- Askarova A.S., Messerle V.E., Ustimenko A.B., Bolegenova S.A., Maximov V.Y., Yergalieva A.B., (2016), *Reduction of noxious substance emissions at the pulverized fuel combustion in the combustor of the BKZ-160 boiler of the Almaty heat electropower station using the "Overfire Air" technology*, Thermophysics and Aeromechanics, 23(1), 125-134.
- CITEPA (1992), *Corinair Inventory-Default emission factors handbook, 2nd Edition*, Centre Interprofessional Technique de la Pollution Atmosphérique, CEC-DGX1, Paris.
- Çetin M., Demirci O.K., (2016), *Erzincan'da doğal gaz kullanımının hava kalitesine etkisi*, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1), 8-18.
- Çukurluoğlu S., Besim T., (2015), *Denizli Organize Sanayi Bölgesi Yakıt Kaynaklı Emisyon Envanteri*, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(6), 248-253.
- Dadaşer Çelik F., Azgın, Ş.T., (2020), *Forecasting of Primary Air Pollutions: Emission Inventory Sample from Turkey*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(1), 66-75.
- Dadaşer Çelik F., Kırmacı, H.K., (2011), *Kayseri İli Kent Merkezinde Kükürtdioksit ve Partiküler Madde Değerlerindeki Değişimlerin İncelenmesi: 1990-2007*, Ekoloji Dergisi, 20(79), 83-92.
- EIA (2020), *Natural gas explained*, <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/use-of-natural-gas.php>, [Erişim 10 Ocak 2022].
- Elbir T., Müezzinoğlu A., (2004), *Estimation of emission strengths of primary air pollutants in the city of Izmir, Turkey*, Atmospheric Environment, 38 (2004), 1851-1857.
- EPA (1996), *Air Emissions Factors and Quantification: Chapter 1: external combustion sources*, AP 42, Fifth edition, Volume I, Environmental Protection Agency, <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/>, [Erişim 23 Eylül 2017].
- EPA (1998), *Air Emissions Factors and Quantification: Chapter 1: external combustion sources*, Environmental Protection Agency, Volume 1, <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/>, [Erişim 14 Ağustos 2018].
- Guttikunda S.K., Nishadh K.A., Jawahar P., (2019), *Air pollution knowledge assessments (APnA) for 20 Indian cities*, Urban Climate, 27, 124-141.
- İnandı T., Cancıer Eltaş M., Kerman B., (2017), *Türkiye'de Havadaki PM₁₀ ve SO₂ Düzeyindeki Değişimler, 2005-2015*, Türkiye Klinikleri, J Med Sci 2018, 38(3), 209-217.
- Kartal T., (2018), *Ulusaldan yerele Türkiye'de iklim değişikliği politikaları ve uygulamaları: Kayseri örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir.
- Kawashima A.B., Martins L.D., Abou Rafee S.A., Rudke A.P., de Moraes M.V., Martins J.A., (2020), *Development of a spatialized atmospheric emission inventory for the main industrial sources in Brazil*, Environmental Science and Pollution, 27, 35941-35951.
- Morcalı M.H., Akan D.S., (2017), *Kahramanmaraş hava kirliliği kaynaklarının izlenmesi ve belirlenmesi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(2), 105-115.
- Normann F., Andersson K., Leckner B., Johnsson F. (2008), *High-temperature reduction of nitrogen oxides in oxy-fuel combustion*. Fuel, 87(17-18), 3579-3585.
- Oğulata R.T., (2002), *Sectoral energy consumption in Turkey*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6(5), 471-480.
- Pachón J.E., Galvis B., Lombana O., Carmona L.G., Fajardo S., Rincón A., Henderson B., (2018), *Development and evaluation of a comprehensive atmospheric emission inventory for air quality modeling in the megacity of Bogotá*, Atmosphere, 9(2), 49, doi: 10.3390/atmos9020049.
- URL-1 (2020), *World Air Quality Report*, <https://www.iqair.com/world-air-quality-report>, [Erişim 12 Kasım 2021].
- URL-2 (2021), *Kayseri İli Temiz Hava Eylem Planı 2015-2019*, <http://dozplayer.biz.tr/10112502-T-C-cevre-ve-sehircilik-bakanligi-kayseri-cevre-ve-sehircilik-il-mudurlugu-html>, [Erişim 20 Nisan 2021].
- URL-3 (2021), *BOTAŞ Genel Müdürlüğü*, <http://www.botas.gov.tr/>, [Erişim 20 Eylül 2021].
- URL-4 (2021), *Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (2015-2019)*, <http://www.havaizleme.gov.tr>, [Erişim 29 Eylül 2021].
- URL-5 (2021), *Kayseri İli Temiz Hava Eylem Planı 2014-2019*, <http://dozplayer.biz.tr/10112502-T-C-cevre-ve-sehircilik-bakanligi-kayseri-cevre-ve-sehircilik-il-mudurlugu-html>, [Erişim 15 Nisan 2021].
- USEPA (1995), *Compilation of air pollutant emission factors, Vol. I. Stationary point and area sources, Rep.AP-42*. Fifth Edition, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- Yue T., Zhang X., Wang C., Zuo P., Tong Y., Gao J., Gao X., (2018), *Environmental impacts of the revised emission standard for air pollutants for boilers during the heating season in Beijing, China*, Aerosol and Air Quality Research, 18(11), 2853-2864.

Assessment of Halonitromethanes Formation Potentials Under Different Disinfection Scenarios in Low SUVA Water

Sehnaz Sule Kaplan-Bekaroglu¹, Sebnem Genisoglu¹, Cihan Ozgur^{2,*}

¹Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, 32260, Isparta.

²Isparta University of Applied Sciences, Sutculer Prof. Dr. Hasan Gurbuz Vocational School, 32950, Isparta.

Abstract

The main objective of this project is to investigate the formation of halonitromethanes, an emerging class of disinfection by-products (DBPs) identified in drinking waters in recent years, which are currently unregulated but highly toxic. Halonitromethanes formation potentials tests were investigated under five different disinfection conditions in Eğirdir Lake with low specific ultraviolet absorbance (SUVA) value. The results showed that ozone/chlorine formed the highest halonitromethanes followed by in the order of ozone/chloramine and chlorine only. When chloramine or ozone were used alone, the halonitromethanes concentration was below the minimum detection limits. The highest halonitromethanes was determined 2.5 µg/L for ozone /chlorine scenario and the lowest halonitromethanes concentration was 1.7 µg/L in ozone /chlorine scenario. In the ozone/chlorine scenario, a dramatic decrease for halonitromethane formation was detected from spring to winter. Chloropicrin has been the only measurable halonitromethanes species. In the correlation analysis between halonitromethanes and water quality parameters, the highest correlation was found between halonitromethanes and dissolved organic nitrogen. Besides dissolved organic nitrogen, different organic/inorganic compounds and disinfectants also contribute to the formation of halonitromethanes. These results can be used to control the formation of N-DBPs in the disinfection of low SUVA waters.

Keywords

Formation Potentials, Halonitromethanes, Nitrogenous Disinfection by Products

Düşük SUVA Değerine Sahip Kaynak Sularında Farklı Dezenfeksiyon Senaryolarında Halonitrometan Oluşum Potansiyellerinin Değerlendirilmesi

Özet

Su dağıtım sistemlerinde tespit edilen tüm kanserojen dezenfeksiyon yan ürünleri arasında, halonitrometanlar diğerlerine nazaran en toksik sınıflardan biridir. Bu araştırmanın temel amacı, düşük SUVA'ya sahip içme suyu kaynaklarında halonitrometan oluşumunun sistematik araştırılmasıdır. Eğirdir Gölü'nde beş farklı dezenfeksiyon senaryolarında halonitrometan oluşum potansiyelleri testleri gerçekleştirilmiştir. Ozon + klor senaryosunun en yüksek halonitrometan oluşumuna sebep olduğu, müteakip ozon + kloramin/klorun oluşturduğu gözlenmiştir. Sadece Kloramin veya ozon senaryolarında, halonitrometan konsantrasyonu genellikle minimum tespit limitlerinin altında kalmıştır. Ozon + klor senaryosunda en yüksek halonitrometan konsantrasyonu 2.5 µg/L olarak belirlenmiştir. Ozon + klor senaryosunda tespit edilen en düşük halonitrometan konsantrasyonu ise 1.7 µg/L'dir. Ozon + klor senaryosunda halonitrometan konsantrasyonlarında ilkbahardan kışa doğru kayda değer bir düşüş tespit edilmiştir. Kloropikrin, ölçülebilir tek halonitrometan türü olmuştur. Halonitrometanlar ile su kalitesi parametreleri arasındaki analizlerde en yüksek korelasyon halonitrometanlar ile çözünmüş organik azot arasında bulunmuştur. Bununla birlikte, farklı doğal organik maddeler: inorganik maddeler veya dezenfektanlar da halonitrometan oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Bu sonuçlar, düşük SUVA'ya sahip suların dezenfeksiyonunda azotlu dezenfeksiyon yan ürünlerinin (A-DYÜ) oluşumunu kontrol etmek için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler

Oluşum Potansiyeli, Halonitrometanlar, Azotlu Dezenfeksiyon Yan Ürünleri

1. Introduction

Since trihalomethanes were first discovered in drinking water, disinfection by-products (DBPs) issues have become a major regulatory driving force in the U.S. Over the last 30 years, significant amount of research efforts has been directed toward improving our understanding of DBPs, and to date more than 800 DBPs have been identified in drinking waters. One of the major challenges for drinking water treatment is to control DBPs formation. DBPs are possible human carcinogen and genotoxic and are formed by the reaction of disinfectants with natural organic matter (NOM). Undoubtedly, the disinfection process is an undeniably complementary step for drinking water treatment.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (246) 3512900 Faks: +90 (246) 3512901

E-posta: sulebekaroglu@sdu.edu.tr (Kaplan-Bekaroglu S.S),

sebnemgenisoglu@gmail.com (Genisoglu S), cihanozgur@isparta.edu.tr (Ozgur C)

Gönderim Tarihi / Received : 22/01/2022

Kabul Tarihi / Accepted : 21/04/2022

Chlorine is the most used disinfectant, and either alone or in combination with other disinfectants have been adopted (Abusallout 2019; Carter et al. 2019). However, when chlorine is preferred as a disinfectant, carbonaceous disinfection by-products are unintentionally formed in drinking water sources. Alternative disinfectants are getting attention in nowadays instead of chlorine due to the limitation of carbonaceous disinfection by-products (C-DBPs) in regulations/guidelines for DBPs in many countries. However, nitrogenous DBPs (N-DBPs) are formed using alternative disinfectants such as chloramine or ozone. Among the N-DBPs, halonitromethanes (HNMs) are unregulated DBPs with orders of magnitude higher toxicity (i.e., cytotoxicity and genotoxicity) than any of the regulated organic DBPs and one of the most frequently detected HNMs specie is chloropicrin, also known as trichloronitromethane (TCNM) (Hu et al. 2010; Wang et al. 2021).

In the 1970s TCNM had been discovered and has been a source of inspiration for many studies, and research has been carried out on its formation, speciation, and reduction (Shang and Yong-Mei 2010; Chu et al. 2012; Chang et al. 2013; Hermjakob et al. 2013; Zhang et al. 2020). The nine species of HNMs that can be measured in water are trichloronitromethane, bromodichloronitromethane, dibromochloronitromethane, tribromonitromethane, dichloronitromethane, bromochloronitromethane, dibromonitromethane, chloronitromethane, and bromonitromethane (Fang et al. 2013; Dong et al. 2017). HNMs are a type of DBPs that can be found at concentrations of $\mu\text{g/L}$ or lower (Marsa et al. 2017). HNMs are formed by attaching the nitro group to the central carbon atom. The two most important types of HNMs are TCNM and bromonitromethane (BNM). Although TCNM is the dominant specie of HNMs, particular attention should be paid to BNM as brominated HNMs are more reactive than chlorinated nitromethanes (Kim et al. 2015). The main precursors that cause the formation of HNMs are amino groups, nitromethanes, nitro phenols, algae etc. (Zhang et al. 2019). Apart from the nine known HNMs species, different N-DBPs like haloacetonitriles (HANs), haloacetamides (HAcAms) etc. can also be detected in water (Srivastav et al. 2020). The presence of N-DBPs in drinking water can cause serious problems for public health, they must be controlled to reduce health risks (Li et al. 2020). However, due to the low concentration, low molecular weight, and strong hydrophilic properties of N-DBPs, it is very difficult to remove of them with conventional treatment processes (Zhang et al. 2020). The best strategy approaches to N-DBPs control are to remove precursor before it reacts with the disinfect and/or use alternative disinfectants. In some studies, it was determined that the use of ozone before chlorine notably increased the formation of HNM. (Hoigné and Bader 1988; Wang et al. 2021).

The research objectives of the study were (i) to survey the formation potentials of HNMs under different scenarios, (ii) to examine effect of several water quality parameters in estimating the HNMs formation potential (iii) to determine the seasonal variation of HNMs formation potentials, (iv) to examine the correlation between HNMs and water quality parameters. Despite the recent focus on HNMs formation in drinking water, the information about HNMs formation and speciation are limited. Understanding the speciation of these highly toxic DBPs is vital for finding strategies for controlling these compounds. This study provides an important framework for understanding the formation and speciation of HNMs, which is of great significance from a toxicological perspective. To our knowledge this is the first study analyzing the occurrence of seven HNMs for drinking water supply systems in Turkey.

2. Material and Methods

2.1. Sample Collecting and Analysis

In this study, HNM formations and physicochemical properties of water with low SUVA were investigated. Egirdir Lake sample was obtained from the storage tank at drinking water treatment plant in Isparta, Turkey. The samples stored in high density polyethylene (HDPE) bottles with a volume of 5L at $+4^{\circ}\text{C}$ in the dark. HNMs formation potentials were determined under different disinfectant scenarios in the drinking water source, and species and precursors of HNMs were analyzed. pH, UV absorbance, Total Nitrogen (TN), Total Organic Carbon (TOC), nitrate, nitrite, ammonium, bromide, dissolved organic nitrogen (DON), and specific UV absorbance (SUVA) parameters were measured or calculated according to Standard Methods (APHA 2005).

2.2. Halonitromethanes (HNMs) Formation Potentials Tests

Formation potentials (FP) analyzes were carried out to determine HNMs concentrations in low SUVA water and samples taken from storage tank of Isparta Drinking Water Treatment Plant before chlorine addition to represent Egirdir Lake. In this context, three different disinfectants applied in drinking water treatment plants and their combinations were used. The method developed by Krasner et al. (2009) is used for formation potential tests. Each FP experiments was carried out in amber bottles with a volume of 100 ml. HNMs measurements were analyzed by applying chlorination, chloramine, ozone, ozone/chlorine, and ozone/chloramine scenarios to water source in monthly. NaOCl solution containing 10-15% active chlorine was used as free chlorine main stock. In the analyzes, it was determined that the main stock had 12% active chlorine content and stock concentration was prepared according to the DPD ferrous titrimetric method. In DPD ferrous titrimetric method, 20 ml sample was made up to 100 ml with ultrapure water due to dilution of iron ammonium sulfate.

20 ml/100 ml of the iron ammonium sulfate solution was taken in a separate flask. Phosphate buffer solution (5 ml) and DPD indicator solution (5 ml) were added to a titration beaker. Free chlorine solution (50 ml) was added to the buffer solutions.

The red color of the solution in the titration flask indicates that there is free chlorine residue in the solution. Titration was continued with ammonium sulfate solution until the red color became colorless. The chlorinated samples were kept in a dark and cool environment for 72 hours. In the formation potential test, the chlorine dose is the sum of the required chlorine demands for total organic carbon, ammonia nitrogen, and nitrite nitrogen. The following Equation 1 was used for dosage of chlorine:

$$\text{Cl}_2(\text{mg/L}) = 3 * \text{TOC} + 8 * \text{NH}_3 - \text{N} + 5 * \text{NO}_2^- - \text{N} + 10 \quad (1)$$

The intermediate stock solution used to prepare free chlorine in monochloramine solution was used. Except for the free chlorine solution, 67.3 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ was added to some ultrapure water in a flask, and the flask was completed with 100 ml of ultrapure water. The pH values of free chlorine solution and ammonium sulfate stock solutions were brought to the range of 9-9.1 using HCl and NaOH. 50 ml of ammonium sulfate solution, whose pH was adjusted, was taken into a flask and 50 ml of free chlorine solution was taken into a burette. The titration was carried out very slowly. A sample of 20 ml was taken from the solution mixture obtained and made up to 100 ml with ultrapure water. 20 ml/100 ml of iron ammonium sulfate solution was taken. Phosphate buffer solution (5 ml) and DPD buffer solution (5 ml) were taken into another beaker and 100 ml of the prepared monochloramine solution was added to it. Color transformation should not be observed after full mixing is achieved. An indication that all free chlorine is bound to ammonia is the absence of color. Then KI salt (0.5 g) was added to the solution. Titration is continued until color conversion occurs. The water samples, which was monochlorinated, were kept in a dark and cool environment for 72 hours. In the formation potential test, the monochloramine dose is the sum of the required chlorine demands for total organic carbon and nitrite nitrogen. The following Equation 2 was used for chloramine:

$$\text{NH}_2\text{Cl} (\text{mg/L}) = 3 * \text{TOC} + 5 * \text{NO}_2^- - \text{N} \quad (2)$$

In ozone experiments, the ozone concentration was chosen in a 1:1 ratio according to the TOC concentration. Degremont Technologies brand, Ozonia LAB2B model ozone generator was used in ozone experiments. With the device using high purity oxygen, maximum 10 mg/L ozone production can be achieved. To obtain maximum efficiency from ozone production, maximum impermeability is provided around the device and around the reactor. The water samples taken from the ozonized samples were kept in a dark and cool environment for 72 hours. Followed by chlorine/chloramine, ozone-enriched ultrapure water injected to Egirdir Lake samples. The water samples which were chlorinated with ozone + chlorine and ozone, were stored in a dark and cool environment for 72 hours.

2.3. Analytical Methods

USEPA 551.1 (USEPA 1995) method was used with some modifications for liquid-liquid extraction in HNMs analysis. After adding methyl tertiary butyl ether (MTBE) (10 ml) as organic solvent phase for 10 ml sample, sodium sulfate (Na_2SO_4) (3 g) was added to the sample to increase the ionic strength and copper sulphate (CuSO_4) (1 g) was added to facilitate phase separation. After 30 minutes of mixing, the samples were left for 15 minutes to separate the phases, and then 2 ml of the MTBE phase was transferred to sample bottles using glass pipettes. Prepared samples were analyzed using Gas Chromatography (GC) with electron capture detector (ECD) (Agilent 6890N). The details of the method used in GC are as followed. Column specifications: Inner Diameter: 0.25 mm, film thickness: 0.25 μm , length: 30 m, DB-5 (J&W Scientific). Temperature program: initial oven temperature: 20 minutes at 35 $^{\circ}\text{C}$, 140 $^{\circ}\text{C}$ in 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ increments, 300 $^{\circ}\text{C}$ in 30 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ increments. The injector temperature is 117 $^{\circ}\text{C}$ and the detector temperature is 297 $^{\circ}\text{C}$. Injection volume: 2 μL . Gases: ultra-high purity helium is used as carrier gas and high purity nitrogen gas is used for make-up gas. Flow rate of gases; carrier gas + make-up gas: 62.3 mlmin^{-1} , carrier gas: 1.6 mlmin^{-1} . During the study period, many water quality analyzes were carried out in the water source. The details of analytical methods for water quality parameters are presented in Table 1.

Table 1: Methods and equipment's of water quality parameters

Parameter	Unit	Methods	Equipment	Minimum Detection Limits
pH	---	SM 4500 H+	WTW Multi 340i Set	
TOC	mg/L	SM* 5310B	TOC-L CPH&NHM-1 Shimadzu	0.1
Total Nitrogen	mg/L	High temperature burning	TOC-L CPH&NHM-1 Shimadzu	0.1
254 nm UV absorbance	cm ⁻¹	SM 5910	Shimadzu	±0.005
NO ₃ -N, NO ₂ -N, Br ⁻	mg/L	USEPA Method 300	Dionex ICS-3000	25
NH ₃ -N	mg/L	SM 4500-NH ₃	HACH Test Kit	0.02
SUVA	L/mg TOC.m	Calculation	---	
DON	mg/L	Calculation	---	

3. Findings and Discussions

3.1. Egirdir Lake Water Quality Results

The water samples of Egirdir Lake were taken from storage tank of Isparta Drinking Water Treatment Plant. While determining the physico-chemical water quality of Egirdir Lake, pH, SUVA, TOC, TN, TOC/TN, nitrate, DON, and UV absorbance were measured. The general physico-chemical water quality parameters of raw water samples are shown in Table 2.

Table 2: Physico-chemical water quality parameters of Egirdir Lake

Egirdir Lake	pH	SUVA (L/mg TOC.m)	TOC (mg/L)	DON (mg/L)	TOC/DON (mg/mg)	Nitrate (mg/L)	UV (cm ⁻¹)
November	8.30	0.99	3.43	0.37	9.27	0.28	0.034
December	8.38	1.00	3.81	0.34	11.21	0.32	0.038
January	8.22	1.40	3.43	0.28	12.25	0.80	0.048
February	8.41	1.08	3.62	0.36	10.06	0.65	0.039
March	8.37	0.85	3.89	0.41	9.49	0.61	0.033
April	8.25	0.66	3.62	0.2	18.10	1.28	0.024
May	8.39	0.91	3.53	0.24	14.71	0.50	0.032
June	8.25	0.94	3.52	0.21	16.76	1.08	0.033
July	7.75	0.87	3.55	0.34	10.44	0.31	0.031
August	8.50	1.25	2.71	0.31	8.74	0.31	0.034
September	8.54	1.03	3.12	0.25	12.48	0.20	0.032
October	8.53	0.81	4.02	0.74	5.43	0.22	0.033

Source water SUVA values was low throughout the year. Waters with low SUVA values lead less formation in terms of disinfection by-product. If the SUVA <2 L mg⁻¹, it can be said that these waters contain hydrophilic natural organic substances with smaller molecular weights. Humic and fulvic acids are found in small amounts in such waters and the organic materials present are not rich in aromatics, which means less disinfection by-product formation (Kaplan-Bekaroglu 2010). Considering that about SUVA values, it can be concluded that the natural organic substances in the samples contain hydrophobic substances are predominantly hydrophilic and humic substances are in small amounts. If the SUVA value of a water source is >3.5-4 L mg⁻¹, these waters are generally defined as waters rich in humic substances, containing larger molecular weights and more hydrophobic natural organic substances. The highest and lowest SUVA values were determined as 1.40 and 0.66 L mg⁻¹, respectively, and the annual average SUVA value was determined as 0.98 L mg⁻¹. Average SUVA values for autumn-winter-spring-summer seasons were 0.94; 1.16; 0.81 and 1.02 L mg⁻¹, respectively. The highest, lowest, and average TOC concentrations of Egirdir Lake were 4.02, 2.71 and 3.52 mg/L, respectively. Average TOC values in autumn-winter-spring-summer seasons are 3.52; 3.62; 3.68 and 3.26 mg/L, respectively. Although there is no standard for the TOC parameter in our country, this parameter is a very important parameter in terms of water quality. In the "Regulation on Water Intended for Human Consumption" published by the Ministry of Health, TOC is included as an indicator parameter.

However, it is recommended to provide TOC levels of <2 mg/L in networks for disinfection by-product control after chlorine and to minimize the risks of taste, odor, color, and microbial regrowth in the network. TOC parameter is now included in the legislation in developed countries (etc. USA) (WHO 2018).

The highest and lowest DON values of Egirdir Lake were 0.74 and 0.20 mg/L, and the annual average DON value is 0.34 mg/L. The DON values determined in autumn-winter-spring-summer seasons were 0.45; 0.33; 0.28; 0.29 mg/L, respectively. DON values ranged between 0.1 to 10 mgN/L and an average concentration of 0.3 mgN/L in surface waters (Westerhoff and Mash 2002; Lee et al. 2007). In another study, the average DON concentration in 28 treatment plants was determined as 0.19 and 0.15 mg/L for raw water and treated water, respectively. Although DON is generally present in very low amounts in natural waters, it reacts with chlorine during the disinfection process and leads to the formation of more toxic N-DBPs. While the TOC/DON ratio in water can be used to roughly estimate the potential for N-DBPs formation, there is a positive correlation between the amino sugar: aromatic ratio and the N-DBPs FP (Lee et al. 2007; Hua et al. 2015). It is important to monitor the seasonal variation of DON, one of the precursors of N-DBPs, to define its relationship with the formation of N-DBPs. The highest and lowest TOC DON⁻¹ values of Egirdir Lake are 18.10, respectively; It is 5.43 mg/L, and the annual average TOC DON⁻¹ value is 11.57 mg/L. The highest and lowest nitrate nitrogen values of Egirdir Lake were 1.28 and 0.20 mg/L. The highest, lowest, and average TN values of Egirdir Lake were 0.78, 0.33 and 0.47 mg/L respectively. The nitrite nitrogen, ammonia nitrogen and bromide ion concentrations measured in Egirdir Lake could not be found at measurable levels during the sampling period.

3.2. HNMs Formation Potentials

In the HNMs calibration, 0, 1, 5, 10, 25, 50, 75 and 100 µg/L calibration intermediate stock solutions were obtained from the main stock solution. Correlation coefficients for each species are shown in Table 3.

Table 3: Correlation coefficients for HNM intermediate species

HNM Intermediate Species	Correlation Coefficient (R ²)
Chloronitromethane (CNM)	0.93
Dichloronitromethane (DCNM)	0.99
Trichloronitromethane (TCNM)	0.93
Bromonitromethane (BNM)	0.99
Bromochloronitromethane (BCNM)	0.99
Tribromonitromethane (TBNM)	0.96
Dibromonitromethane (DBNM)	0.99

HNMF concentrations vary between <MRL and 2.5 µg/L for five different disinfection scenarios. TCNM is the only specie of HNM detected in this study, which is known as chloropicrin. HNMs formation potential results obtained monthly for five different disinfection scenarios in Egirdir Lake water samples are shown in Table 4.

Table 4: HNMs formation potentials in different disinfection scenarios of Egirdir Lake (µg/L)

Disinfection Scenarios	Chlorine	Chloramine	Ozone	Ozone+ Chlorine	Ozone + Chloramine
November	0.7	< MDL	< MDL	2.1	1.1
December	0.6			2.3	1.0
January	0.7			1.9	1.2
February	1.0			1.7	1.3
March	0.6			2.1	0.9
April	0.8			2.3	1.2
May	0.7			2.5	1.1
June	0.8			2.1	1.3
July	1.1			1.9	1.4
August	0.7			2.3	1.0
September	0.6			1.9	0.9
October	0.7			2.0	0.8

According to the results of the HNMF tests, the highest HNMF was found in the ozone/chlorine scenario, followed by the ozone/chloramine and chlorine. Concentrations of HNM were below the detection limit with only chloramines and only ozone. Figure 1 shows the relationship between Egirdir Lake HNMF concentrations in the ozone /chlorine scenario, and a slight decrease was detected from spring to winter. HNMs was not formed by using only chloramine and ozone alone.

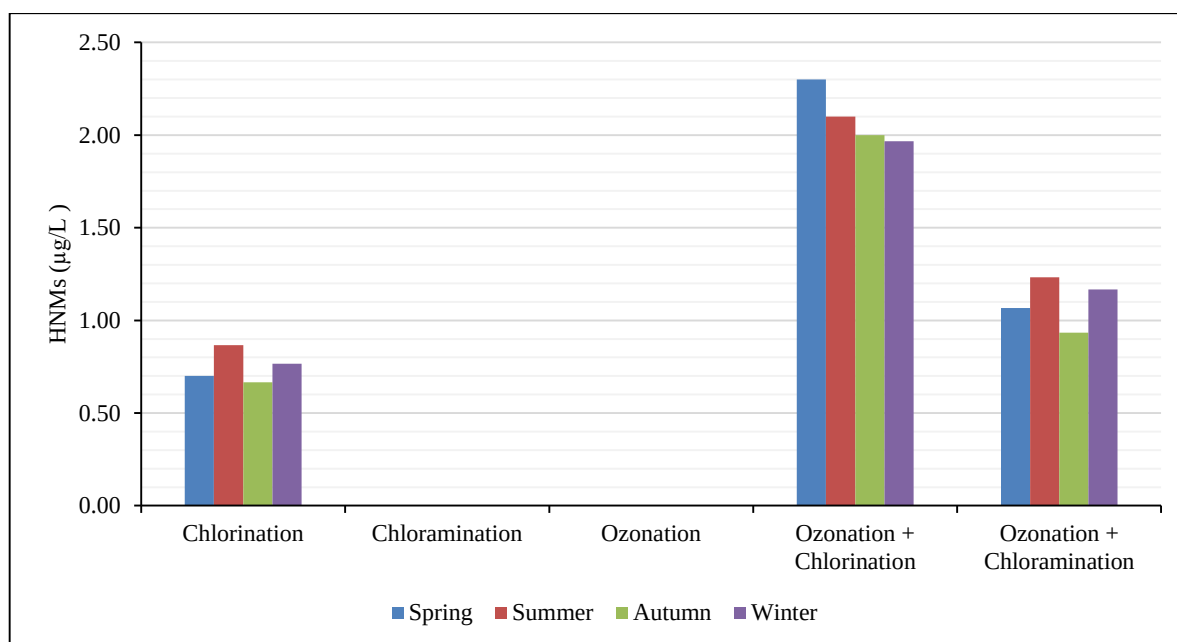


Figure 1: Seasonal effect on HNM formation potentials

Similar to our study, [Montesinos et al. \(2011\)](#) detected only chloropicrin in water samples at a measurable level. [Richardson et al. \(1999\)](#) were able to detect HNMs in the use of ozone/chlorine and ozone/chloramine in their study. It was shown that HNMs formation increased with pre-ozone ([Hong et al. 2015](#)). In our study, the highest HNMs concentration was determined in the ozone/chlorine scenario with similar to previous studies ([Merlet et al. 1985](#); [Hoigné and Bader 1988](#); [Hu et al. 2010](#)). [Hoigné and Bader \(1988\)](#) found that chloropicrin formation enhanced 4-5 times with ozone before chlorine in a lake water. [Hu et al. \(2010\)](#) investigated HNMs formation in different disinfection scenarios of drinking water containing organic substances with different characteristics, and one of the most important findings in the study is that HNMs formation increases significantly in case of ozone/chlorine. [Merlet et al. \(1985\)](#) postulated two mechanisms for chloropicrin formation via ozonation followed by chlorination: 1) oxidation of amine groups in organic molecules to nitro groups by ozone, 2) nitration of organic molecules by nitrogen oxides (N_xO_y) formed during ozonation of air in the ozone generator. [von Gunten \(2003\)](#) reported that intermediates formed because of partial oxidation of organic molecules of ozone and that the intermediates formed are precursors that increase the formation of chloropicrin. For example, phenolic compounds formed because of the reaction of hydroxyl radicals that may occur during ozone with aromatic compounds, and methyl ketones formed because of oxidation of alkenes with ozone are potential HNMs forming precursors ([von Gunten 2003](#)). Following the ozone/chlorine scenario, the second highest HNMs formation was detected in ozone/chloramine scenario. While the lowest HNMs formation was detected in the use of chlorine alone, the HNMs concentration was below than measurable levels in the use of chloramine and ozone. [Hua and Reckhow \(2007\)](#) showed that HNMs formation at very low concentrations using only chloramine in their study. [Goslan et al. \(2009\)](#) found the chloropicrin concentration in all samples below the detection limits. [Hu et al. \(2010\)](#) found chloropicrin and bromodichloronitromethane were dominant species in their study and emphasized that the use of ozone/chlorine increased HNMs levels and lower HNMs were formed in the use of ozone/chloramine. Since the HNMs concentration is detected at very low concentrations, there is not a clear association between seasonal changes.

3.3. Correlation Analysis of HNMs formation with water quality parameters

Correlations between HNMs and various water quality parameters in disinfection conditions (ozone/chloramine) in natural waters were investigated. HNMs concentrations showed a moderate correlation with DON of water sources. HNMs concentrations did not show a clear trend with TOC, SUVA, and other water quality parameters. The results of the water quality analysis show that both the type and concentration of organic precursors are important in the formation of HNMs, since both organic carbon and nitrogen content in natural waters are expected to be important for HNMs formation. The correlation between HNMs and DON was calculated as 0.35. This indicates that there are certain types of natural organic matter components that probably react with nitrogen, especially in the ozone/chlorine scenario, and exhibit high HNMs formation even at very low levels. DON/DOC ratio along with SUVA can be a simple metric for water utilities to determine and assess the presence of HNM precursors in source waters. To date, the type of HNM precursors is not clearly identified in natural waters but formation of emerging NDBPs related to the concentrations and composition of dissolved organic nitrogen (DON) in water ([Krasner et al. 2009](#))

4. Conclusion

HNMs formation potentials in Egridir Lake as low SUVA water were examined under different disinfection conditions. The results showed that HNMs formation potential were the highest for ozone/ chlorine, followed by ozone/chloramine, and chlorine. Pre-ozonation significantly enhanced HNMs formation. The highest HNMs concentration was 2.50 µg/L in the spring season in the ozone/chlorine scenario. A dramatic decrease was detected from spring to winter. In the ozone/chlorine scenario, the lowest HNMs concentration measured in winter is 1.97 µg/L. The lowest measurable HNMs concentration in the study was 0.67 µg/L in the autumn season in the chlorine scenario. A higher correlation was found between DON and HNM formation compared to other water quality parameters. Although HNM formation and distribution were varied systematically in this study, there are still several aspects of HNM formation and distribution that need further investigation: the kinetics of HNM formation and distribution under typical treatment conditions, the effect of temperature on HNM formation, the stability and fate of HNMs in the distribution system containing in the presence of dissolved oxygen and disinfectants, and the fate HNM precursors. Also, waters from other parts of the country and under different influences (e.g., wastewater discharges, algae growth, nonpoint discharges, and storm events) should be beneficial to examine in terms of HNM formation potentials and HNM precursors.

Acknowledgment

This study named “Assessment of Halonitromethanes Formation Potentials Based on Different Disinfection Scenarios in Source Water with Low SUVA Value” was produced from the master's thesis of Sebnem Genisoglu and was financially supported by the University of Suleyman Demirel Scientific Research Projects Coordination Unit with project number 4226-YL1-14.

References

- Abusallout I., (2019), *Natural Sunlight Photodegradation of Halogenated Disinfection Byproducts in Water*, Doctor of Philosophy (PhD) Thesis, South Dakota State University, The USA.
- APHA, (2005), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC.
- Carter R.A.A., Liew D.S., West N., Heitz A., Joll C.A., (2019), *Simultaneous analysis of haloacetamides and halonitromethanes in chlorinated waters by gas chromatography mass spectrometry*, Chemosphere, 220, 314-323.
- Chang H., Chen C., Wang G., (2013), *Characteristics of C-, N-DBPs formation from nitrogen-enriched dissolved organic matter in raw water and treated wastewater effluent*, Water Research, 47(8), 2729–2741.
- Chu W., Gao N., Krasner S.W., Templeton M.R., Yin D., (2012), *Formation of halogenated C-, N-DBPs from chlor(am)ination and UV irradiation of tyrosine in drinking water*, Environmental Pollution, 161, 8–14.
- Dong H., Qiang Z., Lian J., Qu J., (2017), *Degradation of nitro-based pharmaceuticals by UV photolysis: Kinetics and simultaneous reduction on halonitromethanes formation potential*, Water Research, 119, 83-90.
- Fang J.Y., Ling L., Shang C., (2013), *Kinetics and mechanisms of pH-dependent degradation of halonitromethanes by UV photolysis*, Water Research, 47(3), 1257-1266.
- Goslan E.H., Krasner S.W., Bower M., Rocks S.A., Holmes P., Levy L.S., Parsons S.A., (2009), *A comparison of disinfection by-products found in chlorinated and chloraminated drinking waters in Scotland*, Water Research, 43, 4698–4706.
- Hermjakob H., Montecchialazzi L., Bader G., Wojcik J., Salwinski L., Ceol A., Moore S., Orchard S., Sarkans U., Mering C.V., (2013), *Enhanced N-nitrosamine formation in pool water by UV irradiation of chlorinated secondary amines in the presence of monochloramine*, Water Research, 47(1), 79–90.
- Hoigné J., Bader H., (1988), *The formation of trichloronitromethane (chloropicrin) and chloroform in a combined ozone/chlorination treatment of drinking water*, Water Research, 22, 313–319.
- Hong H., Qian L., Xiao Z., Zhang J., Chen J., Lin H., Yu H., Shen L., Liang Y., (2015), *Effect of nitrite on the formation of halonitromethanes during chlorination of organic matter from different origin*, Journal of Hydrology, 531, 802–809.
- Hu J., Song H., Addison J.W., Karanfil T., (2010), *Halonitromethane formation potentials in drinking waters*, Water Research, 44, 105–114.
- Hu J., Song H., Karanfil T., (2010), *Comparative analysis of halonitromethane and trihalomethane formation and speciation in drinking water: the effects of disinfectants, pH, bromide, and nitrite*, Environmental Science & Technology, 44, 794–799.
- Hua G., Reckhow D.A., (2007), *Comparison of disinfection byproduct formation from chlorine and alternative disinfectants*, Water Research, 41, 1667–1678.
- Hua G., Reckhow D.A., Abusallout I., (2015), *Correlation between SUVA and DBP formation during chlorination and chloramine of NOM fractions from different sources*, Chemosphere, 130, 82–89.
- Kaplan-Bekaroglu Ş.Ş., (2010), *Removal of natural organic matter using various surface modified adsorbents*, PhD Thesis (Printed), Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey.
- Kim D., Amy G.L., Karanfil T., (2015), *Disinfection by-product formation during seawater desalination: a review*, Water Research, 81, 343–345.
- Krasner S.W., (2009), *The formation and control of emerging disinfection by-products of health concern*, Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences, 13, 4077-4095.

- Lee W., Westerhoff P., Croue' J.P., (2007), *Dissolved organic nitrogen as a precursor for chloroform, dichloroacetonitrile, N-nitrosodimethylamine, and trichloro-nitromethane*, Environmental Science & Technology, 41(15), 5485–5490.
- Li Y., Jiang J., Li W., Zhu X., Zhang X., Jiang F., (2020), *Volatile DBPs contributed marginally to the developmental toxicity of drinking water DBP mixtures against Platynereis dumerilii*, Chemosphere, 252, 126611.
- Marsa A., Cortes C., Teixido E., Hernandez A., Marcos R., (2017), *In vitro studies on the tumorigenic potential of the halonitromethanes trichloronitromethane and bromonitromethane*, Toxicology in Vitro, 45, 72–80.
- Merlet N., Thibaud H., Dore M., (1985), *Chloropicrin formation during oxidative treatments in the preparation of drinking water*, Science Total Environment, 47, 223–228.
- Montesinos I., Cardador M.J., Gallego M., (2011), *Determination of halonitromethanes in treated water*, Journal of Chromatography A, 1218, 2497–2504.
- Richardson S.D., Thruston Jr. A.D., Caughran T.V., Chen P.H., Collette T.W., Floyd T.L., Schenck K.M., Lykins Jr. B.W., Sun G., Majetich G., (1999), *Identification of new ozone disinfection byproducts in drinking water*, Environmental Science & Technology, 33, 3368–3377.
- Shang X.L., Yong-Mei L.I., (2010), *Formation and removal of typical N-DBPs—A review*, Environmental Science & Technology (China), 33(4), 60–64.
- Srivastav A.L., Patel N., Chaudhary V.K., (2020), *Disinfection by-products in drinking water: Occurrence, toxicity and abatement*, Environmental Pollution, 267, 115–474.
- USEPA, (1995), *Method 551.1: Determination of Chlorination Disinfection Byproducts, Chlorinated Solvents, and Halogenated Pesticides/Herbicides in Drinking Water by Liquid-Liquid Extraction and Gas Chromatography with Electron-Capture Detection*, Revision 1.0. Cincinnati, OH.
- von Gunten U., (2003), *Ozone of drinking water: part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine*, Water Research, 37, 1469–1487.
- Wang J., Li Z., Hu S., Ma J., Gong T., Xian Q., (2021), *Formation and influence factors of halonitromethanes in chlorination of nitro-aromatic compounds*, Chemosphere, 278, 130–497.
- Westerhoff P., Mash H., (2002), *Dissolved organic nitrogen in drinking water supplies: a review*, Journal of Water Supply: Research and Technology—Aqua, 51(8), 415–448.
- WHO, (2018), *Developing drinking-water quality regulations and standards: general guidance with a special focus on countries with limited resources*, World Health Organization, Geneva, 58ss.
- Zhang S., Lin T., Chen H., Xu H., Chen W., Tao H., (2020), *Precursors of typical nitrogenous disinfection byproducts: Characteristics, removal, and toxicity formation potential*, Science of the Total Environment, 742, 140–566.
- Zhang Y., Lu J., Yi P., Zhang Y., Wang Q., (2019), *Trichloronitromethane formation from amino acids by preozone-chlorination: The effects of ozone dosage, reaction time, pH, and nitrite*, Separation and Purification Technology, 209, 145–151.

Samsun İli için Sıcak Hava ve Soğuk Hava Dalgalarının Zamansal Analizleri

Sena Güneş¹ , Bahtiyar Efe^{1,*}

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

Özet

Bu çalışmada, Samsun ili için sıcak ve soğuk hava dalgalarının zamansal olarak analizleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında, Samsun ili sınırları içerisinde yer alan, Samsun Merkez ve Bafra meteoroloji gözlem istasyonlarından 1990-2019 yılları arasındaki dönem için temin edilen maksimum ve minimum sıcaklık verileri kullanılmıştır. Sıcak hava dalgalarının tespiti sırasında maksimum hava sıcaklıklarının 90. persentil değerleri hesaplanarak referans alınmıştır. Soğuk hava dalgalarının tespiti sırasında minimum hava sıcaklıklarının 10. persentil değerleri hesaplanarak referans alınmıştır. Hesaplanan 90. persentil referans değerinin üzerinde kalan maksimum hava sıcaklıklarının, üst üste en az beş gün boyunca kesintisiz olarak devam etmesi sıcak hava dalgası olarak tanımlanmıştır. Hesaplanan 10. persentil referans değerinin altında kalan minimum hava sıcaklıklarının üst üste en az beş gün boyunca kesintisiz olarak devam etmesi, soğuk hava dalgası olarak tanımlanmıştır. Bu yol ile elde edilen sıcak ve soğuk hava dalgaları analiz edilmiştir. Bütün analizler R programlama dili kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlara göre; Samsun ve Bafra istasyonunda tespit edilen sıcak hava dalga sayılarının son yıllara doğru artış gösterdiği, soğuk hava dalga sayılarının ise son yıllara doğru azalış gösterdiği hesaplanmıştır. Sıcak hava dalgası olaylarının ortalama süresi her iki istasyon için de bütün mevsimlerde artmıştır. Soğuk hava dalgalarının süresi ise sonbahar mevsimi hariç azalmaktadır. Sonbahar mevsiminde her iki istasyonda da soğuk hava dalgalarının süresi artmıştır.

Anahtar Sözcükler

Sıcak Hava Dalgası, Soğuk Hava Dalgası, Samsun

Temporal Analysis of Heat Waves and Cold Waves for Samsun Province

Abstract

In this study, temporal analysis of heatwaves and cold waves has been made for Samsun province. Within the scope of the study, the maximum and minimum temperature data obtained from Samsun city centre and Bafra meteorology stations located are used. In the study, the 90th percentile of maximum air temperatures for each season are calculated and used as threshold to detect the heat waves by using the R program. The 10th percentile of minimum air temperatures for each season are calculated and used as threshold to detect the cold waves. The lasting of the maximum air temperatures above the 90th percentile for at least five consecutive days is described as a heat wave. The lasting of the minimum air temperatures below the 10th percentile for at least five consecutive days is described as a cold wave. It has been calculated that the number of heat waves in Samsun and Bafra has decreased towards the last years, and the number of cold waves has decreased towards the last years. The average duration of heat waves increases for both stations in all seasons. The duration of cold air waves has decreased except for the autumn season for both stations. In the autumn season, the duration of cold air waves has increased at both stations.

Keywords

Heat Wave, Cold Spell, Samsun

1. Giriş

İklim, bir bölgenin hava durumu özelliklerinin uzun yıllar ortalamasıdır. Bu ortalama hesaplanırken, iklimi oluşturan meteorolojik değişkenler incelenmektedir. Bir bölgenin iklim özelliklerini oluşturan değişkenlerin başında ise hava sıcaklığı gelmektedir (Türkeş 2001).

Son zamanlarda, iklim değişkenliği ve değişimi tüm dünya gündemini meşgul etmektedir. İklim değişkenliği ve değişimi, doğal ya da yapay kaynaklı olabilmekle beraber, sanayi devriminden sonra insan etkilerinin artması sonucunda hızlanmış durumdadır (Türkeş 2008). Tüm dünya için sorun olan küresel iklim değişkenliği ve değişiminin daha iyi anlaşılabilmesi için birçok meteorolojik çalışma yapılmaktadır (Aksu 2021). Yapılan çalışmalarda kullanılan meteorolojik parametrelerden başlıca olanı sıcaklıktır. Özgür (2020) yaptığı çalışmada, minimum ortalama ve maksimum sıcaklıkların persistansını Türkiye'deki 7 istasyon için incelemiş ve üç sıcaklık değişkeninin persistanslarında da artış bulmuştur. Hava sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan sıcak ve soğuk hava dalgaları, iklimin anlaşılabilmesi için büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmaya göre, bir bölgede, seçilen uzun yıllara ait maksimum/minimum hava sıcaklığı verilerinin mevsimlere göre hesaplanmış olan 90./10. persentil maksimum/minimum sıcaklık değerinin üstünde/altında en az beş gün boyunca kesintisiz bir şekilde seyretmesi durumuna, sıcak/soğuk hava dalgası denir. Bu tanım, [Yang vd. \(2019\)](#)'de kullanılan tanımın değiştirilmiş halidir. Belirtilen çalışmada en az süre dört gün olarak tanımlanmışken bu çalışmada beş gün olarak tanımlanmıştır.

Sıcak hava dalgaları ve ekstrem sıcaklık değerlerinin olduğu dönemlerde ölüm oranları artmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 22 yıllık veri kullanılarak yapılan bir araştırmada ([Curriero vd. 2002](#)), 4780 kişinin aşırı sıcaklıkların neden olduğu rahatsızlıklar nedeniyle hayatını kaybetmiş olduğu tespit edilmiştir. 2003 yılında Avrupa'da yaşanan sıcak hava dalgası, 1540'tan beri Avrupa'da en sıcak yaz rekorunun kırılmasına sebep olmuştur. Sıcak hava dalgası, birçok ülkede sağlık krizine yol açmış ve kuraklıkla birlikte Güney Avrupa'nın bazı bölgelerinde ekin açığı yaratmıştır. Yapılan analizlere göre Avrupa'da 70000'in üzerinde insan hayatını kaybetmiştir ([Robine vd. 2008](#)). Ayrıca, kış mevsiminde meydana gelen sıcak hava dalgalarının ekili alanlara zarar verdiği de bilinmektedir.

Soğuk hava dalgaları da insan sağlığına olumsuz etki yapmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1972-2002 yılları arasında her yıl yaklaşık 689 kişi olmak üzere toplam 16555 kişi düşük sıcaklıkların etkisiyle yaşamını yitirmiştir. Soğuk hava dalgalarının oluşması, kalp-damar ve solunum yolları rahatsızlıklarını arttırmaktadır ([Çelik vd. 2008](#)). Ayrıca, kış mevsiminde meydana soğuk hava dalgaları, zirai don oluşturma riskine sahiptir ve ekili alanlara zarar vermektedir.

Sahip olduğu bu önemden dolayı sıcak ve soğuk hava dalgalarının tespiti birçok meteorolojik çalışmaya da konu olmuştur.

[Canyılmaz ve Efe \(2020\)](#) yaptıkları çalışmada, 2010-2019 yılları arasında Marmara Bölgesi'nde gerçekleşen sıcak ve soğuk hava dalgalarının atmosferik engelleme olayı ile nasıl değiştiğini incelemişler ve her iki olay için de farklı mevsimlerde farklı sonuçlar bulmuşlardır. [Demirtaş \(2018\)](#) yaptığı çalışmada, 2007 yazında görülen iki engelleme olayının sıcak hava dalgasına sebep olduğunu ve Türkiye'deki istasyonların bir kısmında 40 °C'yi aşan sıcaklıklar gözlemlenmiştir. [Demirtaş \(2017\)](#) yaptığı çalışmada, Ocak/Şubat 2012 yılında görülen engelleme olaylarının soğuk hava dalgalarına sebep olduğunu belirtmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Karadeniz Bölgesi'nin en kalabalık ve gelişmekte olan şehri Samsun'un her bir mevsimdeki sıcak ve soğuk hava dalgası ile ilgili özelliklerini incelemek ve bu olayların karakteristiklerindeki değişimi ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan veriler, Samsun Merkez ve Bafra meteoroloji gözlem istasyonlarından temin edilmiştir. Temin edilen maksimum ve minimum hava sıcaklıkları verileri, Samsun Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır. Bu veriler, 1990-2019 yılları arasını kapsamaktadır. Kullanılan istasyonların konumları Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan meteorolojik verilerin temin edildiği istasyonlar (Google Labs, 2021)

Sıcak hava dalgalarının tespitinde kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur (Hansen vd. 2008; Frich vd. 2002; Robinson, 2001). Hansen vd. (2008), sıcaklığın 35 °C'den fazla olduğu ardışık 5 günü sıcak hava dalgası olarak tanımlarken, Frich vd. (2002) ortalama maksimum sıcaklığı 5 °C geçen 10 günü sıcak hava dalgası olarak tanımlamıştır.

Bu çalışmada, sıcak hava dalgalarının tespiti sırasında, maksimum hava sıcaklıklarının; 90. persentil değerleri hesaplanarak, referans alınmıştır. Bu yöntemde maksimum sıcaklık değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak, verilerin % 90'ının kendisinden küçük olduğu değer bulunur. Bu değer 90. persentil değeridir. Hesaplanan 90. persentil referans değerinin üzerinde kalan maksimum hava sıcaklıklarının, üst üste en az beş gün boyunca kesintisiz olarak devam etmesi; sıcak hava dalgası olarak tanımlanmıştır.

Soğuk hava dalgalarının tespiti sırasında, minimum hava sıcaklıklarının; 10. persentil değerleri hesaplanarak, referans alınmıştır. Bu yöntemde minimum sıcaklık değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak, verilerin %10'unun kendisinden küçük olduğu değer bulunur. Hesaplanan 10. persentil referans değerinin altında kalan minimum hava sıcaklıklarının, üst üste en az beş gün boyunca kesintisiz olarak devam etmesi; soğuk hava dalgası olarak tanımlanmıştır.

Çalışmada yapılan hesaplamalar temel R (URL-1 2018) paketleri, tidyverse (Wickham 2017) paketi kullanılarak yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, dönemsel olarak tablolar haline getirilmiştir. Tablolarda belirtilen a\ b ifadelerindeki a terimi görülen sıcak/soğuk hava dalga sayısını, b terimi ise sıcak/soğuk hava dalgasının ortalama gün sayısını göstermektedir.

3. Bulgular

3.1. Samsun İstasyonu

Samsun istasyonunun yıllara ve mevsimlere göre gruplandırılmış sıcak hava dalgası analizleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Kış mevsimine ait sıcak hava dalgaları incelendiğinde ilk on beş yıl içinde hiç sıcak hava dalgasının oluşmadığı görülmektedir. Son on beş yıllık süre içerisinde ise 6 tane sıcak hava dalgasının oluştuğu görülmektedir. Son on beş yılda oluşan 6 tane sıcak hava dalgasının ortalama süresinin 5.4 gün olduğu hesaplanmıştır. Buna göre son on beş yıllık süre içerisinde sıcak hava dalga sayısı ve sıcak hava dalgalarının ortalama süresi artmıştır. Kış mevsiminde en çok sıcak hava dalgasının oluştuğu yıl, 2 tane sıcak hava dalgası ile 2010 yılıdır. Sıcak hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıl ise 6 gün ile 2008 yılıdır.

İlkbahar mevsiminde gerçekleşmiş olan sıcak hava dalgaları incelendiğinde; ilk on beş yıllık süre içerisinde 1 tane sıcak hava dalgasının gerçekleşmiş olduğu görülmektedir. Son on beş yıllık süreçte ise 3 tane sıcak hava dalgasının gerçekleşmiş olduğu görülmektedir. İlk on beş yıllık süre içerisinde gerçekleşmiş olan 1 tane sıcak hava dalgasının süresinin 5 gün olduğu saptanmıştır. Son on beş yıllık süre içerisinde gerçekleşmiş olan 3 tane sıcak hava dalgasının ortalama süresinin ise 6.3 gün olduğu hesaplanmıştır. Buna göre son on beş yıl içerisinde sıcak hava dalga sayısı ve sıcak hava dalgalarının ortalama süresi artmıştır. İlkbahar mevsiminde sıcak hava dalgaları olaylarının süresinin en fazla olduğu yıl, 8 gün ile 2008 yılıdır.

Yaz mevsimine ait sıcak hava dalgası verileri incelendiğinde; ilk on beş yıllık süre içerisinde 4 tane sıcak hava dalgasının gerçekleşmiş olduğu görülmektedir. Son on beş yıllık süre içinde ise, 6 tane sıcak hava dalgasının gerçekleşmiş olduğu görülmektedir. İlk on beş yıllık süre içerisinde gerçekleşmiş olan 4 tane sıcak hava dalgasının ortalama süresinin 7.2 gün olduğu hesaplanmıştır. Son on beş yılda gerçekleşmiş olan 6 tane sıcak hava dalgasının ortalama süresinin ise 10.3 gün olduğu hesaplanmıştır. Buna göre son on beş yıl içerisinde sıcak hava dalga sayısı ve sıcak hava dalgalarının ortalama süresi artmıştır. Yaz mevsiminde en çok sıcak hava dalgasının oluştuğu yıllar, 2 tane sıcak hava dalgası ile 1999 ve 2012 yıllarıdır. Sıcak hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıl ise, 21 gün ile 2010 yılıdır.

Sonbahar mevsimine ait sıcak hava dalgaları incelendiğinde; ilk on beş yıllık süre içerisinde hiç sıcak hava dalgasının oluşmadığı görülmektedir. Son on beş yıllık süre içerisinde 7 tane sıcak hava dalgasının oluştuğu görülmektedir. Son on beş yıllık süre içerisinde gerçekleşmiş olan 7 tane sıcak hava dalgasının ortalama süresinin 8 gün olduğu hesaplanmıştır. Buna göre son on beş yıl içerisinde sıcak hava dalga sayısı ve sıcak hava dalgalarının ortalama süresi artmıştır. Sonbahar mevsiminde sıcak hava dalgaları olaylarının süresinin en fazla olduğu yıl 10 gün ile 2019 yılıdır.

Tablo 1: Samsun istasyonu sıcak hava dalgaları

YIL	KIŞ (a\b)	İLKBAHAR(a\b)	YAZ(a\b)	SONBAHAR(a\b)
1990	0\0	0\0	0\0	0\0
1991	0\0	0\0	0\0	0\0
1992	0\0	0\0	0\0	0\0
1993	0\0	0\0	0\0	0\0
1994	0\0	0\0	0\0	0\0
1995	0\0	0\0	0\0	0\0
1996	0\0	0\0	0\0	0\0
1997	0\0	0\0	0\0	0\0
1998	0\0	1\5	0\0	0\0
1999	0\0	0\0	2\6	0\0
2000	0\0	0\0	0\0	0\0
2001	0\0	0\0	1\9	0\0
2002	0\0	0\0	1\8	0\0
2003	0\0	0\0	0\0	0\0
2004	0\0	0\0	0\0	0\0
2005	1\5	0\0	0\0	0\0
2006	0\0	0\0	1\10	0\0
2007	1\5	0\0	0\0	1\8
2008	1\6	0\0	0\0	1\7
2009	0\0	0\0	0\0	0\0
2010	2\5	1\6	1\21	0\0
2011	0\0	0\0	0\0	0\0
2012	0\0	0\0	2\8	0\0
2013	0\0	0\0	0\0	0\0
2014	0\0	0\0	0\0	1\7
2015	0\0	0\0	0\0	1\7
2016	1\6	0\0	1\10	1\8
2017	0\0	0\0	0\0	0\0
2018	0\0	1\8	1\5	1\9
2019	0\0	1\5	0\0	1\10

(a: Sıcak hava dalgası sayısı, b: Sıcak hava dalgasının gün olarak ortalama süresi)

Samsun istasyonunun yıllara ve mevsimlere göre gruplandırılmış soğuk hava dalgası özellikleri Tablo 2’de gösterilmektedir.

Kış mevsimine ait soğuk hava dalgaları incelendiğinde ilk on beş yıllık süre içerisinde gerçekleşmiş olan soğuk hava dalga sayısının 11 tane olduğu görülmektedir. Son on beş yıllık süre içerisinde ise 2 tane soğuk hava dalgasının gerçekleşmiş olduğu görülmektedir. İlk on beş yıllık süre içerisinde gerçekleşmiş olan 11 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresi 6 gün olarak hesaplanmıştır. Son on beş yıllık süre içerisinde oluşan 2 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresi ise 5 gün olarak hesaplanmıştır. Buna göre son on beş yıl içerisinde soğuk hava dalga sayısı ve soğuk hava dalgalarının ortalama süresi azalmıştır. Kış mevsiminde en çok soğuk hava dalgasının olduğu yıl, 4 tane soğuk hava dalgası ile 1992 yılıdır. Soğuk hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıl ise, 8 gün ile 2004 yılıdır.

İlkbahar mevsimindeki soğuk hava dalgaları incelendiğinde; ilk on beş yıllık süre içerisinde toplamda 10 tane, son on beş yıllık süre içerisinde ise toplamda 5 tane soğuk hava dalgasının tespit edildiği görülmektedir. İlk on beş yıllık süreç içerisinde tespit edilen 10 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresinin 7 gün olduğu hesaplanmıştır. Son on beş yıllık süreç içerisinde tespit edilen 5 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresinin de 6.8 gün olduğu hesaplanmıştır. Buna göre son on beş yıl içerisinde soğuk hava dalgalarının hem sayısı hem de ortalama süresi azalmıştır. İlkbahar mevsiminde en çok soğuk hava dalgasının olduğu yıl, 2 tane soğuk hava dalgası ile 1996, 1997 ve 2003 yıllarıdır. Soğuk hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıl ise, 9 gün ile 1960 yılıdır.

Yaz mevsiminde gerçekleşmiş olan soğuk hava dalgası olayları incelendiğinde; ilk on beş yıllık süre içerisinde soğuk hava dalgalarının sayısının 14 tane olduğu görülmektedir. Son on beş yıllık süre içerisindeki soğuk hava dalgalarının sayısının ise 3 tane olduğu görülmektedir. İlk on beş yıllık süre içerisinde oluşan 14 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresi 8 gün olarak hesaplanmıştır. Son on beş yıllık süre içerisinde oluşan 3 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresi ise 7.3 gün olarak hesaplanmıştır.

Buna göre son on beş yılda soğuk hava dalga sayısı ve soğuk hava dalgalarının ortalama süresi azalmıştır. Yaz mevsiminde en çok soğuk hava dalgasının olduğu yıllar, 2 tane soğuk hava dalgası ile 1996 ve 2004 yıllarıdır. Soğuk hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıllar ise, 12 gün ile 2000 ve 2001 yıllarıdır.

Sonbahar mevsimine ait soğuk hava dalgaları incelendiğinde; ilk on beş yıllık süre içerisinde 14 tane soğuk hava dalgasının olduğu görülmektedir. Son on beş yıllık süre içerisinde ise 3 tane soğuk hava dalgasının olduğu görülmektedir. İlk on beş yıllık süreçte oluşan 14 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresinin 6.8 gün olduğu hesaplanmıştır. Son on beş yıllık süreçte oluşan 3 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresinin ise 9 gün olduğu hesaplanmıştır. Buna göre son on beş yılda soğuk hava dalga sayısı azalmış, soğuk hava dalgalarının ortalama süresi ise artmıştır. Sonbahar mevsiminde en çok soğuk hava dalgasının olduğu yıl, 3 tane soğuk hava dalgası ile 1993 yılıdır. Soğuk hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıl ise, 11 gün ile 2016 yılıdır.

Tablo 2: Samsun istasyonu soğuk hava dalgaları

YIL	KIŞ(a\b)	İLKBAHAR(a\b)	YAZ(a\b)	SONBAHAR(a\b)
1990	0\0	0\0	1\6	1\5
1991	1\6	1\9	1\8	0\0
1992	4\5	1\7	1\7	1\9
1993	1\7	1\8	1\9	3\6
1994	1\6	0\0	1\5	1\8
1995	0\0	0\0	0\0	2\8
1996	0\0	2\5	2\7	1\5
1997	1\5	2\8	1\7	0\0
1998	0\0	0\0	0\0	0\0
1999	0\0	0\0	0\0	2\7
2000	0\0	0\0	1\12	1\6
2001	0\0	0\0	1\12	1\7
2002	2\7	0\0	1\7	0\0
2003	0\0	2\7	1\11	0\0
2004	1\8	1\6	2\7	1\9
2005	0\0	1\5	1\8	0\0
2006	0\0	0\0	0\0	0\0
2007	0\0	0\0	0\0	0\0
2008	1\5	0\0	1\9	0\0
2009	0\0	1\5	0\0	0\0
2010	0\0	1\5	0\0	0\0
2011	0\0	1\8	0\0	2\8
2012	0\0	1\11	0\0	0\0
2013	0\0	0\0	0\0	0\0
2014	0\0	0\0	0\0	0\0
2015	1\5	0\0	0\0	0\0
2016	0\0	0\0	1\5	1\11
2017	0\0	0\0	0\0	0\0
2018	0\0	0\0	0\0	0\0
2019	0\0	0\0	0\0	0\0

(a: Soğuk hava dalgası sayısı, b: Soğuk hava dalgasının gün olarak ortalama süresi)

3.2. Bafra İstasyonu

Bafra istasyonunun yıllara ve mevsimlere göre gruplandırılmış sıcak hava dalgası özellikleri Tablo 3'te gösterilmektedir. Kış mevsiminde oluşan sıcak hava dalgaları incelendiğinde; ilk on beş yıllık süre içerisinde hiç sıcak hava dalgasının kaydedilmemiş olduğu görülmektedir. Son on beş yıllık süre incelendiğinde ise 5 tane sıcak hava dalgasının kaydedilmiş olduğu görülmektedir. Son on beş yıllık süre içerisinde oluşan 5 tane sıcak hava dalgasının ortalama süresinin 5.2 gün olduğu hesaplanmıştır. Buna göre son on beş yılda sıcak hava dalga sayısı ve sıcak hava dalgalarının ortalama süresi artmıştır. Kış mevsiminde en çok sıcak hava dalgasının olduğu yıl, 2 tane sıcak hava dalgası ile 2014 yılıdır. Sıcak hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıl ise, 6 gün ile 2016 yılıdır. İlkbahar mevsimine ait sıcak hava dalgaları incelendiğinde; ilk on beş yılda 2 tane sıcak hava dalgasının olduğu görülmektedir. Son on beş yıllık süre incelendiğinde ise 5 tane sıcak hava dalgasının olduğu görülmektedir.

İlk on beş yıl içerisinde oluşan 2 tane sıcak hava dalgasının ortalama süresinin 5 gün olduğu hesaplanmıştır. Son on beş yılda oluşan 5 tane sıcak hava dalgasının ortalama süresinin ise, 7 gün olduğu hesaplanmıştır. Buna göre son on beş yılda sıcak hava dalga sayısı ve sıcak hava dalgalarının ortalama süresi artmıştır. İlkbahar mevsiminde en çok sıcak hava dalgasının olduğu yıl, 2 tane sıcak hava dalgası ile 2013 yılıdır. Sıcak hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıl da, 8 gün ile 2013 yılıdır.

Yaz mevsiminde oluşan sıcak hava dalgaları incelendiğinde; ilk on beş yılda, 3 tane sıcak hava dalgasının olduğu görülmektedir. Son on beş yılda ise 9 tane sıcak hava dalgasının olduğu görülmektedir. İlk on beş yıllık sürede oluşan 3 tane sıcak hava dalgasının ortalama süresinin 7.6 gün olduğu hesaplanmıştır. Son on beş yıllık süre içerisinde oluşan 9 tane sıcak hava dalgasının ortalama süresinin ise 8.4 gün olduğu hesaplanmıştır. Buna göre sıcak hava dalga sayısı artmış, sıcak hava dalgalarının ortalama süresi ise değişmemiştir. Yaz mevsiminde en çok sıcak hava dalgasının olduğu yıl, 3 tane sıcak hava dalgası ile 2007 yılıdır. Sıcak hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıl ise, 15 gün ile 2010 yılıdır.

Sonbahar mevsiminde oluşan sıcak hava dalgaları incelendiğinde; ilk on beş yıllık süre içerisinde 2 tane sıcak hava dalgasının olduğu görülmektedir. Son on beş yıllık süre içerisinde ise 8 tane sıcak hava dalgasının olduğu görülmektedir. İlk on beş yıllık süre içerisinde oluşan 2 tane sıcak hava dalgasının ortalama süresinin 7 gün olduğu hesaplanmıştır. Son on beş yıl içerisinde oluşan 8 tane sıcak hava dalgasının ortalama süresinin ise 7.4 gün olduğu hesaplanmıştır. Buna göre sıcak hava dalga sayısı değişmemiş, sıcak hava dalgalarının ortalama süresi ise artmıştır. Sonbahar mevsiminde en çok sıcak hava dalgasının olduğu yıl, 2 tane sıcak hava dalgası ile 2015 yılıdır. Sıcak hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıllar ise, dokuz gün ile 1994 ve 2017 yıllarıdır.

Tablo 3. Bafra istasyonu sıcak hava dalgaları

YIL	KIŞ(a\b)	İLKBAHAR(a\b)	YAZ(a\b)	SONBAHAR(a\b)
1990	0\0	0\0	0\0	0\0
1991	0\0	0\0	0\0	0\0
1992	0\0	0\0	0\0	0\0
1993	0\0	0\0	0\0	0\0
1994	0\0	1\5	0\0	1\9
1995	0\0	0\0	0\0	0\0
1996	0\0	0\0	0\0	0\0
1997	0\0	0\0	0\0	0\0
1998	0\0	1\5	0\0	0\0
1999	0\0	0\0	0\0	0\0
2000	0\0	0\0	0\0	0\0
2001	0\0	0\0	2\8	0\0
2002	0\0	0\0	1\7	1\5
2003	0\0	0\0	0\0	0\0
2004	0\0	0\0	0\0	0\0
2005	1\5	0\0	0\0	0\0
2006	0\0	0\0	1\9	0\0
2007	0\0	0\0	3\6	1\8
2008	0\0	1\6	2\11	1\8
2009	0\0	0\0	0\0	0\0
2010	1\5	1\7	1\15	0\0
2011	0\0	0\0	1\5	0\0
2012	0\0	0\0	1\7	0\0
2013	0\0	2\8	0\0	0\0
2014	2\5	1\6	0\0	1\8
2015	0\0	0\0	0\0	2\8
2016	1\6	0\0	0\0	1\5
2017	0\0	0\0	0\0	1\9
2018	0\0	0\0	0\0	1\5
2019	0\0	0\0	0\0	0\0

(a: Sıcak hava dalgası sayısı, b: Sıcak hava dalgasının gün olarak ortalama süresi)

Bafra istasyonunun yıllara ve mevsimlere göre gruplandırılmış soğuk hava dalgası özellikleri Tablo 4'te gösterilmektedir. Kış mevsimine ait soğuk hava dalgaları incelendiğinde ilk on beş yılda 5 tane soğuk hava dalgasının olduğu görülmektedir. Son on beş yıla bakıldığında da 5 tane soğuk hava dalgasının olduğu görülmektedir. İlk on beş yıllık süredeki oluşan 5 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresinin 7.6 gün olduğu hesaplanmıştır. Son on beş yılda oluşan 5 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresinin ise 6 gün olduğu hesaplanmıştır. Buna göre soğuk hava dalga sayısı değişmemiş, soğuk hava dalgalarının ortalama süresi ise azalmıştır.

Kış mevsiminde en çok soğuk hava dalgasının olduğu yıl, 2 tane soğuk hava dalgası ile 2002 yılıdır. Soğuk hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıl ise, 9 gün ile 1991 yılıdır.

İlkbahar mevsimine ait veriler incelendiğinde; ilk on beş yıllık süre içerisinde toplamda 8 tane soğuk hava dalgasının olduğu görülmektedir. Son on beş yıllık süre içerisinde ise 3 tane soğuk hava dalgasının olduğu görülmektedir. İlk on beş yıllık süre içerisinde oluşan 8 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresi 8.1 gün olarak hesaplanmıştır. Son on beş yıllık süre içerisinde oluşan 3 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresi de 9 gün olarak hesaplanmıştır. Buna göre soğuk hava dalga sayısı azalmış, soğuk hava dalgalarının ortalama süresi ise artmıştır. İlkbahar mevsiminde soğuk hava dalgaları olaylarının süresinin en fazla olduğu yıl, 12 gün ile 2003 yılıdır.

Yaz mevsiminde oluşan soğuk hava dalgaları incelendiğinde; ilk on beş yıllık süre içerisinde 14 tane soğuk hava dalgasının olduğu görülmektedir. Son on beş yıllık süre incelendiğinde ise 6 tane soğuk hava dalgasının olduğu görülmektedir. İlk on beş yıllık süre içerisinde oluşan 14 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresinin 7.9 gün olduğu hesaplanmıştır. Son on beş yıllık süre içerisinde oluşan 6 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresinin ise 5.6 gün olduğu hesaplanmıştır. Buna göre soğuk hava dalga sayısı ve soğuk hava dalgalarının ortalama süresi azalmıştır. Yaz mevsiminde en çok soğuk hava dalgasının olduğu yıllar, 2 tane soğuk hava dalgası ile 1996, 2000, 2005 ve 2016 yıllarıdır. Soğuk hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıl ise, 12 gün ile 1996 yılıdır.

Sonbahar mevsiminin soğuk hava dalgası değerleri incelendiğinde ilk on beş yıllık sürede 12 tane soğuk hava dalgasının olduğu görülmektedir. Son on beş yıllık sürede ise 4 tane soğuk hava dalgasının olduğu görülmektedir. İlk on beş yıllık süre içerisinde oluşan 12 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresi 7.5 gün olarak hesaplanmıştır. Son on beş yıllık süre içerisinde oluşan 4 tane soğuk hava dalgasının ortalama süresi ise 12.1 gün olarak hesaplanmıştır. Buna göre soğuk hava dalga sayısı azalmış, soğuk hava dalgalarının ortalama süresi ise artmıştır. Sonbahar mevsiminde en çok soğuk hava dalgasının olduğu yıl, 3 tane soğuk hava dalgası ile 1993 yılıdır. Soğuk hava dalgaları olaylarının ortalama süresinin en fazla olduğu yıl ise, 24 gün ile 2011 yılıdır.

Tablo 4: Bafra istasyonu soğuk hava dalgaları

YIL	KIŞ(a\b)	İLKBAHAR(a\b)	YAZ(a\b)	SONBAHAR(a\b)
1990	0\0	0\0	1\6	1\5
1991	1\9	1\8	1\8	1\5
1992	1\6	1\8	1\7	1\9
1993	1\7	1\9	1\9	3\8
1994	0\0	0\0	1\5	1\8
1995	0\0	0\0	0\0	2\8
1996	0\0	1\7	2\12	0\0
1997	0\0	1\7	1\7	0\0
1998	0\0	0\0	0\0	0\0
1999	0\0	0\0	0\0	2\7
2000	0\0	1\9	2\6	0\0
2001	0\0	0\0	1\9	0\0
2002	2\8	0\0	1\7	0\0
2003	0\0	1\12	1\10	0\0
2004	0\0	1\5	1\6	1\9
2005	0\0	1\7	2\5	0\0
2006	0\0	0\0	2\7	0\0
2007	0\0	0\0	0\0	1\9
2008	1\6	0\0	1\5	0\0
2009	0\0	0\0	0\0	0\0
2010	0\0	0\0	0\0	0\0
2011	0\0	1\7	0\0	1\24
2012	1\5	1\11	0\0	0\0
2013	0\0	0\0	0\0	0\0
2014	0\0	0\0	0\0	0\0
2015	1\6	0\0	0\0	0\0
2016	1\5	0\0	1\5	1\11
2017	1\8	0\0	0\0	1\5
2018	0\0	0\0	0\0	0\0
2019	0\0	0\0	0\0	0\0

(a: Soğuk hava dalgası sayısı, b: Soğuk hava dalgasının gün olarak ortalama süresi)

4. Sonuç

Bulgulara göre, Samsun istasyonu için hesaplanan sıcak hava dalgalarından, ilk on beş yıllık süre içerisinde toplamda 5 tane sıcak hava dalgasının oluştuğu ve bu sıcak hava dalgalarının ortalama sürelerinin 7 gün olduğu tespit edilmiştir. Son on beş yıllık süre içerisinde ise toplamda 22 tane sıcak hava dalgasının oluştuğu ve bu sıcak hava dalgalarının ortalama sürelerinin 8 gün olduğu hesaplanmıştır. Bu durumda elde edilen sonuçlara göre, son yıllara doğru, sıcak hava dalga sayılarında ve ortalama sürelerinde, belirgin bir artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir.

Samsun istasyonu için hesaplanan soğuk hava dalgalarından, ilk on beş yıllık süre içerisinde toplamda 49 tane soğuk hava dalgasının oluştuğu ve bu soğuk hava dalgalarının ortalama sürelerinin 7 gün olduğu tespit edilmiştir. Son on beş yıllık süre içerisinde ise toplamda 13 tane soğuk hava dalgasının oluştuğu ve bu soğuk hava dalgalarının ortalama sürelerinin 7 gün olduğu hesaplanmıştır. Bu durumda elde edilen sonuçlara göre, son yıllara doğru, soğuk hava dalga sayılarında büyük oranda bir azalış eğilimi olduğu tespit edilirken, ortalama gün sayılarında belirgin bir değişim olmadığı saptanmıştır. Bafra istasyonu için hesaplanan sıcak hava dalgalarından, ilk on beş yıllık süre içerisinde toplamda 7 tane sıcak hava dalgasının oluştuğu ve bu sıcak hava dalgalarının ortalama sürelerinin 7 gün olduğu tespit edilmiştir. Son 15 yıllık süre içerisinde ise toplamda 27 tane sıcak hava dalgasının oluştuğu ve bu sıcak hava dalgalarının ortalama sürelerinin 7 gün olduğu hesaplanmıştır. Bu durumda elde edilen sonuçlara göre, son yıllara doğru, sıcak hava dalga sayılarında büyük oranda bir artış eğilimi olduğu tespit edilirken, ortalama gün sayılarında belirgin bir değişim olmadığı saptanmıştır.

Bafra istasyonu için hesaplanan soğuk hava dalgalarından, ilk on beş yıllık süre içerisinde toplamda 39 tane soğuk hava dalgasının oluştuğu ve bu soğuk hava dalgalarının ortalama sürelerinin 8 gün olduğu tespit edilmiştir. Son 15 yıllık süre içerisinde ise toplamda 18 tane soğuk hava dalgasının oluştuğu ve bu soğuk hava dalgalarının ortalama sürelerinin 8 gün olduğu hesaplanmıştır. Bu durumda elde edilen sonuçlara göre, son yıllara doğru, soğuk hava dalga sayılarında büyük oranda bir azalma eğilimi olduğu tespit edilirken, ortalama gün sayılarında belirgin bir değişim olmadığı saptanmıştır. Genel olarak bakıldığında, sıcak hava dalgası sayısında ve ortalama süresinde bir artış varken soğuk hava dalgası sayısında ve ortalama süresinde bir azalış vardır. Bu durum, iklim değişikliğinin etkilerini göstermektedir. Çalışmanın sonuçları, Aykır (2017)'nin sonuçları ile uyumludur. Aykır (2017)'nin yaptığı çalışmada tropikal gün, yaz günleri gibi indisler de genel olarak tüm Türkiye için artma eğilimi varken soğuk devre süresi indisinde azalma eğilimi vardır. Sıcak hava dalgası ve soğuk hava dalgası olaylarının daha iyi anlaşılabilmesi için diğer özellikleriyle birlikte birden fazla istasyon için ve hatta tüm Türkiye için çalışılması planlanmaktadır.

Kaynaklar

- Aksu H., (2021), *Nonstationary analysis of the extreme temperatures in Turkey*, Dynamics of Atmospheres and Oceans, 95, 101238, doi: 10.1016/j.dynatmoce.2021.101238.
- Aykır D., (2017), *Türkiye'de ekstrem sıcaklık indislerinin eğilimlerinde şehirleşmenin etkisi*, Türk Coğrafya Dergisi, (69), 47-57.
- Canyılmaz G.C., Efe B., (2020), *Edirne, Tekirdağ, Kırklareli, İstanbul illerinde atmosferik engelleme ve sıcak-soğuk hava dalgaları ilişkisi*, Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 5(3), 611-617.
- Curriero F.C., Heiner K.S., Samet J.M., Zeger S.L., Strug L., Patz J.A., (2002), *Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States*, American Journal of Epidemiology, 155(1), 80-87.
- Çelik S., Bacanlı H., Görgeç H., (2008), *Küresel iklim değişikliği ve insan sağlığı üzerine etkileri*, Telekomünikasyon Şube Müdürlüğü, https://mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/11_kuresel iklimdegisikligietkileri.pdf, [Erişim 20 Şubat 2021].
- Demirtaş M., (2018), *The high-impact 2007 hot summer over Turkey: atmospheric-blocking and heat-wave episodes*, Meteorological Applications, 25(3), 406-413.
- Demirtaş M., (2017), *The large-scale environment of the European 2012 high-impact cold wave: prolonged upstream and downstream atmospheric blocking*, Weather, 72(10), 297-301.
- Frich P., Alexander L.V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M., Klein Tank A.M.G., Peterson T., (2002), *Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century*, Climate Research, 19(3), 193-212.
- Google Labs, (2021), *Google Earth*, <https://www.google.com/intl/tr/earth/>, [Erişim 20 Şubat 2021].
- Hansen A., Bi P., Nitschke M., Ryan P., Pisaniello D., Tucker G., (2008), *The effect of heat waves on mental health in a temperate Australian city*, Environ Health Perspect, 116(10), 1369-1375.
- Özgür E., (2020), *A Comparative Investigation of Temperature Persistence: A Case Study of Western Turkey*, MESAEP 20th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region, 26 - 27 October, Athens, Greece, ss.78.
- Robine J.M., Cheung S.L.K., Le Roy S., Van Oyen H., Griffiths C., Michel J.P., Herrmann F.R., (2008), *Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003*, Comptes Rendus Biologies, 331(2), 171-178.
- Robinson P.J., (2001), *On the definition of a heat wave*, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 40(4), 762-775.
- Türkeş M., (2001), *Hava, iklim, şiddetli hava olayları ve küresel ısınma*, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi: 1, Ankara, ss.187-205.
- Türkeş M., (2008), *Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler*, İklim Değişikliği ve Çevre, 1, 26-37.
- URL-1, (2018), *R Core Team, R: a language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, <https://www.R-project.org/>, [Erişim 16 Şubat 2021].

- Wickham H., (2017), *tidyverse: Easily Install and Load the 'Tidyverse'*, R package version 1.2.1, <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse>, [Erişim 16 Şubat 2021].
- Yang J., Yin P., Sun J.M., Wang B.G., Zhou M.G., Li M.M. et al., (2019), *Heatwave and mortality in 31 major Chinese cities: definition, vulnerability and implications*, Science Total Environment, 649(2019), 695-702.

Çok Değişkenli Kuraklık Frekans Analizi ve Risk Değerlendirmesi: Kahramanmaraş Örneği

Musa Eşit¹, Mehmet İshak Yüce^{2,*}

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman.

²Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep.

Özet

Kuraklık, mevsimsel veya daha uzun süreli yağış eksikliğinin bir sonucu olarak neredeyse tüm iklim bölgelerinde meydana gelen doğal bir afettir. Küresel ısınma, yağış yetersizliği, düşük yağış miktarı ve süresi, düşük bağıl nem ve diğer faktörlerin tümü, kuraklığın yaygınlaşmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada, Kahramanmaraş ilinin çok değişkenli kuraklık frekans analizi ve risk değerlendirilmesi kopula fonksiyonları kullanılarak yapılmıştır. Kuraklık parametreleri (süre ve şiddet), SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) indeksi yöntemi ile elde edildikten sonra, her bir parametreye en uygun marjinal dağılımlar bulunmuştur. Son olarak, elde edilen en uygun marjinal dağılımlara bağlı olarak, en uygun kopula fonksiyonu hesaplandıktan sonra, Kahramanmaraş ilinin kuraklık parametrelerinin şartlı dönüş olasılıkları ve süreleri elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, en yüksek şartlı kuraklık şiddeti dönüş periyodu Kahramanmaraş merkezde görülürken, en düşük dönüş periyoduna ise Elbistan ilçesinde saptanmıştır. En yüksek şartlı kuraklık süresi dikkate alındığında, Afşin ilçesi en yüksek dönüş periyoduna sahip iken (en az riskli), Elbistan ilçesi en kısa dönüş periyoduna sahip olduğu (riskli) gözlemlenmiştir. Elbistan ilinin hem şartlı kuraklık şiddeti hem de kuraklık süresi dönüş periyoduna göre diğer ilçelere ve merkeze göre daha fazla kuraklık riski taşıdığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma, Kahramanmaraş ili için kuraklık risk değerlendirmesi yönetiminde karar vericilere faydalı bilgiler sağlamaktadır.

Anahtar Sözcükler

Kuraklık, Kopula, SPI, Dönüş Periyodu, Kahramanmaraş

Multivariate Drought Frequency Analysis and Risk Assessment: A case study for Kahramanmaraş Province

Abstract

Drought is a natural disaster that occurs in nearly all climatic regions as a result of seasonal or longer-term lack of precipitation. Global warming, insufficient precipitation, low precipitation intensity and duration, low relative humidity and other factors all cause the prevalence of drought. In this study, multivariate drought frequency analysis and risk assessment of Kahramanmaraş province were analyzed by using copula functions. After the drought parameters (duration and severity) were obtained by the SPI (Standardized Precipitation Index) method, the most appropriate marginal distributions were found for each parameter. Finally, depending on the appropriate marginal distributions, the conditional return probabilities and periods of the drought parameters of Kahramanmaraş province were obtained after the most appropriate copula function was calculated. As a result of this study, the highest conditional return period of drought severity was observed in the center of Kahramanmaraş, while the lowest return period was found in the district of Elbistan. Considering the highest conditional drought duration period, Afşin district has the highest return period (least risky), while Elbistan district has the shortest return period (risky). It has been observed that the province of Elbistan has a higher drought risk compared to other districts and the center of Kahramanmaraş according to both the conditional drought severity and the drought duration return period. This study provides useful information to decision makers in the management of drought risk assessment for Kahramanmaraş province.

Keywords

Drought, Copula, SPI, Return Period, Kahramanmaraş

1. Giriş

Kuraklık, yağışlarda keskin bir düşüşle sonuçlanan uzun süreli olağan dışı hidrolojik koşullardan sonra meydana gelmektedir. Temel olarak kuraklık, su mevcudiyetinde uzun süreli bir eksiklik nedeniyle meydana gelen, tekrarlayan, kaçınılmaz ve kalıcı bir olgudur. Hem kurak hem de nemli bölgeleri bir dereceye kadar etkilemektedir (Khan vd. 2018). Kuraklık, tarım, ekonomi ve toplum üzerinde yıkıcı bir hasar potansiyeline sahiptir.

2025 yılına kadar 4 milyar insanın, yani dünya nüfusunun yarısının, özellikle Afrika, Orta Doğu ve Güney Asya'da ciddi su krizi koşulları altında yaşayacağı tahmin edilmektedir (Diwan 2002). Küresel olarak yılda ortalama 6-8 milyar dolara neden olup, 1900'den 2004'e kadar geçen bir yüzyılda on milyondan fazla can kaybına yol açmıştır (Wilhite vd. 2000; Below vd. 2007).

Artan kuraklık olayları dünyanın farklı yerlerinde meydana gelmekte olup, tarım, ekonomi ve çevre üzerinde yıkıcı etkiler bırakmaktadır. Kuraklıklar genellikle (a) yağış miktarının yetersiz olduğu ay veya yıl içinde uzun bir zaman aralığı olan 'meteorolojik kuraklık' (b) toprak nemi normal seviyenin altına düştüğünde meydana gelen "tarımsal kuraklık" ve (c) su depolama, akarsu akışı ve yeraltı suyu seviyeleri gerekli seviyenin altında olduğunda meydana gelen 'hidrolojik kuraklık' olarak tanımlanmaktadır (Mishra ve Singh 2010). Kuraklık ayrıca zamanlama (yani kuraklığın ana mevsimde meydana gelmesi, musonların değişmesi) ve yağışın özellikleri (yağışın miktarı, toplam yağış olaylarının sayısı, vb.) ile de açıklanabilir (Mishra vd. 2016; Esit vd. 2021).

Kuraklık indeksleri, yağış, buharlaşma ve sıcaklık gibi hava değişkenlerini entegre ederek kuraklığı izlemek için oluşturulmuştur. Meteoroloji istasyonlarından elde edilen meteorolojik verilere dayanan kuraklık indeksleri, kuraklığın izlenmesinde özellikle etkilidir. Örneğin, Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI) (Palmer 1965), Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) (McKee vd. 1993) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) (Vicente-Serrano vd. 2010) meteorolojik kuraklığı izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu indeksler arasında SPI, bilim camiası tarafından en yaygın olarak kullanılan (Park vd. 2017; Zhang vd. 2017; Yuce ve Esit 2021) ve basitliği nedeniyle sıklıkla diğer indekslerin kesinliğini değerlendirmek için kullanılır.

Kuraklık, süre ve şiddet olarak iki bileşenle karakterize edilir. Hidrolojik ve meteorolojik olayların frekans analizi temel olarak uygun dağılımın seçilmesi ve seçilen dağılım parametrelerinin tahmini olarak iki adımdan oluşur. Birçok çalışma, meteorolojik ve hidrolojik değişkenlerin tek değişkenli analizi için dağılım fonksiyonlarının kullanımını tartışmıştır. Gumbel, Weibull, Gamma ve Lognormal gibi iki parametrelili dağılımları, GEV (El Adlouni vd. 2007; Cannon 2010; Eris vd. 2019) ve Pearson tip III dağılımı gibi üç parametrelili dağılımları içeren hidrolojik çalışmalarda birçok olasılık dağılımı kullanılmıştır (Chen vd. 2015). Yaygın olarak kullanılan geleneksel çok değişkenli kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) Gauss olup, ancak marjinal dağılım işlevlerinin normal olması gereken kısıtlamalara sahiptir. Daha sonra, üstel iki değişkenli dağılım (Favre vd. 2002), iki değişkenli gama dağılımı (Yue vd. 2001) ve uç değerlerin iki değişkenli dağılımı (Adamson vd. 1999) gibi normal olmayan marjinal dağılım fonksiyonlarına sahip iki değişkenli dağılımlar önerilmiştir. Kuraklıklar karmaşık olaylar olduğundan, tek başına bir değişken kuraklıkların kapsamlı bir değerlendirmesini sağlayamaz (Shiau vd. 2006). Bu nedenle, tek değişkenli kuraklık özelliklerine dayalı bir analiz, kuraklık bileşenleri arasında önemli bir ilişki yakalayamaz. Öte yandan, kopulalar, çok değişkenli dağılımlar için genel bir form sağlayıp, marjinal dağılımlara ve çok çeşitli korelasyon yapılarına izin vermektedir. Kopula teorisi ilk olarak Sklar (1959) tarafından tanıtılmış ve daha sonra hidroloji alanında çok sayıda araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Nabaei vd. 2019; Won vd. 2020; Das vd. 2020; Topçu 2022; Tosunoglu ve Can 2016; Afshar vd. 2020). Kopula fonksiyonları, geleneksel iki değişkenli dağılım fonksiyonlarının sınırlamalarına sahip değildir. Farklı tek değişkenli marjinal dağılım fonksiyonlarını birbirine bağlayarak çok değişkenli dağılım fonksiyonları oluşturabilir ve verilerin bağımlılık yapısını daha kesin olarak tanımlayabilirler. Şimdiye kadar hidroloji ve su kaynakları alanlarında kopula fonksiyonlarının kullanılması, yağışın frekans analizi (Qian vd. 2018; Li vd. 2019; Ramezani vd. 2019), taşkın kuraklık analizi (Zhou vd. 2019) ve kuraklık frekans analizi (Vo vd. 2020; Esit ve Yuce 2021) şeklinde özetlenebilir. Liu vd. (2011), Çin'in Guangdong eyaletinde kuraklık riskini değerlendirmek için iki değişkenli bir kopula kullanmış olup, kuraklık süresi için Üstel dağılımı ve kuraklık şiddeti için ise Gama dağılımı ile Clayton kopulası kullanmıştır. Mirabbasi vd. (2012) İran'ın kuzeybatısındaki Sharafkhaneh ölçüm istasyonunun meteorolojik kuraklık özelliklerinin analizine Galambos kopulalarını uygulamış ve Galambos kopulalarının iki değişkenli analizler için iyi performans gösterebileceğini açıklamıştır. Zhang vd. (2013), hidrolojik kuraklıkları Gumbel-Hougaard, Clayton, Plackett ve aşırı değerli kopulalar dahil olmak üzere dört farklı kopula ile modellemeye çalışmış ve kopulalar için uygunluk testleri Plackett kopulasının hidrolojik kuraklık serisine dört istasyonda iyi uyduğunu göstermiştir. Bu kopula, tüm hidrolojik istasyonların hidrolojik kuraklık için ikincil dönüş sürelerinin hesaplanmasında da kullanılmıştır. Reddy ve Ganguli (2013) Hindistan'ın batı Rajasthan bölgesindeki kuraklığın mekansal-zamansal analizi için Gumbel-Hougaard, Frank ve Plackett dahil üç kopula arasındaki üst kuyruk bağımlılığını incelemiştir. Ayrıca, kuraklığın hem süresi hem de şiddeti, kuraklığın değerlendirilmesinde ve yönetiminde önemli bir rol oynadığından, Shiau (2006) bu çalışmada yapılacak olan iki durum için kuraklıkların ortak geri dönüş süresini tanımlamıştır.

Bu çalışmada, Kahramanmaraş ilinin kopula fonksiyonlarını kullanarak çok değişkenli kuraklık frekans analizi ve risk değerlendirmesi yapılmıştır. Kuraklık süresi ve şiddeti dikkate alınarak şartlı olasılık özellikleri ve dönüş süreleri detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

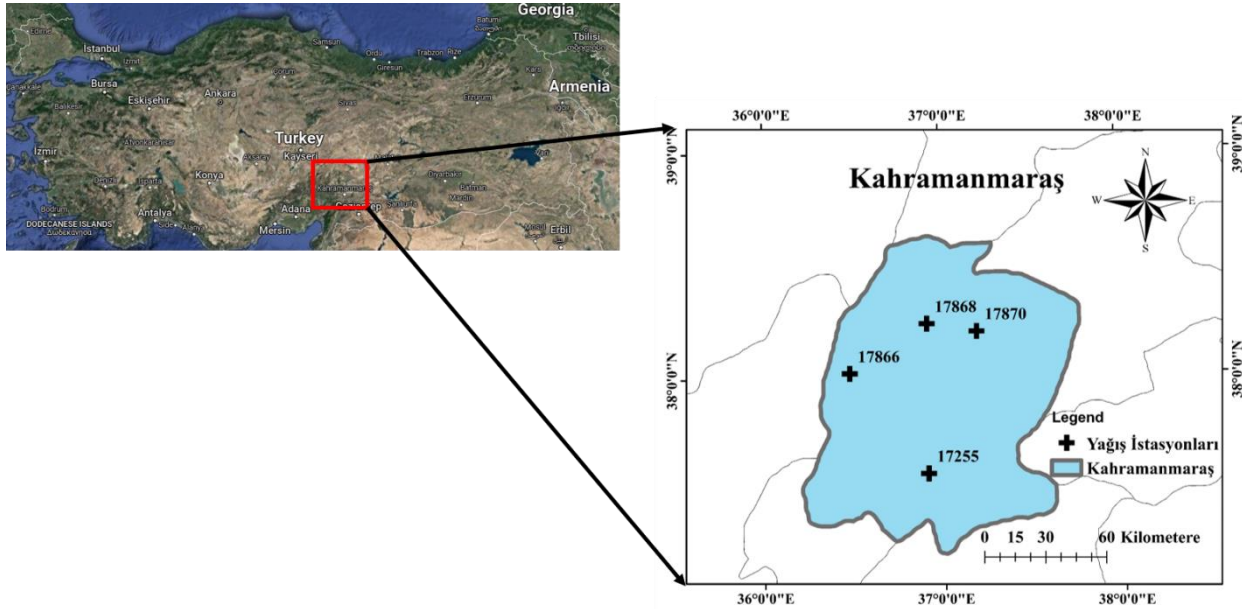
2. Çalışma Bölgesi ve Veri

Kahramanmaraş ilinin yüzölçümü 14.525 km²'dir. Kahramanmaraş'ın enlemi 37.57, boylamı 36.92'dir. İlin kuzey arazileri oldukça dağlıktır. Yer şekilleri genellikle Güneydoğu Toros Dağları'nın uzantısı olan dağlardan ve bunlar arasındaki yarık vadi alanlarından oluşur. Arazilerin yükseltisi 350 m ile 3000 m arasında değişmekte olup, il geniş ovalara sahiptir. Bu ovalar sırasıyla Gavur, Maraş, Göksun, Aşağı Göksun, Afşin, Elbistan, Andırın, Mizmilli, Narlı ve İnekli ovalarıdır.

İldeki başlıca dağlar Nurhak, Binboğa, Engizek, Uludaz ve Ahırdağı'dır. Başlıca su kaynakları Ceyhan Nehri ile Aksu, Bertiz, Erkenez, Göksu, Göksun, Hurman, Körsulu, Sarsap ve Söğütlü çaylarıdır. Kahramanmaraş, Akdeniz iklim kuşağındadır. Akdeniz İklimine tam olarak uyum sağladığı için kışları ılık ve yağışlı, yazları sıcak ve kuraktır. 1000 metreden yüksek seviyelerde kışlar soğuk ve kar yağışlı, yazlar ise nispeten serin Akdeniz dağ iklimidir. İlin Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki arazilerde yaz ve kış arasındaki sıcaklık farkı daha fazla olup iklim karasal olup, yağışlar daha çok ilkbaharda görülür (URL-1 2021). Bu çalışmada kullanılan yağış verilerinin ortalama, standart sapma, değişim (Cv), çarpıklık (Cs) ve oto korelasyon (r1) katsayısı gibi istatistik bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. 17866, 17868 ve 17870 istasyonları sırasıyla Göksun, Afşin, Elbistan ilçelerinde ve 17255 istasyonu ise Kahramanmaraş merkezde bulunmaktadır. Şekil 1'de meteoroloji gözlem istasyonlarının dağılımını göstermektedir.

Tablo 1: Kahramanmaraş meteoroloji gözlem istasyonu yağış verilerine ait istatistiki bilgiler

İstasyon	İlk Gözlem Yılı	Son Gözlem Yılı	Enlem	Boylam	Ortalama	St. Sapma	Cv	Cs	r1
17866	1963	2011	38.0240	36.4823	51.19	46.29	0.90	1.07	0.39
17868	1970	2011	38.2405	36.9190	35.31	31.16	0.88	0.99	0.34
17870	1963	2011	38.2038	37.1982	33.30	28.87	0.87	0.97	0.33
17255	1963	2016	37.5760	36.9150	60.39	65.57	1.09	1.27	0.50



Şekil 1: Meteoroloji gözlem istasyonlarının şehir üzerindeki dağılımı

3. Metodoloji

3.1 Standart Yağış İndeksi (SPI)

Bu çalışmada, SPI indeksini hesaplamak için gama dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Gama fonksiyonu Thom (1966) tarafından şu şekilde tanımlanır:

$$g(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

burada α ve β sırasıyla şekil ve ölçek parametreleri olup, Γ sıradan bir gama fonksiyonudur. Bu α ve β parametreleri Thom (Thom 1966) ve Edwards (Edwards 1997) izlenerek tahmin edilebilir. Gama fonksiyonunun Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF) şu şekilde elde edilebilir:

$$G(x) = \int_0^x g(t) dt \quad (2)$$

Gama fonksiyonunun zaman serilerine sıfır değerleriyle uyma sınırlamasının üstesinden gelmek için [Thom \(1951\)](#), karışım dağılım fonksiyonunu aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemde, sıfır olasılığı, $q = m/n$ olarak hesaplanır; burada m ve n , sırasıyla sıfır değerlerinin sayısı ve örnek zaman serisi sayısıdır. Son olarak, gama dağılımı, SPI'yi tahmin etmek için Abramowitz ve Stegun ([Abramowitz ve Stegun 1965](#)) tarafından açıklanan prosedür kullanılarak normalleştirilir. SPI'nin negatif değerleri yağış eksikliğini göstermekte olup, meteorolojik kuraklık olarak anlaşılır ([Aksoy vd. 2018](#)).

3.2 Kuraklık Parametreleri

Kuraklık parametreleri, [Yevjevich \(1967\)](#) tarafından önerilen “Runs teorisi” kullanılarak hesaplanmıştır. Sıfırdan küçük SPI değeri kuraklık olarak kabul edilir. Her kuraklık olayının D (süre) ve S (Şiddet) değerleri, denklem (4) yardımıyla runs teorisi kullanılarak çıkarılır; burada D , SPI'nin sıfırdan küçük olduğu ardışık ayların sayısıdır. S , D dönemi boyunca kümülatif SPI'nin mutlak değeridir. Tablo 2’de SPI indeksine göre kuraklık kategorileri verilmiştir.

$$S = -\sum_{i=1}^D SPI_i \quad (4)$$

Tablo 2: SPI indeksine göre ıslak dönem ve kuraklık kategorileri

SPI	Kuraklık Kategorisi
≥ 2	Çok şiddetli yağışlı
$1.50 \sim 1.99$	Çok yağışlı
$1.00 \sim 1.49$	Orta şiddetli yağışlı
$0.99 \sim 0$	Normal
$0 \sim -0.99$	Hafif kuraklık
$-1.00 \sim -1.49$	Orta şiddetli kuraklık
$-1.50 \sim -1.99$	Şiddetli kuraklık
≤ -2	Çok şiddetli kuraklık

3.3 Tek Değişkenli Kuraklık Parametrelerin Dağılımlarının Bulunması

Kuraklık özelliklerinin ortak dağılımlarla modellenmesinde iyi bir performans, temel olarak S ve D verilerine en iyi uyan marjinal dağılımların uygun seçimine bağlıdır. Burada Lognormal, Lojistik, Gamma, Üstel, Weibull ve Normal dağılımlar olmak üzere altı olasılık dağılımının uygunluğu test edilmiştir. Bu dağılımların yoğunluk dağılım fonksiyonlarına ait denklemler Tablo 3’te verilmiştir. Her kuraklık parametresi için kullanılan dağılımların uygunluğu Akaike Bilgi Kriteri (AIC), Bayes Bilgi Kriteri (BIC) ile test edilmiştir. AIC ve BIC denklem 5 ve 6’ya göre hesaplanmaktadır.

$$AIC = -2(\ln(\text{likelihood})) + 2K \quad (5)$$

$$BIC = -2\log p(L) + p\log(n) \quad (6)$$

Burada p , tahmin edilen parametre sayısı ve n , gözlem sayısıdır. Burada minimum AIC ve BIC ile en iyi model olarak seçilmektedir.

Tablo 3: Kuraklık parametreleri için kullanılan marjinal dağılımlar

Dağılım	Denklem
Lognormal	$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_Y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu_Y}{\sigma_Y}\right)^2}, \quad 0 < x < \infty$
Lojistik	$f_X(x) = \frac{e^{-\frac{x-\mu}{s}}}{s\left(1 + e^{-\frac{x-\mu}{s}}\right)^2}, \quad -\infty < x < \infty$
Gamma	$f_{(x)} = \frac{\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\beta}\right)}{\beta\Gamma(\gamma)} \quad x \geq \mu; \gamma, \beta > 0$
Üstel	$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{(x-\mu)}{\beta}} \quad x \geq \mu; \beta > 0$
Weibull	$f(x) = \frac{\gamma}{a} \left(\frac{x-\mu}{a}\right)^{\gamma-1} \exp\left(-\left(\frac{x-\mu}{a}\right)^\gamma\right) \quad x \geq \mu; \gamma, a > 0$
Normal	$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$

3.4 Kopula Teorisi

Kopula fonksiyonları, tek değişkenli marjinal dağılımlardan çok değişkenli dağılımlar oluşturmak için kullanılır. Tekniğin teorik temeli Sklar (1959) tarafından tanımlanmıştır. Birçok kopula fonksiyonu olmasına karşın, Arşimet kopula fonksiyonları genel olarak hidrolojik ve meteorolojik alanlarda kullanılmaktadır. Kopula işlevleri, $[0,1]$ aralığında düzgün dağılmış değişkenlerle çok değişkenli dağılım işlevleri, $P(x_1, : : : , x_n)$ olarak tanımlanır. Sklar teoremine göre, iki rasgele değişken x ve y sırasıyla marjinal dağılım fonksiyonu $F_X(x)$ ve $F_Y(y)$ olarak düşünülürse, bu iki farklı marjinali birbirine bağlamak için modellenen $F_{X,Y}(x, y)$ benzersiz bir kopula C vardır. C aşağıdaki formülle matematiksel olarak ifade edilir;

$$f_{X,Y}(x, y) = C(F_X(x), F_Y(y)) \quad (7)$$

Denklem 7’de görüldüğü gibi, bir kopula tek değişkenli bir dağılıma göre çok değişkenli bir dağılım ile tanımlanabilmektedir. Kullanılan Kopula fonksiyonlarına ait denklemler Tablo 4’de detaylı bir şekilde verilmiştir. Marjinal dağılımlara bağlı olarak kullanılacak en iyi kopula fonksiyonu AIC, BIC ve MLE (Maksimum olabilirlik yöntemi) yöntemleri ile performansları test edilmiştir

Tablo 4: Bu çalışmada kullanılan Kopula fonksiyonlarının tanımı

Copula	Function	Support
Gaussian copula	$C(u_1, u_2) = \int_{-\infty}^{u_2} \int_{-\infty}^{u_1} \frac{1}{2\pi(1-p^2)^{\frac{1}{2}}} \exp\left\{-\frac{x_1^2 + x_2^2 - 2px_1x_2}{2(1-p^2)}\right\} dx_1 dx_2$	$x_1, x_2 \in \mathbb{R}$
Student t copula (t-copula)	$C(u_1, u_2) = \int_{-\infty}^{u_2} \int_{-\infty}^{u_1} \frac{1}{2\pi(1-p^2)^{\frac{1}{2}}} \exp\left\{1 + \frac{x_1^2 + x_2^2 - 2px_1x_2}{v(1-p^2)}\right\}^{-\frac{(v+2)}{2}} dx_1 dx_2$	$x_1, x_2 \in \mathbb{R}$
Clayton copula	$C(u_1, u_2) = (u_1^{-\theta} + u_2^{-\theta} - 1)^{-\frac{1}{\theta}}$	$\theta \in [0, \theta)$
Gumbel copula	$C(u_1, u_2) = \exp\left\{-[(-\ln u_1)^\theta + (-\ln u_2)^\theta]^{\frac{1}{\theta}}\right\}$	$\theta \in [1, \infty)$
Frank copula	$C(u_1, u_2) = -\frac{1}{\theta} \ln\left[1 + \frac{(e^{-\theta u_1} - 1)(e^{-\theta u_2} - 1)}{e^{-\theta} - 1}\right]$	$\theta \in \mathbb{R}$
Joe copula	$C(u_1, u_2) = 1 - [(1 - u_1)^\theta + (1 - u_2)^\theta - (1 - u_1)^\theta(1 - u_2)^\theta]^{\frac{1}{\theta}}$	$\theta \in [0, \theta)$
BB1 copula	$C(u_1, u_2) = \left\{1 + [(u_1^{-\theta} - 1)^\delta + (u_2^{-\theta} - 1)^\delta]^{\frac{1}{\delta}}\right\}^{-\frac{1}{\theta}}$	$\theta > 0, \delta \geq 1$
BB6 copula	$C(u_1, u_2) = 1 - \left(1 - \exp\left\{-\left[(-\log(1 - (1 - u_1)^\theta))^\delta + (-\log(1 - (1 - u_2)^\theta))^\delta\right]^{\frac{1}{\delta}}\right\}\right)^{\frac{1}{\theta}}$	$\theta \geq 1, \delta \geq 1$
BB7 copula	$C(u_1, u_2) = 1 - \left(1 - \left[(1 - (1 - u_1)^\theta)^{-\delta} + (1 - (1 - u_2)^\theta)^{-\delta} - 1\right]^{\frac{1}{\delta}}\right)^{\frac{1}{\theta}}$	$\theta \geq 1, \delta > 0$
BB8 copula	$C(u_1, u_2) = \delta^{-1} \left(1 - \left\{1 - \frac{[1 - (1 - \delta u_1)^\theta][1 - (1 - \delta u_2)^\theta]}{1 - (1 - \delta)^\theta}\right\}^{\frac{1}{\theta}}\right)$	$\theta \geq 1, \delta \in (0, 1]$

3.5 Şartlı (Conditional) Dönüş Aralığı Tahmini

Kuraklık süresi çeşitli eşik değerleri aşan kuraklık şiddetinin şartlı olasılığı d' ile gösterilir. Kuraklık şiddeti çeşitli eşik değerleri aşan kuraklık süresinin şartlı olasılığı s' ile gösterilir. Şartlı olasılıklar denklem 8 ve 9 kullanılarak elde edilir.

$$P(S \leq s | D \geq d') = \frac{P(D \geq d', S \leq s)}{P(D \geq d')} = \frac{F(s) + F(d', s)}{1 - F(d')} = \frac{F_S(s) - C(F_D(d'), F_S(s))}{1 - F_D(d')} \quad (8)$$

Benzer bir şekilde

$$P(D \leq d | S \geq s') = \frac{P(D \leq d, S \geq s')}{P(S \geq s')} = \frac{F(d) - F(d, s')}{1 - F(s')} = \frac{F_D(d) - C(F_D(d), F_S(s'))}{1 - F_S(s')} \quad (9)$$

Şartlı kuraklık süresi ve şiddet geri dönüş süresi, aşağıdaki iki durum için koşullu durumlar olarak türetilir.

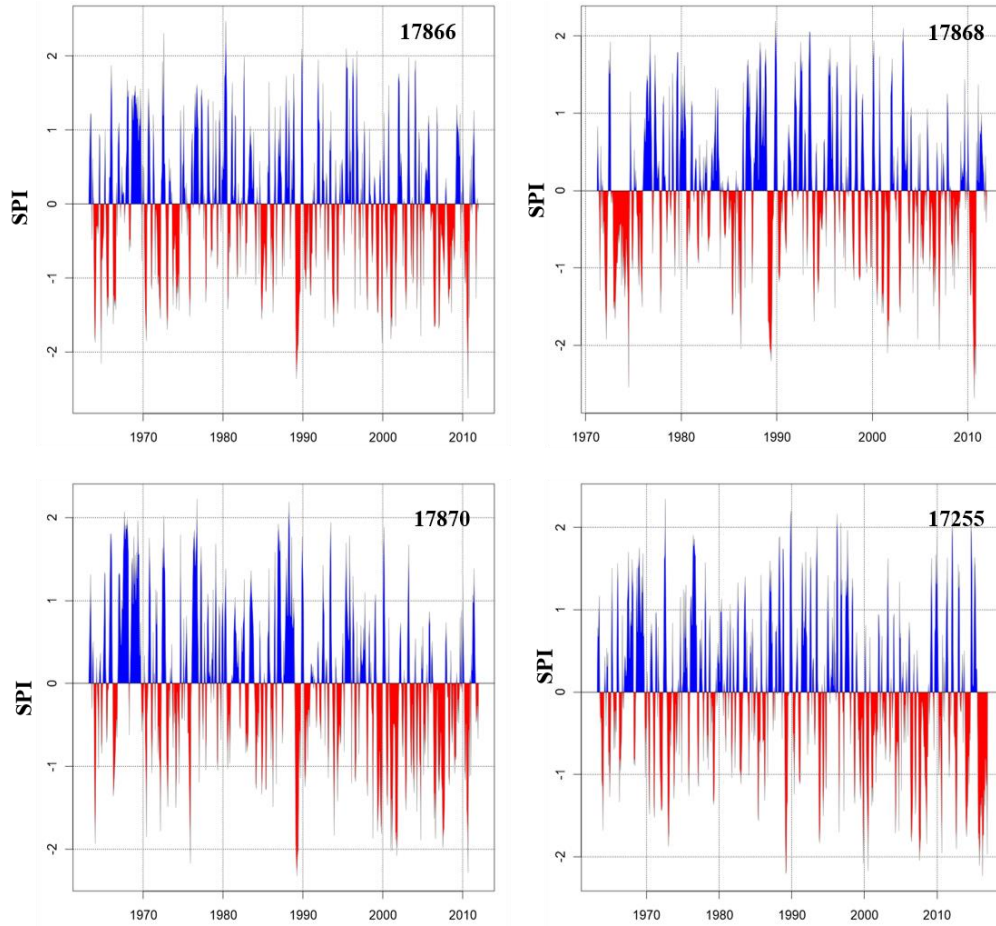
$$T_{D|S \geq s} = \frac{T_S}{P(D \geq d, S \geq s)} = \frac{E(L)}{[1 - F_S(s)][1 - F_D(d) - F_S(s) + C(F_D(d), F_S(s))]} \quad (10)$$

$$T_{S|D \geq d} = \frac{T_D}{P(D \geq d, S \geq s)} = \frac{E(L)}{[1 - F_D(d)][1 - F_D(d) - F_S(s) + C(F_D(d), F_S(s))]} \quad (11)$$

4. Sonuçlar ve Tartışma

4.1 Kuraklık Süresinin ve Şiddetinin Marjinal Dağılımlarının Hesaplanması

Bu çalışmada, ilk olarak Kahramanmaraş bölgesinde belirlenen dört meteoroloji yağış istasyonunun verilerinden faydalanılarak SPI 3 aylık zaman ölçeği için hesaplama yapılmış olup, denklem 4'e göre kuraklık süresi ve şiddeti belirlenmiştir. SPI 3 aylık zaman serisi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Kahramanmaraş ilinde bulunan yağış istasyonlarının SPI 3 aylık zaman serisi

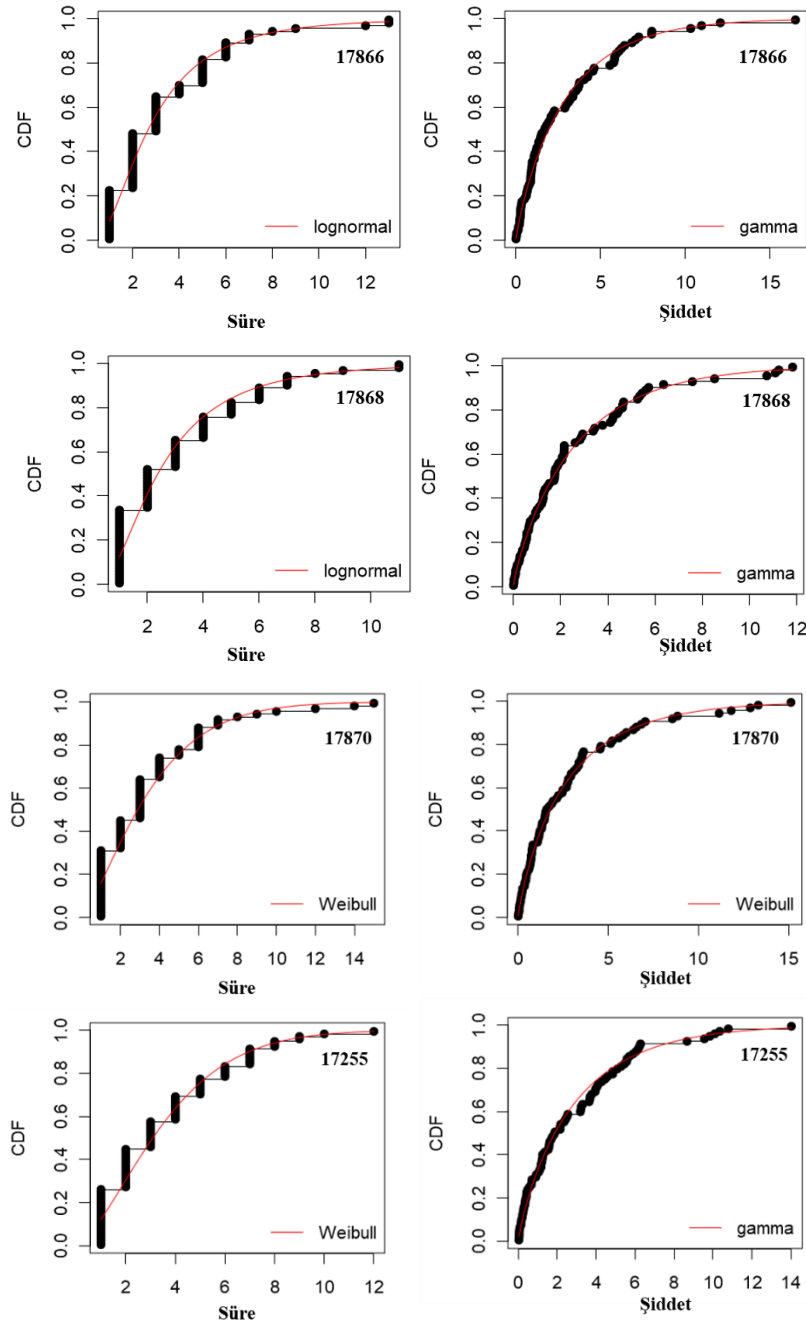
Kuraklık süresi ve şiddeti elde edildikten sonra, yaygın olarak literatürde kullanılan marjinal dağılımların hangisine uygunluğu AIC, BIC performans testleri ile ölçülmüştür. Test sonuçları Tablo 5’te verilmiştir. Performans test sonuçlarına göre, 17866 ve 17868 istasyonlarının kuraklık süreleri için en uygun dağılım Lognormal olarak hesaplanırken, kuraklık şiddeti için en uygun dağılım Gamma dağılımı olarak belirlenmiştir. Bu dağılımlar belirlenirken minimum AIC ve BIC değerleri dikkate alınmıştır. 17870 istasyonu için en uygun dağılım hem kuraklık süresi hem de kuraklık şiddeti için Weibull dağılımı bulunmuştur. 17255 istasyonu ise en uygun dağılımlar kuraklık süresi ve şiddeti için sırasıyla Weibull ve Üstel dağılımlar olarak hesaplanmıştır. Şekil 3, belirlenen en uygun dağılım için gözlemlenen kuraklık süresini ve şiddetinden elde edilen kümülatif dağılım fonksiyonunu göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan dağılımların parametreleri MLE yöntemi ile hesaplanmıştır. Tablo 6’da bulunan en uygun marjinal dağılımların parametresi verilmiştir.

Tablo 5: Kuraklık parametreleri için en uygun dağılımın hesaplanması

İstasyon No	Parametre	Test	Lognormal	Lojistik	Gamma	Üstel	Weibull	Normal
17866	D(Süre)	AIC	326.7158	368.8175	333.7710	351.7072	338.8497	379.0244
		BIC	331.4293	373.5309	338.4844	354.0640	343.5631	383.7378
	S(Şiddet)	AIC	341.3825	395.0736	329.3022	328.5278	329.3079	404.7017
		BIC	346.0959	399.7871	334.0157	330.8846	334.0213	409.4151
17868	D(Süre)	AIC	306.3870	349.7716	312.9967	327.5137	316.7111	353.6000
		BIC	311.0485	354.4331	317.6582	329.8444	321.3725	358.2615
	S(Şiddet)	AIC	316.9227	365.9725	302.1615	301.6947	302.3172	375.7804
		BIC	321.5842	370.6339	306.8230	304.0254	306.9787	380.4418
17870	D(Süre)	AIC	338.1219	387.1144	350.5044	357.6506	346.3982	399.1462
		BIC	342.8608	391.8533	355.2433	360.0200	351.1371	403.8850
	S(Şiddet)	AIC	340.6663	405.4975	330.0006	330.8167	329.7711	418.5396
		BIC	345.4052	410.2364	334.7395	333.1862	334.5100	423.2785
17255	D(Süre)	AIC	376.0463	408.5607	373.5530	392.3089	371.1694	408.1369
		BIC	380.9550	413.4694	378.4617	394.7632	376.0781	413.0456
	S(Şiddet)	AIC	375.3956	428.1498	359.8330	359.5771	360.1429	434.5221
		BIC	380.3043	433.0585	364.4858	362.2874	365.0516	439.4308

Tablo 6: Belirlenen en uygun dağılımların parametresi

İstasyon No	Kuraklık Parametresi	En uygun Dağılım	Dağılım Parametresi
17866	D(Süre)	Lognormal	Meanlog = 0.9827536, sdlog= 0.7167696
	S(Şiddet)	Gamma	Shape= 0.8600374, rate= 0.2882366
17868	D(Süre)	Lognormal	Meanlog =0.8637187, sdlog= 0.7458214
	S(Şiddet)	Gamma	Shape=0.8436267, rate= 0.3192193
17870	D(Süre)	Weibull	Shape=1.309901, scale= 3.820498
	S(Şiddet)	Weibull	Shape= 0.8623985, scale= 2.7334083
17255	D(Süre)	Weibull	Shape=1.476993, scale= 3.957718
	S(Şiddet)	Üstel	Shape=0.8245887, rate=0.2799218



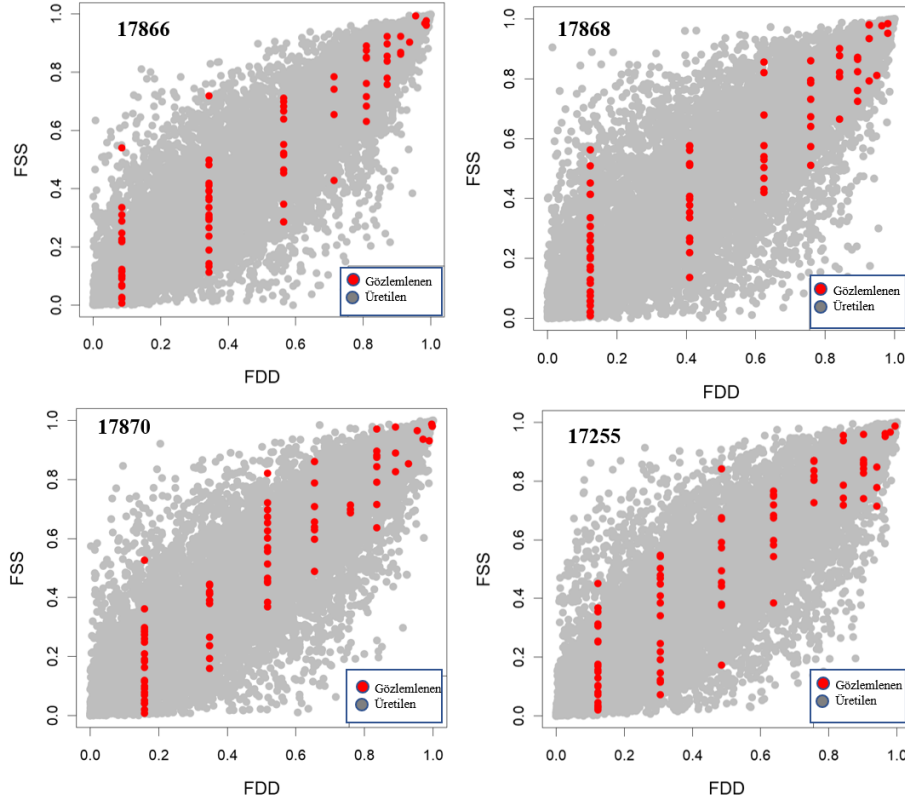
Şekil 3: En uygun dağılımla gözlemlenen kuraklık süresi ve kuraklık şiddetinden elde edilen kümülatif dağılım fonksiyonu

4.2 Kuraklık Süresi ve Şiddeti için Kopula Fonksiyonunun Belirlenmesi

Gözlemlenen kuraklık süresi ve şiddeti, farklı dağılımlara en iyi şekilde uygunluk gösterdiğinden, yaygın olarak kullanılan iki değişkenli dağılımlar uygulanamaz. 17870 istasyonu kuraklık süresi ve şiddeti aynı dağılıma (Weibull) uymasına rağmen, geriye kalan diğer istasyonların kuraklık parametreleri farklı dağılıma uymuşlardır. Bu çalışmada, kuraklık süresi ve şiddeti için kopula tabanlı iki değişkenli dağılım elde edilmiştir. Gaussian, Student t, Frank, Clayton, Gumbel, Frank, Joe, BB1, BB6, BB7 ve BB8 kopulaları, veriye en uygun kopulayı seçmek için test edilmiştir. En iyi kopula fonksiyonunu bulmak için AIC, BIC ve MLE testleri kullanılmıştır. Tablo 7’de kopula fonksiyonları arasında kuraklık parametreleri için en uygun kopula fonksiyonunu göstermektedir. 17866, 17868 ve 17870 istasyonları için en uygun Gumbel kopulası hesaplanırken, 17255 istasyonu için en uygun BB1 kopulası bulunmuştur. En uygun kopulalar en düşük AIC, BIC ve MLE değerine göre hesaplanmıştır. Belirlenen kopulaların uygunluğu grafiksel olarak Şekil 4’te de gösterilmiştir. Gumbel kopulası ile üretilen 1000 veri (u, v) ile gözlemlenen veriler arasında iyi bir ilişki olduğu görülmektedir.

Tablo 7: Kuraklık parametreleri için en uygun kopula fonksiyonu

İstasyon No	En uygun Kopula	MLE	AIC	BIC	Par 1	Par 2	Kendal Tau
17866	Gumbel	65.91	-129.82	-127.46		3.39	0.7742853
17868	Gumbel	53.46	-104.92	-102.59		2.87	0.7432819
17870	Gumbel	57.78	-113.56	-111.19		3.12	0.7949323
17255	BB1	62.9	-121.79	-116.88	0.12	2.84	0.743422



Şekil 4: Gözlemlenen (kırmızı nokta) ve en uygun kopula tarafında üretilen (Gri nokta) rastgele veriler ile karşılaştırılması

4.3 Şartlı Dönüş Olasılıkları ve Sürelerinin Belirlenmesi

Kuraklık etkisi altında su kaynakları, temini ve yapılarının planlanması ve yönetiminin daha güvenli şekilde yapılabilmesi için önemli kuraklık parametrelerinin (süre, şiddet ve yoğunluk) alacağı değerlerin ortak ve şartlı dönüş periyotlarının (ya da farklı dönüş periyotları için bu parametrelerin alacağı değerlerin) bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle ilk olarak, bir önceki bölümde olasılık dağılımları belirlenen kuraklık süre ve şiddet parametrelerinin 2, 5, 10, 50 ve 100 yıllık dönüş periyotları için alacağı değerler ayrı ayrı aşağıdaki denklemler yardımıyla elde edilmiştir.

$$T_D = \frac{E(L)}{1-F_D(d)} \quad , \quad T_S = \frac{E(L)}{1-F_S(s)} \quad (12)$$

Burada, L kuraklık zaman aralığını, T_D ve T_S sırasıyla kuraklık süresinin ve şiddetinin belirli değere eşit ve büyük olması durumundaki dönüş periyodunu ifade etmektedir. Kuraklık süresi ve şiddeti için kendi marjinal dağılımları dikkate alınarak hesaplanan dönüş periyodu Tablo 8'da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, kuraklık süresinin 16 aya eşit veya yüksek olması durumunda hesaplanan dönüş periyodu 17866 istasyonu için 100 yıl olarak hesaplanmış olup, bu dönüş periyoduna karşılık gelen kuraklık şiddeti ise 16.45 olarak belirlenmiştir. Her bir değişken ayrı olarak incelendiğinde farklı sonuçlar vermektedir. Örneğin, dönüş periyodu 200 yıl olarak ele alındığında kuraklık süresi 17866 istasyonu için 18.99, 17868 istasyonu için 18.83, 17870 istasyonu için 14.56 ve son olarak 17255 istasyonu için 12.98 ay olarak hesaplanmıştır. Kuraklık şiddeti olarak incelendiğinde 17866 istasyonu için 18.80, 17868 istasyonu için 17.22, 17870 istasyonu için 20.86 ve 17255 istasyonu için ise 19.04 olarak bulunmuştur.

Kuraklık parametreleri birbirleri arasında güçlü bir bağlantıya sahip olduklarında ötürü, ayrı ayrı incelemek yerine, ortak değerlendirmeleri sonucunda şartlı ve ortak dönüş periyotlarının hesaplanması, kuraklığın daha iyi anlaşılmasına su yönetimi gibi problemlerin çözümüne daha iyi ışık tutacaktır.

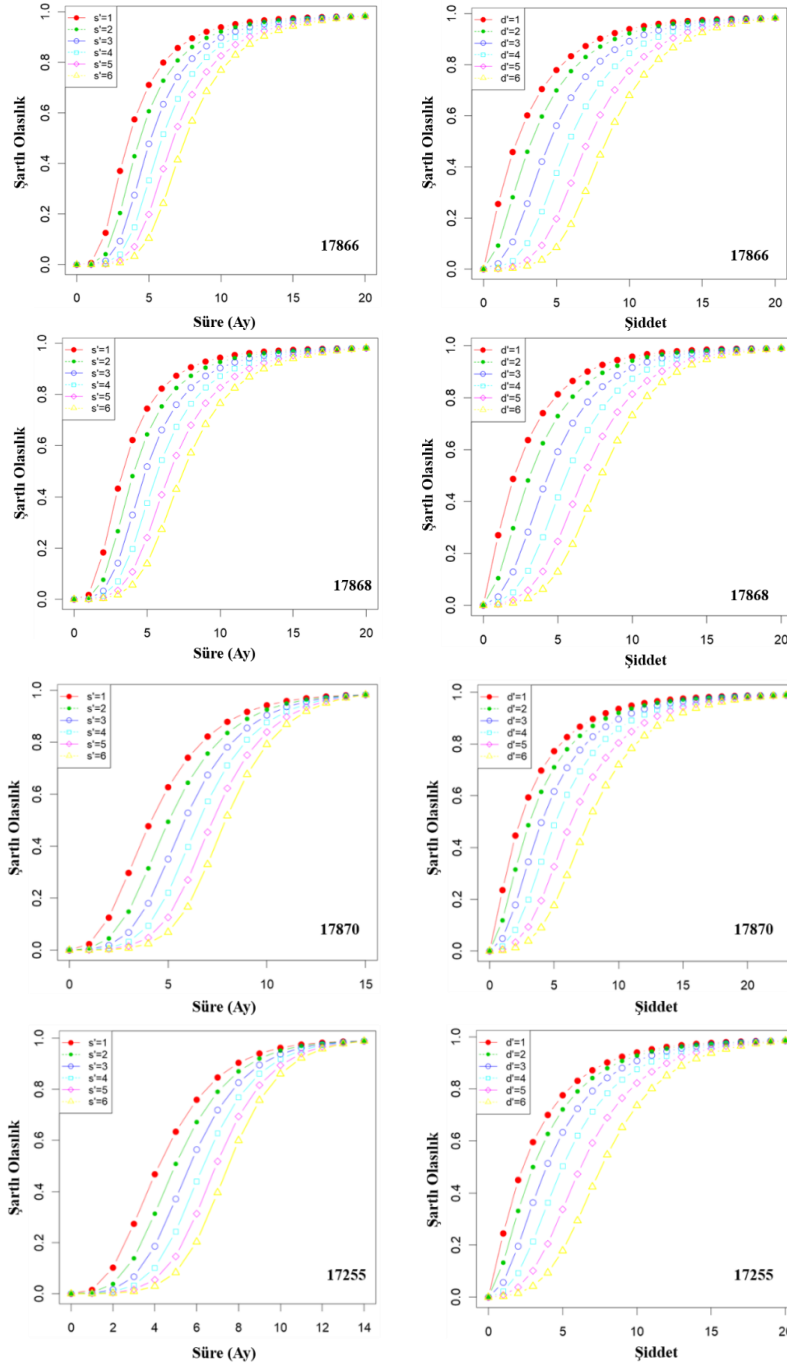
Tablo 8: Tek değişkenli kuraklık süresinin ve şiddetinin dönüş periyodu

İstasyon No	Dönüş Periyodu	D (Kuraklık süresi, ay)	S (Kuraklık Şiddeti)
17866	10	8.04	8.71
	20	10.17	11.02
	50	13.34	14.10
	100	16.03	16.45
	200	18.99	18.80
	500	23.36	21.91
17868	10	7.83	8.14
	20	9.94	10.22
	50	13.11	13.00
	100	15.82	15.11
	200	18.83	17.22
	500	23.30	20.03
17870	10	8.33	8.92
	20	9.87	11.56
	50	11.81	15.17
	100	13.21	17.98
	200	14.56	20.86
	500	16.30	24.75
17255	10	7.92	8.73
	20	9.20	11.09
	50	10.78	14.24
	100	11.90	16.63
	200	12.98	19.04
	500	14.34	22.23

Kopula, kuraklık süresinin ve şiddetinin şartlı dönüş periyotlarını 10. ve 11. eşitliğe göre hesaplamaya imkân sağlamaktadır. Kuraklık özelliklerinin şartlı olasılıkları, kuraklık yönetimi için önemlidir. Hem kuraklık süresinin hem de şiddetinin aynı anda belirli eşikleri aşma olasılığı, kuraklık koşullarında su sistemleri yönetiminin iyileştirilmesi için çevre ve devlet kurumları için yararlı bilgilerdir. Bu olasılık, kuraklık süresi ve şiddetinin ayrı ayrı analizleri kullanılarak elde edilemez. Bununla birlikte, koşullu kuraklık dağılımları, kopula tabanlı iki değişkenli kuraklık dağılımından kolaylıkla türetilir. Kuraklık süresinin belirli bir eşiği d' aşması durumunda kuraklık şiddetinin dağılımını veya kuraklık şiddetinin belirli bir eşiği s' aşması durumunda kuraklık süresi dağılımını değerlendirmek mümkündür (8. ve 9. Eşitlik). Şekil 5'te kopula temelli elde edilen koşullu olasılıklar hem kuraklık süresi için hem de kuraklık şiddeti için verilmiştir. Kuraklık süresinin ve şiddetinin değeri arttığında, koşullu kuraklık oluşma olasılığının arttığını göstermiştir. 17255 istasyonu dikkate alındığında, kuraklık süresinin 3 ve 5 ayı aşması durumunda şartlı kuraklık şiddetinin 3 olması durumundaki olasılık değeri 0.06 ve 0.37 olarak belirlenmiştir. Grafikler, verilen kuraklık süresi için belirli bir değeri aşan kuraklık şiddetinin olasılığını ve tersine, verilen kuraklık şiddeti için kuraklık süresinin belirli bir değeri aşma olasılığını belirlemek için çok kullanışlıdır. Şekil 5'e göre 3 ayı aşan bir kuraklık süresi göz önüne alındığında 3 ve 5'ten daha az kuraklık şiddeti olasılıkları sırasıyla 0.101 ve 0.441'e eşittir. Kuraklık süresinin ve şiddetinin şartlı olasılıkları Tablo 9'da verilmiştir. Tabloya göre, 4'ü aşan bir kuraklık şiddeti göz önüne alındığında, 4 aydan kısa şartlı kuraklık süresi için olasılıklar 17868 istasyonunda 0.199 değeri ile en yüksek olasılığa sahip iken, 0.095 olasılık değeri ile 17870 istasyonu en düşük olasılık değerine sahiptir. Öte yandan 4 ayı aşan bir kuraklık süresi değerlendirildiğinde, 4 şiddetinden kısa şartlı kuraklık şiddeti için olasılıklar 17255 istasyonunda 0.365 değeri ile en yüksek değere sahip iken, 17866 istasyonu 0.227 değeri ile en düşük olasılığa sahip olduğu gözlemlenmiştir.

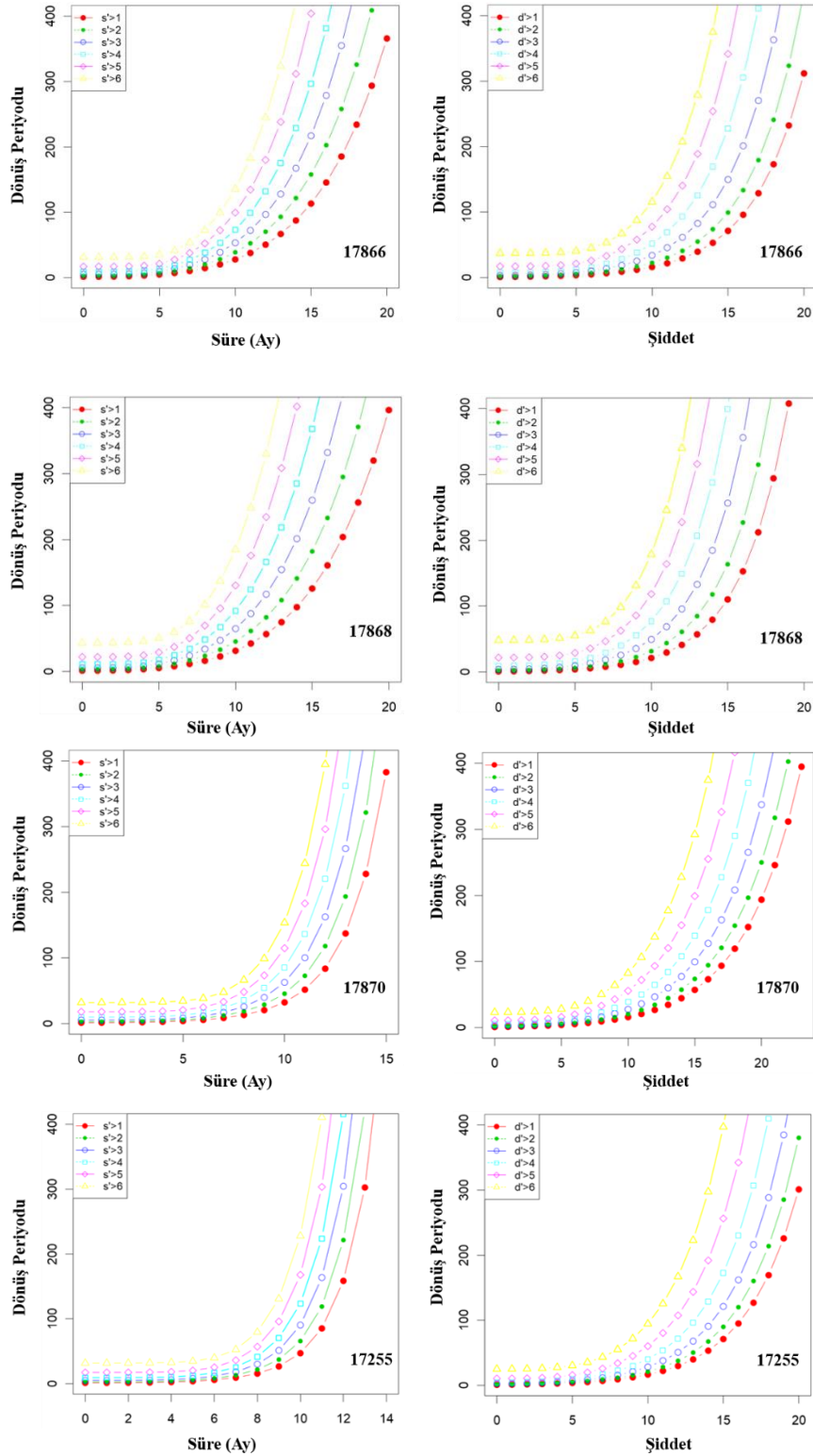
Tablo 9: Kuraklık süresinin ve şiddetinin şartlı olasılıkları

İstasyon No	Kuraklık süresinin şartlı olasılığı ≤ 4 ay verilen kuraklık şiddeti için ≥ 4	Kuraklık şiddetinin şartlı olasılığı ≤ 4 verilen Kuraklık süresi için ≥ 4 ay
17866	0.149	0.227
17868	0.199	0.264
17870	0.095	0.347
17255	0.102	0.365

Şekil 5: Kuraklık şiddetinin belirli bir eşiği s' aşması durumunda kuraklık süresi dağılımı (sol) ve kuraklık süresinin belirli bir eşiği d' aşması durumunda kuraklık şiddetinin dağılımı (sağ)

4.3.1 Şartlı Dönüş Sürelerinin Belirlenmesi

Kuraklık koşulları altında su kaynakları sistemlerinin planlanması ve yönetimi, yüksek şiddet ile karakterize edilen kuraklık olaylarının ortak ve şartlı dönüş sürelerinin tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır. Şartlı kuraklık süresi ve şiddeti dönüş periyotları iki şekilde türetilbilir.



Şekil 6: Kuraklık parametreleri için şartlı dönüş süreleri

Bir kuraklık şiddetinin belli değerden fazla olması halinde, herhangi bir kuraklık süresinin dönüş periyodunun hesaplanması veya bir kuraklık süresinin belli bir değerden fazla olması halinde, herhangi bir kuraklık şiddetinin dönüş periyodunun eşitlik 10. ve 11. yardımı ile hesaplanmasıdır. Bu çalışmada kullanılan istasyonların hem kuraklık süresi hem de kuraklık şiddeti için elde edilen şartlı dönüş periyotları Şekil 6'da verilmiştir. 3-aylık SPI zaman ölçeği için elde edilen çalışma sonucunda, 17255 istasyonunu ele aldığımızda, 10 aylık bir kuraklık süresinde, 4 değerini aşan kuraklık şiddetinin dönüş sürresi 123.396 yıl olarak hesaplanmıştır. Aynı değerler ile diğer istasyonların kuraklık şiddeti dönüş sürelerini dikkate aldığımızda, 17866 istasyonu için 72.82 yıl, 17868 istasyonu için 92.11 yıl, 17870 istasyonu için ise 85.26 yıl olarak bulunmuştur. Bu bilgiler ışığında en yüksek kuraklık şiddeti dönüş periyodu 17255 istasyonunda saptanırken, en düşük dönüş periyoduna ise 17870 istasyonunda saptanmıştır. Başka bir deyişle, yüksek kuraklık şiddeti dönüş periyodu olan 17255 istasyonu diğer istasyonlara göre daha az kuraklık riski taşımaktadır. Kuraklık şiddeti 10 olarak sabit aldığımızda, 4 aylık süreyi aşan kuraklık süresinin dönüş periyotlarını incelediğimizde, 77.10 yıllık dönüş periyodu ile 17868 istasyonu en yüksek dönüş periyoduna sahip iken, 38.58 yıllık dönüş periyodu ile 17870 istasyonu en kısa dönüş periyoduna sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kuraklık süresi şartlı dönüş periyodu diğer istasyonlar ele alındığında, 17255 istasyonu için 40.22 yıl, 17866 istasyonu için 51.4 yıl olarak hesaplanmıştır. Kuraklık süresi ve şiddetinin ortak ve koşullu dönüş süreleri, su kaynakları yöneticileri ve mühendisleri tarafından hidrolik tasarım kriteri olarak kullanılmakta olup, risk değerlendirmesi için faydalı bilgiler sağlar.

5. Tartışma

Kuraklık süresi ve şiddetinin ortak ve koşullu dönüş süreleri, su kaynakları yöneticileri ve mühendisleri tarafından hidrolik tasarım kriteri olarak kullanılmakta olup, risk değerlendirmesi için faydalı bilgiler sağlar. Bu çalışmada, Kahramanmaraş ilinin kuraklık risk analizini kopula fonksiyonu kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle, Kahramanmaraş il merkezinde ve illerinde bulunan yağış istasyonlarını kullanarak, kuraklık parametreleri olan kuraklık süresi ve kuraklık şiddetini SPI 3 aylık zaman ölçeğinde bulunmuştur.

Kuraklık süresine ve şiddetine uyan en uygun marjinal dağılımlar elde edilmiştir. Son olarak, en uygun kopula fonksiyonlarını bulduktan sonra, kuraklık süresi ve kuraklık şiddetinin şartlı olasılık değerleri ve dönüş süreleri elde edilmiştir.

Bu çalışma sonucunda, en yüksek şartlı kuraklık şiddeti dönüş periyodu Kahramanmaraş merkezde (17255 istasyonu) saptanırken, en düşük dönüş periyoduna ise Elbistan ilçesinde (17870 istasyonu) görülmüştür. Başka bir deyişle, yüksek kuraklık şiddeti dönüş periyodu olan Kahramanmaraş merkez ilçelerine göre daha az kuraklık riski taşımaktadır. Elbistan ilçesi diğer ilçelere göre daha fazla kuraklık riski taşımaktadır. En yüksek şartlı kuraklık süresi dikkate alındığında, Afşin ilçesi (17868 istasyonu) en yüksek dönüş periyoduna sahip iken (en az riskli), Elbistan ilçesi (17870 istasyonu) en kısa dönüş periyoduna sahip olduğu (riskli) gözlemlenmiştir. Elbistan ilinin hem şartlı kuraklık şiddeti hem de kuraklık süresi dönüş periyoduna göre diğer ilçelere ve merkeze göre daha fazla kuraklık riski taşıdığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma çıktıları, Kahramanmaraş'ta yapılması planlanan su yönetimi, su kaynakları vb. gibi çalışmalar için ışık tutması beklenmektedir.

Kaynaklar

- Abramowitz M., Stegun I.A., (1965), *Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables*, US National Bureau of Standards, Applied Mathematic Series 55, 470ss.
- Adamson P.T., Metcalfe, A.V., Parmentier, B. (1999), *Bivariate extreme value distributions: an application of the Gibbs sampler to the analysis of floods*, Water Resources Research, 35(9), 2825-2832.
- Afshar, M. H., Şorman, A. Ü., Tosunoğlu, F., Bulut, B., Yilmaz, M. T., Danandeh Mehr, A. (2020), *Climate change impact assessment on mild and extreme drought events using copulas over Ankara, Turkey*, Theoretical and Applied Climatology, 141(3), 1045-1055.
- Aksoy H., Onoz, B., Cetin, M., Yuce, M.I., Eris, E., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H.I., Esit, M., Orta, S., Cavus, Y. (2018), *SPI-based drought severity-duration-frequency analysis*, 13th International Congress on Advances in Civil Engineering, 12 - 14 September, Izmir, Turkey.
- Below R., Grover-Kopec, E., Dilley, M., (2007), *Documenting drought-related disasters: A global reassessment*, The Journal of Environment & Development, 16(3), 328-344.
- Cannon A.J., (2010), *A flexible nonlinear modelling framework for nonstationary generalized extreme value analysis in hydroclimatology*, Hydrological Processes: An International Journal, 24(6), 673-685.
- Chen L., Singh V.P., Guo S., Zhou J., Zhang J., (2015), *Copula-based method for multisite monthly and daily streamflow simulation*, Journal of Hydrology, 528, 369-384.
- Das J., Jha, S., Goyal M.K., (2020), *Non-stationary and copula-based approach to assess the drought characteristics encompassing climate indices over the Himalayan states in India*, Journal of Hydrology, 580, 124356, doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124356.
- Diwan P.L. (2002), *Water, Environment & Drought*, All India Seminar on "Water & Environment-Issues and Challenges", October, IIT, Roorkee, India, ss.21-42.
- Edwards D.C., (1997), *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*, MSc thesis, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.
- El Adlouni S., Ouara T.B., Zhang X., Roy R., Bobée B., (2007), *Generalized maximum likelihood estimators for the nonstationary generalized extreme value model*, Water Resources Research, 43(3), W03410, doi:10.1029/2005WR004545.

- Eris E., Aksoy H., Onoz B., Cetin M., Yuce M.I., Selek B., Aksu H., Burgan H.I., Esit M., Yildirim I., Karakus E.U., (2019), *Frequency analysis of low flows in intermittent and non-intermittent rivers from hydrological basins in Turkey*, Water Supply, 19(1), 30-39.
- Esit M., Yuce M.I., (2021), *Kopula Yöntemi ile Osmaniye Bölgesinin İki Değişkenli Kuraklık Frekans Analizi*, Academic Platform-Journal of Engineering and Science, 9(3), 388-396.
- Esit M., Kumar S., Pandey A., Lawrence D.M., Rangwala I., Yeager S., (2021), *Seasonal to multi-year soil moisture drought forecasting*, npj Climate and Atmospheric Science, 4(1), 16, doi: 10.1038/s41612-021-00172-z.
- Favre A.C., Musy A., Morgenthaler S., (2002), *Two-site modeling of rainfall based on the Neyman-Scott process*, Water Resources Research, 38(12), 1307, doi:10.1029/2002WR001343.
- Khan M.M.H., Muhammad, N.S., El-Shafie, A., (2018), *A review of fundamental drought concepts, impacts and analyses of indices in Asian continent*, Journal of Urban and Environmental Engineering, 12(1), 106-119.
- Li H., Wang D., Singh V.P., Wang Y., Wu J., Wu J., Liu J., Zou Y., He R., Zhang J., (2019), *Non-stationary frequency analysis of annual extreme rainfall volume and intensity using Archimedean copulas: A case study in eastern China*, Journal of hydrology, 571, 114-131.
- Liu C.L., Zhang Q., Singh V.P., Cui Y., (2011), *Copula-based evaluations of drought variations in Guangdong, South China*, Natural Hazards, 59(3), 1533-1546.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., (1993), *The relationship of drought frequency and duration to time scales*, In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17(22), 179-183.
- Mirabbasi R., Fakheri-Fard A., Dinpashoh Y., (2012), *Bivariate drought frequency analysis using the copula method*, Theoretical and applied climatology, 108(1), 191-206.
- Mishra A.K., Singh V.P., (2010), *A review of drought concepts*, Journal of hydrology, 391(1-2), 202-216.
- Mishra V., Aadhar S., Asoka A., Pai S., Kumar R., (2016), *On the frequency of the 2015 monsoon season drought in the Indo-Gangetic Plain*, Geophysical Research Letters, 43(23), 12-102.
- Nabaei S., Sharafati A., Yaseen Z.M., Shahid S., (2019), *Copula based assessment of meteorological drought characteristics: regional investigation of Iran*, Agricultural and Forest Meteorology, 276-277, 107611, doi: 10.1016/j.agrformet.2019.06.010.
- Palmer W.C., (1965), *Meteorological drought*, Research Paper No. 45, US Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C., 65ss.
- Park S., Im J., Park S., Rhee, J., (2017), *Drought monitoring using high resolution soil moisture through multi-sensor satellite data fusion over the Korean peninsula*, Agricultural and Forest Meteorology, 237, 257-269.
- Qian L., Wang H., Dang S., Wang, C., Jiao Z., Zhao Y., (2018), *Modelling bivariate extreme precipitation distribution for data-scarce regions using Gumbel-Hougaard copula with maximum entropy estimation*, Hydrological Processes, 32(2), 212-227.
- Ramezani Y., Nazeri Tahroudi M., Ahmadi F., (2019), *Analyzing the droughts in Iran and its eastern neighboring countries using copula functions*, Időjárás / Quarterly Journal of The Hungarian Meteorological Service, 123(4), 435-453.
- Reddy M.J., Ganguli P., (2013), *Spatio-temporal analysis and derivation of copula-based intensity-area-frequency curves for droughts in western Rajasthan (India)*, Stochastic environmental research and risk assessment, 27(8), 1975-1989.
- Shiau J.T., (2006), *Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas*, Water resources management, 20(5), 795-815.
- Sklar M., (1959), *Fonctions de repartition an dimensions et leurs marges*, Publications de l'Institut Statistique de l'Université de Paris, 8, 229-231.
- Thom H.C., (1951), *A frequency distribution for precipitation*, Bulletin of the American Meteorological Society, 32(10), 397.
- Thom H.C.S., (1966), *Some methods of climatological analysis*, World Meteorological Organization (WMO), Technical Note No. 81 (WMO - No. 199.TP.103), Geneva, Switzerland, 69ss.
- Topçu E., (2022), *Appraisal of seasonal drought characteristics in Turkey during 1925–2016 with the standardized precipitation index and copula approach*, Natural Hazards, 112, 697–723.
- Tosunoglu F., Can I., (2016), *Application of copulas for regional bivariate frequency analysis of meteorological droughts in Turkey*, Natural Hazards, 82(3), 1457-1477.
- URL-1 (2021), *Kahramanmaraş*, <https://www.dogaka.gov.tr/en/east-mediterranean/kahramanmaraş>, [Erişim 9 Ocak 2022].
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I., (2010), *A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index*, Journal of climate, 23(7), 1696-1718.
- Vo, Q. T., So, J. M., & Bae, D. H. (2020), *An integrated framework for extreme drought assessments using the natural drought index, copula and Gi* statistic*. Water Resources Management, 34(4), 1353-1368.
- Wilhite D.A., Hayes, M.J., Knutson C., Smith K.H., (2000), *Planning for drought: Moving from crisis to risk management*, Journal of the American Water Resources Association, 36(4), 697-710.
- Won J., Choi J., Lee O., Kim S., (2020), *Copula-based Joint Drought Index using SPI and EDDI and its application to climate change*, Science of the Total Environment, 744, 140701, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140701.
- Yevjevich, V.M., (1967), *Objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts*, Hydrology Papers, No. 23, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 25ss.
- Yuce M.I., Esit M., (2021), *Drought monitoring in Ceyhan Basin, Turkey*, Journal of Applied Water Engineering and Research, 9(4), 293-314.
- Yue S., Ouarda T.B., Bobée B., (2001), *A review of bivariate gamma distributions for hydrological application*, Journal of Hydrology, 246(1-4), 1-18.
- Zhang Q., Xiao M., Singh V.P., Chen X., (2013), *Copula-based risk evaluation of hydrological droughts in the East River basin, China*, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 27(6), 1397-1406.
- Zhang X., Chen N., Li J., Chen Z., Niyogi D., (2017), *Multi-sensor integrated framework and index for agricultural drought monitoring*, Remote Sensing of Environment, 188, 141-163.
- Zhou T., Liu Z., Jin J., Hu H., (2019), *Assessing the impacts of univariate and bivariate flood frequency approaches to flood risk accounting for reservoir operation*, Water, 11(3), 475, doi: 10.3390/w11030475.

Determining the Factors Affecting Air Quality in Marmara, Turkey, and Assessing it Using Air Quality Indices

İsmet Yener¹, Kazım Onur Demirarslan^{2,*}

¹ Artvin Çoruh University, Department of Forestry, 08000, Artvin.

² Artvin Çoruh University, Department of Environmental Engineering, 08000, Artvin.

Abstract

Air pollution due to anthropogenic activities is currently one of the most important problems faced worldwide. This study aimed to determine the associations between air quality and spatial, meteorological, and anthropogenic factors while evaluating air quality using the air stress index (ASI) and the daily air quality (DAQx) scale. The annual mean levels of CO, NO_x, O₃, PM 2.5, PM10 and SO₂ in the region were 718.6, 39.5, 44.4, 25.5, 51.3, and 9.9 µg/m³, respectively. While anthropogenic variables mostly affected NO_x (r=0.56 to 0.64) and O₃ (r=-0.34 to 0.64), meteorological (r=-0.38 to 0.45) and spatial factors (r=-0.41 to -0.65) mostly affected particulate matter (PM2.5 and PM10). CO and SO₂, on the other hand, were affected by all types of variables at varying directions and rates. The mean ASI and DAQx values of 2.1 and 4.3 indicated that the air quality in the region exhibited distinct air stress and sufficient air quality, respectively. The findings and outcomes could contribute to understanding and evaluating the air quality in the region and could be used as a base for further studies.

Keywords

Correlation Analysis, Air Stress Index, Daily Air Quality Index, Air Pollution

Marmara Bölgesinde Hava Kalitesini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi ve Hava Kalitesi Endeksleri Kullanılarak Değerlendirilmesi

Özet

Antropojenik faaliyetlere bağlı hava kirliliği dünya çapında karşılaşılan en önemli sorunlardan biridir. Bu çalışma, bir yandan hava stres indeksi (ASI) ve günlük hava kalitesi (DAQx) ölçeğini kullanarak hava kalitesini değerlendirirken diğer yandan hava kalitesi ile mekansal, meteorolojik ve antropojenik faktörler arasındaki ilişkileri belirlemeyi amaçlamıştır. Bölgedeki yıllık ortalama CO, NO_x, O₃, PM2.5, PM10 ve SO₂ seviyeleri sırasıyla 718.6, 39.5, 44.4, 25.5, 51.3 ve 9.9 µg/m³'tür. Antropojenik değişkenlerin en çok NO_x (r=0,56 ila 0,64) ve O₃ (r=-0,34 ila 0,64) kirleticilerini etkilerken, meteorolojik (r=-0,38 ila 0,45) ve mekansal faktörler ise (r=-0,41 ila -0,65) en çok partiküler madde miktarını etkilemiştir. CO ve SO₂ ise her türlü değişkenden farklı oranlarda etkilenmiştir. ASI ve DAQx değerleri ortalama 2.1 ve 4.3 olarak bulunmuş ve bölgedeki hava kalitesinin sırasıyla belirgin hava stresi ve yeterli hava kalitesi sergilediğini göstermiştir. Bu çalışmanın bulgu ve sonuçları, bölgedeki hava kalitesinin daha iyi anlaşılıp değerlendirilmesine katkı sağlayabilir ve ileride yapılacak çalışmalar için bir temel oluşturabilir.

Anahtar Sözcükler

Korelasyon Analizi, Hava Stres İndeksi, Günlük Hava Kalitesi İndeksi, Hava Kirliliği

1. Introduction

Human activities affect air quality in a similar manner to other natural resources, such as soils, water, and forests. Their negative effect on air quality has increased as industrial, technological, and urban development have progressed. The emission of harmful suspended particulate matter (PM2.5 and PM10) and other gases, such as carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen oxide, and ozone, emitted into the atmosphere from various sources has caused significant air pollution (Liu et al. 2018). Air pollutants can be classified as primary or secondary. Primary pollutants are directly released from their sources, while secondary pollutants occur due to a combination of two or more primary pollutants or because of typical atmospheric components. Primary pollutants include PM2.5, PM10, sulfur dioxide, nitric oxide, hydrocarbons, volatile organic compounds, carbon monoxides, and ammonia; while ground-level ozone is an example of a secondary pollutant (Tan 2014). The US Environmental Protection Agency (EPA 2007) defines air pollution as the presence of contaminants or pollutants that adversely affect human health and welfare, or cause other destructive environmental effects. Most countries are affected by air pollution and related diseases, and new respiratory diseases arise daily due to air pollution (Plaia and Ruggieri 2011).

Therefore, air pollution is considered a threat to the public and governments, as well as the environment. Seven million people die annually due to this issue, including 4.2 million premature deaths (Plaia and Ruggieri 2011; WHO 2020). Çapraz et al. (2016) observed a positive relationship between the increase in air pollution and mortality in Istanbul, with SO₂ being the pollutant with the greatest effect on mortality. Another study reported that exposure to ambient air pollutants, such as NO₂, PM₁₀, and SO₂, causes reduced pregnancy and live birth rates from in vitro fertilization (Shi et al. 2021). Population growth has caused air pollution due to rapid and widespread industrial and urban development, increased motor vehicle abundance, and excessive fossil fuel use. The geographic positions of cities and meteorological elements also adversely affect air quality (Mamtimin and Meixner 2011). Air pollution in urban areas exhibits different characteristics due to changes in climatic factors based on their geographical and topographical features (Vieira-F et al. 2015).

Therefore, the availability of accurate and abundant data and their interpretation are vital in air quality management decisions. Similar to other countries, the limited number of air pollutant monitoring stations is a severe problem in many parts of Turkey. Therefore, relationships between environmental factors and air quality and estimation models have become critical as they provide a valuable estimation of air pollutants and quality in areas without measurement stations (Tikhe et al. 2017). Spatial modeling to predict and/or estimate air pollution based on measurements at sample points has become a common practice in recent decades, as such models can help policy-makers to understand the spatial distribution of air quality trends. Policy-makers must understand the sources of air pollution, how to determine its effects, and how to reduce its harmful effects on human health and ecosystems (Karroum et al. 2020).

Many researchers in Turkey and overseas have applied air quality prediction models using different factors, such as the climate and topography (Aggarwal and Toshniwal 2018; Altincop and Oktay 2018; Atamaleki et al. 2019; Buchholz et al. 2016; Çiftci et al. 2013; Cuhadaroglu and Demirci 1997; Gocheva-I et al. 2018; Gu et al. 2018; Hu et al. 2017; Jamal and Nodehi 2017; Karroum et al. 2020). Others have correlated the levels of air pollutants with population density, traffic, and the morphology of the settlement area (Caf et al. 2017; Han and Naeher 2006; Hu et al. 2017) by using various statistical methods and models, such as multilinear regression (MLR), regression trees (RTs), artificial neural networks (ANNs), random forest (RF), and land-use regression (LUR), which can provide advanced air pollution information at early stages; this allows the implementation of methods that can control air pollution and protect public health (Bai et al. 2016).

Large cities are most affected by air pollution due to increasing industrial and urban development. The Marmara Region of Turkey, comprising a megacity, Istanbul, along with a few large cities, such as Bursa, and Kocaeli, is one of the most air pollution-affected areas in the world. As the population of the Marmara region has increased, the problem of air pollution has been exacerbated, particularly due to the increasing consumption of fossil fuels and number of motor vehicles. The population in the region is 23,389,506, accounting for 28.94% of the total population of Turkey (80,810,525). Furthermore, 48% of the industrial areas in the country are located in this region (Demirarslan and Akıncı 2018). Few studies modeled or evaluated the air quality throughout the whole region (Arslan and Akyürek 2018; Kasparoglu et al. 2018; Mentese 2019; Sarisaltik 2019), despite its economic and demographic importance and high level of air pollution. For example, Arslan and Akyürek (2018) spatially modeled the levels of PM₁₀ and SO₂ by following standard ordinary least squares and spatially autoregressive regression techniques using meteorological variables, such as temperature, wind speed, humidity, and pressure. Therefore, the air pollution issue in this region, which is regarded as the heart of Turkey in terms of industrial, economic, and human resources, must be resolved.

The objective of the present study is to (i) determine the relationships between air quality in the Marmara Region and climatic, topographic, and anthropogenic variables and (ii) assess the air quality in the region using the air stress index (ASI) and daily air quality (DAQx).

2. Materials and Methods

2.1. Study Area

The study area is the Marmara Region of Turkey, located at 39°03'41"– 42°06'17" N, 25°40'07"– 31°0'39" E, covering an area of 152,771 km² (Figure 1). The region includes the cities of Balıkesir, Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, Istanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ, and Yalova. The elevation of the area ranges between 0 and 2534 m asl. According to the Köppen-Geiger classification, the region experiences a dry summer subtropical Mediterranean climate or a temperate rainy climate with dry summers (humid mesothermal; i.e., Cs (mostly Csa)). Seasonal soil moisture deficiency is evident, particularly during the summer (Turkes 2020).

The average temperature ranges from 3.9 °C in the winter to 26 °C in the summer, with an annual mean of 14–16 °C. The annual mean precipitation ranges from 600 to 700 mm and is mainly concentrated in the winter. The average relative humidity (RH) is approximately 73% (Kasparoglu et al. 2018; Sensoy et al. 2008).

2.2. Data and Methodology

Air quality, air pollutant, and meteorological data were gathered from 70 air quality monitoring stations of the following types: heating (37.1%), air quality (25.7%), urban-traffic (10.0%), rural (10.0%), urban-industrial (8.6%), and no information (8.6%), and 180 weather stations distributed across the Marmara Region (Figure 1). Each air quality and pollutant monitoring station also observed weather data. Therefore, weather data were obtained from 250 stations in total. However, PM₁₀ (particulate matter with diameter < 10 µm), NO_x (nitrogen oxides), SO₂ (sulfur dioxide), O₃ (ground-level ozone), CO (carbon monoxide), and PM_{2.5} (particulate matter with diameter < 2.5 µm) data were available from 58, 58, 55, 37, 27, and 19 stations, respectively. Air quality data from January 1 to December 31, 2017 (one year), were obtained from 70 air quality stations monitored by the Turkish Ministry of Environment and Urbanization ([URL-1 2018](#)). PM_{2.5} and PM₁₀, SO₂, O₃, CO, and NO_x levels were measured using beta-attenuation control, UV fluorescence, UV photometry, non-dispersive infrared photometry, and gas-phase chemiluminescence according to the EPA, respectively ([Gilliam and Hall 2016](#)). Meteorological data, including the temperature (Temp), precipitation (Prec), relative humidity (RH), air pressure (Pres), wind speed (WS), and wind direction (WD), were obtained from the Turkish State Meteorological Service ([TSMS 2017](#)).

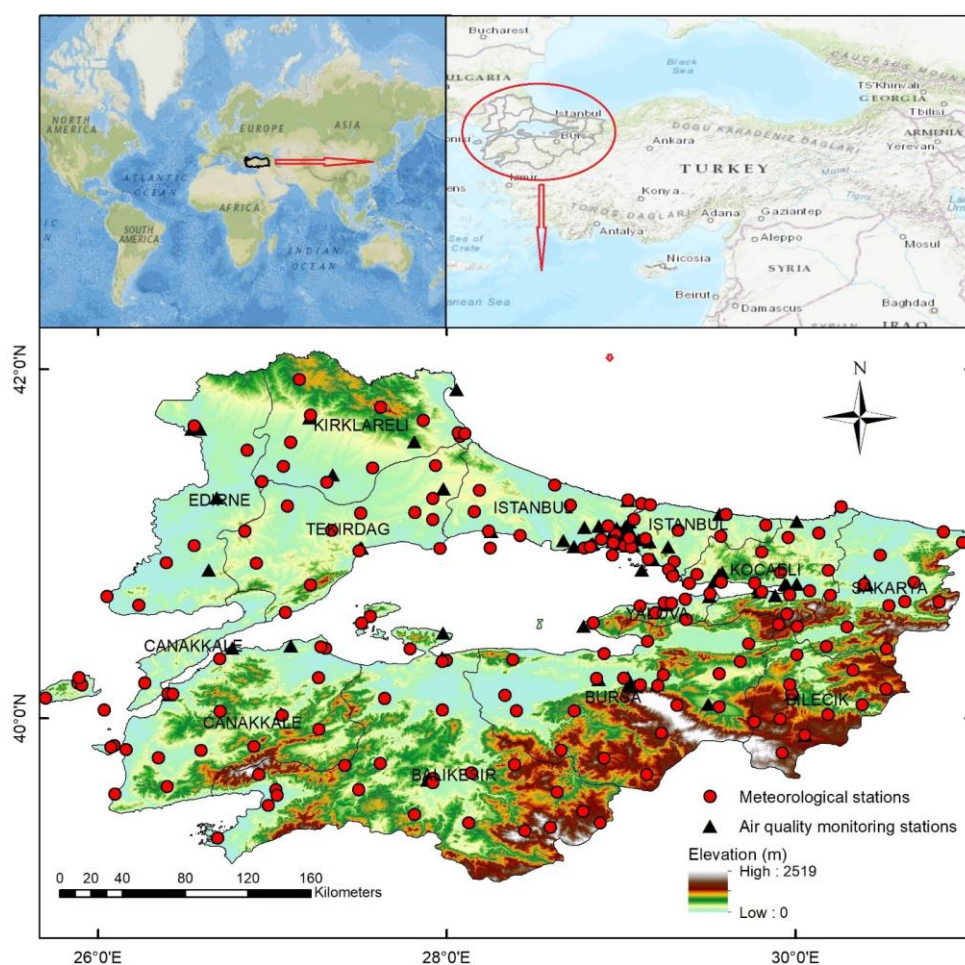


Figure 1: Air quality monitoring and meteorological stations used for the present study

Missing pollutant (12 for PM₁₀, 12 for NO_x, 15 for SO₂, 33 for O₃, 43 for CO, and 51 for PM_{2.5}), meteorology, and traffic data points were extracted from maps prepared in the ARCMAP 10.2 software by following inverse distance weighted (IDW) methods using the "extract values to points" tool ([Childs 2004](#); [ESRI 2014](#)).

Seasonal variations in meteorological variables may partly cause seasonality in air pollution ([Li et al. 2014](#)). Therefore, in this study, air pollution affected by meteorological and other variables was assessed by seasons, including spring (1), summer (2), autumn (3), and winter (4).

The latitude (Lat), longitude (Long), and elevation (Elev) data of the monitoring stations were also collected. In addition to spatial and meteorological data, anthropogenic data, such as the number of vehicles and population of the county and district, were also used as independent variables. The number of vehicles was obtained from a map ([URL-2 2018](#)) by digitizing and interpolating the data for monitoring station locations and human populations ([URL-3 2017](#)).

Many indices, including the air quality index (AQI), such as the common, oak ridge, new, and pollution AQIs, air quality depreciation index, and air stress index, have been developed and their usage varies between countries (Mandal and Gorai 2014; Plaia and Ruggieri 2011). AQI is a ranking index based on the total of air pollutants, which is used to protect human health, as it also indicates how air quality affects human health and the environment.

The AQI was examined and classified into the following six categories: good (0-50), moderate (51-100), unhealthy for sensitive groups (101-150), unhealthy (151-200), very unhealthy (201-300), and hazardous (301-500) (EPA 2014). These indices have been used for many purposes, including the assessment of the results of air pollution interventions, monitoring pollution trends, and providing pollution level data to people. The ASI, one of two indices used in this study, was developed for providing continuous population-related air quality information (Mayer et al. 2004), and was formulated and scaled as described below (Equation 1, Table 1). The DAQx, an impact-related index valid for providing information to people on the Internet, was calculated for each pollutant according to Table 2 and is represented by six classes (Table 2) formed by assigning ambient air pollutants to different pollutant ranges (Equation 2).

$$ASI_{BW} = \frac{C(SO_2)}{350\mu g} + \frac{C(CO)}{10000\mu g} + \frac{C(NO_2)}{200\mu g} + \frac{C(O_3)}{180\mu g} + \frac{C(PM10)}{50\mu g} \quad (1)$$

where $C(SO_2)$, $C(NO_2)$, and $C(O_3)$ are the specific highest daily 1-h mean concentrations, while $C(CO)$ is the highest daily running 8-h mean concentration and $C(PM10)$ is the daily mean concentration. The ASI was scaled as shown in Table 1.

$$DAQx = \left[\left(\frac{DAQx_{up} - DAQx_{low}}{C_{up} - C_{low}} \right) * (C_{inst} - C_{low}) \right] + DAQx_{low} \quad (2)$$

where C_{inst} shows the highest daily 1-h concentration of SO_2 , NO_2 , and O_3 , highest daily running 8-h mean concentration of CO , and mean daily concentration of $PM10$; C_{up} and C_{low} are the upper and lower thresholds of specific air pollutant concentrations, respectively; and $DAQx_{up}$ and $DAQx_{low}$ are the index values based on C_{up} and C_{low} , respectively (Table 2).

Table 1: Air quality categories corresponding to ASI ranges (Mayer et al. 2004)

Pollution category	ASI ranges	Description
1	$ASI < 0.5$	Very low air stress
2	$0.5 \leq ASI < 1.1$	Low air stress
3	$1.1 \leq ASI < 1.7$	Moderate air stress
4	$1.7 \leq ASI < 2.3$	Distinct air stress
5	$2.3 \leq ASI < 2.9$	Strong air stress
6	$ASI \geq 2.9$	Extreme air stress

Table 2: Assignment of ranges of specific air pollutant concentrations to DAQx values and DAQx classes (Makra et al. 2003)

NO_2 ($\mu g/m^3$)	SO_2 ($\mu g/m^3$)	CO (mg/m^3)	O_3 ($\mu g/m^3$)	$PM10$ ($\mu g/m^3$)	DAQx value	DAQ class	Classification
0–24	0–24	0.0–0.9	0–32	0.0–9.9	≤ 1.4	1.0	very good
25–49	25–49	1.0–1.9	33–64	10.0–19.9	1.5–2.4	2.0	good
50–99	50–119	2.0–3.9	65–119	20.0–34.9	2.5–3.4	3.0	satisfying
100–199	120–349	4.0–9.9	120–179	35.0–49.9	3.5–4.4	4.0	sufficient
200–499	350–999	10.0–29.9	180–239	50.0–99.9	4.5–5.4	5.0	poor
≥ 500	≥ 1000	≥ 30	≥ 240	≥ 100	≥ 5.5	6.0	very poor

2.3. Statistical Analyses

Spearman's correlation coefficient was calculated to examine the relationships between air pollutants and other factors, followed by determining descriptive statistics using R (Team 2013). Because of the non-normal distributed data, Dunn's Bonferroni test for pairwise comparisons after the Kruskal Wallis test, the non-parametric equal of one-way ANOVA, was used to determine significant differences by seasons.

3. Results and Discussion

The CO concentrations in the spring, summer, autumn, and winter in the Marmara region were 624.2, 485.5, 687.4, and 727.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, and the annual concentration was 654.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The summer CO level was significantly lower than that of the others, according to the Kruskal-Wallis test (Table 3). The NO_x concentrations in the spring, summer, autumn, and winter were 38.8, 26.4, 38.6, and 41.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, and the annual concentration was 37.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The summer NO_x level was significantly lower than those of the other seasons, according to the Kruskal Wallis test (Table 3). The O_3 concentrations were 51.4, 62.6, 35.9, and 33.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in the spring, summer, autumn, and winter, respectively, with an annual average of 43.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The spring and summer O_3 levels were significantly higher than those in the autumn and winter, according to the Kruskal-Wallis test (Table 2). The PM2.5 concentrations in the spring, summer, autumn, and winter were 26.0, 20.7, 25.3, and 27.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, with an annual mean of 25.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The PM2.5 level significantly increased in the following order, according to the Kruskal-Wallis test: summer<autumn<spring<winter. The PM10 concentrations in the spring, summer, autumn, and winter were 50.1, 42.9, 55.1, and 45.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, and the average annual concentration was 49.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The summer PM10 level was significantly lower than that of the other seasons, according to the Kruskal-Wallis test (Table 3). The SO_2 concentrations were 8.8, 4.8, 7.4, and 9.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in the spring, summer, autumn, and winter, respectively, and the average annual concentration was 8.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The SO_2 level significantly increased in the following order, according to the Kruskal-Wallis test: summer<autumn<spring<winter. Except for the O_3 , all pollutants' levels in the summer were lower than in other seasons. The significantly lower pollutant levels in summer could be attributed to the increasing temperature that causes low consumption of fossil fuels in households and reduced population and traffic as people spend their summer holidays outside the region. Similar results were found by [Filonchik and Yan \(2018\)](#). They attributed the elevated level of PM2.5 and gas emissions in winter to coal and biomass combustion in residential areas, besides less precipitation and lower temperature. The factors causing higher air pollution (PM2.5) in the winter season were reported by [Cheng et al. \(2019\)](#) and [Ngoc et al. \(2021\)](#) as human activities such as coal, oil consumption, and vehicle emissions and boundary layer in winter.

Table 3: Some descriptive statistics for air pollutants according to seasons

Season		CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Spring	$\bar{x}\pm\text{SE}$	751.4 $\pm$ 63.2	42.7 $\pm$ 3.2	50.1 $\pm$ 2.5	26.6 $\pm$ 0.5	53.4 $\pm$ 2.4	10.6 $\pm$ 0.8
	M	624.2 ^a	38.8 ^{ab}	51.4 ^a	26.0 ^{bc}	50.1 ^b	8.8 ^{bc}
	Min	52.4	4.3	6.7	17.5	10.8	2.2
	Max	3318.9	117.5	111.6	45.5	118.3	41.5
Summer	$\bar{x}\pm\text{SE}$	549 $\pm$ 37.8	31.6 $\pm$ 2.4	56.4 $\pm$ 2.5	20.8 $\pm$ 0.5	43.1 $\pm$ 1.6	6.4 $\pm$ 0.8
	M	485.5 ^b	26.4 ^a	62.6 ^a	20.7 ^a	42.9 ^a	4.8 ^a
	Min	37.7	1.5	5.6	14.6	9.6	1.6
	Max	1970.6	102.8	96.4	37.0	77.3	43.1
Autumn	$\bar{x}\pm\text{SE}$	740.8 $\pm$ 45.1	41.7 $\pm$ 2.7	37.2 $\pm$ 1.7	26.2 $\pm$ 0.5	59 $\pm$ 2.9	8.8 $\pm$ 0.8
	M	687.4 ^a	38.6 ^b	35.9 ^b	25.3 ^b	55.1 ^b	7.4 ^b
	Min	53.8	3.0	3.3	19.5	13.3	1.9
	Max	1984.9	89.9	76.7	41.9	122.1	43.1
Winter	$\bar{x}\pm\text{SE}$	835.4 $\pm$ 52.1	41.8 $\pm$ 2.6	33.7 $\pm$ 1.5	28.5 $\pm$ 0.6	49.8 $\pm$ 2.6	13.7 $\pm$ 1.3
	M	727.5 ^a	41.0 ^b	33.5 ^b	27.8 ^c	45.7 ^{ab}	9.9 ^c
	Min	18.1	5.1	8.2	18.8	16.0	2.0
	Max	1811.6	102.3	65.8	41.5	107.5	66.1
Annual	$\bar{x}\pm\text{SE}$	718.6 $\pm$ 46.3	39.5 $\pm$ 2.6	44.4 $\pm$ 1.9	25.5 $\pm$ 0.4	51.3 $\pm$ 2.2	9.9 $\pm$ 0.7
	M	654.9	37.8	43.5	25.1	49.2	8.2
	Min	40.5	4.1	6	19	12.5	2.1
	Max	2181.8	91.8	79.1	39.3	102.7	36.3

• $\bar{x}\pm\text{SE}$: Mean $\pm$ standard error, M: Median, Min:Min value, Max: Maximum value

• Lower-case letters indicate significant difference by season according to dune bonferroni test following Kruskal Wallis.

3.1. Effects of Spatial, Meteorological, and Anthropogenic Factors on Air Pollutants

3.1.1. Spatial Factors

Spatial factors (variables), such as Lat and Long, significantly affected the air pollutant levels in varying directions and rates (Figure 2A-2E). Lat was positively correlated with PM2.5 ($r = 0.31$ to 0.40) and negatively correlated with O_3 ($r = -0.25$ to -0.28) and PM10 ($r = -0.29$ to -0.40), while Long was positively correlated with NO_x ($r = 0.25$ to 0.32) and SO_2 ($r = 0.26$) and negatively correlated with O_3 ($r = -0.27$) and PM2.5 ($r = -0.62$). Elev did not significantly affect the air pollutant levels.

The negative correlation between Lat/Long and particulate matter could be attributed to the cleansing effect of precipitation and increasing WS ($r = 0.25$ to 0.28). With increases in both Lat and Long, Prec increased significantly ($r = 0.37$ to 0.98). The increases in both NO_x and SO_2 with increasing Long could be attributed to urbanization and industrialization. The industrialization rate increased from west to east across the region, with higher rates in Istanbul (65%), Bursa (17%), and Kocaeli, located in the east, than those in Edirne (1%), Çanakkale (1%), and Kırklareli (1%), located in the west (PISR 2018). The increasing NO_x with increasing Long could also be due to the heavy traffic in cities, such as Istanbul, Bursa, and Kocaeli ($r = 0.44$ between Long and the number of motor vehicles (Vhcl)).

3.1.2. Anthropogenic Factors

Anthropogenic variables, such as the district population (Popdist), county population (Popcou), and Vhcl had significant positive or negative effects on air pollutants. All anthropogenic variables affected the same variable in the same direction, but at varying rates. The correlation coefficients between the NO_x and Popdist, Popcou, and Vhcl were $r = 0.36$ to 0.50 , $r = 0.49$ to 0.60 , and $r = 0.57$ to 0.61 , respectively. Atmospheric NO_2 typically originates from two sources, both directly and indirectly involving chemical reactions (Han and Naeher 2006). Sharma (2007) reported that 8% of NO_x originates from automobile exhausts, while Sayegh et al. (2016) reported rates of 40.5% and 32% for European Economic Area countries and the United Kingdom, respectively.

The levels of O_3 and SO_2 were negatively correlated with Popdist, Popcou, and Vhcl, with $r = -0.24$ to -0.32 and -0.28 , -0.40 to -0.57 , and -0.27 to -0.35 , and -0.36 to -0.55 and -0.29 , respectively. The negative impact of anthropogenic factors on O_3 could be attributed to the increasing NO_2 due to increases in motor vehicle use, industrial activities, and population ($r = -0.60$ to -0.70 for O_3 and NO_2 in this study, respectively). Industrial processes and motor vehicle exhaust are two primary anthropogenic air pollution sources, in addition to solvents, food production, waste disposal, agriculture, oil refining, petrol storage and distribution, and gasoline vapors from motor vehicles (Chen et al. 2020). Ozone is classified as stratospheric (natural) or tropospheric (anthropogenic). The latter is formed in the troposphere when molecular O_2 reacts with $\text{O}(^3\text{P})$ that primarily originates from the photodissociation of NO_2 at 280 to 430 nm. The O_3 formed in this manner reacts with NO to regenerate NO_2 (Godish and Fu 2003). Han et al. (2011) reported an inverse relationship between O_3 , NO , and NO_2 , which they attributed to the increasing solar radiation during the day (08.00 to 15.00) and height of the mixing layer, causing a reduction in NO_x and an increase in O_3 . Han and Naeher (2006) and WHO (2020) reported that traffic (transport) emissions account for 12 to 70% of PM, 71.5% of NO_x , and up to 70% of CO of the air pollutants released to the atmosphere. The decreasing effects of anthropogenic factors on SO_2 may be attributed to the increasing use of natural gas instead of coal in the most populated and industrialized provinces of the region, such as Istanbul and Kocaeli. Caf et al. (2017) recorded an increase in the SO_2 and PM10 concentrations with increases in the numbers of cars and homes, and population, which was not the case in this study. The levels of PM2.5 and PM10 were only positively correlated with Popcou, with correlation coefficients of $r = 0.26$ and 0.28 to 0.37 , respectively. Many researchers (Cramer 1998; Ghaedrahmati and Alian 2019; Han et al. 2018; Sarkodie et al. 2019) have studied the effects of population size on air pollution. For example, Cramer (1998) reported a positive correlation between the population size and NO_x ($R^2 = 0.52$), SO_2 ($R^2 = 0.74$ to 0.79), and PM10 ($R^2 = 0.30$ to 0.42). Sarkodie, Strezov (2019) and Han et al. (2018) also reported a positive correlation between the population size and PM2.5 ($r = 0.72$ to 0.79 and $R^2 = 0.86$ to 0.91 , respectively) worldwide. Unal et al. (2011) reported higher PM10 concentrations, exceeding EU standards, in areas with high traffic and industrialization. The traffic volume, along with the wind and RH, temperature, precipitation, and snow cover, accounted for approximately 58%, 60%, and 68% of the variations in PM2.5, PM10, and NO_x , respectively (Aldrin and Haff 2005).

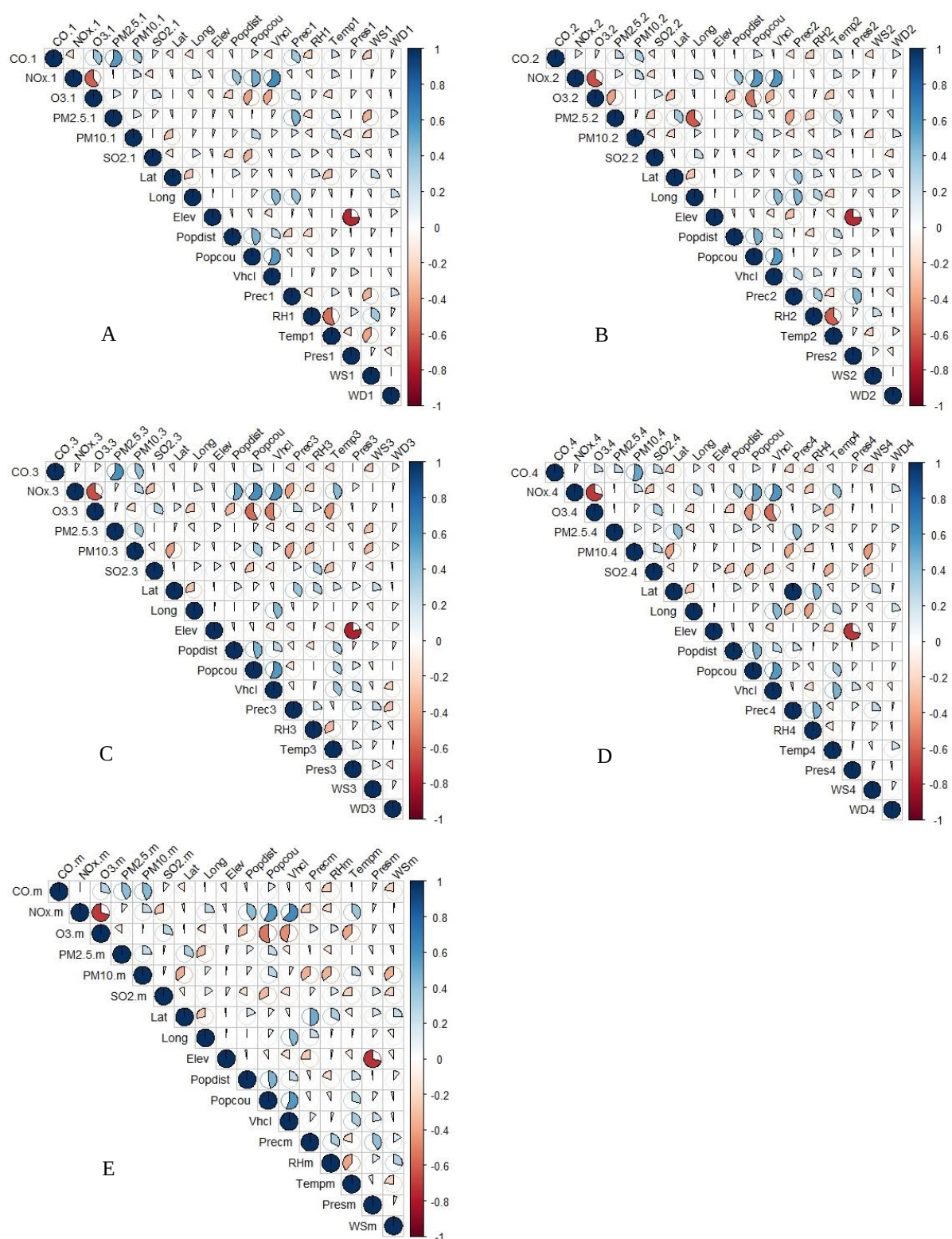


Figure 2: Spierman correlations between air pollutants and the other variables (A: Spring, B: Summer, C: Autumn, D: Winter and E: Annual)

3.1.3. Meteorological Factors

The meteorological variables, excluding WD, exerted significant positive or negative effects on air pollutants at varying rates (Figure 2A–2E). While Prec positively affected the levels of CO ($r = 0.35$) and O₃ ($r = 0.25$ to 0.28), it negatively affected the levels of NO_x ($r = -0.40$), PM_{2.5} ($r = -0.40$), and PM₁₀ ($r = -0.35$).

However, RH was negatively correlated with the levels of CO ($r = -0.25$), NO ($r = -0.26$) and PM_{2.5} ($r = -0.29$), and positively correlated with the level of SO₂ ($r = 0.28$ to 0.32). The decreasing effect of Prec and RH on CO, NO_x, PM_{2.5}, and PM₁₀ could be due to the removal effect of rainfall and RH. Precipitation, which occurs when the RH reaches 100%, is one of the primary meteorological elements that cleanses the atmosphere (Holzworth 1974; Lei et al. 2019; Luo et al. 2017) through two routes, i.e., rainout (snow out) and washout, which refer to the capture of pollutants within clouds and below clouds, respectively, and result in lowered pollutant gas and aerosol concentrations (Holzworth 1974). Huo et al. (2011) also reported a similar result, with negative relationships between rainfall and the levels of NO₂ and SO₂. The increasing O₃ levels with precipitation could be attributed to the vertical mixing of the stratospheric and tropospheric O₃ during convective rain activity and thunderstorms (Martin 1984). Yoo et al. (2014) reported significant scavenging effects of rainfall on air pollutants, which decreased in the following order: PM₁₀>SO₂>NO₂>CO>O₃. Huo et al. (2011) attributed this ordering to that CO and O₃ are less soluble than the other pollutants. The decreasing PM level with increasing RH could also be attributed to the increasing dry deposition with RH (Chen et al. 2012). Some researchers (Zannetti et al. 1977; Tong et al. 2018) reported a significant increasing effect of RH on SO₂, while others (Cuhadaroglu and Demirci 1997) reported a significant decreasing effect.

The temperature significantly affected the levels of NO_x ($r = 0.37$ to 0.43), PM_{2.5} ($r = 0.37$), PM₁₀ ($r = 0.26$), O₃ ($r = -0.26$ to -0.44), and SO₂ ($r = -0.29$ to -0.35), with increasing temperatures corresponding to increasing PM and NO_x levels, which may be due to the increasing number of vehicles, thereby increasing pollutant emissions ($r = 0.37$ to 0.46 between Temp and Vhcl). The NO_x level was almost proportional to the number of vehicles. Khedairia and Khadir (2012) also reported a positive relationship between Temp and PM₁₀, and attributed this relationship to the more favorable atmospheric dispersion states that occur under high temperatures. The decreases in the SO₂ levels during autumn and winter with increasing Temp could be due to the lower use of fuels, especially coal, on warmer days during the colder seasons. Other researchers (Masoudi et al. 2018; Sarisaltik 2019; Zannetti et al. 1977) reported similar results. Sayegh et al. (2016) attributed this relationship to air masses moving upward with increasing temperature near the surface, causing air pollutants to rise and diffuse.

Increases in WS decreased the concentrations of CO ($r = -0.24$ to -0.26), PM_{2.5} ($r = -0.29$ to -0.35), PM₁₀ ($r = -0.24$ to -0.43), and SO₂ ($r = -0.35$). Accelerating WS tends to increase friction velocity, dispersion, and dilution, favoring pollutant transport (Chen et al. 2012; Sarisaltik 2019). The average WS (1.5 m/s or less) and formation of inversion layers were correlated, particularly during cold seasons. The lower the WS, the more likely the formation of an inversion layer. Therefore, the WS should exceed 1.5 m/s to transport air pollutants (Holzworth 1974). Although many researchers (Agac 2016; Aggarwal and Toshniwal 2018; Bai et al. 2016; Luo et al. 2017; Masoudi and Gerami 2017; Zannetti et al. 1977) found WS to be negatively correlated with air pollutant levels (similar results), others (Chen et al. 2012; Haagenson 1979) have reported different results. For example, Luo et al. (2017) reported a decreasing effect on CO ($r = -0.54$) and PM_{2.5} ($r = -0.39$).

Owing to the correlation between meteorological factors and air pollutants, global climate change is expected to affect air pollution. In Turkey, an increase in temperature between 3 and 6 °C, particularly during the summer period, an increase in winter precipitation in most of the country, and decreases in precipitation during spring, summer, and autumn throughout the country, excluding coastal areas and the northeastern region, are expected (Demircan et al. 2014). Increases in temperature improve the bio-based emissions and chemical reactions, which promote the pollutant concentrations. Additionally, the decreased precipitation in most of the country will enhance the levels of pollutants, particularly ozone, due to the reduced removal by precipitation and increased photochemistry resulting from reduced cloudiness (Giorgi and Meleux 2007). Therefore, global climate change is one of the most significant determinants in air pollution estimations.

3.1.4. Assessment of Air Quality Using AQIs

One of the essential requirements for human health and well-being is clean air, which has been deteriorated by various human activities that have resulted in air pollution. Therefore, most countries measure, record, and monitor the levels air pollutants. However, the assessment and reporting of such complex data are difficult. Air quality indices have been developed and used, which are simple and rational approaches to evaluating air quality, along with its effects on both human and environmental health, and report it, monitor its trends, and develop reduction strategies (Plaia and Ruggieri 2011). In this study, we used the ASI and DAQx to evaluate air pollution in the Marmara Region, Turkey. The ASI and DAQx values calculated and interpolated for the Marmara Region are shown in Figures 4 and 5, and are compared by province in Figure 3. The ASI and DAQx indicated that the air quality in the region exhibited distinct air stress (mean value of 2.1) or was sufficient air quality (mean value = 4.3), respectively. The lowest and highest ASI and DAQx values were observed in the provinces of Çanakkale and Bursa, respectively, with Sakarya and Tekirdağ following Bursa for ASI and Sakarya and Balıkesir following Bursa for DAQx. The high pollution levels in Bursa, Sakarya, and Tekirdağ could be attributed to the high emissions from industrialization, urbanization, population density, and traffic. The lowest values were observed in the provinces of Çanakkale, Yalova, and Kırklareli, which could be attributed to lower population density and industrialization, higher number of agricultural areas, and lower level of traffic than the more industrialized provinces. The contribution of the pollutants to ASI increased in the following order: SO₂ (4.5%)<CO (5.8)<NO_x (16.5%)<O₃ (21.2) < PM₁₀ (52.0%). The only contributor in DAQx, excluding O₃ and NO_x at five and three stations, respectively, was PM₁₀.

Mayer et al. (2004) also used ASI and DAQx to assess the air quality in southwestern Germany and southern Hungary, and the ASI and DAQx values ranged from 0.86 to 1.32 and 3.02 to 3.19, respectively. Although PM₁₀ and NO₂ were dominant in the ASI in southwestern Germany, PM₁₀ and CO were dominant in the DAQx. Dimitriou and Kassomenos (2017) also reported that PM₁₀ was the dominant pollutant in the ASI in southern Germany, followed by O₃. Makra et al. (2003) found that PM₁₀ and CO were dominant for both ASI and DAQx.

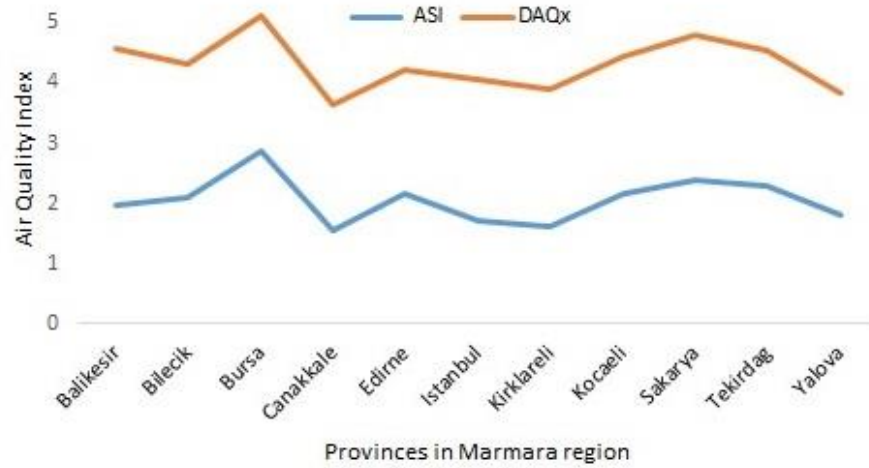


Figure 3: Annual mean ASI and DAQx values at Marmara region

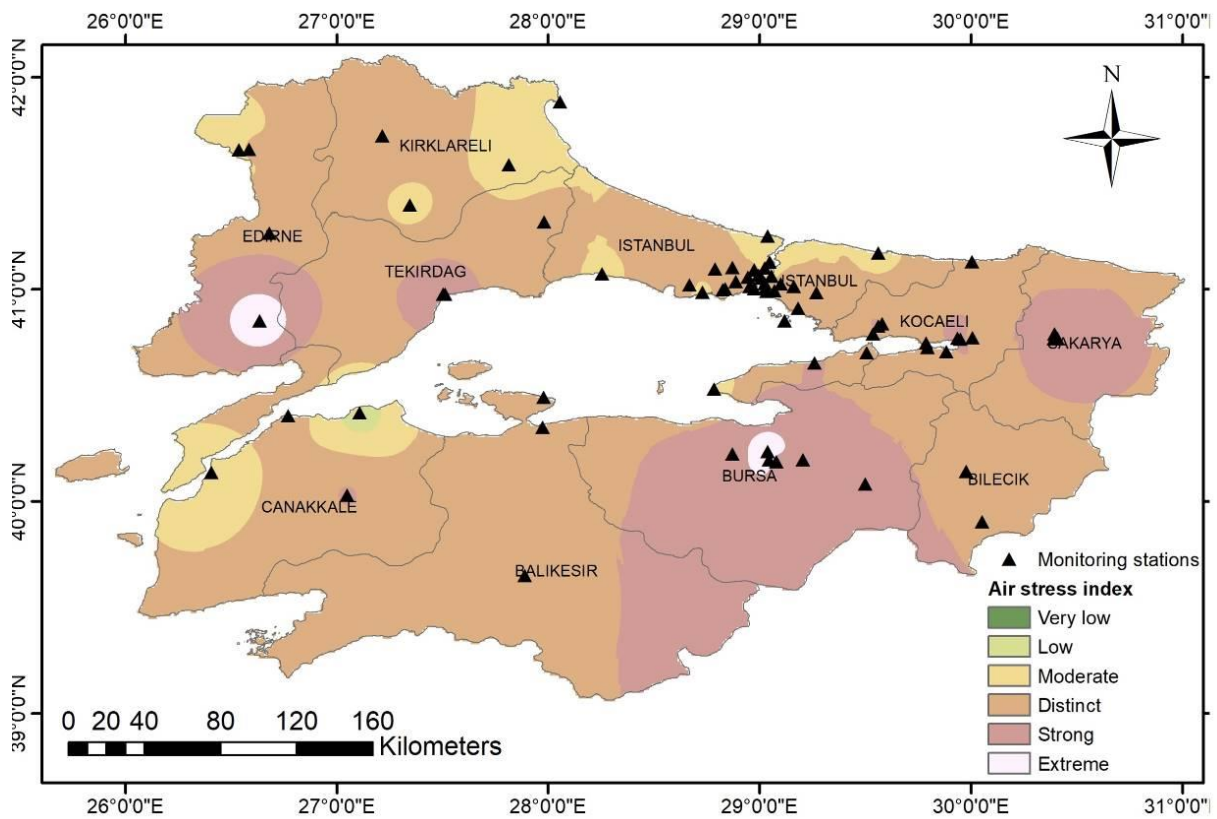


Figure 4: Air stress index map of Marmara region

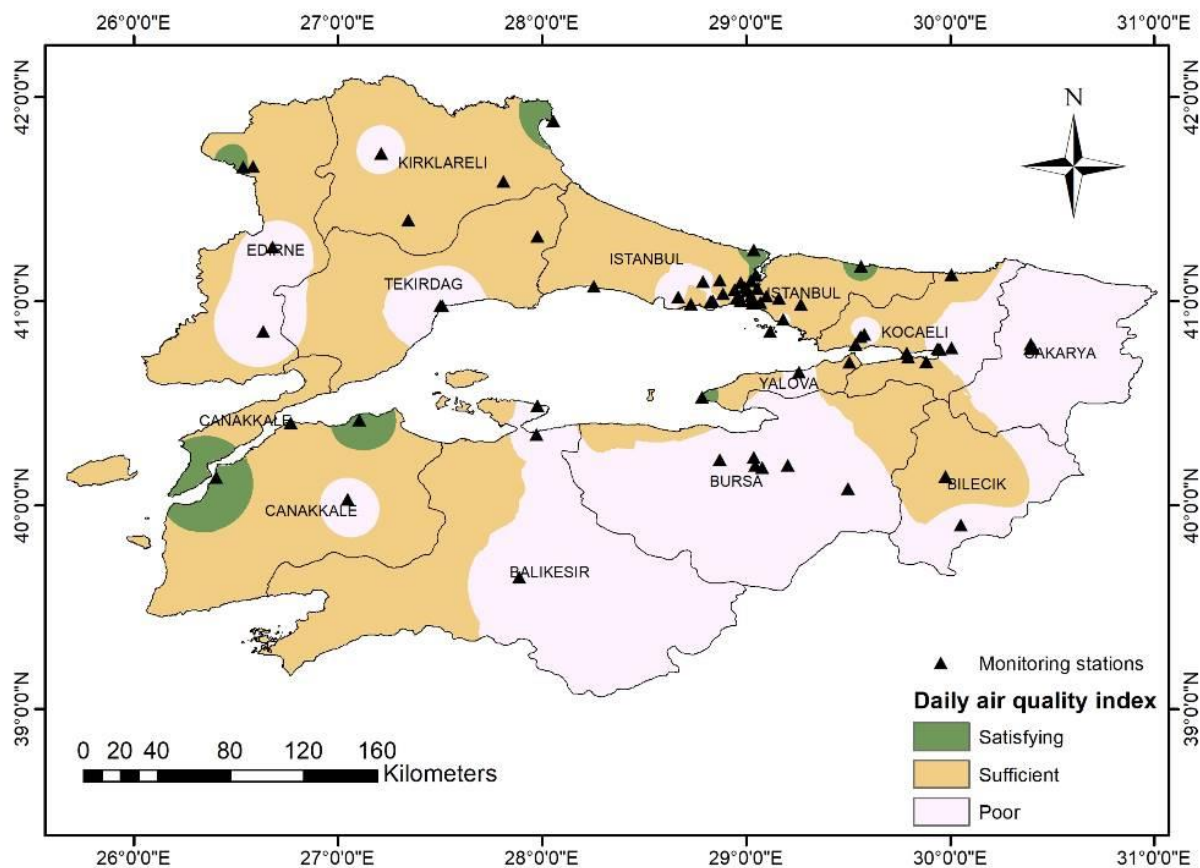


Figure 5: Daily air quality index map of Marmara region

4. Conclusion

In this study, the relationships between the emission of air pollutants in the atmosphere of the Marmara region and environmental variables such as spatial, meteorological, and anthropogenic were determined. Two different AQIs, including ASI and DAQx were employed to assess the air quality in the region.

The results demonstrated that, in parallel to increasing industrialization and traffic density, air pollution improved from the west to the east in the region. Human-related factors in the study area, such as Popdist, Popcou, and Vhcl, were the most responsible for the air pollutants, except CO, affected by only meteorological factors such as Prec, WS, and RH. Those factors also affected the other contaminants, which means that global climate change in the future can adversely affect air quality in the Marmara region with increasing temperature and decreasing precipitation. The ASI and DAQx values indicated that the air quality in the region exhibited distinct air stress and sufficient, respectively. The pollutants with the greatest effect on ASI and DAQx were PM₁₀, O₃, and NO_x. Results from this study can be used as a base in regions with no monitoring stations.

The findings and outcomes could contribute to understanding and evaluating the air quality in the region and could be used as a base for further studies.

References

- Agac K., (2016), *Meteorological Investigation of High PM₁₀ Concentration In Istanbul Kağıthane Region*, Master Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.
- Aggarwal A., Toshniwal D., (2018), *Predicting particulate matter for assessing air quality in Delhi using meteorological features*, International Conference on Computational Science and Its Applications, ICCSA 2018: Computational Science and Its Applications – ICCSA 2018, Melbourne, Australia, pp.623-638.
- Aldrin M., Half I.H., (2005), *Generalised additive modelling of air pollution, traffic volume and meteorology*, Atmospheric Environment, 39(11), 2145-55.
- Altıncop H., Oktay A.B., (2018), *Air Pollution Forecasting with Random Forest Time Series Analysis*, 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey, ss.1-5.
- PISR, (2018), *81 provincial industry situation report*. Ankara: industry. Ministry of Science of the Republic of Turkey. <https://www.sanayi.gov.tr/plan-program-raporlar-ve-yayinlar/81-il-sanayi-durum-raporlari/mu0603011615>, [Accessed 10 January 2022].

- Arslan O., Akyürek Ö., (2018), *Spatial modelling of air pollution from PM10 and SO2 concentrations during winter season in marmara region (2013-2014)*, International Journal of Environment and Geoinformatics, 5(1), 1-16.
- Atamaleki A., Saeed M. Z., Yadolah F., Ehsan A. M., Ghasem H., Meysam F., Mahdiyeh D., (2019), *Estimation of air pollutants emission (PM10, CO, SO2 and NOx) during development of the industry using AUSTAL 2000 model: A new method for sustainable development*, Methods, 10(6), 1581-90.
- Bai Y., Yong L., Xiaoxue W., Jingjing X., Chuan L., (2016), *Air pollutants concentrations forecasting using back propagation neural network based on wavelet decomposition with meteorological conditions*, Atmospheric pollution research, 7(3), 557-66.
- Buchholz R.R., Paton-Walsh C., David W.T.G., Kubistin D., Caldow C., Fisher J.A., Deutscher N.M., Kettlewell G., Riggenbach M., Macatangay R., (2016), *Source and meteorological influences on air quality (CO, CH4 & CO2) at a Southern Hemisphere urban site*, Atmospheric Environment, 126, 274-89.
- Caf A., Koc A., Sevgi Y., (2017), *Effects of Urbanization on Air Quality; Sample of Bingol City*, Journal of The Institute of Science and Technology, 7(3), 231-238.
- 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.
- Chen L., Peng S., Liu J., Hou Q. (2012), *Dry deposition velocity of total suspended particles and meteorological influence in four locations in Guangzhou, China*, Journal of Environmental Sciences, 24(4), 632-639.
- Chen X., Liu F., Niu Z., Mao S., Tang H., Li N., Chen G., Liu S., Lu Y., Xiang H., (2020), *The association between short-term exposure to ambient air pollution and fractional exhaled nitric oxide level: A systematic review and meta-analysis of panel studies*, Environmental pollution, 265(2020), 114833, doi: 10.1016/j.envpol.2020.114833.
- Cheng N., Cheng B., Li S., Ning T. (2019), *Effects of meteorology and emission reduction measures on air pollution in Beijing during heating seasons*, Atmospheric Pollution Research, 10(3), 971-979.
- Childs C., (2004), *Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst*, ArcUser, July-September 3235(569), 32-35.
- Çiftci Ç., Dursun S., Levend S., Kunt F., (2013), *Effect of Topography, Climatic Conditions and Urbanization on Air Pollution Problem of Konya, Turkey*, European Journal of Science and Technology, 1(1), 19-24.
- Cramer J.C., (1998), *Population growth and air quality in California*, Demography, 35(1), 45-56.
- Cuhadaroglu B., Demirci E., (1997), *Influence of some meteorological factors on air pollution in Trabzon city*, Energy and Buildings, 25(3), 179-184.
- Demirarslan K.O., Akıncı H., (2018), *Assessment of Winter Season Air Quality in the Marmara Region Using GIS and Air Quality Data*, Journal of Natural Hazards and Environment, 4(1), 11-27.
- Demircan M., Demir Ö., Atay H., Eskioglu O., Tüvan A., Akçakaya A., (2014), *Climate change projections for Turkey with new scenarios*, The Climate Change and Climate Dynamics Conference 2014, Istanbul, Turkey, ss.8-10.
- Dimitriou K., Kassomenos P., (2017), *The covariance of air quality conditions in six cities in Southern Germany-The role of meteorology*, Science of the Total Environment, 574, 1611-1621.
- EPA, (2014), *A guide to air quality and your health*, U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards, https://www.airnow.gov/sites/default/files/2018-04/aqi_brochure_02_14_0.pdf, [Accessed 10 May 2022].
- EPA, (2007), *Basic Air Pollution Meteorology*, Air Pollution Training Institute, Self Instructional Manual, APTI Course SI: 409 (Rev. April, 2005), <http://app.svu.edu.eg/ecourses/postfiles/6652/Lesson%201.pdf>, [Accessed 10 May 2022].
- ESRI, (2014), ArcMap 10.2. Redlands, USA.
- Filonchik M., Yan H., (2018), *The characteristics of air pollutants during different seasons in the urban area of Lanzhou, Northwest China*, Environmental Earth Sciences, 77(22), 1-17.
- Ghaedrahmati S., Alian M., (2019), *Health risk assessment of relationship between air pollutants' density and population density in Tehran, Iran*, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 25(7), 1853-1869.
- Gilliam J.H., Hall E.S., (2016), *Reference and Equivalent Methods Used to Measure National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), Criteria Air Pollutants-Volume I*, US Environmental Protection Agency, EPA/600/R-16/139, Washington, DC.
- Giorgi F., Meleux F., (2007), *Modelling the regional effects of climate change on air quality*, Comptes Rendus Geoscience, 339(11-12), 721-33.
- Gocheva-I., Snezhana G., Stoimenova M.P., (2018), *PM10 Prediction and Forecasting Using CART: A Case Study for Pleven, Bulgaria*, International Journal of Environmental and Ecological Engineering, 12(9), 572-577.
- Godish T., Fu J.S., (2003), *Air Quality*, Fourth Edition, CRC Press, Boca Raton, 480ss.
- Gu K., Qiao J., Lin W., (2018), *Recurrent air quality predictor based on meteorology-and pollution-related factors*, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 14(9), 3946-3955.
- Haagensohn P.L., (1979), *Meteorological and climatological factors affecting Denver air quality*, Atmospheric Environment (1967), 13(1), 79-85.
- Han L., Zhou W., Li W., (2018), *Growing urbanization and the impact on fine particulate matter (PM2.5) dynamics*, Sustainability, 10(6), 1696.
- Han S., Bian H., Feng Y., Liu A., Li X., Zeng F., Zhang X., (2011), *Analysis of the Relationship between O3, NO and NO2 in Tianjin, China*, Aerosol Air Qual. Res, 11(2), 128-39.
- Han X., Naeher L.P., (2006), *A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world*, Environment international, 32(1), 106-20.
- Holzworth G.C., (1974), *Climatological Aspects of the Composition and Pollution of the Atmosphere*, Secretariat of the World Meteorological Organization.
- Hu D., Wu J., Tian K., Liao L., Xu M., Du Y., (2017), *Urban air quality, meteorology and traffic linkages: Evidence from a sixteen-day particulate matter pollution event in December 2015, Beijing*, Journal of Environmental Sciences, 59, 30-38.
- Huo M., Sun Q., Bai Y., Xie P., Liu Z., Li J., Wang X., Lu S., (2011), *Chemical character of precipitation and related particles and trace gases in the North and South of China*, Journal of Atmospheric Chemistry, 67(1), 29 doi: 10.1007/s10874-011-9201-6.
- Jamal A., Nodehi R.N., (2017), *Predicting air quality index based on meteorological data: A comparison of regression analysis, artificial neural networks and decision tree*, Journal of Air Pollution and Health, 2(1), 27-38.

- Karroum K., Lin Y., Chiang Y.Y., Maissa Y.B., El Haziti M., Sokolov A., Delbarre H., (2020), *A Review of Air Quality Modeling*, MAPAN Journal of Metrology Society of India, 5(2), 287-300.
- Kasparoglu S., Incecik S., Topcu S., (2018), *Spatial and temporal variation of O₃, NO and NO₂ concentrations at rural and urban sites in Marmara Region of Turkey*, Atmospheric pollution research, 9(6), 1009-1020.
- Khedairia S., Khadir M.T., (2012), *Impact of clustered meteorological parameters on air pollutants concentrations in the region of Annaba, Algeria*, Atmospheric research, 113, 89-101.
- Lei M.T., Monjardino J., Mendes L., Gonçalves D., Ferreira F., (2019), *Macao air quality forecast using statistical methods*, Air Quality, Atmosphere & Health, 12(9), 1049-1057.
- Li L., Qian J., Ou C.Q., Zhou Y.X., Guo C., Guo Y.M., (2014), *Spatial and temporal analysis of Air Pollution Index and its timescale-dependent relationship with meteorological factors in Guangzhou, China, 2001-2011*, Environmental pollution, 190, 75-81.
- Liu B., Shi C., Li J., Li Y., Lang J., Gu R., (2018), *Comparison of Different Machine Learning Methods to Forecast Air Quality Index*, Frontier Computing FC:2018 Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 542, Springer, Singapore, ss.235-245.
- Luo X.S., Zhao Z., Chen Y., Ge X., Huang Y., Suo C., Sun X., Zhang D., (2017), *Effects of emission control and meteorological parameters on urban air quality showed by the 2014 Youth Olympic Games in China*, Fresenius Environmet. Bulletin, 26, 4798-4807.
- Makra L., Mayer H., Beczi R., Borsos E., (2003), *Evaluation of the air quality of Szeged with some assessment methods*, Acta climatologica, 36, 85-92.
- 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.
- Mandal TK., Gorai AK., (2014), *Air quality indices: a literature review*, Journal of Environmen Sciences Engineering, 56(3), 357-362.
- Martin A., (1984), *Estimated washout coefficients for sulphur dioxide, nitric oxide, nitrogen dioxide and ozone*, Atmospheric Environment (1967), 18(9), 1955-1961.
- Masoudi M., Gerami S., (2017), *Status of CO as an air pollutant and its prediction, using meteorological parameters in Esfahan, Iran*, Pollution, 3(4), 527-537.
- Masoudi M., Behzadi F., Sakhaei M., (2018), *Status and prediction of sulfur dioxide as an air pollutant in Tehran, Iran*, EQA-International Journal of Environmental Quality, 28, 13-23.
- Mayer H., Makra L., Kalberlah F., Ahrens D., Reuter U., (2004), *Air stress and air quality indices*, Meteorologische Zeitschrift, 13(5), 395-403.
- Mentese S., (2019), *Spatial and Temporal Variation of Air Pollution: The Case of the Marmara Region*, Fresenius Environmental Bulletin, 28(5), 3626-3636.
- Ngoc B.A.P., Delbarre H., Deboudt K., Dieudonné E., Tran D.N., Le Thanh S., ... , Ravetta F. (2021), *Key factors explaining severe air pollution episodes in Hanoi during 2019 winter season*, Atmospheric Pollution Research, 12(6), 101068 doi: 10.1016/j.apr.2021.101068.
- Plaia A., Ruggieri M., (2011), *Air quality indices: a review*, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 10(2), 165-179.
- Sarisaltik U., (2019), *Spatial and temporal distribution of inorganic and organic pollutant concentrations at northwestern Anatolia*, Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Sarkodie S.A., Strezov V., Jiang Y., Evans T., (2019), *Proximate determinants of particulate matter (PM_{2.5}) emission, mortality and life expectancy in Europe, Central Asia, Australia, Canada and the US*, Science of the Total Environment, 683, 489-497.
- Sayegh A., Tate J.E., Ropkins K., (2016), *Understanding how roadside concentrations of NO_x are influenced by the background levels, traffic density, and meteorological conditions using Boosted Regression Trees*, Atmospheric Environment, 127, 163-75.
- Sensoy S., Demircan M., Uluşinar U., Balta I., (2008), *Climate of Turkey*, Turkish State Meteorological Service (DMI), Ankara.
- Sharma B.K., (2007), *An introduction to environmental pollution*, In Environmental Pollution Monitoring and Control (Khopkar S.M., Ed.), New Age International (P) Limited, New Delhi, 494ss.
- Shi W., Sun C., Chen Q., Ye M., Niu J., Meng Z., Bukulmez O., Chen M., Teng X., (2021), *Association between ambient air pollution and pregnancy outcomes in patients undergoing in vitro fertilization in Shanghai, China: A retrospective cohort study*, Environment international, 148, 106377, doi: 10.1016/j.envint.2021.106377.
- Tan Z., (2014), *Air Pollution and Greenhouse Gases: From Basic Concepts to Engineering Applications for Air Emission Control*, Springer Singapore, 481ss.
- Team R.C., (2013), *R: A language and environment for statistical computing*, <http://www.R-project.org/>, [Accessed 10 January 2022].
- Tikhe S.S., Khare K.C., Londhe S.N., (2017), *Spatio-temporal estimation of air quality parameters using linear genetic programming*, Advances in Environmental Research, 6(2), 83-94.
- Tong C.H.M., Yim S.H.L., Rothenberg D., Wang C., Lin C.-Y., Chen Y.D., Lau N.C., (2018), *Assessing the impacts of seasonal and vertical atmospheric conditions on air quality over the Pearl River Delta region*, Atmospheric Environment, 180, 69-78.
- Turkes M., (2020), *Climate and Drought in Turkey*, In Water Resources of Turkey Vol 2, (Harmancioglu N., Altinbilek D. Ed.), Springer, Cham., ss.85-125.
- TSMS, (2017), *Turkish State Meteorological Service, Local meteorological parameters for Balıkesir, Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, Istanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ and Yalova meteorological stations*, In, edited by Ministry of Agriculture and Forestry, Turkish State Meteorological Service, Ankara.
- 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.
- URL-1, (2018), *Sürekli izleme merkezi (SİM)*, <http://www.havaizleme.gov.tr/hava.html>, [Accessed 25 November 2018].
- URL-2, (2018), *Map of Turkish State Highway Density in 2017*, <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/trafikhacimharitasi/2017HacimHaritalari/Hacim2017Devlet.pdf>, [Accessed 25 November 2018].
- URL-3, (2017), *The Population of City, County, District and Village, General Census according to years - ADKNS*, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>, [Accessed 25 November 2018].
- Vieira-F, Marcelo S., Lehmann C., Fornaro A., (2015), *Influence of local sources and topography on air quality and rainwater composition in Cubatão and São Paulo, Brazil*, Atmospheric Environment, 101, 200-208.

- WHO, (2020), *Air pollution*, WHO (World Healty Organization), https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1, [Accessed 10 January 2022].
- Yoo J.-, Lee Y.-R., Kim D., Jeong M.-J., Stockwell W.R., Kundu P.K., Oh S.-M., Shin D.-B., Lee S.-J., (2014), *New indices for wet scavenging of air pollutants (O3, CO, NO2, SO2, and PM10) by summertime rain*, Atmospheric Environment, 82, 226-37.
- Zannetti P., Melli P., Runca E., (1977), *Meteorological factors affecting SO2 pollution levels in venice*, Atmospheric Environment (1967), 11(7), 605-616.

Sel Afetlerinde Acil Sağlık Hizmetlerinin Organizasyonu ve Yaşanan Sorunlar: Hopa Örneği

Kemal Torpuş^{1,*}, Sedat Bostan²

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin Meslek Yüksekokulu, Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı, Artvin.

²Ordu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, Sağlık Kurumları Yönetimi ve Organizasyonu Anabilim Dalı, Ordu.

Özet

24 Ağustos 2015 tarihinde meydana gelen Hopa sel afeti, maddi kayıpların yanı sıra çok sayıda yaralanmaya, 3 kişinin sel sularında kaybolmasına ve 8 kişinin de hayatını kaybetmesine yol açmıştır. Afet meydana geldiğinde medikal kurtarma ekipleri afet sahasına ulaşana kadar afetzedeler kendi imkânları ile baş etmek durumundadır. Bu noktadan hareketle çalışmamızda, Hopa sel afetinde acil sağlık hizmetlerinin organizasyonu, organizasyonda ortaya çıkan sorunların tespit edilmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Hopa sel afetinde görev almış, Ulusal Medikal Kurtarma Ekip (UMKE) liderlerine yarı yapılandırılmış mülakat tekniği uygulanmıştır. Çalışma verileri incelendiğinde; ekiplerin afet sahasına 3-6 saat aralığında ulaştığı, ilk kurtarma işleminin afetzedeler tarafından gerçekleştirildiği ve yaralıların kendi imkânlarıyla hastaneye ulaştığı belirlenmiştir. Koordinasyon ve uygulama eksikliği ile afetzedelerin su ve yemek ihtiyaçlarının sağlık ekibi tarafından karşılanması isteğinin yönetsel açıdan sorun oluşturduğu belirlenmiştir. Afette görev alan ekip sayısının yeterli olduğu, araç-gereç ve tıbbi lojistiğin yeterince sağlandığı, ekiplerin canla başla ve uyum içinde çalıştığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler

Medikal Kurtarma, Acil Sağlık, Afet Yönetimi, Sel

Organization of Emergency Health Services and Problems in Flood Disasters: The Case of Hopa

Abstract

The Hopa flood disaster that occurred on August 24, 2015, caused many injuries, 3 people were lost in the flood waters and 8 people lost their lives in addition to financial losses. When the disaster occurs, the victims have to cope with their own means until the medical rescue teams reach the disaster area. From this point of view, in our study, it is aimed to organize the emergency health services in the Hopa flood disaster, to identify and evaluate the problems that arise in the organization. Qualitative research method was used in the study. Semi-structured interview technique was applied to the leaders of the National Medical Rescue Team (UMKE) who took part in the Hopa flood disaster. When the study data is examined, it was determined that the teams reached the disaster area within 3-6 hours, the first rescue operation was carried out by the disaster victims and the injured reached the hospital by their own means. It has been determined that the lack of coordination and practice and the desire to meet the water and food needs of the disaster victims by the health team create administrative problems. It has been determined that the number of teams involved in the disaster is sufficient, equipment and medical logistics are adequately provided, and the teams work hard and in harmony.

Keywords:

Medical Rescue, Emergency Health, Disaster Management, Flood

1. Giriş

Afet, köken itibarı ile Türkçe'ye Arpaça'dan geçmiştir. Genel olarak afet; yıkım, bela ve büyük felaket anlamlarında da kullanılmaktadır (Özey 2006; Yılmaz 2003). Fakat afet sözcüğünün evrensel olarak kabul edilmiş bir tanımı yoktur (Shaluf 2007). Literatür incelendiğinde afet sözcüğü üzerine birçok tanımlamanın yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise uluslararası afet tanımlamalarına yer verilerek afet sözcüğü irdelenmiştir;

United Nations (UN) / Birleşmiş Milletler (BM) afeti, toplumun düzenini büyük ölçüde bozan, yerel kaynaklarla müdahale kapasitesini aşan, insan, ekonomik, sosyal ve çevresel kayıplara yol açan olaylar olarak tanımlamıştır (UN 1992). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) / World Health Organization (WHO) ise afeti, hasar oluşturan, çevre düzenini bozan, insanların hayatını kaybetmesine ya da sağlık sorunlarına sebep olan, etkilenen sahanın ulusal veya uluslararası desteğe ihtiyaç duyduğu herhangi bir olay olarak tanımlamaktadır (Iqbal vd. 2007; Ababa 2002). Literatür incelendiğinde afetin sözcüğünün olgunlaştırılmasında çeşitli kriterlerin önerildiği görülmüştür. EM-DAT göre afet kriterleri;

- On (10) veya daha fazla can kaybının bildirilmesi
- Yüz (100) veya daha fazla etkilenen kişinin bildirilmesi
- Olağanüstü hâl ilan edilmesi
- Uluslararası yardım çağrısında bulunulmasıdır (EM-DAT 2021).

Afet Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi (CRED) veri tabanına göre bir olayın afet olarak kabul edilebilmesi için; 10 kişiden daha fazla insanın hayatını kaybetmesi, 100 kişinin üstünde insanın şiddetli şekilde etkilenmesi, yaralanması ve evinden olması, Devlet Yönetiminin olağanüstü hal ilan etmesi, Devlet Yönetiminin uluslararası yardım talebinde bulunması gerekmektedir (Strömberg 2007; Below vd. 2009).

Afet tanımları incelendiğinde bir olayın afet olarak nitelendirilmesi için iki ana unsur vardır. Bunlardan birincisi, yerel yönetimin afetin sonuçları ile mücadelede yetersiz kalması, ikincisi ise afet bölgesinde ulusal ya da uluslararası yardıma ihtiyaç duyulmasıdır (Eryılmaz ve Dizer 2007; Usta vd. 2017; Usta ve Usta 2021; Yılmaz vd. 2019). Ülkelerin gelişmişlik seviyelerine göre afet türlerinin algılanmasında farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Gelişmiş ülkelerin afet olarak tanımladığı çeşitli olayları, gelişmemiş ülkelerin afet olarak tanımlamadığı görülmektedir (Akyel 2007).

Afetlerin sınıflandırılmasında afetin meydana geliş hızı, kaynağı ve büyüklüğü gibi kriterler kullanılmaktadır (Ekşi 2015). CRED afetleri özellikle afeti meydana getiren kaynağa göre “doğal ve insan-teknolojik afetler” olarak 2 türe ayrılmıştır (Debby vd. 2012; Ekşi 2015; İSO 2008; Ekinci vd. 2020). Afetlerin görülme sıklığında bölgeler arası farklılıklar ön plana çıkmaktadır. Türkiye’nin deprem kuşağında yer almasından dolayı diri fay hatları üzerine kurulu illerde deprem görülme sıklığı artarken arazi yapısı, eğim ve yağış miktarına bağlı olarak bazı illerimizde heyelan, taş düşmesi, taşkın ve sel afeti riski yüksektir.

Uluslararası Afetler Veritabanına (EM-DAT) göre 2000-2021 yılları arasında dünyada 14127 adet afet olayının yaşandığı ve bu afetlerin 9807 adetinin doğal afetler sınıfında olduğu görülmüştür. 9807 adet doğal afetin, 3537 adeti sel afettir (EM-DAT 2021). Dünya genelinde 2000-2021 yılları arasında sel afeti çok sayıda insanın etkilenmesine sebep olmuştur (Yılmaz ve Usta 2019). Sel olayına özel olarak odaklanıldığında, 150.061 kişi etkilenmiştir. Etkilenen kişi sayısı tüm insani acil durumların yaklaşık %11’ini oluşturmaktadır (Amato vd. 2020; CRED 2016). Dünya çapında sel afeti, tüm doğal afetler arasında en sık görülen ve en maliyetli olanıdır (Al Qundus vd. 2020). Sel afetleri son zamanlarda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yüksek can kayıplarına yol açmaktadır (Yılmaz ve Kaya 2020). Ülkemizde de sel afetlerinin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Sel afetinin meydana getirdiği zararlar sadece maddi boyutlarla sınırlı kalmamakta ve can kayıplarına da yol açmaktadır (Bayrakdar vd. 2020). Sel felaketlerinin temel unsurları arasında; aşırı yağış, eğim, uygunsuz alt yapı, topoğrafya, dere yataklarında yerleşim yerlerinin inşası vb. durumlar yer almaktadır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM 2021) verilerine ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından (AFAD 2021a) yapılan açıklamaya göre metrekareye 11 Ağustos 2021 tarihinde Kastamonu Küre’ye 198 kg, Pınarbaşı’na 167 kg, Azdavay’a 145 kg, İnebolu’ya 123 kg, Abana’ya 122 kg, Bozkurt’a 117 kg yağış düşmüştür. Ölçülen bu yağış değerleri tipik 100 yıllık tekerrür aralığına sahip yağış miktarının üzerindedir.

24 Ağustos 2015 tarihinde meydana gelen Hopa sel afeti, maddi kayıpların yanı sıra çok sayıda yaralanmaya, 3 kişinin sel sularında kaybolmasına ve 8 kişinin de hayatını kaybetmesine yol açmıştır. 10-11 Ağustos 2021 tarihler aralığında Karabük, Sinop, Bartın ve Kastamonu şehirlerinde meydana gelen heyelan ve sel olayları sonucunda 82 kişi hayatını kaybetmiş, birçok vatandaşımız kaybolmuş ve ciddi derecede maddi hasarlar meydana gelmiştir. Özellikle Kastamonu ilinin Bozkurt ilçesinde yaşanan sel, can ve mal kaybına sebep olmuştur (AFAD 2021c). Hopa ve Karabük’te yaşanan sel afeti ile Sinop, Bartın ve Kastamonu şehirlerinde yaşanan sel felaketi kıyaslandığında hayat kaybının 9 kat daha fazla olduğu görülmektedir.

Bu noktadan hareketle çalışmamızda, Hopa sel afetindeki acil sağlık hizmetlerinin organizasyonu ve organizasyonda ortaya çıkan sorunların tespit edilmesi ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

1.1. Hopa İlçesinin Coğrafi Yapısı ve Genel Bilgiler

Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Hopa ilçesinin Gürcistan Cumhuriyeti Doğusunda, Arhavi ilçesi Batısında, Borçka ilçesi Güneyinde ve Karadeniz Kuzeyinde yer almaktadır. Artvin İlinin 289 km² ile en küçük yüzölçümlü ilçesi konumundadır. Karadeniz Bölgesinin doğu bölümündeki Hopa ilçesi en düşük 0 metre (m), en yüksek 1860 m ve ortalama yüksekliği 460.39 m’dir. İlçe alanının %62,88’sinin eğim (%) oranı > 45’ten fazladır (Yavuz Özalp vd. 2013). Hopa’nın iklimi ılıman ve sıcaktır. İklimi üzerinde, doğusunda yer alan Balıklı dağı ve kıyısında bulunduğu Karadeniz etki etmektedir. Hopa ilçesinde yıllık olarak 2042 mm yağış kaydedilmektedir (URL-1 2021; URL-2 2021). İlçe sınırları içerisinde Sundura, Naşeni, Balıklı, Amcise, Subaşı, Esenkıy, Çamdere (Halvaşı), Yeşilce, Pınarlı, Sugören, Eşmekaya, Çamdere, Köprücü, Yeşildere, Güverinlik, Çaylık, Yoldere ve Koyuncular Deresi bulunmaktadır (DSİ 2021). Birçok dere yatağının varlığı yağış sularının denize döküldüğü alanlarda taşkın ve sel riskini arttırmaktadır. Rakımın yüksek olduğu alanlarda, şiddetli yağışa bağlı sel ve taşkın olayları yaşanmaktadır. Rakımın yüksek olduğu kesimlerdeki yoğun yağış miktarı dere yatağına çeşitli malzemeleri (ağaç, odun, kaya, toprak, çöp vb.) sürüklemesinden dolayı köprü, menfez ve derelerin dar olan bölgelerinde kısmi veya tam tıkanmaya sebep olmaktadır (Işık vd. 2020). Karadeniz kıyı bölgesinde yer alan Hopa ilçesinde sel ve taşkın olayları sıklıkla gözlenmektedir (Özalp 2009). 24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa ilçesinde 30 dakikalık zaman diliminde 64.9 mm ve 1440 dakikalık zaman diliminde 221 mm’lik yağış miktarı kaydedilmiştir (Çelik vd. 2017).

Hopa ilçesinde kentsel ve kırsal nüfusun yoğunluğu, dere yataklarına yakın alanlarda yapılaşmaların varlığı, m²'ye düşen yağış miktarının yüksek olması Hopa ilçesinde taşkın ve sel afetlerinin yaşanmasının temel sebepleri arasında yer almaktadır (Benli ve Özçelik 2020).

1.2. Afetlerde Acil Sağlık Hizmetlerinin Organizasyonu

Türkiye Afete Müdahale Planına (TAMP) göre Sağlık Hizmet Grubundan Sağlık Bakanlığı sorumludur (TAMP 2022). Afetlerde, TAMP'a göre Sağlık Bakanlığı bünyesinde Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığına bağlı Acil Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğünde görev yapan UMKE personeli görev yapmaktadır. UMKE Ulusal Medikal Kurtarma Ekibi (UMKE) afet ve acil durumlarda medikal kurtarma yapabilme yeteneğine sahiptir. Bu noktadan hareketle araştırmaya Hopa sel afetine müdahale eden UMKE liderleri seçilmiştir. UMKE liderlerinin çalışmaya dahil edilmesinde Sağlık Bakanlığının Ulusal Medikal Kurtarma Ekiplerinin Görevleri ve Çalışma Esaslarına Dair Yönergesi dikkate alınmıştır;

“a) Afet veya olağandışı durumlarda aldıkları özel eğitim ve donanım, kazazedelere olay yerinde, en kısa sürede imkân ve kabiliyetlerini kullanarak uygun yöntemlerle medikal müdahale etmek ve kurtarmak,

b) Kurtarılan kazazedeleri, en kısa sürede ileri acil tedavi ünitelerine naklini sağlamak üzere ambulanslara, uygun nakil araçlarına ve görevlilerine teslim etmek,

c) Afetler ve olağan dışı durumlarda diğer sağlık ekiplerinin sunduğu tıbbi yardımların yeterli olmadığı durumlarda ve alanlarda, ekibin kendi donanım, personel ve eğitim imkanları dâhilinde ihtiyaç duyulan sağlık hizmetlerine destek vermek,

ç) Olay yerinde sağlık hizmetlerinin yönetimini yapmak, triaj, tıbbi müdahale, nakil hazırlıkları, haberleşme ve kayıt yapmak,

d) Afet birimi ve diğer yerler ile gerekli iletişimi ve bilgi akışını sağlamak,

e) Faaliyetleri kapsamında ilgili kurum, kuruluş ve kişilerle iş birliği yapmak,

f) Gerekli hâllerde, yurtdışında meydana gelen afet ve olağan dışı durumlarda sağlık hizmetlerinde görev almak.” (URL-3 2010). Ulusal Medikal Kurtarma Ekibi, afet ve acil durumlarda olay yerinde AFAD koordinasyonunda, olayın durumuna göre ana çözüm ortakları ile destek çözüm ortaklarının paydaş şeklinde görev ve sorumluluklarını yerine getirmesiyle müdahale çalışmalarına başlar. Hizmet gruplarında sağlık hizmetlerinin sunulmasında ana çözüm ortağı Sağlık Bakanlııdır. Sağlık Bakanlığı destek çözüm ortakları ile birlikte sağlık hizmetlerini yürütmektedir. Afet anında ve sonrasında olay yerinde sağlık hizmetlerinin koordinasyonu, Sağlık Afet Koordinasyon Merkezi (SAKOM) tarafından olayın önemine göre 1., 2. ve 3. kademe olarak derhal Sağlık Bakanına bilgi verilmektedir. Bakanlık, merkez SAKOM tarafından olağandışı durumun meydana geldiği ildeki UMKE ve 112 il ambulans servisi başhekimliğinin olay hakkında bilgilendirmektedir. Olayın büyüklüğüne göre de destek illerin olay yerine görevlendirilmesi yapılmaktadır (URL-4 2021). Sağlık il müdürlüğü tarafından görevlendirme, valilik olurunun alınması ve lojistik hazırlıkların yapılmasıyla olay yerine intikal süreci başlamaktadır. Olay yeri görev sahası 112 Komuta Kontrol Merkezi (KKM) aranarak alınan bilgi doğrultusunda çalışmalar diğer ekiplerle koordineli şekilde yürütülmektedir (Eryiğit vd. 2012). UMKE medikal kurtarma çalışmalarına başlamak üzere olay yerine intikal etmesi ile 24 saat esasına göre müdahale çalışmalarına başlamış olur. Medikal kurtarma sonrasında afetzede veya kazazede 112 ambulans ekiplerine teslimi ve uygun sağlık kuruluşuna sevk işleminin gerçekleştirilmesidir (URL-5 2021).

24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa ilçesinde meydana gelen sel afeti, maddi kayıpların yanı sıra çok sayıda yaralanma ve 8 kişinin de hayatını kaybetmesine yol açmıştır. Afet sırasında en üst noktaya ulaşan sağlık hizmetleri sunumunda; yönetsel kabiliyet, tıbbi müdahale algoritmaları, ekip arası koordinasyon, ekip- üye koordinasyonu, ulaşım ve araç-gereç-malzeme, sevk işlemi ve hastaneye kabul sorunlarına çözüm odaklı yaklaşımlar, afetlerde acil sağlık hizmetlerinin organizasyonu ve yaşanan sorunlar konusu içerisinde değerlendirilmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

24 Ağustos 2015 tarihinde Artvin İli Hopa İlçesinde meydana gelen sel afetinde Artvin UMKE ve Bölge UMKE ekipleri arama kurtarma ve tıbbi müdahale işlemlerinde görev almışlardır. Literatür incelemelerinde, afetlerde acil sağlık hizmetleri organizasyonu ve yaşanan sorunları doğrudan inceleyen çalışmaya rastlanmamış olup, konuyu farklı yönleri ile inceleyen çalışmalara rastlanmıştır.

Çalışmanın yarı yapılandırılmış mülakat sorularının hazırlanmasında literatürden, afet çalışanları ve uzmanların görüşlerinden yararlanılmıştır. Sorular yazarlar tarafından hazırlanmıştır. Hazırlanan form, afetlerde acil sağlık hizmetlerinin organizasyonu konusunda eğitim almış uzman ve akademisyenlere gönderilmiş ve soru formunu değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre yarı yapılandırılmış görüşme formu 13 soru olacak şekilde düzenlenmiştir.

Afet sahasında yaşanan acil sağlık hizmetlerinin organizasyonu ve yaşanan sorunlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında afete müdahil olan 12 ekip liderinden 8'ine ulaşılmıştır. 4 ekip liderine görev yeri değişimi ve iletişim bilgilerinin bulunmaması nedenleriyle ulaşılamamıştır.

Kişisel bilgilerin gizliliği için her bir UMKE liderine U1-U8 arasında kod verilmiştir. Liderlerin cevapları belirli bir kodlama sistemine göre kodlanarak betimsel tablolar oluşturulmuştur.

Soru bazında UMKE liderlerinin ifadeleri kodlanmış ve soru kapsamında betimsel tablolar tasarlanmıştır. Kodlama işlemi yazarlar tarafından ayrı ayrı yapılmış ve %90'ının üzerinde benzerlik tespit edilerek kodlamanın geçerliliği teyit edilmiştir.

3. Bulgular

Yarı yapılandırılmış mülakat çalışmasına dahil edilen katılımcıların demografik verileri incelendiğinde; Katılımcıların %75'ini erkeklerin ve %25'ini kadınların oluşturduğu görülmüştür. Liderlerin ise %37,5'inin 30-34 yaş, %37,5'inin 35-39 yaş, %12,5'inin 20-24 yaş ve %12,5'inin 25-29 yaş aralığında olduğu tespit edilmiştir. Genel yaş ortalamasının ise 31,87 olduğu saptanmıştır. Katılımcıların eğitim düzeyi incelendiğinde %37,5'inin ön lisans ve %62,5'inin lisans eğitimine sahip olduğu saptanmıştır. Liderlerden %67,5'inin Ambulans ve Acil Bakım Teknikeri (AABT) unvanlı, %12,5'inin sağlık memuru unvanlı ve %12,5'inin pratisyen hekim unvanlı olduğu tespit edilmiştir.

UMKE liderleri ile yapılan yarı yapılandırılmış mülakat bulgularında; "Hopa sel afetinde, kurumunuz size ne kadar süre sonra ulaştı? Afet sahasına ne kadar sürede ulaştınız? Bu süreler standartlarınız ile uyumlu mu?" sorusuna katılımcılar: Kurumun kısa sürede kendilerine ulaştığını düşünen kişiler; 'Kurum hemen ulaştı.', 'Kurum tarafından kısa süre (afetin üzerinden 3 yıl gibi bir süre geçtiği için ulaşım zamanının kısalığından bahsedemiyorum) içerisinde ulaşıldı.', 'Direk ulaşıldı. Ekibimi en kısa sürede hazır hale gelmeleri için bilgilendirdim.', 'Afet anından kısa bir süre sonra kurum tarafından arandım.', 'Kurumdan çağrıyı aldığım anda UMKE üyelerine haber verdim.' şeklinde ifadelerde bulundular. 112 Komuta Kontrol Merkezine vaka çağrının iletilmesinden sonra 112 Acil Yardım Ambulansı 90 saniye içerisinde çıkış yapmakta ve kentsel vakalara 10 dakikada kırsal vakalara ise 30 dakikada ulaşım sağlamaktadır (URL-6 2021).

Kurumun kendisine geç ulaştığını düşünen kişiler; "Kurum 1 saat içinde ulaştı.", 'Kurumun beklenenden geç ulaştığını düşünüyorum.' şeklinde ifadelerde bulundular.

Ekip olarak afet sahasına kısa sürede ulaştığını düşünen kişi: "UMKE aracımızla Artvin Borçka ilçesinden Hopa ilçesine 30 dakika sonra ulaştık." şeklinde beyanda bulundu.

Ekip olarak afet sahasına geç ulaştığını düşünen kişiler: 'Yolların kapalı olmasından dolayı afet sahasına 3 saatte ulaştık.', 'Afet sahasına 3 saatte ulaştık. Ulaşım yolumuzda sel, heyelan ve büyük kaya parçalarının olması Hopa'ya ulaşım süremizi uzattı.', 'Afet sahasına 3. ekip olarak 6 saat sonra ulaştık. Trabzon bölge UMKE olarak çıkış yaptık. Sahil yolunda yoğun yağış ve heyelan olayının meydana gelmesinden kaynaklı afet sahasına geç ulaştık.', 'Afet sahasına varmamız tabi ki zaman aldı. Sel suları yolları kapatmıştı.', 'Hopa'ya sel suları ve balçıktan dolayı yaklaşık 3 saatte ulaştık.', 'Yolların kapalı olması ulaşım süremizin uzamasına neden oldu.' şeklinde ifadelerde bulundular.

"Hopa sel afetinde, kurumunuz size ne kadar süre sonra ulaştı? Afet sahasına ne kadar sürede ulaştınız? Bu süreler standartlarınız ile uyumlu mu?" sorularına ilişkin liderlerin verdiği cevaplar eğitim durumu ve çalıştığı birim açısından Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Kurumun personele ve personelin afet sahasına ulaşım sürelerinin değerlendirilmesi

Betimsel Kod	Lider	Eğitim		Çalıştığı Birim	
		Lisans	Ön Lisans	Acil Sağlık Hizmetleri İstasyonu (ASHİ)	Afet Birimi
Kurumumun kısa sürede bana ulaştığını düşünüyorum.	U3,U4,U5, U6,U7,U8=6	U3,U4,U7 =3	U5,U6,U8=3	U3,U4,U6,U7, U8=5	U5=1
Kurumumun bana geç ulaştığını düşünüyorum.	U1,U2=2	U1,U2=2		U1,U2=2	
Ekip olarak afet sahasına kısa sürede ulaştığımı düşünüyorum.	U3=1	U3=1		U3=1	
Ekip olarak afet sahasına geç ulaştığımı düşünüyorum.	U1,U2,U4, U5,U6,U7, U8=7	U1,U2,U4, U7=4	U5,U6,U8=3	U1,U2, U4,U6, U7,U8=6	U5=1

Not: Katılımcılar betimsel kodlama sisteminde birden fazla cevap vermiştir.

Sorulara katılımcılar tarafından verilen yanıtlar incelendiğinde genel olarak afet bölgesine ulaşımı engelleyen nedenlerin; heyelan nedeniyle yolların kapanması, yoğun yağış nedeniyle trafiğin durma noktasına gelmesi, bazı yolların sel nedeniyle bozulmuş olması ve herkesin olay yerine gitmek için trafiğe çıkmış olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Bu nedenlerden dolayı ekiplerin olay yerine 3-6 saat arasında ulaştığı tespit edilmiştir.

“Mevcut yazılı afet mevzuatı, Hopa sel afetinde sağlık ekiplerinin etkin çalışması için yeterli miydi? Mevzuatta veya uygulamada eksiklikler var mıydı? Açıklar mısınız?” sorusuna katılımcılar:

Yeterli olduğunu düşünen kişi: ‘Kriz merkezi oluşturuldu, çevre illerden de destek geldi ve koordinasyon iyi idi.’ şeklinde ifadelerde bulundu.

Yetersiz olduğunu düşünen kişi: ‘Organizasyon olmadı, yönlendiren olmadı, toplanma yeri belirlenmedi ve herkes kendi imkânları ile yol buldu.’ şeklinde ifadelerde bulundu.

Uygulama eksikliğinin var olduğunu düşünen kişiler: ‘Yaşanan zorlukların başında organizasyon sıkıntısı vardı.’, ‘Ekip çalışması koordinasyon açısından yetersizdi.’, ‘Uygulamada eksiklikler oluyordu.’, ‘Ulaşım yeme içme ve iletişim vb.’, ‘İletişim ve koordinasyon sorunları yaşandı’, ‘Afet anında uygulama eksiklikleri meydana geldi.’, ‘Mevzuat kurtarma işinde hiçbir zaman yeterli olmuyor çünkü afet ortamının şartları belirsiz oluyor. Uygulamada eksiklikler oldu. İletişim problemleri vs.’, ‘Bölge UMKE ekipleri desteğe geldi ve bölge şartları çalışmada güçlükler yaşandı. Ulaşım yeme içme ve iletişim vb.’, ‘İletişim sorunları yaşandı.’, ‘Mevzuata uygun hareket edilmesine rağmen afet anında uygulama eksiklikleri meydana geldi.’, ‘Yaşanan zorlukların başında organizasyon sıkıntısı vardı.’, ‘Ekip çalışması koordinasyon açısından yetersizdi. Yetersizlikler arasında ulaşım problemleri, iletişim problemleri ve ekip koordinasyonunun yetersiz olması vb.’, ‘Afette sıkıntı yaşanan bölgelerden gelen bilgiler farklı şahıslar tarafından bize iletildi.’ şeklinde ifadelerde bulundular.

“Mevcut yazılı afet mevzuatı, Hopa sel afetinde sağlık ekiplerinin etkin çalışması için yeterli miydi? Mevzuatta veya uygulamada eksiklikler var mıydı? Açıklar mısınız?” sorularına ilişkin liderlerin verdiği cevaplar eğitim durumu ve çalıştığı birim açısından Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2: Afet mevzuatının uygulamasına ilişkin görüşlerin değerlendirilmesi

Betimsel Kod	Lider	Eğitim		Çalıştığı Birim	
		Lisans	Ön Lisans	ASHİ	Afet Birimi
Yeterli	U3=1	U3=1		U3=1	
Yetersiz	U2=1	U2=1		U2=1	
Uygulama Eksikliği var	U1,U4,U5,U6,U7,U8=6	U1,U4,U7=3	U5,U6,U8=3	U1,U4,U6,U7,U8=5	U5=1

Katılımcıların afet mevzuatı ve uygulamasına ilişkin cevapları incelendiğine; mevzuat bazlı koordinasyon eksikliği, iaşe sorunu ve uygulama eksikliğinin olduğu görülmüştür. Ekip bazlı durum incelendiğinde; iletişim eksikliği ve ulaşım sorunlarının olduğu tespit edilmiştir.

“Hopa sel afetinde sağlık ekipleriyle diğer afet ekipleri, organizasyonları ve kriz masası arasında uyumlu bir koordinasyon var mıydı? Koordinasyon eksikliğine bağlı yaşanan sorunlar nelerdi?” sorusuna katılımcılar:

Koordinasyonun yeterli olduğunu düşünen kişiler: ‘Koordinasyon güzeldi.’, ‘Koordinasyon sağlandı ve AFAD operasyonu kriz masasından yönetti.’, ‘Diğer birimler ile sürekli iletişim halinde ve organize halde çalıştık.’ şeklinde ifadelerde bulundular.

Koordinasyonun yetersiz olduğunu düşünen kişiler: ‘Koordinasyonda kopukluklar vardı.’, ‘Koordinasyon yoktu’, ‘Koordinasyon yetersizdi ve koordine olmakta zorlandık.’, ‘Koordinasyon sağlanmadı. Sorunlar yaşandı.’, ‘Koordinasyon yetersizdi.’, ‘Bir vakayı farklı üç beş yerden, farklı vakalar gibi aldık. Aynı vaka için birden fazla ekip çıkarıldığı oldu. Kurumlar tarafından kurtarma ekiplerine yeterli ekipman temin edilmedi.’ şeklinde ifadelerde bulundular.

“Hopa sel afetinde sağlık ekipleriyle diğer afet ekipleri, organizasyonları ve kriz masası arasında uyumlu bir koordinasyon var mıydı? Koordinasyon eksikliğine bağlı yaşanan sorunlar nelerdi?” sorularına ilişkin liderlerin verdiği cevaplar eğitim durumu ve çalıştığı birim açısından Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3: Koordinasyon eksikliğine bağlı yaşanan sorunların değerlendirilmesi

Betimsel Kod	Lider	Eğitim		Çalıştığı Birim	
		Lisans	Ön Lisans	ASHİ	Afet Birimi
Koordinasyon yeterli	U3,U4,U5=3	U3,U4=2	U5=1	U3,U4=2	U5=1
Koordinasyon yetersiz	U1,U2,U6,U7,U8=5	U1,U2,U7=3	U6,U8=2	U1,U2,U6,U7,U8=5	

Katılımcıların sağlık ekipleriyle diğer afet ekipleri, organizasyonları ve kriz masası arasında uyumlu bir koordinasyona ilişkin cevapları incelendiğine; ekipler arası koordinasyon, kriz merkezi ile ekipler arasında koordinasyon ve sağlık ekipleri ile diğer ekipler arasındaki koordinasyonun yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

“Hopa sel afetinde sağlık ekipleri arasında koordinasyon yeterli miydi? Yaşanan sorunlar var mıydı? Açıklar mısınız?” sorusuna katılımcılar: Sağlık ekipler arası koordinasyonun yetersiz olduğunu düşünen kişiler: ‘*Koordinasyon olmadı.*’, ‘*Mobil komuta merkezi gibi bir çalışmayla daha verimli koordinasyon olabilirdi.*’, ‘*Ekipler arası koordinasyon yeterli olduğunu düşünmüyorum. Ekip müdahale alanları yeterli şekilde oluşturulmadı.*’, ‘*Koordinasyon sağlanmaya çalışıldı ama yeterli koordinasyon sağlanamadı.*’, ‘*En önemli konuda eksiklikler yaşandı koordinasyon sağlanamadı.*’ şeklinde ifadelerde bulundu.

Sağlık ekipler arası koordinasyonun yeterli olduğunu düşünen kişiler: ‘*Ekipler arasında koordinasyon sıkıntısı yoktu.*’, ‘*112 KKM Hopa da oluşturulan kriz merkezi ile ve diğer illerden gelen UMKE ekipleriyle gayet güzel iş çıkardı. Herhangi bir koordinasyonsuzluk oluşmadı.*’, ‘*Tek bir yerden yönetiliyorduk ve diğer ekipler ile koordine çalıştık.*’ şeklinde ifadelerde bulundular.

“Hopa sel afetinde sağlık ekipleri arasında koordinasyon yeterli miydi? Yaşanan sorunlar var mıydı? Açıklar mısınız?” sorularına ilişkin liderlerin verdiği cevaplar eğitim durumu ve çalıştığı birim açısından Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4: Hopa sel afetinde sağlık ekipleri arasındaki koordinasyonun değerlendirilmesi

Betimsel Kod	Lider	Eğitim		Çalıştığı Birim	
		Lisans	Ön Lisans	ASHİ	Afet Birimi
Ekipler arası koordinasyon yeterli	U1,U3,U5=3	U1,U3=2	U5=1	U1,U3=2	U5=1
Ekipler arası koordinasyon yetersiz	U2,U4,U6,U7,U8=5	U2,U4,U7=3	U6,U8=2	U1,U2,U6,U7,U8=5	

Katılımcıların sağlık ekipleri arasındaki koordinasyona ilişkin cevapları incelendiğine; mobil KKM eksikliği ve müdahale alanlarının belirlenmediği tespit edilmiştir.

“Afettede sayısına ve ihtiyaçlarına göre sağlık ekip sayısı ve personeli yeterli miydi? Yeterli değil ise ne tür sorunlar yaşandı?” sorusuna katılımcılar: Bölge UMKE personelinin gelmesiyle yeterli ekip sayısına ulaşıldığını düşünen kişiler: ‘*Bölgeden gelen UMKE personeli ile birlikte yeterli ekip oluşturuldu.*’, ‘*Artvin UMKE ekibinin personel sayısının nöbetleşe ekip çalışması için yeterli olmadığını düşünüyorum.*’, ‘*Artvin UMKE personelinin sayısal olarak yeterli olduğunu düşünüyorum fakat olası ikincil bir afet durumuna karşı takviye olarak olay yerine gittik (Trabzon UMKE).*’, ‘*Artvin UMKE personel sayısının genel olarak artırılması gerektiğini düşünüyorum.*’ şeklinde ifadelerde bulundular.

Yerel (Artvin) UMKE personelinin yeterli sayıda olduğunu düşünen kişiler: ‘*Artvin UMKE personeli olarak yeterli sayıda olduğumuzu düşünüyorum.*’, ‘*Ekip sayımız yeterliydi fakat nöbetleşe çalışabilmek için desteğe ihtiyacımız vardı.*’, ‘*Bölge UMKE ekibinin olay yerine gelmesi olası ikincil afetlere karşı takviye ekip oluşturulmasını sağlamıştır.*’, ‘*Bazı günlerde ise gereğinden fazla sağlık personelinin olay yerinde olduğunu düşünüyorum.*’ şeklinde ifadelerde bulundular.

“Afettede sayısına ve ihtiyaçlarına göre sağlık ekip sayısı ve personeli yeterli miydi? Yeterli değil ise ne tür sorunlar yaşandı?” sorularına ilişkin liderlerin verdiği cevaplar eğitim durumu ve çalıştığı birim açısından Tablo 5’te gösterilmiştir.

Tablo 5: Afettede sayısına ve ihtiyaçlarına göre sağlık ekip sayısı ve personel yeterliliğinin değerlendirilmesi

Betimsel Kod	Lider	Eğitim		Çalıştığı Birim	
		Lisans	Ön Lisans	ASHİ	Afet Birimi
Yerel (Artvin) UMKE personelinin yeterli sayıda olduğunu düşünüyorum	U2,U5,U7=3	U2,U7=2	U5=1	U2,U7=2	U5=1
Bölge UMKE personelinin gelmesiyle yeterli ekip sayısına ulaşıldığını düşünüyorum	U1,U3,U4,U6,U8=5	U1,U3,U4=3	U6,U8=2	U1,U3,U4,U6,U8=5	

Katılımcıların vermiş oldukları cevaplardan çıkarımımız: Artvin UMKE personelinin ve ekibinin sayısal olarak yeterli olduğu, araç-gereç ihtiyacının olmadığı, lojistik açıdan hazırlıklı olduğu görülmektedir. Fakat bölge UMKE ekiplerinin olay yerine gelmesiyle birlikte çalışmaların daha rahat yürütüldüğü gerekli durumlarda takviye ekiplerden destek alınabildiği ve koordineli bir yönetim sisteminin gerçekleştiği görülmüştür.

“Afettede sayısı ve ihtiyaçlarına göre ambulans ve malzeme yetersizliği ile ilgili ne tür sorunlar yaşandı? Açıklar mısınız?” sorusuna katılımcılar: Çalışmaya dahil edilen tüm katılımcılar (U1.....U8): yeterli sayıda personel, ambulans, araç-gereç ve tıbbi malzeme olduğunu düşünmektedir. Soruya ilişkin verilen cevaplar: ‘*Ambulans, kurtarma ekibi ve personel sayısı yeterliydi.*’, ‘*Ambulans eksikliği olduğunu düşünmüyorum.*’, ‘*Herhangi bir malzeme eksikliği yoktu.*’, ‘*Ambulans, tıbbi araç-gereç ve personel sayısında eksiklik olduğunu düşünmüyorum.*’

Hatta gereğinden fazla personel olduğunu düşünüyorum’, ‘Arazi şartlarına uygun araçların görev aldığını düşünüyorum.’, ‘UMKE aracı ve ambulans eksikliği yaşanmadı.’ şeklindedir.

Katılımcıların soruya vermiş oldukları cevaplar incelendiğinde: ambulans, kurtarma ekibi, personel, kurtarma araç-gereçleri ile tıbbi malzemenin yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

“Afetzedeler ile sağlık ekipleri arasında ne tür sorunlar yaşandı? Açıklar mısınız?” sorusuna katılımcılar:

Sorun yaşandığını düşünen kişiler: ‘Kurtarma ekiplerinin olay yerine geç geldiğini düşünen afetzedeler gerginlik yarattı. Fakat hava şartları ve ulaşım problemlerinden dolayı geç kalındığı ifade edilince gerginlik sona erdi.’, ‘Afetzedeler sağlık ekiplerinden su ve yiyecek gibi isteklerde bulundu.’, ‘Afettede olmayıp kendini ambulans ile merkeze getirebilmek için tabiri caiz ise rol yapan vatandaşlar vardı.’, ‘Ulaşım kaynaklı sorunlar yaşandı.’, ‘Sadece ulaşımı kapanan köylerde insanlar biraz tedirgindi fakat askeri helikopter ile kurtarma ekipleri ve 112 ekipleri en kısa sürede hasta/yaralıları ulaştı.’, ‘Vatandaşın olay yerine kontrolsüz girişi kurtarma çalışmalarını engellediği için kişiler uyarılmıştır. Fakat uyarıya rağmen vatandaşlar kurtarma faaliyetine katılabilmek için ekiplere baskı yaptılar.’ şeklinde ifadelerde bulundular.

Katılımcıların afetzedeler ile sağlık ekipleri arasında yaşanan sorunlara ilişkin cevaplar incelendiğinde; ulaşım, ulaşım süresi, afetzedelerin su ve yemek ihtiyaçları, afetzedelerin UMKE araçları ile başka yerlere ulaşım talepleri, ulaşımı kapamış köylerdeki gergin afetzedeler ile sorunların yaşandığı tespit edilmiştir.

“Mesleğinizi hakkıyla uygulayabildiniz mi? Kanaatinizi ve nedenlerini açıklar mısınız?” sorusuna katılımcılar: ‘Arama ve kurtarma konusunda gerekenleri yapabildik.’, ‘Uyguladım.’, ‘Evet, Afetler adı üzerinde çok kısa sürede başladığı için Hopa selinde de en kısa sürede güvenlik önlemleri alarak bölgeye intikal edip elimizden gelenin fazlasını yaptık, vicdanen rahatım. İyi bir ekip çalışmasıydı.’, ‘Görevimi ortam şartlarına uygun şekilde yapmak tatmin ediciydi’, ‘Elimizden geleni yapmak tatmin etti.’, ‘Müdahalede bulunduğum hastaların memnuniyeti tatmin ediciydi.’ şeklinde cevap verdiler.

Katılımcıların tamamı (U1.....U8) herhangi bir sorunla karşılaşmadan mesleğini hakkıyla yaptığını düşünmektedir.

“Afettede ve yaralıları arasında triaj yapabildiniz mi? Zamanında ve yeterli sağlık hizmeti sunabildiniz mi? Açıklar mısınız?” sorusuna katılımcılar: **Gereken** sağlık hizmetleri sunuldu.’, ‘Triaj yapılacak çoklu yaralanma ile karşılaşmadık.’, ‘Yaralıları bölgesel olarak dağılım gösterdiği için triaja çok gerek kalmadı. Her bölgede en fazla bir ya da iki yaralı vardı.’ ‘Triaj yapılacak bir durum ile karşılaşmadım.’, ‘Kitlesele yaralanma olmadığı için triaj yapmadık. Olay yerine ulaştıktan sonra alınan vakalara ortam şartlarına uygun sürelerde ulaşıldı ve müdahale edildi.’ ‘Triaj yapmadık.’ şeklinde cevap verdiler.

Katılımcılar (U1.....U8) afettede ve yaralıları arasında triaj yapılmasını gerektirecek kitlesele yaralanma olmadığını ve afetzedelere yönelik yeterli sağlık hizmet sunumunun yapıldığını düşünmektedirler.

“Afettede ve yaralıları hastanelere ulaştırmada sorun yaşadınız mı? Açıklar mısınız?” sorusuna katılımcılar:

Katılımcıların %75’i afettede ve yaralıları hastanelere ulaştırmada sorun yaşandığını düşünen kişiler: ‘Sel ve heyelan kaynaklı ulaşım problemleri nedeniyle hastaneye ulaşımında sorunlar yaşandı. Yollar kapalıydı fakat iş makinalarının yolları açmasıyla hastaneye nakil sağlandı.’ şeklinde ifadelerde bulundular.

Katılımcıların %25’i afettede ve yaralıları hastanelere ulaştırmada sorun yaşanmadığını düşünen kişiler: ‘Ulaşımında bir sorun yaşanmadı hatta ekipler hasta için hazır bir şekilde sürekli beklediler.’ şeklinde ifadelerde bulundular.

Katılımcıların “Afettede ve yaralıları hastanelere ulaştırmada sorun yaşadınız mı? Açıklar mısınız?” sorularına ilişkin liderlerin verdiği cevaplar eğitim durumu ve çalıştığı birim açısından Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6: Afettede ve yaralıları hastanelere ulaştırmada yaşanan sorunların değerlendirilmesi

Betimsel Kod	Lider	Eğitim		Çalıştığı Birim	
		Lisans	Ön Lisans	ASHİ	Afet Birimi
Sorun yaşanmadı	U2,U5,U7,U4, U8=5	U2,U4,U7 =3	U5,U8=2	U2,U7,U4,U 8=4	U5=1
Sorun yaşandı	U1,U3,U6=3	U1,U3=2	U6=1	U1,U3,U6=3	

Katılımcıların soruya ilişkin cevapları incelendiğinde: genel olarak sel ve heyelan nedeniyle yolların kapandığı, daha sonra ilgili ekiplerin yolları açmasıyla afettede ve yaralıları hastaneye ulaştırıldığı tespit edilmiştir.

“Afettede ve yaralıları hastanelere teslim etmede sorunlar yaşadınız mı? Açıklar mısınız?” sorusuna katılımcılar: ‘Hasta tesliminde sıkıntı yaşanmadı.’, ‘Hastaneye önceden, götürülecek hasta hakkında bilgi verildiği için herhangi bir sorun yaşanmadı.’ Yaralı nakillerinin 112 Komuta Kontrol Merkezi iş birliğiyle gerçekleştirilmiş olması oluşabilecek sorunların önüne geçmiştir.” şeklinde cevap verdiler.

Katılımcıların cevapları incelendiğinde; afettede ve yaralıların hastanelere teslim edilmesinde herhangi bir sorun yaşanmadığı tespit edilmiştir. Sorun yaşanmamasında, 112 komuta Kontrol Merkeziyle iş birliği içinde olunması ve olay yeri yöneticisinin tüm bölgeye hakim olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

“Hopa sel afetinde yaşadığınız idari, teknik veya koordinasyon sorunu var mıydı? Açıklar mısınız?” sorusuna katılımcılar: İdari, teknik veya koordinasyon sorunların yaşandığını düşünen kişiler: ‘Olay yeri yönetimiyle ilgili koordinasyon sorunu vardı. Olay yerine ulaşan ekiplerin bekleme alanları tam olarak belirlenmemişti. ‘Gıda ve içme suyu ihtiyacı karşılanmadı.’ şeklinde ifadelerde bulundular.

İdari, teknik veya koordinasyon sorunların yaşanmadığını düşünen kişiler: ‘Teknik, idari ve koordinasyon eksikliği yaşanmamıştır.’, ‘Teknik konularda problemle karşılaşmadık. İdari olarak yönetsel sorunlar oluşmadı.’ şeklinde ifadelerde bulundular.

Katılımcıların “Hopa sel afetinde yaşadığınız idari, teknik veya koordinasyon sorunu var mıydı? Açıklar mısınız?” sorularına ilişkin liderlerin verdiği cevaplar eğitim durumu ve çalıştığı birim açısından Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7: İdari, teknik veya koordinasyon sorunların değerlendirilmesi

Betimsel Kod	Lider	Eğitim		Çalıştığı Birim	
		Lisans	Ön Lisans	ASHİ	Afet Birimi
Sorun yaşandı	U1,U2,U5,U6,U7=5	U1,U2,U7=3	U5,U6=2	U1,U2,U6,U7=4	U5=1
Sorun yaşanmadı	U3,U4,U8=3	U3,U4=2	U8=1	U3,U4,U8=3	

Yeme içme ve temel ihtiyaçların karşılanması ile koordinasyon durumu göreceli kavramlar olduğu için bu soruya katılımcıların bir bölümü olumlu cevap verirken bir bölümünün ise olumsuz cevap verdiği tespit edilmiştir.

“Hopa sel afetinde yasal, idari, teknik veya koordinasyon sorunları yaşanmasaydı daha etkili tıbbi müdahale yapılabilir, can kaybı ve tıbbi hasar daha az olabilirdi diyebilir misiniz? Neden?” sorusuna katılımcılar: *Daha etkin müdahale edilebileceğini düşünen kişiler: ‘Etkili bir koordinasyon yapılmış olsaydı can kaybının daha az olacağını düşünüyorum. ‘, ‘Etkili koordinasyon sağlanmış olsaydı ekiplerin olay yerine ulaşımı ve hasta nakilleri daha başarılı gerçekleştirilirdi.’* şeklinde ifadelerde bulundular.

Müdahalenin değişmeyeceğini düşünen kişiler: *‘Ekipler olay yerine ulaşınca kadar can ve mal kayıpları gerçekleşmişti. Sonrasında yaşanan herhangi bir sıkıntıdan veya kurtarma probleminden dolayı can kaybı olmadı. Tıbbi müdahale uygulamalarını etkileyecek düzeyde bir koordinasyon sorunu olduğunu düşünmüyorum.’* şeklinde ifadelerde bulundular.

Kararsızım diyen katılımcılar: *‘Sahada olduğum için idari ve teknik sorunlar var mıydı bilmiyorum. Herkes canla başla ne yapabilirim diye uğraşıyordu. Temel ihtiyaçların daha profesyonelce karşılanması gerektiğini düşünüyorum.’* şeklinde ifadelerde bulundular.

Katılımcıların “Hopa sel afetinde yasal, idari, teknik veya koordinasyon sorunları yaşanmasaydı daha etkili tıbbi müdahale yapılabilir, can kaybı ve tıbbi hasar daha az olabilirdi diyebilir misiniz? Neden?” sorularına ilişkin liderlerin verdiği cevaplar eğitim durumu ve çalıştığı birim açısından Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8: Katılımcıların yeterli koordinasyonun (idari, yasal, teknik) sağlanması durumunda müdahaleye ilişkin görüşlerinin değerlendirilmesi

Betimsel Kod	Lider	Eğitim		Çalıştığı Birim	
		Lisans	Ön Lisans	ASHİ	Afet Birimi
Daha etkin müdahale edilebilirdi	U2,U4,U6,U7,U8=5	U2,U4,U7=3	U8,U6=2	U2,U4,U6,U7,U8=5	
Müdahale değişmezdi	U1=1	U1=1		U1=1	
Kararsızım	U3,U5=2	U3=1	U5=1	U3=1	U5=1

Katılımcıların %62,5’i yeterli koordinasyon durumunda daha etkin müdahale edilebileceğini düşünmektedir. Bir katılımcı ise müdahalenin değişmeyeceğini savunmuştur. Müdahalenin etkinliğini koordinasyon ve diğer sebeplere bağlamayan kararsız katılımcıların da olduğu görülmektedir.

4. Tartışma

Türkiye afetlerin sık yaşandığı bir ülke konumundadır (Ertan vd. 2010). Özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Artvin İlinde ise doğal afet türlerinden heyelan, toprak kayması, yangın ve sel olaylarının sık yaşandığı görülmektedir. Afet olaylarında TAMP'a göre kamu kurumlarının ilgili birimleri görev almaktadır. Afetlerde acil sağlık hizmetlerinin sunumunda ise arama-kurtarma ve tıbbi müdahale uygulamalarında görev alan etkin ekiplerden bir tanesi de UMKE'dir. Bu nedenle araştırmamıza Hopa sel afetinde görev alan UMKE liderlerinin çalışmaları dahil edilmiştir. Hopa sel afetinde görev alan 12 UMKE liderinden %75'ine ulaşılmış olup liderler ile yarı yapılandırılmış mülakat çalışması gerçekleştirilmiştir. Yarı yapılandırılmış mülakat çalışmasına katılan UMKE liderlerinin demografik verileri incelendiğinde; katılımcıların %75'ini erkeklerin ve %25'ini kadınların oluşturduğu görülmüştür.

2017 yılında yapılan bir çalışmada; katılımcıların 41'ini ebe/hemşire (%39,0), 28'ini Acil Tıp Teknisyeni (ATT)/Paramedik (%26,7), 28'ini sağlık memuru ve diğer sağlık branşlarında olanların (%26,7) ve 8'ini doktorların (%7,6) oluşturduğu görülmüştür (Ünal vd. 2017). Çalışmalarda, AABT unvanlı personelin fazla olmasının nedeni, UMKE'ye katılan AABT'lerin niceliksel olarak daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

2017 yılında yapılan bir çalışmada; yaş aralıklarına bakıldığında 25 yaşından küçük 9 kişi (%21,4), 25-30 yaş aralığında 10 kişi (%23,8), 32-35 yaş aralığında 12 kişi (%28,6), 36-40 yaş aralığında 8 kişi (%19) ve 41 ve üstü yaşta ise 3 kişinin (%7,1) olduğu belirtilmiştir (Yüzer 2017). Çalışmamızla Yüzer'in çalışması benzerlik göstermektedir.

Çalışmamızda UMKE liderleri "Hopa sel afetinde, kurumunuz size ne kadar süre sonra ulaştı? Afet sahasına ne kadar sürede ulaştınız? Bu süreler standartlarınız ile uyumlu mu?" sorusuna; heyelan nedeniyle yolların kapanması, yoğun yağış nedeniyle trafiğin durma noktasına gelmesi ve bazı yolların sel nedeniyle bozulmuş olması ve herkesin olay yerine gitmek için trafiğe çıkmış olmasının afet sahasına ulaşımı zorlaştırdığı şeklinde cevap vermişlerdir. Bu nedenlerden dolayı ekiplerin olay yerine 3-6 saat arasında ulaştığı tespit edilmiştir.

2012 yılında yapılmış bir çalışmada; Trabzon UMKE' nin Van depreminde medikal kurtarma faaliyetlerinde görev almak üzere 2 araç ile birlikte saat 17.00'de çıkış yaptığı ve ekiplerin depremde yaklaşık 12 saat sonra Van Erciş'e ulaştığı belirtilmiştir (Eryiğit vd. 2012).

2007 yılında yapılmış bir çalışmada; yurdumuzda başta deprem olmak üzere yaşanabilecek olası afetlerde iyi eğitilmiş ve ihtiyaca uygun olarak donatılmış sağlık ekipleri aracılığıyla en kısa sürede medikal kurtarma hizmetlerinin yapılması gerektiği vurgulanmaktadır (Arslan vd. 2007). Görevlendirilen ekiplerin farklı bölgelerden çıkış yapması, yol güzergâhlarının farklı olması ve yolların sel, heyelan ve diğer faktörlerle bozulmuş olması, afet sahasına farklı sürelerde ulaşmasına neden olmaktadır. Ekiplerin afet sahasına uzaklıkları ile ulaşımı engelleyici faktörler dikkate alındığında afet sahasına ulaşımın normal ulaşım sürelerinin dışında olacağı düşünülmektedir. Çalışmaların verileri ışığında ekiplerin olağan dışı durumlarda bile olay yerine en kısa sürede ulaştıkları görülmüştür.

UMKE liderlerinin "Mevcut yazılı afet mevzuatı, Hopa sel afetinde sağlık ekiplerinin etkin çalışması için yeterli miydi? Mevzuatta veya uygulamada eksiklikler var mıydı? Açıklar mısınız?" sorusuna; mevzuat bazlı koordinasyon eksikliği, iase sorunu ve uygulama eksikliği olduğu görülmüştür. Ekip bazlı durum incelendiğinde; iletişim eksikliği ve ulaşım sorunlarının da olduğu tespit edilmiştir.

2012 yılında yapılmış bir çalışmada, Van (Erciş) depreminde Trabzon UMKE' ye organizasyon ve koordinasyondaki eksikliklerden dolayı ekibe enkaz alanı gösterilmemiştir. Ekip ilk gün Erciş merkezde UMKE ekip sayısının fazla olduğunu ve her enkazın yanında birden fazla arama kurtarma ekibinin bulunduğunu belirtmiştir (Eryiğit vd. 2012).

2010 yılında yapılmış bir çalışmada, Kocaeli ili 112 Acil Yardım Birimlerinde görev yapan 44 personele (%47,8) afet bölgesinde (17 Ağustos Kocaeli ve 12 Kasım Düzce depremlerinde) çalışırken en çok sıkıntı duydukları faktörler sorulduğunda, katılımcılar organizasyon ve malzeme eksikliğinin ilk sırada (19 kişi) olduğunu belirtmişlerdir (Çakmak vd. 2010). Literatür ile çalışmamız verilerinin ortak parametresinin, afetlerde koordinasyon eksikliği olduğu saptanmıştır.

UMKE liderlerinin "Hopa sel afetinde sağlık ekipleriyle diğer afet ekipleri, organizasyonları ve kriz masası arasında uyumlu bir koordinasyon var mıydı? Koordinasyon eksikliğine bağlı yaşanan sorunlar nelerdi?" sorusuna; ekipler arası koordinasyon, kriz merkezi ile ekipler arasında koordinasyon ve sağlık ekipleri ile diğer ekipler arasındaki organizasyonun yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

2013 yılında yapılmış bir çalışmada, Van depreminin ilk günlerindeki bazı yönetsel aksamaların dışında UMKE, arama-kurtarma ve Kızılay ekiplerinin acil yardım faaliyetlerinde başarılı olduğu belirtilmiştir. Bölgeye yeterli sayıda arama-kurtarma ekibi sevk edilmiş olsa da ekipler arasında koordinasyon sağlanamamıştır. Binalar işaretlenmediği için aynı binada mükerrer arama faaliyetleri yürütülmüştür (Ergünay ve Özmen 2013).

2010 yılında yapılmış bir çalışmada, "Kurumum afette birlikte çalışacağı kurumlarla sürekli eğitim ve tatbikatlar düzenleyerek kurumların imkân ve kabiliyetlerini iyice tanımıştır." sorusuna katılımcıların (Sakarya ilinde görev yapan sağlıkçılar) %31,4'ü kararsızım, %28,7'si katılmıyorum, %15,2'si kesinlikle katılmıyorum şeklinde cevap verdikleri belirtilmektedir. Kurumların afetlerde birlikte çalışacağı kurumları yeterince tanımadıkları vurgulanmıştır (Karabıyık 2010).

Afet öncesi masa başı ve saha tatbikatlarının yeterince yapılamamış olmasının afetlerde kurumlar arası koordinasyon eksikliğini tetiklediği düşünülmektedir.

UMKE liderlerinin "Hopa sel afetinde sağlık ekipleri arasında koordinasyon yeterli miydi? Yaşanan sorunlar var mıydı? Açıklar mısınız?" sorusuna; mobil KKM eksikliği ve müdahale alanlarının belirlenmediği tespit edilmiştir.

AFAD 2011 Van depremi raporuna göre sağlık hizmetleri kapsamında; 49 UMKE, 14 mobil sağlık aracı bölgede görevlendirilmiş ve bölge genelinde sağlık hizmetinin ulaşmadığı nokta kalmadığı belirtilmiştir (AFAD 2021b).

2014 yılında yapılmış bir çalışmada, Van depreminde sağlık ekiplerinin koordinasyonunun sağlanması amacıyla biri Van merkez diğeri Erciş'te olmak üzere 2 mobil komuta kontrol aracının bölgede hizmet verdiği belirtilmiştir (Bulat 2014).

Afetlerde sağlık iletişimi büyük önem arz etmektedir. Yapılan çalışmalardan da anlaşıldığı üzere afetlerde sağlık iletişimin yeterince sağlandığı görülmüştür.

UMKE liderlerinin “Afettede sayısına ve ihtiyaçlarına göre sağlık ekip sayısı ve personeli yeterli miydi? Yeterli değil ise ne tür sorunlar yaşandı?” sorusuna; Artvin UMKE personelinin ve ekibinin sayısal olarak yeterli olduğu, araç-gereç ihtiyacının olmadığı, lojistik açıdan hazırlıklı olduğu görülmektedir. Fakat bölge UMKE ekiplerinin olay yerine gelmesiyle birlikte çalışmaların daha rahat yürütüldüğü gerekli durumlarda takviye ekiplerden destek alınabildiği ve koordineli bir yönetim sisteminin gerçekleştiği görülmüştür.

AFAD 2011 Van depremi raporuna göre sağlık hizmetleri kapsamında; meydana gelen her iki depremin ardından AFAD ve 112 Acil Sağlık Ekipleri ile UMKE ekipleri hızlı bir şekilde koordine olarak ilk yarım saat içerisinde bölgeye ulaştıkları belirtilmiştir (AFAD 2021b). Deprem sonrası 699'u ilk 24 saat içinde olmak üzere 1488 UMKE personelinin bölgeye intikal ettiği belirtilmiştir (AFAD 2021b).

2014 yılında yapılmış bir çalışmada, Kütahya Simav depremi sonrası 20.05.2011 tarihinde Kütahya ile beraber başta Bursa'dan 31 ve İstanbul'dan 23 UMKE personeli olmak üzere 25 ilden toplam 234 UMKE personeli ve 38 UMKE aracının bölgeye geldiği belirtilmektedir (İbiş ve Kesgin 2014). Afet olaylarında sağlık personeli ile araç sayılarının yeterli olduğu görülmüştür.

UMKE liderlerinin “Afettede sayısı ve ihtiyaçlarına göre ambulans ve malzeme yetersizliği ile ilgili ne tür sorunlar yaşandı? Açıklar mısınız?” sorusuna; ambulans, kurtarma ekibi, personel, kurtarma araç-gereçleri ile tıbbi malzemenin yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

2012 yılında yapılmış bir çalışmada Van depreminde görevlendirilen Trabzon UMKE'nin hızlıca lojistik merkezine giderek depreme yönelik tüm teknik ve tıbbi donanımları ile en az 3 gün ekibi idare edecek yaşamı idame malzemesini UMKE araçlarına aldıkları belirtilmiştir (Eryiğit vd. 2012).

Afetlerde donanımlı UMKE araçları ve tıbbi lojistik stoklarının kullanılması ile yeterli sağlık hizmetlerinin sunulduğu düşünülmektedir.

UMKE liderlerinin “Afetzedeler ile sağlık ekipleri arasında ne tür sorunlar yaşandı? Açıklar mısınız?” sorusuna; ulaşım, ulaşım süresi, afetzedelerin su ve yemek ihtiyaçları, afetzedelerin UMKE araçları ile başka yerlere ulaşım talepleri, ulaşımı kapanmış köylerdeki gergin afetzedeler ile sorunların yaşandığı tespit edilmiştir.

2016 yılında yapılmış bir çalışmaya, Çanakkale 112 ASHİ'de görev yapan 116 sağlık çalışanı katılmıştır. Katılımcıların %74.1'i (n=86) sözlü şiddet, %11.2'si (n=13) fiziksel şiddetle karşılaştığını ve şiddet uygulayanların %73.7'si (n=73) hasta/yaralı yakınıyken ve %18.2'sinin (n=18) hasta/yaralının kendisinin olduğu belirtilmiştir (Çelebi 2016).

Afetlerde hasta veya yakınlarının sağlık ekiplerine yönelik şiddet eğiliminde oldukları görülmüştür. Şiddet eğiliminin nedenleri arasında kendilerinin ve yakınlarının sağlık durumları, temel ihtiyaçlarının karşılanamaması ve afet psikolojisinin olduğu düşünülmektedir.

UMKE liderlerinin “Afettede ve yaralıları hastanelere ulaştırmada sorun yaşadınız mı? Açıklar mısınız?” sorusuna; genel olarak sel ve heyelan nedeniyle yolların kapandığı, daha sonra ilgili ekiplerin yolları açmasıyla afettede ve yaralıların hastaneye ulaştırıldığı şeklinde cevap vermişlerdir.

Afet olaylarında hasta nakillerinin başarılı şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu durumu araç gereç ve personel sayısının yeterliliğinin etkilediği düşünülmektedir.

UMKE liderlerinin “Afettede ve yaralıları hastanelere teslim etmede sorunlar yaşadınız mı? Açıklar mısınız?” sorusuna; liderlerin afettede ve yaralıları hastanelere teslim edilmesinde herhangi bir sorun yaşanmadığı tespit edilmiştir.

Hastanelerin KKM tarafından bilgilendirilmiş olmasının hasta teslimlerinin başarısını etkilediği düşünülmektedir.

UMKE liderlerinin “Mesleğinizi hakkıyla uygulaya bildiniz mi? Kanaatinizi ve nedenlerini açıklar mısınız?” sorusuna; katılımcılar (U1-U8) herhangi bir sorunla karşılaşmadan mesleğini hakkıyla yaptıkları şeklinde cevap vermişlerdir.

2009 yılında yapılmış bir çalışmada, AABT'lerin çalışma şekilleri ile iş doyumu puan ortalamaları arasında yapılan varyans analizinde anlamlı fark bulunmuştur. Anlamlı farkın olması kişilerin mesleklerine bağlılıklarını ve doyum aldıklarını göstermektedir (Çinar ve Kavlak 2009). Literatür verileri ile çalışmamız benzerlik göstermekte olup katılımcıların yaptıkları meslekten keyif aldıkları ve mutlu oldukları düşünülmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Heyelan nedeniyle yolların kapanması, yoğun yağış nedeniyle trafiğin durma noktasına gelmesi ve bazı yolların sel nedeniyle bozulmuş olması ve herkesin olay yerine gitmek için trafiğe çıkmış olmasının afet sahasına ulaşımı zorlaştırdığı belirlenmiştir. Bu nedenlerden dolayı ekiplerin olay yerine 3-6 saat arasında ulaştığı tespit edilmiştir. Mevzuat kaynaklı iaşe sorunu, koordinasyon ve uygulama eksikliğinin olduğu tespit edilmiştir.

Kriz merkezi ile sağlık ekipleri arasında koordinasyon eksikliğinin olduğu tespit edilmiştir. Sağlık ekipleri ile diğer ekipler arasında koordinasyon eksikliğinin olduğu tespit edilmiştir. UMKE personelinin ve ekibinin sayısal olarak yeterli olduğu, araç-gereç ihtiyacının olmadığı, lojistik açıdan hazırlıklı olduğu görülmektedir. Medikal kurtarma ekiplerinin farklı sürelerde olay yerine ulaştığı, ilk kurtarma işleminin afetzedeler tarafından gerçekleştirildiği ve yaralıların kendi imkânlarıyla hastaneye ulaştığı tespit edilmiştir. Afetzedelerin UMKE araçları ile başka yerlere ulaşım talepleri, su ve yemek ihtiyaçlarının UMKE ekiplerince karşılanmasını istemeleri afetzedeler ile UMKE ekipleri arasında sorunlara yol açtığı tespit edilmiştir.

Afet sahasına ulaşım süresinin afet türüne göre değişken olduğundan dolayı afet sahasına alternatif ulaşım güzergâhlarının belirlenmesi önerilmektedir. Sel afetinde sahaya ulaşım noktasında hava, deniz ve amfibi araçların kullanılması uygun olacaktır. Afete müdahale ile görevli ekipler arasında organizasyonu güçlendirecek ve etkinleştirecek önlemler alınmalıdır. UMKE personeline, bölgelerin afetselliğine (sel, deprem, çığ, heyelan vb.) yönelik teorik ve uygulama eğitimleri verilmelidir. Afet meydana geldiğinde medikal kurtarma ekipleri afet sahasına ulaşana kadar afetzedeler kendi imkânları ile baş etmek durumundadır. Bu durumda halka afetlere karşı hazırlık eğitimlerinin verilmesi önerilmektedir.

Kaynaklar

- Ababa A., (2002), *Disasters and emergencies definitions, training package*. WHO/EHA Panafrican Emergency Training Centre, <http://apps.who.int/disasters/repo/7656.pdf>, [Erişim 26 Temmuz 2021].
- AFAD (2021a), *Bartın, Kastamonu ve Sinop'ta meydana gelen yağışlar*, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, <https://www.afad.gov.tr/bartın-kastamonu-ve-sinopta-meydana-gelen-yagislar>, [Erişim 14 Ekim 2021].
- AFAD (2021b), *Van Depremi*, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, <https://www.afad.gov.tr/tr/2383/2011-Van-Depremi-Raporu-Mudahale-Iyilestirme-ve-Sosyoekonomik-degerlendirme>, [Erişim 27 Temmuz 2021].
- AFAD (2021c), *Bartın, Kastamonu ve Sinop'ta Meydana Gelen Yağışlar Hakkında - 21.00*, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, <https://www.afad.gov.tr/bartın-kastamonu-ve-sinopta-meydana-gelen-yagislarhakkında---2100>, [Erişim 14 Ekim 2021].
- Akyel R., (2007), *Afet Yönetim Sistemi: Türk afet yönetiminde karşılaşılan sorunların tespit ve çözümüne ilişkin bir araştırma*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Al Qundus J., Dabbour K., Gupta S., Meissonier R., Paschke A., (2020), *Wireless sensor network for AI-based flood disaster detection*, Annals of Operations Research, 2020, doi: 10.1007/s10479-020-03754-x.
- Amato A., Gabrielli F., Spinozzi F., Magi Galluzzi L., Balducci S., Beolchini F., (2020), *Disaster waste management after flood events*, Journal of Flood Risk Management, 13(S1), e12566, doi: 10.1111/jfr3.12566.
- Arslan Ü., Şahinöz T., Kaya M., (2007), *Afetlerde sağlık organizasyonu çalışmaları*, TMMOB Afet Sempozyumu, 05 - 07 Aralık, Ankara, ss. 467-471.
- Bayrakdar C., Döker M.F., Keserci F., (2020), *Polyelerde hatalı arazi kullanımların sebep olduğu afetlere bir örnek: 31 Ocak 2019 Kayaköy Polyesi taşkını*, Coğrafya Dergisi, 41(2020), 109-128.
- Below R., Wirtz A., Guha-Sapir D., (2009), *Disaster Category Classification And Peril Terminology For Operational Purposes*, Common Accord Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) and Munich Reinsurance Company, 264. https://www.cred.be/downloadFile.php?file=sites/default/files/DisCatClass_264.pdf, [Erişim 18 Temmuz 2022].
- Benli K., Özçelik C., (2020), *22-23 Eylül 2015 Bodrum sel felaketi*, Teknik Dergi, 31(3), 10013-10032.
- Bulat Y., (2014), *Afet ve olağandışı durumlara yönelik mevcut sağlık hizmetleri yönetim politikasının değerlendirilmesi ve bir model önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara.
- CRED, (2016), *Poverty and Death: Disaster Mortality 1996-2015*, The Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Brussels, Belgium, 1-20. https://www.preventionweb.net/files/50589_creddisastermortalityallfinalpdf.pdf, [Erişim 18 Temmuz 2022].
- Çakmak H., Aydın Er R., Öz Y.C., Aker A.T., (2010), *Kocaeli ili 112 acil yardım birimlerinde çalışan personelin Marmara depreminden etkilenme ve olası afetlere hazırlık durumlarının saptanması*, Akademik Acil Tıp Dergisi, 9(2), 83-88.
- Çelebi İ., (2016), *Çanakkale 112 acil sağlık hizmetleri istasyonlarında görev yapan sağlık çalışanlarının şiddetle karşılaşma durumu ve bu durumun tükenmişlik sendromu üzerine etkisi*, Hastane Öncesi Dergisi, 1(2), 1-13.
- Çelik S., Bölük E., Akbaş A.İ., Deniz A., (2017), *İklim değişiyor, hava olayları sertleşiyor*, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://212.175.180.11/FILES/genel/makale/iklimdegisiyor.pdf>, [Erişim 27 Temmuz 2021].
- Çınar İ., Kavlak O., (2009), *İzmir ilinde çalışan ambulans ve acil bakım teknikerlerinde iş doyumunun ve buna etki eden faktörlerin incelenmesi*, Akademik Acil Tıp Dergisi, 8(3), 33-37.
- Debby G., Vos F., Below R., Ponserre S., (2012), *Annual Disaster Statistical Review 2011*, https://www.preventionweb.net/files/27782_adsr2011.pdf, [Erişim 26 Temmuz 2021].
- DSİ, (2021), *İşletmedeki Tesisler*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 26. Bölge Müdürlüğü, Artvin, <https://bolge26.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/930>, [Erişim 13 Temmuz 2021].
- EM-DAT, (2021), *Emdat Public Data*, EM-DAT The International Disaster Database, <https://public.emdat.be/data>, [Erişim 12 Temmuz 2021].
- EM-DAT (2021), *Guidelines*, EM-DAT The International Disaster Database, <https://www.emdat.be/guidelines>, [Erişim 7 Mayıs 2021].
- Ekinci R., Büyüksaraç A., Ekinci Y.L., Işık E., (2020), *Bitlis ilinin doğal afet çeşitliliğinin değerlendirilmesi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(1), 1-11.
- Ekşi A., (2015), *Kitlesel Olaylarda Hastane Öncesi Acil Sağlık Hizmetleri Yönetimi*, Üçüncü Baskı, Kitapana Yayınevi, İzmir.
- Ergünay O., Özmen B., (2013), *Afet yönetimim açısından Van depreminden elde edilen dersler*, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül, Antakya, Hatay, ss.1-8.

- Ertan C., Akgün F. S., Yücel N., (2010), *Bir Üniversite Hastanesi Acil Servisine Yapılan Sevklerin İncelenmesi*, Türkiye Acil Tıp Dergisi, 10(2), 65-70.
- Eryılmaz M., Dizer U., (2007), *Afet Tıbbı*, Cilt-I, Ünsal Yayınları, Ankara.
- Eryiğit U., Saraç E., Sayar S., Yetim Ö., Furuncu H., Ocak Z., Balcı Z., Çakıroğlu E., (2012), *UMKE ve Trabzon UMKE'nin Van-Erçiş depremindeki çalışmaları*, The Journal of Academic Emergency Medicine, 11(1), 55-60.
- Iqbal Q., Mehler K., Yıldırım M.B., (2007), *Comparison of disaster logistics planning and execution for 2005 hurricane season*, InTrans Project Reports, <https://core.ac.uk/download/pdf/38938843.pdf>, [Erişim 7 Mayıs 2021].
- Işık F., Bahadır M., Zeybek H.İ., Çağlak S., (2020), *Karadere çayı taşkını (Araklı-Trabzon)*, Mavi Atlas, 8(2), 526 - 547.
- İbiş E., Kesgin B., (2014), *Türkiye'de sosyal hizmet ve medikal kurtarma açısından Yalova, Van ve Simav depremlerinin incelenmesi*, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 41, 225-234.
- İSO, (2008), *Sanayide afet ve acil durum yönetim rehberi*, İstanbul Sanayi Odası Yayınları, Birinci Baskı, İstanbul.
- Karabıyık F., (2010), *Sağlık afet yönetiminde planlama ve risk analizleri*, Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi, İstanbul.
- MGM, (2021), *Anasayfa*, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://mgm.gov.tr/>, [Erişim 14 Ekim 2021].
- Özalp D., (2009), *Dere taşkın risk haritalarının CBS kullanılarak oluşturulması ve CBS ile taşkın risk analizi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özey R., (2006), *Afetler coğrafyası*, Aktif Yayınevi, İstanbul.
- Shaluf I.M., (2007), *Disaster types*, Disaster Prevention and Management: An International Journal, 16(5), 704-717.
- Strömberg D., (2007), *Natural disaster, economic development and humanitarian aid*, Journal of Economic Perspectives, 21(3), 199-222.
- TAMP (2022), *Türkiye Afete Müdahale Planı*, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/2419/files/Afet_Mud_PL_ResmiG_20122013.pdf, [Erişim 18 Temmuz 2022].
- UN (1992), *Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management*, United Nations Department of humanitarian affairs, Geneva, 81ss.
- URL-1 (2021), *Coğrafi Durumu Hopa'nın Coğrafi Yapısı*, T.C. Hopa Kaymakamlığı, <http://www.hopa.gov.tr/cografi-durumu>, [Erişim 13 Temmuz 2021]
- URL-2 (2021), *Climate Hopa (Turkey)*, Climate Data, <https://en.climate-data.org/asia/turkey/artvin/hopa-8540/>, [Erişim 13 Temmuz 2021].
- URL-3 (2010), *Sağlık Bakanlığı*, https://acilafet.saglik.gov.tr/Eklenti/2506/0/umke-yonergesipdf.pdf?_tag1=D75C843CA5310B2F69AA854933F6EB1928D0FF5A, [Erişim 10 Ekim 2021].
- URL-4 (2021), *Ameliyathaneler sevkleri bitirdi*, Medimagazin, <https://www.medimagazin.com.tr/medimagazin/tr-gonulluler-ordusu-umke-676-564-10873.html>, [Erişim 27 Temmuz 2021].
- URL-5 (2021), *Gönüllü kahramanlar*, Karadeniz'in Sesi, <https://www.karadenizinsesi.com.tr/gonullu-kahramanlar-roportaj,23.html>, [Erişim 27 Temmuz 2021].
- URL-6 (2021), *Sağlık Bakanlığı 112 Acil Sağlık Hizmetlerinde Gelişmiş Ülkelere Ulaştı*, Medya 24, <https://www.medya-24.com/haber-saglik-bakanligi-112-acil-saglik-hizmetlerinde-gelismis-ulkelere-ulasti-19566.html>, [Erişim 14 Ekim 2021].
- Usta G., Torpuş K., Küçük U., (2017), *Afetlerde START Triaj Skalası*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3(2), 70-76.
- Usta M., Usta G., (2021), *Biological disasters and some prevention method samples in Turkey*, Ecological Life Sciences, 16(1), 25-39.
- Ünal Y., Işık E., Şahin S., Yeşil S.T., (2017), *Sağlık afet çalışanlarının depremlere ilişkin bireysel hazırlık düzeylerinin değerlendirilmesi: Ulusal Medikal Kurtarma Ekipleri (UMKE) derneği örneği*, DEÜ Tıp Fakültesi Dergisi, 31(2), 71-80.
- Yavuz Özalp A., Akıncı H., Temuçin Kılıçer S., (2013), *Artvin ili arazisinin topografik ve bazı fiziksel özelliklerinin tespiti ve bu özelliklerin arazi örtüsü ile ilişkisinin incelenmesi*, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 14(2), 292-309.
- Yılmaz A., (2003), *Türk kamu yönetiminin sorun alanlarından biri olarak afet yönetimi*, Pegem-A Yayıncılık, Ankara.
- Yılmaz C., Kaya M., (2020), *Şehir coğrafyası ve afet yönetimi bağlamında Samsun-Atakum sel ve taşkınları*, Doğu Coğrafya Dergisi, 25(44), 31-46.
- Yılmaz G., Usta G., (2019), *Artvin ili Hopa sel afetinin afet yönetimi açısından etkinliğinin değerlendirilmesi*, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 12(67), 1124-1132.
- Yılmaz G., Usta G., Torpuş K., (2019), *Artvin İtfaiye Müdürlüğü'nün 2008-2017 yılları arasında müdahale ettiği köy yangınları üzerine bir inceleme*, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 12(62), 1904-1910.
- Yüzer H. A., (2017), *Doğal Afetlerde Gönüllü Sağlık Yardım Örgütleri ve Ulusal Medikal Kurtarma Ekipleri (UMKE) Örneği Edirne*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Edirne.

Afet Yönetimindeki Paradoks: 2020 Ege Denizi Depremi

Alper Bilgili^{1*}, Gaye Sanatçı Aktaş²

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biga İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Kamu Yönetimi, 17202, Çanakkale.

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kamu Yönetimi, 17110, Çanakkale.

Özet

Kamu yönetimi anlayışında yaşanan paradigma değişimi, afet yönetiminde de birtakım değişiklikleri beraberinde getirmiştir. Bürokratik uzmanlık gerektiren komuta kontrol esaslı merkeziyetçi ve bürokratik afet yönetimi anlayışı yerine yetki ve sorumlulukların yukarıdan aşağıya kurgulanmadığı çok aktörlü ve dayanışmacı afet yönetimi anlayışı ağırlık kazanmıştır. Bu kapsamda, "Afet yönetimi politikalarında merkeziyetçi/bürokratik afet yönetimi ile çok aktörlü/dayanışmacı afet yönetimi modellerinden hangisinin ağırlıklı olarak uygulandığının belirlenmesi" araştırmanın problemi olarak belirlenmiş olup bu kapsamda, "afet yönetimine ilişkin karar verme yetkisi ve uygulama sorumluluğu merkezi hükümet, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşları arasında nasıl paylaştırılmaktadır?" sorusuna cevap aranmıştır. Araştırma, 2020 yılında yeryüzünde meydana gelen depremler arasında en ölümcül deprem olarak kayıtlara geçen 2020 Ege Denizi Depreminin nitel ve karma yöntemlerin analizinde kullanılan MAXQDA Analytics Pro 20 programıyla içerik analizi şeklinde incelenmesini kapsamaktadır. Araştırmada kullanılan veriler; merkezi yönetim kapsamında İzmir Valiliği ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın, yerel yönetimler kapsamında İzmir Büyükşehir Belediyesi ve Seferihisar Belediyesi'nin sivil toplum kuruluşlarının kapsamında ise AKUT ve İHH İnsani Yardım Vakfı'nın resmi Twitter hesaplarına ait 30-31 Ekim ve 1 Kasım 2020 tarihindeki paylaşımları içermektedir. Araştırmada sonuç olarak, çok aktörlü / dayanışmacı afet yönetimi yaklaşımının politika belgelerinde yer aldığı ancak afet anında yetki ve sorumluluğun ağırlıklı olarak merkezi yönetimin kontrolünde yürütüldüğü sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Afet Yönetimi, Afet Yönetiminde Paradigma Değişimi, 2020 Ege Denizi Depremi, Twitter, İçerik Analizi

Paradox in Disaster Management: 2020 Aegean Sea Earthquake

Abstract

The paradigm shift in the understanding of public administration has brought some changes in disaster management as well. Instead of a command-control-based centralized and bureaucratic disaster management approach that requires bureaucratic expertise, a multi-actor and solidarist disaster management approach, in which authorities and responsibilities are not constructed from top to bottom, has gained weight. In this context, it was determined as the problem of the research that "determining which of the centralist/bureaucratic disaster management and multi-actor/solidarity disaster management models are mainly applied in disaster management policies", and in this context, "decision-making authority and implementation responsibility regarding disaster management are central government, local governments and how is it shared among non-governmental organizations?". The answer to this question has been sought. The research includes the analysis of the 2020 Aegean Sea Earthquake, which was recorded as the deadliest earthquake among the earthquakes that occurred in the world in 2020, in the form of content analysis with the MAXQDA Analytics Pro 20 program, which is used in the analysis of qualitative and mixed methods. The data used in the research: 30-31 October and 1 November belonging to the official Twitter accounts of the İzmir Governor's Office and the Disaster and Emergency Management Presidency within the scope of the central government, and AKUT and İHH Humanitarian Relief Foundation within the scope of the non-governmental organizations of the İzmir Metropolitan Municipality and Seferihisar Municipality within the scope of local administrations. It includes posts from 2020. As a result of the research, it has been concluded that the multi-actor/solidarist disaster management approach is included in the policy documents, but in the event of a disaster, the authority and responsibility are mainly carried out under the control of the central government.

Keywords

Disaster Management, Paradigm Change in Disaster Management, 2020 Aegean Sea Earthquake, Twitter, Content Analysis

1. Giriş

2020 yılı Dünya Afet Raporu verilerine göre, dünyada 97,5 milyon insan %97 oranında iklim ve hava ile ilgili afetlerden etkilendi ve 24.396 kişi hayatını kaybetti (IFRC 2020). Ayrıca dünya genelinde yeni tip koronavirus (Covid-19) salgınında Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO 2020) resmi verilerine göre, Aralık 2019-Aralık 2020 tarihleri arasında toplam 1,76 milyon kişinin hayatını kaybettiğini duyurması, afet yönetimine ilişkin politikaların gündemde önemli bir yer tutmasına ve yerel, ulusal, bölgesel ve uluslararası alanda gündemde yer alan öncelikli konuların başında olmasına neden olmaktadır.

Farklı sebeplerle ortaya çıkan afetler, insan yaşamının ayrılmaz bir parçası olduğuna göre açığa çıkacak zararların olabildiğince az düzeye indirilebilmesi için her düzeydeki afetin çeşitli aşamalarına yönelik etkin bir afet yönetimine ihtiyaç vardır. Afet yönetimine ilişkin ilk uluslararası girişimlere Birleşmiş Milletler öncülük etmektedir. Bu hususta uluslararası afet yönetimi politikalarına ilişkin ilk radikal değişimler 1980'li yılların ikinci yarısından itibaren yaşanmaya başlanmıştır. Türkiye'de Tanzimat Döneminden günümüze kadar hâkim olan merkeziyetçi/bürokratik yönetim anlayış biçimi, afet yönetimi faaliyetlerini de doğrudan etkilemekte ve bunun sonucunda afetlere yönelik mevzuat hazırlama, planlama, politika geliştirme, fon ve kaynak tahsis etme, personel istihdamı vb. gibi temel faaliyetler büyük oranda merkezi yönetimin uhdesinde gerçekleşmiştir. Ancak 1980'li yıllarda neoliberal politikaların etkisiyle sosyal, toplumsal ve ekonomik alanda başlayan değişim kamu yönetiminde de paradigma kırılmasına sebep olmuştur. Bu kırılma afet yönetiminde de birtakım değişiklikleri beraberinde getirmiştir. Böylelikle, merkeziyetçi ve bürokratik afet yönetimi anlayışı terk edilerek çok aktörlü ve dayanışmacı afet yönetimi anlayışı ağırlık kazanmıştır.

Araştırmanın problemi, "Afet yönetimi politikalarında merkeziyetçi/bürokratik afet yönetimi ile çok aktörlü/dayanışmacı afet yönetimi modellerinden hangisi ağırlıklı olarak uygulanmaktadır?" şeklinde belirlenmiştir. Araştırmanın amacı, Türkiye'nin afet yönetimi alanında yaşadığı paradigma değişimini tümevarımcı bir yaklaşımla 2020 Ege Denizi Depremi temelinde açıklayabilmektir. Bahsi geçen deprem 30 Ekim 2020 günü Ege Denizinde Yunanistan'ın Sisam Adası açıklarında Seferihisar'a 23 km mesafede 6.9 büyüklüğünde 16 saniye süren bir depremdir. Deprem sonrası Türkiye'de 117 Yunanistan'da ise 2 kişi olmak üzere toplam 119 insan hayatını kaybetmiştir. Çalışma, iletişim odaklı nitel araştırma tekniklerinde tanımlayıcı örnek olay araştırması şeklinde tasarlanmasının yanı sıra bilgi ve internet teknolojisi alanında yaşanan gelişmelere kayıtsız kalmayıp 340 milyon aktif kullanıcıya sahip (2020 yılı itibarıyla) bir sosyal medya platformu olan Twitter üzerinden analiz gerçekleştirmesi açısından önem arz etmektedir. Ayrıca bu tanımlayıcı örnek olay araştırması, durum ya da vaka içinde geliştiği çerçeveye birlikte ele aldığı ve vaka ile çevresinin ilişkisine ve etkileşimine dikkat eden holistik bir yaklaşımla tasarlandığı için de önem arz etmektedir. Araştırmanın kapsamına Türkiye'de meydana gelen bütün afetler girmekle birlikte çalışma 2020 Ege Denizi Depremi ile sınırlandırılmıştır. Söz konusu sınırlandırmanın temel nedeni, çalışmanın yürütüldüğü dönem içerisinde meydana gelen depremler arasında en ölümcül deprem olarak kayıtlara geçmiş ve bu depremde Türkiye ve Yunanistan da toplam 119 kişi hayatını kaybetmiştir. Çalışmada, 2020 Ege Denizi Depremi özelinde etkili birer politika aktörü oldukları düşünülen Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (@AFADBaşkanlık), İzmir Valiliği (@IzmirValiligi), İzmir Büyükşehir Belediyesi (@izmirbld), Seferihisar Belediyesi (@shisarbel), AKUT Arama Kurtarma Derneği (@AKUT_Derneği) ve İHH İnsani Yardım Vakfı'nın (@ihhinsaniyardim) resmi Twitter hesabında yer alan toplam 72 saat olarak bilinen altın saatler aralığında (30-31 Ekim ve 1 Kasım 2020) yapmış oldukları paylaşımların analizini içermektedir. Araştırma verileri nitel ve karma yöntemlerin analizinde kullanılan MAXQDA Analytics Pro 20 programı ile içerik analizine tabi tutulmuştur.

1.1. Kavramsal ve Kuramsal Çerçeve

Afet kavramı; Birleşmiş Milletlerin tanımıyla "fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar oluşturan, günlük yaşamı ve insan aktivitelerini durdurarak veya kesintiye uğratarak toplumları etkileyen ve yerel imkanlar ile baş edilemeyen doğal, teknolojik veya insan kaynaklı tüm olaylar" şeklinde tanımlanmaktadır (Kadioğlu 2008). Afetler, toplumlarda ölüm, yaralanma gibi problemlere sebep olabilirken, afet öncesi kendi kendine yetebilme kapasitesine sahip olan toplumlar afet sonrası belirli bir zaman başka ülkelerden gelen yardımlara bağımlı hale gelebilmektedirler (Ploughman 1997).

Afet, bir toplumun yerel imkanlarını kullanarak üstesinden gelemeyeceği, başlangıçta bölgesel daha sonra ulusal kaynakların seferber edilmesini gerektiren insani, çevresel ve maddi zararlara sebebiyet veren istenmeyen durumlara denir (UNDHA 1992). Kızılhaç'ın yaptığı tanımlamada insanların beslenme, barınma, sağlık ve sosyal gibi temel gereksinimlerini karşılayamaz hale gelmesi afet olarak tanımlanmaktadır (Dombrowsky 1998). Toplumsal düzende ciddi bozulmalara neden olan afetlerin ortaya çıkış sebepleri literatürde jeolojik, meteorolojik, biyolojik, sosyal ve teknolojik olmak üzere beş farklı şekilde sınıflandırıldığı görülmektedir. Ancak konuya ilişkin genel bir sınıflandırma yapmak gerekirse afetleri, doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Doğanın kendi davranışları sonucu açığa çıkan beşerî unsurlar ile eklemlenerek zararını artıran doğal afetler, meydana geliş hızlarına göre, yavaş ve ani gelişen doğal afetler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğal afetlerde yavaş gelişenler küresel ısınma, iklim değişikliği, kuraklık, çölleşme, kıtlık, erozyon vb. durumlar şeklinde örneklendirilirken su taşkınları, seller, toprak kaymaları, yıldırım düşmesi, yanardağ patlamaları, büyük yangınlar, depremler vb. ani gelişen doğal afetlere örnek olarak gösterilebilir.

Doğa ve insan etkileşiminin doğanın aleyhine aşırılaşması sonucu açığa çıkan yapay afetlere ise, taşımacılık, endüstriyel, nükleer, biyolojik ve kimyasal kazalar, terör saldırıları, savaşlar vb. örnek olarak verilebilmektedir (AFAD 2020).

Farklı sebeplerle ortaya çıkan afetler, insan yaşamının ayrılmaz bir parçası olduğuna göre açığa çıkacak zararların olabildiğince az düzeye indirilebilmesi için her düzeydeki afetin çeşitli aşamalarına yönelik etkin bir afet yönetimine ihtiyaç vardır (Akyel 2005). Bu hususta afet yönetimi hem afetlerin önlenmesi hem de zararlarının minimum düzeye indirilmesi için, afet sürecinin öncesi, esnası ve sonrasında yapılması gerekli yasal, yönetsel ve teknik çalışmaları içeren ve uygulamaya aktaran, elde edilen deneyimler sonucu mevcut sistemin yenilenerek gelişimini sürdüren bir yönetim yaklaşımıdır (Özel 2013). Dolayısıyla bir afet yönetimi, afet öncesinde hazırlık, risk azaltma ve önleme, afet esnasında kişisel davranış ve korumayı içeren kriz yönetimini, afet sonrasında ise müdahale ve yeniden yapılandırma ile iyileştirme politikalarını hayata geçiren sistematik bir yapıdır (Tercan 2018).

20. yüzyılın ortalarına kadar gerek doğal afetler gerek yapay afetler karşısında geniş kapsamlı araştırmaların azlığı afet yönetimine ilişkin sorunların algılanması ve problemin tanımlanması aşamasında yetersizlikleri gündeme getirmiştir. Ancak 21. yüzyıla birlikte artan nüfus hareketleri hem doğal afetlerden etkilenen alanda bir artış yaşanmasına hem de taşımacılık, göç, savaş ve terör saldırıları gibi yapay afetlerde niceliksel artışa sebep olmuştur. Buna bağlı olarak afetlere ilişkin düzenli bir yönetim sisteminin gerekliliği devletler tarafından kabul edilmiştir. Çünkü son yarım yüzyıl yaşanan doğal afetler can ve mal kayıplarının yanı sıra ekonomik, sosyal ve çevresel yapıda da ciddi bozulmalara neden olması devletlerin bu konuyu daha fazla gündeme taşımalarına sebebiyet vermiştir (Yavaş 2004).

Afet yönetimine ilişkin ilk uluslararası girişimlere Birleşmiş Milletler öncülük etmektedir. Bu hususta uluslararası afet yönetimi politikalarına ilişkin ilk radikal değişimler 1980'li yılların ikinci yarısından itibaren yaşanmaya başlanmıştır. Bunlar; "Uluslararası Afet Zararlarının Azaltılması On Yılı (1990-2000)" ilan edilmesiyle başlatılmıştır. Ardından 2005-2015 yıllarını kapsayan "Hyogo Çerçeve Eylem Planı" ve 2015-2030 yıllarını kapsayan "Sendai Afet Risklerinin Azaltılması Çerçevesi" ile devam etmiştir. Üç politika belgesi de afet yönetimine ilişkin geliştirilen politikaların afet sırası ve sonrasında ziyade afet öncesine ağırlık verilmesi gerekliliğine vurgu yapmalarının yanı sıra afet yönetiminde sorumluluğun yerelleşme ve kurumlararası iş birliği ve yönetim gibi kavramların ön plana çıkarılması gerekliliğine vurgu yapmıştır (Yavuz 2020). Sendai Bildirge Planı günümüzde uygulanan hali ile Yokohama Strateji Belgesi ve öncesinde yapılanlar ile başlayan ve bu tecrübelerin Hyogo Çerçeve Eylem Planındaki uygulamalarının sonuçları ile yönlendirilen günümüzde afetlere karşı hazırlanabilecek yerel, ulusal ve uluslararası afet risklerinin azaltılması konusundaki en iyi planlama yöntemidir (Macit 2019).

Afet yönetimine ilişkin ilk ulusal girişimler, genellikle İstanbul'da yaşanan büyük depremler sonucu hayata geçirilmiş olup bu husustaki ilk düzenleme 1509 yılındaki İstanbul Depremi sonrası yayınlanan fermanıdır. 1939 ve 1944 yılları aralığında depremler ve su baskınları döneme damgasını vurmuştur. Bu dönemde yaşanan bazı büyük depremler, 1939 yılındaki 7.9 büyüklüğündeki Erzincan depremi, 1942 yılında 7.2 büyüklüğündeki Tokat depremi ve 1943 yılında 7.2 büyüklüğündeki Samsun Ladik depremleridir. Bu hususta 33 bin kişinin hayatını kaybettiği Erzincan Depremi sonrasında Cumhuriyet tarihinde doğrudan afetlere ilişkin çıkarılmış ilk kanun, Ocak 1940 tarihinde çıkarılan 3773 sayılı "Erzincan'da ve Erzincan Depreminden Müteessir Olan Mıntıklarda Zarar Görenlere Yapılacak Yardımlar Kanunu" dur. (Yavuz 2011; TBMM 1997). Türkiye'de bu dönemde geliştirilen afet yönetimi politikaları genellikle yaşanan her afetten ardından o afete özel bir yasal düzenleme hayata geçirilmiştir (Çilingir 2018). Ancak bu durum 1943 yılında yürürlüğe giren 4373 sayılı "Taşkın Sulara ve Su Baskınlarına Karşı Koruma Kanunu" ile değişikliğe uğramıştır. Böylelikle ilk kez afet meydana gelmeden önce alınacak tedbirlere ilişkin politikalar geliştirilmiş ve afet esnasında yapılacaklara ilişkin stratejilere yer verilmiştir. Türkiye için dönüm noktası ise 1944 yılında çıkarılan 4623 sayılı "Yer Sarsıntılarında Evvel ve Sonra Alınacak Tedbirler Hakkında Kanun" ile olmuştur. Çünkü adı geçen kanun yürürlüğe girdiği tarihlerde A.B.D, İtalya ve Japonya dışında böyle bir kanuna sahip başka bir ülke yoktur (Yavuz 2020). Ancak afet yönetiminin disiplinlerarası çok boyutlu olarak ilk kez ele alınması 18.243 kişinin hayatını kaybettiği Marmara Bölgesinde meydana gelen iki büyük deprem sonrası olmuştur (Tercan 2018). 2009 yılına gelindiğinde (URL-1 2009), 5902 sayılı kanun ile afet yönetiminde etkili olan Savunma Genel Müdürlüğü, Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve Türkiye Acil Durum Yönetimi Genel Müdürlüğü kaldırılarak yerine Başbakanlık'a bağlı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) kurularak dağınık olan kurumlar tek bir çatı altında toplanmıştır (AFAD 2021a). AFAD'ın kurulması, Türkiye'de afet yönetimi açısından hem kurumsal olarak hem de zihinsel anlamda köklü bir değişime işaret etmektedir. Özellikle afet meydana geldikten sonra yürütülen faaliyetleri içeren "kriz yönetimi" anlayışından "bütünleşik afet yönetimi" anlayışına geçilmesi AFAD'ın kurulması ile mümkün olmuştur. Bütünleşik afet yönetiminin benimsenmesi sonucunda ise, merkez ve yerel arasındaki ilişkiler yeniden düzenlenmiş ve koordinasyon, iş birliği süreci başlatılmıştır (Yavuz 2020). 15 Temmuz 2018 tarihinde, 4 Nolu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı İçişleri Bakanlığına dahil edilmiştir (AFAD 2021a). Afet öncesinde, afet anında ve afet sonrasında yürütülecek çalışmaların başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için, kamu kurumları, özel sektör ve sivil toplum kuruluşları arasında bütünleşmiş bir şekilde koordinasyona ihtiyaç bulunmaktadır. Dolayısıyla afet yönetimi, merkezi ve yerel kamu kurumları ile devlet dışı aktörler arasında sorumlulukların, bilginin, kaynakların, tecrübenin, uzmanlığın ve iletişimin paylaşılmasını gerektirmektedir. Merkeziyetçi/bürokratik afet yönetimi modeli, 1990'lı yıllara kadar kamu politikalarında uygulanan afet yönetimi modeli olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak son yıllarda yaşanan çok sayıda büyük felaketin ortaya çıkardığı yıkımlar, toplumları afetlerle mücadele etmek için idari, teknik ve kurumsal anlamda yeni yönetim anlayışlarına yönlendirmiştir.

Bu yeni yönetim anlayışlarının neticesinde tüm dünyada afet yönetimi faaliyetlerinin önceliği, kurumsal yapısı ve aktörleri çarpıcı bir şekilde dönüşmüştür. Teoride ve pratikte yaşanan bu değişimin ardından görev ve sorumlulukların merkezi idarelerden, yerel yönetimlere ve hükümet dışı aktörlere aktarıldığı yeni bir afet yönetimi yaklaşımı ön plana çıktığı görülmektedir. Yeni afet yönetimi yaklaşımı, yerel dinamikleri ön plana çıkaran, katılım konusuna önem veren, farklı alanlardan çok sayıda bileşen arasında iş birliğinin ön plana çıkaran bir model olarak karşımıza çıkmaktadır (Drabek 1987; Waugh ve Streib 2006).

Afet yönetimi, bütün kurumların iş birliğinin ortaya çıkmasında ve bu iş birliğinin avantajlarını görmek için önemli bir fırsat yaratmaktadır. Bu iş birliği görev alan kurumlar arasındaki bağlantıların güçlendirilmesi, afet yönetiminde ihtiyaç duyulan verimliliğin ve kaynakları etkili biçimde kullanılması anlamına gelmektedir (McGuire ve Silvia 2010).

Türkiye’de Tanzimat Döneminden günümüze kadar hâkim olan merkeziyetçi/bürokratik yönetim anlayış biçimi, afet yönetimi faaliyetlerini de doğrudan etkilemekte ve bunun sonucunda afetlere yönelik mevzuat hazırlama, planlama, politika geliştirme, fon ve kaynak tahsis etme, personel istihdamı vb. gibi temel faaliyetler büyük oranda merkezi yönetimin uhdesinde gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla Türkiye’de doğal afet politikalarında merkezi yönetimin daha aktif olduğu ve yerel yönetimlere pek fazla sorumluluk verilmediği görülmektedir. Valiler, ilin en büyük mülki idare amiri olarak, aktif bir şekilde iş yapmaktan çok organizasyon ve devletin diğer birimlerini harekete geçirme gibi rolleri üstlenen üst düzey yönetici pozisyonundadırlar (Eryılmaz 1999; Yavaş 2004). Bu doğrultuda afet yönetiminin uygulamaya ilişkin faaliyetleri illerde valinin sorumluluğunda ilgili merkezi yönetim biriminin il müdürlükleri tarafından yerine getirilmektedir.

TAMP’nın EK-5’te yer alan operasyon servisindeki hizmet gruplarının ana ve destek çözüm ortakları tablosunda, merkezi yönetim başta AFAD olmak üzere bakanlıklar, MİT, Kamu Düzeyi ve Güvenliği Müsteşarlığı, TOKİ, TRT ve TÜRKİSAT olmak üzere operasyon servisindeki hizmet gruplarının ana ve destek çözüm ortaklarının görev ve sorumlulukları yer almaktadır (TAMP 2021). Merkezi yönetimin afet yönetimi sürecine ilişkin ağırlığı düşünüldüğünde olayın meydana geldiği bölgeyi afet ilan etme yetkisinin AFAD’a ait olmasının yanı sıra yerleşim alanının afet açısından riskli bölge olarak ilan etme yetkisi yine merkezi yönetime verilmiştir (URL-2 2012).

Yeni kamu yönetimi anlayışı ve neoliberal politikaların ön plana çıkması sonucu kamu yönetiminde yaşanan paradigma değişimi, afet yönetiminde de birtakım değişiklikleri beraberinde getirmiştir. Böylelikle, merkeziyetçi ve bürokratik afet yönetimi anlayışı terk edilerek çok aktörlü ve dayanışmacı afet yönetimi anlayışı ağırlık kazanmıştır (Yavuz 2020). Türkiye Afete Müdahale Planı olan TAMP ile Türkiye’de yaşanabilecek her tür ve ölçekteki afet ve acil durumlara etkin müdahale için görev alacak, kamu kurumları, özel sektör, sivil toplum kuruluşları ve gerçek kişileri kapsamaktadır (TAMP 2021). Bu doğrultuda ilk olarak merkezi yönetim, yerel yönetim ve sivil toplum kuruluşların afet yönetimi politikalarındaki yeri, görev ve sorumluluklarına ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

Afet yönetiminin önleme, zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme aşamalarında yapılması gereken çalışmalar ve alınması gereken önlemleri, toplumun tüm güç ve kaynaklarını kullanarak gerçekleştirebilen entegre bir yönetim süreci olan bütünlükli afet yönetimi, tüm paydaşlar ilkesi gereğince merkezi yönetimlerin yanı sıra afet yönetimine yönelik planlama ve uygulama çalışmalarını gerçekleştirirken yerel yönetimlere daha fazla sorumluluk üstlenme görevi vermektedir. (AFAD 2021b). Ancak afet yönetiminin yukarıdan aşağıya doğru şekillenen hiyerarşik yapısı, yerel yönetimlerin afet yönetimine ilişkin sınırlı yetkilerinin olmasına neden olmaktadır. Böylelikle “halka en yakın yönetim birimi” olan yerel yönetimlerin afet yönetimi konusunda kaynak, kapasite ve tecrübeleri çoğunlukla göz ardı edilmektedir (Ergünay 2000). Türkiye’de ki mevcut durum, yerel yönetimlerin yetki ve sorumlulukların afet sonrası müdahale ve yardım çalışmalarından ziyade afet öncesi dönemleri içerisine alan risk ve zarar azaltma çalışmaları konusunda görevlendirilmiş olmalarıdır. Söz konusunu çalışma alanları ise yapı denetim, imar mevzuatı ve kentsel dönüşüm vb. gibi uygulamaları içerisine almaktadır.

Afetler doğaları gereği kamu yönetiminin aktif bir şekilde faaliyetlerini gerektirmektedir. Ancak afetlerde resmi kurum ve kuruluşların haricinde, gönüllü bireylere ve hükümet dışı örgütlere de yaptığı katkılar göz önüne alındığında geliştirilen politika belgelerinde sivil toplum kuruluşlarının yasal süreçte dayanaklarının ve görev- sorumluluk alanlarına ilişkin ödevlerin belirlenmesi gerekmektedir (Leblebici 2014). Bu hususta 18 ile 65 yaş aralığındaki tüm bireylerin afetlerde yerine getirebilecekleri görev ve sorumlulukları 7126 sayılı Sivil Savunma Kanun ile resmîyet kazanmıştır (URL-3 1959). Ayrıca TAMP STK’ları destek çözüm ortağı olarak adlandırılmış olup bu hususta STK’lara, haberleşme, ulaşım alt yapı, arama ve kurtarma, sağlık hizmetleri, barınma, beslenme, psikososyal destek, defin, gıda tarım ve hayvancılık, nakliye hizmetlerine ilişkin görev ve sorumluluklar vermiştir (TAMP 2021). Örneğin, kendi imkanların çerçevesinde yardım talep eden doğa ile ilgili kazalara ve doğal afetlerle ilgili tüm acil durumlara ilişkin yardım ve kurtarma faaliyetlerini yürüten bir sivil toplum kuruluşu olarak AKUT, 2011 yılındaki Elâzığ Depreminde, kazazedeler ile ihtiyaç sahipleri için çadırların kurulmasına yardım etmek için güçlü ve etkili bir çalışma yürütmüştür (AKUT 2021a; AKUT 2021b). Bu durum ise bireylerin afet anında sınırlı imkân ve potansiyelleri sebebiyle risk anını doğru bir şekilde yönetemeyecek olmalarından kaynaklı etkin bir organizasyon yapısına ihtiyaç olduğunu destekler niteliktedir (Varol 2019).

2. Yöntem ve Teknik

Bu başlık altında, araştırmanın problemi ve soruları, amacı, önemi, kapsam ve sınırlılıkları, deseni, veri toplama yönetimi, analiz teknikleri ve son olarak araştırmanın geçerlilik ve güvenilirliği hakkında bilgilere yer verilmiştir.

2.1. Problem ve Araştırma Soruları

Araştırmanın problemi, “Afet yönetimi politikalarında merkeziyetçi/bürokratik afet yönetimi ile çok aktörlü/dayanışmacı afet yönetimi modellerinden hangisi ağırlıklı olarak uygulanmaktadır?” şeklinde belirlenmiştir. Araştırma problemi çerçevesinde, “afet yönetimine ilişkin karar verme yetkisi ve uygulama sorumluluğu merkezi hükümet, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşları arasında nasıl paylaştırılmaktadır?” sorusuna yanıt aranmıştır. Ayrıca araştırma, “kamu yönetiminde yaşanan paradigma değişiminin aksine Türkiye’de çok aktörlü/dayanışmacı afet yönetimi anlayışına geçilemediği ve merkeziyetçi/bürokratik anlayışının hâkim olduğu” önermesine dayandırılmıştır.

2.2. Amaç ve Önem

Araştırmanın amacı, afet yönetiminde yaşanan paradigma değişiminin 2020 Ege Denizi Depremi özelinde içerik analizi ile belirlenmesidir. Araştırmanın önemi ise, afet yönetiminde merkezi yönetim, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşlarının sosyal medyayı aktif kullanım düzeylerinin 340 milyon aktif kullanıcısı (2020 yılı itibarıyla) bulunan Twitter üzerinden incelenmesidir. Ayrıca araştırma, afet yönetimine ilişkin güncel veriler sunması bakımından önemli görülmektedir. Türkiye’nin afet yönetimi alanında yaşadığı paradigma değişimini tümevarımcı bir yaklaşımla 2020 Ege Denizi Depremi temelinde açıklayabilmektedir. Çalışma, iletişim odaklı nitel araştırma tekniklerinde tanımlayıcı örnek olay araştırması şeklinde tasarlanmasının yanı sıra bilgi ve internet teknolojisi alanında yaşanan gelişmelere kayıtsız kalmayıp 340 milyon aktif kullanıcıya sahip (2020 yılı itibarıyla) bir sosyal medya platformu olan Twitter üzerinden analiz gerçekleştirmesi açısından önem arz etmektedir. Ayrıca bu tanımlayıcı örnek olay araştırması, durum ya da vaka içinde geliştiği çerçeveye birlikte ele aldığı ve vaka ile çevresinin ilişkisine ve etkileşimine dikkat eden holistik bir yaklaşımla tasarlandığı içinde önem arz etmektedir. Araştırmanın kapsamına Türkiye’de meydana gelen bütün afetler girmekle birlikte çalışma 2020 Ege Denizi Depremi ile sınırlandırılmıştır. Söz konusu sınırlandırmanın temel nedeni, çalışmanın yürütüldüğü dönem içerisinde meydana gelen depremler arasında en ölümcül deprem olarak kayıtlara geçmiş olmasıdır. Çalışmada, 2020 Ege Denizi Depremi özelinde etkili birer politika aktörü oldukları düşünülen Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (@AFADBaşkanlik), İzmir Valiliği (@izmirValiligi), İzmir Büyükşehir Belediyesi (@izmirbld), Seferihisar Belediyesi (@shisarbel), AKUT Arama Kurtarma Derneği (@AKUT_Derneği) ve İHH İnsanı Yardım Vakfı’nın (@ihhinsaniyardim) resmi Twitter hesabında yer alan altın saatler aralığında (30-31 Ekim ve 1 Kasım 2020) yapmış oldukları paylaşımların analizini içermektedir. Araştırma verileri nitel ve karma yöntemlerin analizinde kullanılan MAXQDA Analytics Pro 20 programı ile içerik analizine tabi tutulmuştur.

2.3. Kapsam ve Sınırlılık

Araştırmanın kapsamına Türkiye’de meydana gelen bütün afetler girmektedir. Ancak çalışma, araştırmanın yürütüldüğü dönem içerisinde (2020 yılı) yeryüzünde meydana gelen depremler arasında en ölümcül deprem olarak kayıtlara geçen 2020 Ege Denizi Depremi ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca 2020 Ege Denizi Depremi özelinde etkili birer politika aktörü olduğu düşünülen Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, İzmir Valiliği, İzmir Büyükşehir Belediyesi, Seferihisar Belediyesi, AKUT Arama Kurtarma Derneği ve İHH İnsanı Yardım Vakfı ile sınırlandırılmıştır. Çalışma aynı zamanda merkezi, yerel, STK’ların sosyal medya (Twitter) üzerinden paylaşmış oldukları tweet ve retweetlerle sınırlandırılmıştır.

2.4. Desen

Araştırma nitel araştırma desenlerinden *vaka analizi* olarak da adlandırılan “*örnek olay araştırması*” şeklinde tasarlanmıştır. Örnek olay analizi, bir zaman dilimindeki sosyal olaylar, topluluklar ya da kurumlar üzerinden yapılan sistematik araştırmalardır. Örnek olay analizi kim, ne, ne zaman, nerede, nasıl sorularını yanıtlamak üzere yürütülen bir analiz tekniği olmasından kaynaklı kritik bir değişim yaşayan kurumların, bireylerin ve toplulukların bu değişim sürecinde neler yaşadığı, hangi boyutlarıyla nasıl etkilendiği ve sürecin aşamalarının neler olduğu üzerine odaklanmaktadır. Ayrıca araştırma örnek olay araştırması türlerinden biri olan “*tanımlayıcı örnek olay araştırması*” şeklinde tasarlanmıştır. Tanımlayıcı örnek olay araştırması, bir olguyu kendi çerçevesi içerisinde detaylı tanımlamalarına yer vererek araştırılan olgunun doğasının daha iyi anlaşılacak yeni öngörüler ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır (Saruhan ve Özdemirci 2016; Baş ve Akturan 2017).

2.5. Veri Toplama Yöntemi

Araştırma verilerin toplanmasında, 2020 yılı itibarıyla 340 milyon aktif kullanıcıya sahip sosyal medya platformu olan Twitter'dan yararlanılmıştır. Araştırma kapsamında kullanılan veriler; merkezi yönetim kapsamında Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın (@AFADBaşkanlik), İzmir Valiliği'nin (@IzmirValiligi), yerel yönetimler kapsamında İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin (@izmirbld), Seferihisar Belediyesi'nin (@shisarbel) ve sivil toplum kuruluşlarının kapsamında ise AKUT (@AKUT_Dernegi) ve İHH İnsanı Yardım Vakfı'nın (@ihhinsaniyardim) resmi Twitter hesaplarına ait 30-31 Ekim ve 1 Kasım 2020 tarihinde yapmış oldukları paylaşımları içermektedir. Twitter verilerinin üç günlük süreyle sınırlandırılmasının sebebi ise, Amerika Birleşik Devletleri'nde federal hükümet yetkililerinin, yereldeki büyük bir afete müdahale süresini altın saatler olarak adlandırdıkları ilk 72 saat olarak belirlemiş olmalarından kaynaklanmaktadır. Söz konusu paylaşımlar merkezi yönetim, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşları olmak üzere üç farklı Microsoft Office Word dosyasına aktarılarak içerik analizi için hazır hale getirilmiştir.

2.6. Analiz ve Raporlama

Araştırmada elde edilen veriler içerik analizine tabi tutulmuştur. İçerik analizi, bir söylemi anlamada ve yorumlamada, öznel etkenlerden kurtulmayı amaçlamaktadır. Böylelikle okuyucunun bilgisine, sezgisine, tutumlarına, değerlerine ve referans çerçevesine bağlı, kolayca ve otomatik bir şekilde yapılmış yorumuna karşı, nesnel okuma ilkelerine getirmektedir. Dolayısıyla içerik analizi, mesajda bireyi görünmeden etkileyen öğelerin belirlenmesine yönelik “*ikinci bir okuma*”dır (Bilgin 2014). Verilerin analiz aşamasında, nitel ve karma yöntemlerin analizinde kullanılan MAXQDA Analytics Pro 20 programı kullanılmış ve ifade edilen mesajın konusu ön planda tutularak kodlamalar bu düzeye göre kategorize edilmiştir. Bu doğrultuda toplamda on dört temaya ilişkin kodlama işlemi yapılmıştır. İçerik analizinde on dört temaya ilişkin kodlar araştırmaya başlamadan önce afet yönetimine ilişkin literatürün detaylı incelenmesi sonucu belirlenmiş olup risk yönetimi, kriz yönetimi ve iyileştirme süreçlerine ilişkin görev ve sorumlulukları esasına göre detaylandırılmıştır. Temaların sayısal, yüzdesel veya oransal bir tarzda görünme sıklığını ortaya koyabilmek amacıyla içerik analizi tekniklerinden frekans analizinden yararlanılmıştır. Böylelikle temalar önem sırasına sokularak sıklığa dayalı bir sınıflandırma metodu uygulanmıştır.

2.7. Geçerlilik ve Güvenilirlik

Genel anlamda “geçerlilik” araştırma sonuçlarının doğruluğunu konu edinirken “güvenilirlik” ise araştırma sonuçlarının tekrar edilebilirliğiyle ilgilidir (Yıldırım ve Şimşek 2016). Dar anlamda “geçerlilik” araştırmada ölçümler sonucunda ortaya çıkan farklılığın tamamen ölçülen olgu ya da kişilerden kaynaklandığına duyulan güven iken “güvenilirlik” araştırmada uygulanan tekniğin araştırmacıya evren hakkındaki verileri sunmada ne kadar istikrarlı ve tutarlı olduğuyla ilgilidir (Saruhan ve Özdemirci 2016).

Araştırılan olgu hakkında bütüncül bir resim oluşturabilmek amacıyla merkezi yönetim, yerel yönetim ve sivil toplum kuruluşlarının her birinden eşit sayıda politika aktörleri seçilmiştir. Ayrıca temaların detaylı anlatımında kullanılan “doğrudan alıntılar”, her örneklem grubu için kodlama yoğunlukları çerçevesinde seçilmiştir. Böylelikle veriler olabildiğince yansız bir şekilde resmedilerek araştırmanın geçerliliğine katkı sunulmuştur. Araştırmanın geçerliliğine katkı sunan bir diğer husus ise, araştırmaya dahil edilen kurum ve kuruluşların resmi Twitter hesaplarının olduğunun garanti altına alınmış olmasıdır. Böylelikle internet yoluyla yapılan nitel araştırmalarda çoğunlukla araştırmaya dahil edilen kişi veya grupların gerçek kişi veya gruplar olup olmadığına ilişkin sorun ortadan kalkmış olmaktadır.

Araştırmanın güvenilirliğini arttıran unsur ise, konuya ilişkin genel literatür taramasına yer verilmiş olması ve benzer araştırmaları yapan araştırmacıların araştırma sonuçlarına yer verilmiş olmasıdır. Ayrıca araştırmanın yöntem ve teknik detaylarına yer verilmiş olması ve hazırlanan görsellerin MAXQDA Pro 20 programında hangi amaçla ve hangi sekmeler kullanılarak hazırlandığına ilişkin bilgilerin okuyucuyla paylaşılmış olması araştırmanın tekrarlanabilir olmasına katkı sağlamıştır.

3. Bulgular

Araştırmada içerik analizi kapsamında ilk olarak, 2020 Ege Denizi Depreminde altın saat aralığını kapsayan 30 Ekim – 1 Kasım tarihleri aralığından örneklem olarak seçilmiş merkezi yönetim, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşlarının sosyal medyayı aktif kullanabilme becerilerinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, örneklem olarak seçilmiş AFAD, İzmir Valiliği, İzmir Büyükşehir Belediyesi, Seferihisar Belediyesi, AKUT ve İHH İnsanı Yardım Vakfı'nın atmış oldukları tweet ve retweetlerin sayılarını gösteren Tablo 1. hazırlanmıştır.

Tablo 1: 30 Ekim – 1 Kasım 2020 tarihleri aralığında atılan tweet ve retweetlerin sayısı

	Merkezi Yönetim		Yerel Yönetimler		Sivil Toplum Kuruluşları		TOPLAM
	AFAD	İzmir Valiliği	İzmir Büyükşehir Belediyesi	Seferihisar Belediyesi	AKUT	İHH İnsani Yardım Vakfı	
Tweet	56	14	4	8	29	38	149
Retweet	11	28	11	3	4	16	73
TOPLAM	67	42	15	11	33	54	222

Tablo 1’de yer alan sonuçlara göre, 30 Ekim – 1 Kasım 2020 tarihleri aralığında seçili örneklem gruplarının 222 paylaşım yaptığı görülmektedir. Paylaşımların %67’si (n=149) seçili örneklem gruplarının kendi ifadeleri olan tweet oranını gösterirken %33’ü (n=73) başka Twitter kullanıcıların yapmış oldukları paylaşımlardan alıntılanan retweet olduğu görülmektedir. Toplamda en fazla paylaşımı merkezi yönetim (n=109) yaparken onu sivil toplum kuruluşları (n=87) ve yerel yönetimler (n=26) takip etmektedir. Bu doğrultuda toplam tweet sayıları içerisinde en fazla paylaşımı yapan kurum ve kuruluşlar çoktan aza olacak şekilde sırasıyla, AFAD, İHH İnsani Yardım Vakfı, İzmir Valiliği, AKUT, İzmir Büyükşehir Belediyesi ve Seferihisar Belediyesi’dir.

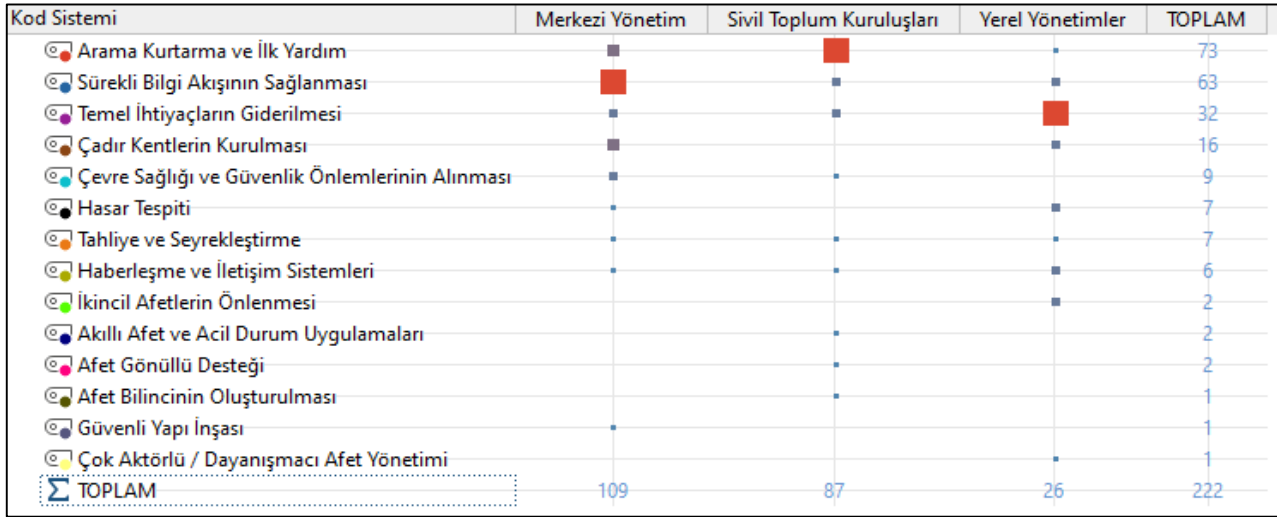
Merkezi yönetim başta AFAD’ın daha sonra T.C Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan’ın, İçişleri Bakanı Süleyman Soylu’nun, İçişleri Bakan Yardımcıları Muhterem İnce ve İsmail Çatak’ın, Sağlık Bakanı Fahrettin Koca’nın, Millî Savunma Bakanlığı’nın, Jandarma Genel Komutanlığı’nın, İletişim Başkanlığı’nın ve İzmir Valisi Yavuz Selim Köşger’in atmış oldukları tweetleri retweetledikleri görülmektedir. İzmir Büyükşehir Belediyesi, İzmir Büyükşehir Belediye’sinin belediye başkanı Tunç Soyer’in ve web televizyonu İzmirTube’nin paylaşımlarını retweetlemesinin yanı sıra AKUT’un tweetlerini de retweetledikleri görülmektedir. Seferihisar Belediye’si de Seferihisar Belediye başkanının İsmail Yetişkin’in tweetlerini retweetlediği görülmektedir. AKUT ise daha çok AKUT Operasyon ve AKUT yönetim kurulu başkanı Recep Şalcı’nın tweetlerini retweetlerken İHH, İHH Arama Kurtarma ve il düzeyinde açılmış İHH Twitter hesaplarının paylaşımlarını retweetledikleri görülmektedir.

İçerik analizinde ikinci olarak, 2020 Ege Denizi Depremi’nde Twitter’daki paylaşımlarının içeriğinin saptanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda MAXQDA Analytics Pro 20 programının Görsel Araçlar butonunda yer alan “Kod Matris Tarayıcısı” sekmesi kullanılarak Şekil 1. ve Şekil 2. hazırlanmıştır. Her iki Kod Matris Tarayıcısında alt kodların karşısında yer alan sütunlardaki renkli karelerin büyüklüğü ve küçüklüğü aynı sütundaki alt kodların işaretlenme sıklığını göstermektedir. Sıkça işaretlenen kodların karşısına denk gelen karelerin büyüklüğü o alt kodun yüksek oranda kodlandığını ifade ederken, küçüklüğü ise düşük oranda kodlandığını ifade etmektedir. Tweet ve Retweetlerin incelenmesi sonucu açığa çıkan temaların kodlama sayısı, grafiğin sol tarafında yer alan “toplam” sütunun altında gösterilmektedir.

Kod Sistemi	2020 Ege Denizi Depremi	TOPLAM
🔍 Arama Kurtarma ve İlk Yardım	■	73
📡 Sürekli Bilgi Akışının Sağlanması	■	63
🏠 Temel İhtiyaçların Giderilmesi	■	32
🏠 Çadır Kentlerin Kurulması	■	16
🌿 Çevre Sağlığı ve Güvenlik Önlemlerinin Alınması	■	9
🔍 Hasar Tespiti	■	7
🚚 Tahliye ve Seyrekleştirme	■	7
📡 Haberleşme ve İletişim Sistemleri	■	6
🛡️ İkincil Afetlerin Önlenmesi	■	2
📱 Akıllı Afet ve Acil Durum Uygulamaları	■	2
👥 Afet Gönüllü Desteği	■	2
🏠 Afet Bilincinin Oluşturulması	■	1
🏠 Güvenli Yapı İnşası	■	1
👥 Çok Aktörlü / Dayanışmacı Afet Yönetimi	■	1
📊 TOPLAM	222	222

Şekil 1: Temalara ilişkin ifadelerin sıklığını gösteren kod matris tarayıcısı

Şekil 1 hazırlanırken tüm belge grupları düzeyinde temalara ilişkin ifadelerin sıklığının gösterilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda 2020 Ege Denizi Depremi'nde afet yönetimine ilişkin en fazla vurgu yapılan temanın “arama kurtarma ve ilk yardım” (%32,8) olduğu görülmektedir. “Arama kurtarma ve ilk yardım” temasını “sürekli bilgi akışının sağlanması” (%28,3) takip ederken onu “temel ihtiyaçların giderilmesi” (%14,4) ve “çadır kentlerin kurulması” (%7,2) temaları takip etmektedir. Daha sonra “çevre sağlığı ve güvenlik önlemlerinin alınması” (%4,05) temasını “hasar tespiti”, “tahliye ve seyrekleştirme” temalarına eşit oranda (%3,1) vurgu yapıldığı görülmektedir. Söz konusu temaları “haberleşme ve iletişim sistemleri” (%2,7) teması takip etmektedir. “Haberleşme ve iletişim sistemleri temasını “ikincil afetlerin önlenmesi”, “akıllı afet ve acil durum uygulamaları” ve “afet gönüllü desteği” temaları eşit oranda (%0,9) takip etmektedir. Son olarak “afet bilincinin oluşturulması”, “güvenli yapı inşası” ve “çok aktörlü / dayanışmacı afet yönetimi” temalarının %0,4 oranında en az vurgu yapılan temalar olduğu görülmektedir.



Şekil 2: Belge grupları düzeyinde temalara ilişkin ifadelerin sıklığını gösteren kod matris tarayıcısı

Şekil 2’de ise, merkezi yönetim, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşları olarak ayrılmış üç farklı belge grubunun çoktan aza olacak şekilde üzerinde durdukları temaların neler olduğu saptanmaya çalışılmıştır. En fazla vurgu yapılan “arama kurtarma ve ilk yardım”, “sürekli bilgi akışının sağlanması” ve “temel ihtiyaçların giderilmesi” temaları hem merkezi yönetim hem yerel yönetimler hem de sivil toplum kuruluşları tarafından ortak vurgu yapılan temalar olduğu görülmektedir.

“Arama kurtarma ve ilk yardım” temasına, en fazla vurgu yapan sivil toplum kuruluşlarıdır. Bu bağlamda AKUT ve İHH İnsani Yardım Vakfı’nın paylaşımları genellikle bölgeye ulaşmak için yola çıkan ekiplerin bilgisini vermesinin yanı sıra enkaz altından sağ olarak kurtarılan depremzedeler ve evcil hayvanlara ilişkin bilgilerin paylaşılması şeklinde olmuştur. Arama kurtarma ve ilk yardım temasına ilişkin paylaşımlardan bazıları aşağıda yer almaktadır.

“#AKUToperasyon İzmir’de meydana gelen 6,6 büyüklüğündeki depremden etkilenen vatandaşlarımız için 3 ekibimiz saha çalışmalarına başlayarak 3 vatandaşımızı yaralı olarak enkazdan çıkartmıştır. 11 ekibimiz de bölgeye ulaşmak için yoldadır (@AKUT_Dernegi – 30 Ekim 2020)”.

“Bursa İHH, 5 araç, 17 kişilik arama kurtarma ekibi ve arama kurtarma köpeği ile İzmir’e yola çıktı. Ayrıca içerisinde 1.000 adet battaniye, su ve maske bulunan kamyonumuz da Bursa’dan İzmir’e yola çıkıyor (@ihhinsaniyardim – 30 Ekim 2020)”.

“#AKUToperasyon İzmir’de meydana gelen depremin ardından başlatılan operasyonun 2. gününde, 18 ekibimizden toplam 263 gönüllümüz ve 2 arama köpeğimiz arama kurtarma çalışmalarına devam etmekte olup şu ana kadar 9 vatandaşımızı enkazdan sağ olarak kurtarmıştır (@AKUT_Dernegi – 31 Ekim 2020)”.

“AKUT hayat kurtarır, Tavşan enkazdan çıkartılıyor (@AKUT_Dernegi – 31 Ekim 2020)”.

2020 Ege Denizi Depreminde, merkezi yönetim teşkilatı içerisinde yer alan AFAD ve İzmir Valiliği’nin depreme ilişkin “sürekli bilgi akışının sağlanması” ilişkin temel görevi üstlendikleri görülmektedir. Bu hususta, meydana gelen depremin büyüklüğü, derinliği, şiddeti, yeri ve saatine ilişkin bilgilerin yanı sıra depremde hayatını kaybeden ve sağ olarak kurtarılan kişilerin sayılarının paylaşılması ve yakınlarını kaybeden vatandaşlara başsağlığı içeren basın açıklamalarına yer verilmiştir.

2020 Ege Denizi Depreminde mağdur durumda olan vatandaşların yiyecek, içecek ve barınma ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik yapılan paylaşımlar “temel ihtiyaçların giderilmesi” teması altında kodlanmıştır. Bu doğrultuda temel ihtiyaçların giderilmesi temasına en fazla vurguyu halka en yakın birim olan yerel yönetimlerin yaptığı görülmektedir. Ayrıca yerel yönetimlerin bu süreçte ihtiyaçları yerinde tespit ederek yardımların eşit bir şekilde paylaşılması hususunda başat bir rol oynadıkları da görülmektedir. Söz konusu temaya ilişkin paylaşımlardan bazıları aşağıda yer almaktadır.

“Seyyar Marketimiz Sığacık’ta deprem nedeniyle yaşanan su baskınından mağdur olan ailelere su, çorba, kek ve börek ikramlarında bulunuyor (@shisarbel – 30 Ekim 2020)”.

“Şehiriçi otobüslerimizi yağmurdan korunmak isteyen vatandaşlarımızın kullanımına açmak üzere Aşık Veysel rekreasyon alanına getiriyoruz (@tuncsoyer, @izmirbld Retweet – 30 Ekim 2020)”.

“Mağdur durumda olan vatandaşlarımız için Seferihisar Ballıkuyu Spor Salonu, Belediye Düğün Salonu ve İzzet Gül Stadyumu sıcak yiyecek içecek ve barınma hizmetleri için hazırlandı. Tüm vatandaşlarımıza duyurulur! (@shisarbel -30 Ekim 2020)”.

“Çadırlarda yaşayan depremzede vatandaşlarımızın hijyen ihtiyacını karşılamak için Manavkuyu’da çamaşırhane kurduk (@tuncsoyer, @izmirbld Retweet – 1 Kasım 2020)”.

Türkiye’de yaşanabilecek her tür ve ölçekteki afet ve acil durumlarda görev alacak başta kamu kurumları, özel sektör, sivil toplum kuruluşları ve gerçek kişileri kapsayan Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP) ile “acil toplanma alanları” ve “geçici barınma alanları” önceden tespit edilmiştir. İl bazlı hazırlanan Afet Müdahale Planları ile afet sırasında yaşanabilecek olası tehlikelerin yıkıcı etkileri azaltılarak can, mal ve milli servetin korunması amaçlanmıştır. Böylelikle çadır kentlerin kurulmasına ilişkin faaliyetlerin kamu yönetimi yapısı içerisinde çoğunlukla merkezi yönetim tarafından ele alındığı yapılan içerik analizi tarafından da desteklenmiştir. 2020 Ege Denizi Depreminde çadır kentlerin kurulması ve bu alanlara afetzedelerin nakli görevini AFAD, Jandarma Arama Kurtarma (JAK) ve Kızılay’ın eşgüdümü yürüttüğü görülmektedir. Çadır kentlerin kurulmasına ilişkin paylaşımlardan bazıları aşağıda yer almaktadır.

“Vatandaşlarımızın barınma ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla Bornova Jimnastik Spor Salonu ve Bornova Öğütcan Spor Salonu tahsis edildi. Ayrıca Aşık Veysel ve Ege Üniversitesi alanlarına çadır kurulumu gerçekleştirildi (@IzmirValiligi – 30 Ekim 2020)”.

“#İzmir’de vatandaşlarımızın barınma ihtiyacının karşılanması için; Bornova Jimnastik ve Bornova Öğütcan Spor Salonları ile Aşık Veysel Rekreasyon alanı, Ege Üniversitesi kampüs alanı ve İzmir Bornova Eskişehir Stadı’na 3.600 yatak ve 4.300 battaniye gönderildi; 730 çadır kuruldu (@AFADBaşkanlık – 1 Kasım 2020)”.

Afet sonrası depremzedelerin maruz kalabilecekleri sorunlara karşı ne tür önlemler almaları gerektiğine vurgu yapan paylaşımlar “çevre sağlığı ve güvenlik önlemlerinin alınması” teması altında kodlanmıştır. Bu hususta hasar tespiti yapılan binalara afetzedelerin girmemeleri gerektiğine dair uyarıların yanı sıra olası hırsızlık sorunlarına karşıda alınması gereken tedbirler başta merkezi yönetim olmak üzere sivil toplum kuruluşları tarafından da bilgilendirici paylaşımların yapıldığı görülmektedir. Söz konusu paylaşımlar aşağıda yer almaktadır.

“ÖNEMLİ! Vatandaşlarımızın İzmir’deki hasarlı yapılara, kesinlikle girmemesi gerektiğini, önemle hatırlatıyoruz (@AFADBaşkanlık – 1 Kasım 2020)”.

“Lütfen paylaşıp birçok hemşehrimize duyurulması için destek olalım. #izmirdepremi. Değerli İzmirli An itibarıyla 910 kişiden oluşan 450 ekiple Çevre Şehircilik Bakanlığı ekiplerimiz HASAR TESPİT ÇALIŞMALARI yapmaktadır. Yetkili ekipler dışında kimsenin konutlarınıza girmesine izin vermeyin. Böyle gerekçelerle evlere girilip soygun yapılmasına karşı uyanık olalım (@IzmirValiligi – 1 Kasım 2020)”.

2020 Ege Denizi Depreminde Covid-19’un bulaşma hızının artmasından endişe edildiği görülmektedir. Bu hususta AFAD’ın İçişleri Bakanlığı’nın “maske mesafe temizlik” paylaşımlarını sık sık retweetlediği görülmektedir. Afette salgının ciddi boyutlarda artmasından endişe duyan merkezi yönetimin yanı sıra İHH İnsani Yardım Vakfı da “depremden etkilenen vatandaşlarımıza su ve maske dağıtımında bulunuyoruz” şeklinde paylaşımlar da bulunarak konuya gereken hassasiyeti göstermişlerdir.

Afet sonrası tüm afetzedelere ulaşılarak onların kurtarılması ve temel sağlık hizmetlerinin karşılanması gerekmektedir. Bu hususta “tahliye ve seyrekleştirme” çalışmalarının hız kazandırılması ve en kısa sürede de “hasar tespitinin” ilgili merciler tarafından yapılması gerekmektedir. Bu hususta hem merkezi yönetim ve yerel yönetimler hem de sivil toplum kuruluşları tarafından vatandaşların gerekli hassasiyeti göstermelerine ilişkin paylaşımlara yer verdikleri görülmektedir. Bu paylaşımlardan bazıları aşağıda yer almaktadır.

“Maske Mesafe Temizlik | İzmir’deki vatandaşlarımızdan ricamız, lütfen araçlarınızı kullanmayınız. Çadır, battaniye, seyyar mutfak, hastane, her türlü imkânımız mevcut, ekiplerimiz işlerinin başında. Tek ihtiyacımız YOL Lütfen yolları, müdahale ekiplerimize bırakınız #deprem (@suleymansoylu, @AFADBaşkanlık Retweet – 30 Ekim 2020)”.

“Kıymetli İzmirli hemşehrilerim 5417 Arama Kurtarma elemanı 758 araçla afet bölgesinde hassasiyetle bir çalışma yürütüyorlar. Sizden ricamız lütfen merak vb. nedenlerle enkaz etrafında veya o bölgeye giden yollarda kalabalık oluşturmamanızdır. Duyarlılığımız bir fazla can kurtarır (@IzmirValiligi – 30 Ekim 2020)”.

Afet anı ve sonrasında haberleşme ve iletişimin zorunluluğu kaçınılmaz bir gerçektir. Ancak internet tabanlı haberleşme uygulamalarının tercih edilmeyip şebekeye yüklenilmesi sonucu operatör şebekelerinin çökmesinin yanı sıra elektrik konusunda da ağır sorunların yaşanması haberleşme ve iletişim alanında ciddi sorunlar yaşanmasına neden olmaktadır. Bu ve benzeri durumların 2020 Ege Denizi Depremi’nde de yaşanmaması adına AFAD, “Depremlerde ve acil durumlarda iletişimin kesilmemesi için internet tabanlı haberleşme uygulamaları ve SMS’i tercih edin” şeklinde paylaşımlarda bulunmuştur. Bu tür paylaşımlar “haberleşme ve iletişim sistemleri” teması altında kodlanmıştır.

Haberleşme ve iletişim sistemleri temasını “ikincil afetlerin önlenmesi” temasının takip ettiği görülmektedir. Söz konusu temaya ilişkin paylaşımlardan bazıları aşağıda yer almaktadır.

“Deprem dolayısıyla denizin yükselmesi sonucu Sığacık'ta meydana gelen su baskınlarına anında müdahale ettik. Depremden etkilenen tüm vatandaşlarımıza geçmiş olsun dileklerini iletiyoruz (@shisarbel – 30 Ekim 2020)”.

“Yaşadığımız deprem nedeniyle sağlık sorunu olan, yakınına ulaşamayan ya da afet kaynaklı farklı sıkıntıları olan yurttaşlarımız bize @İzmirhim'in 444 40 35 ve 185 numaralı hatlarından ulaşabilirler. GEÇMİŞ OLSUN (@tuncsoyer, @izmirbld Retweet – 30 Ekim 2020)”.

“Akıllı afet ve acil durum uygulamaları” temasına sivil toplum kuruluşlarından sadece AKUT'un vurgu yaptığı görülmektedir. AKUT Arama Kurtarma Derneği ve Genel Bilgi Teknolojileri Ltd. Şti. tarafından geliştirilen “Güvendeyim” uygulaması, deprem gibi acil durum ve afetlerde sevdiklerinize tek bir SMS'le güvende olduğunuzu bildirmeye yarayan mobil bir uygulamadır. Bu uygulama sayesinde deprem, sel ya da diğer acil durumlarda baz istasyonları meşgul edilmez ve tek bir butona dokunulmasıyla SMS üzerinden otomatik olarak tahmini konum bilgilerinizin sevdiklerinize iletilmesini sağlamaktadır. “Afet bilincinin oluşturulması” teması yine AKUT tarafından aşağıda yer alan paylaşım sonucunda oluşturulmuş bir temadır.

“Deprem ve diğer afetlerde kullanabileceğiniz acil durum çantasında neler bulunması gerektiğini biliyor musunuz? (@AKUT_Dernegi – 30 Ekim 2020)”.

“Afet gönüllü desteği” temasına da sadece sivil toplum kuruluşların vurgu yaptığı görülmektedir. Konuya ilişkin paylaşımlardan bazıları aşağıda yer almaktadır.

“Destek verme çabasıyla konu hakkında bize ulaşmaya çalışan değerli vatandaşlarımıza teşekkür ederiz (@AKUT_Dernegi – 1 Kasım 2020)”.

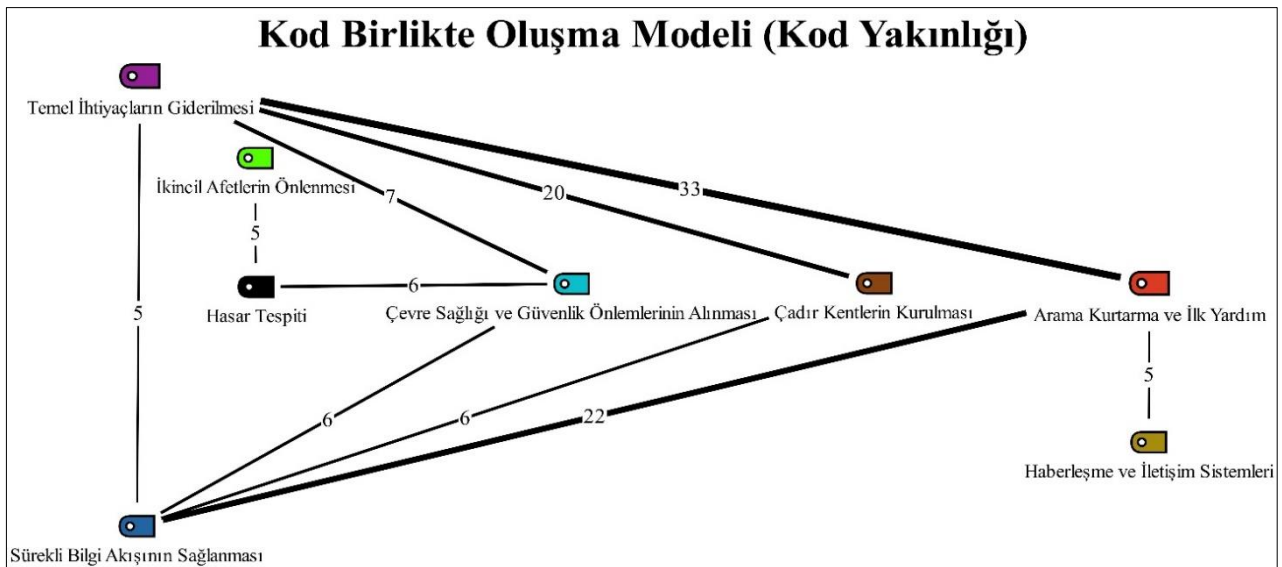
“İzmir'deki depremde acımızı paylaşmak ve çalışmalara destek olmak için gelen Filistinli, Suriyeli, Afrikalı kardeşlerimize bu hassasiyetlerinden dolayı teşekkür ediyoruz (@ihhinsaniyardim – 1 Kasım 2020)”.

2020 Ege Denizi Depremi ile evleri yıkılan vatandaşlara en kısa sürede yenilerinin yapıp teslim edileceğine ilişkin paylaşım “güvenli yapı inşası” teması altında kodlanmış olup bu paylaşım İzmir Valiliği'nin T.C Cumhurbaşkanlığı'nın resmi Twitter hesabından (@tcbestepe) retweetlediği görülmektedir.

Komuta kontrol esasına dayalı merkezîyetçi afet yönetiminin aksine yerel dinamikleri ön plana çıkaran, toplumsal katılımı önemseyen ve farklı sektörler arası iş birliği esasına dayanan “çok aktörlü afet yönetimi” temasına, İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin vurgu yaptığı görülmektedir. Temaya ilişkin paylaşım aşağıda yer almaktadır.

“Sivil toplumla birlikte Belediyemiz yöneticileri, bürokratları yardım kampanyasını organize etmek için bir araya geldik, kararlar aldık. Bayraklı Belediyesi de yardımların dağıtım organizasyonunu yapacak. #BizVarız diyen herkesi dayanışmaya davet edeceğiz. Bizden haber bekleyin (@tuncsoyer, @izmirbld Retweet – 1 Kasım 2020)”.

İçerik analizinde üçüncü olarak, katılımcıların ifadelerinde birden fazla bağlantı kurdukları kodların birbiri ile yakınlık düzeylerini gösterebilmek adına “Kod Birlikte Oluşma Modeli” Şekil 3. hazırlanmıştır. Bu doğrultuda, kodlar arasında etiketle gösterilmiş çizgilerin genişliği birlikte oluşum sıklığını yansıtırken çizgilerin üzerindeki etiketlerde temaların birlikte oluşum sayısını göstermektedir. Ayrıca “Kod Birlikte Oluşma Modeli” minimum 5 oluşum sayısı ve üzerindeki birlikte oluşum sıklığını gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Böylelikle temalar arasındaki en fazla bağlantıların net bir şekilde gösterilmesi ile haritadaki karışıklığının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Bağlantıların kalınlık veya inceliği iki kodun birbiri ile kaç kere bağlantı kurulduğunu gösterirken, çizgilerin üzerinde yer alan sayılar ise iki kod arasındaki bağlantı sayılarını vermektedir.



Şekil 3: Kod birlikte oluşma modeli

Şekil 3’te yer alan Kod Birlikte Oluşum Modelinde, politika aktörlerinin paylaşımlarının tamamında birden fazla bağlantı kurdukları temaların görseli yer almaktadır. Bu kapsamda ilk olarak, afetle mücadele kapsamında altın saatler olarak nitelendirilen ilk 72 saat içerisinde en fazla arama kurtarma ve ilk yardım faaliyeti ile temel ihtiyaçların giderilmesi konusunda yoğun bir etkileşimin yaşandığı görülürken arama kurtarma ve ilk yardım faaliyetlerinin haberleşme ve iletişim sistemleriyle de bir etkileşim halinde olduğu görülmektedir. İkinci olarak, merkezi yönetimin sürekli bilgi akışını sağlamak adına yaptığı basın duyurularının içeriğinin büyük bir kısmını arama kurtarma ve ilk yardım faaliyetlerinin oluşturduğu görülürken onu çadır kentlerin kurulması ve çevre sağlığı ve güvenlik önlemlerin alınmasına dair basın duyuruları takip etmektedir. Üçüncü olarak, kriz yönetiminin doğru bir şekilde koordine edilmesi gerektiği afet anında çadır kentlerin kurularak afetzedelerin geçici olarak barınma ihtiyacının karşılanmaya çalışıldığı görülmektedir. Son olarak, çevre sağlığı ve güvenlik önlemlerin alınmasının hasar tespit çalışmaları ile bağlantısının olduğu açığa çıkarken hasar tespit çalışmalarının ise ikincil bir afetin yaşanması durumunda gerekli önlemlerin alınmasına dair bilgilendirmeler olduğu anlaşılmaktadır.

4. Tartışma

Tüm canlı ve cansız varlıkların ayrılmaz bir parçası haline gelen afetler, canlı ve cansız varlıkların üzerinde yarattığı yıkıcı etkilerin yanı sıra kentin ekonomisinde, planlamasında ve güvenliğinde ciddi yaralara sebebiyet vermektedir. Bu sebeple afet kaynaklı açığa çıkan zararların en az düzeye indirilebilmesi için tüm afet türleri için etkili bir afet yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır. Afetle mücadele kapsamında etkin bir şekilde rol alan merkezi yönetimlerin kamu yönetiminde yaşanan paradigma değişimleri ile afet yönetimi dönüşüme uğramak zorunda kalmış bu kapsamda merkeziyetçi ve bürokratik afet yönetimi yaklaşımı terk edilerek çok aktörlü ve dayanışmacı afet yönetimi anlayışına geçiş gerçekleşmiştir. Bu doğrultuda araştırma, “kamu yönetiminde yaşanan paradigma değişiminin aksine Türkiye’de çok aktörlü/dayanışmacı afet yönetimi anlayışına geçilemediği ve merkeziyetçi/bürokratik anlayışının hâkim olduğu” önermesine dayandırılmıştır.

Araştırmanın artı yönleri şöyle sıralanabilir; araştırmada kullanılan veri setinin internet kaynaklarından seçilerek çoklu veri toplanmasına imkan sağlamış olması, araştırmaya dahil edilen kurum ve kuruluşların resmi Twitter hesaplarının olduğunun garanti altına alınmış olması, kayıp veri sorununun olmaması, seçilen politika aktörlerin süreçte aktif bir rol almış olmaları seçilen örneklemin doğruluğunu teyit etmesi ve araştırmanın yöntem ve teknik detaylarına yer verilmiş olması ve hazırlanan görsellerin MAXQDA Pro 20 programında hangi amaçla ve hangi sekmeler kullanılarak hazırlandığına ilişkin bilgilerin okuyucuyla paylaşılmış olması araştırmanın tekrarlanabilir olmasına katkı sağlamasıdır.

Araştırmanın eksi yönleri, çalışmanın afet türleri içerisinde sadece jeolojik sebeplerle açığa çıkan deprem ile sınırlandırılmış olması, 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen Van Depremi veya 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen Elâzığ Depremi gibi depremleri içerisine alan karşılaştırmalı bir analizi içermemesidir. Ayrıca bütünsel afet yönetimi kapsamında merkezi yönetim, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşları araştırmaya dahil edilmiş olup özel sektör ve bireylerin araştırmaya dahil edilememiştir. Örneklem seçiminde yaşanacak zorluklar sebebiyle araştırma kapsamına dahil edilemeyen iki paydaşın görüşlerinin dikkate alınamamış olması araştırmanın başka bir eksi yönü olarak değerlendirilebilir.

5. Sonuç

Araştırmada ilk olarak, 2020 Ege Denizi Depreminde altın saat aralığını kapsayan 30 Ekim – 1 Kasım tarihleri aralığından örneklem olarak seçilmiş merkezi yönetim, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşlarının sosyal medyayı aktif kullanabilme becerilerinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, kriz yönetiminde sosyal medyayı en aktif kullanan politika aktörü merkezi yönetim olurken onu sivil toplum kuruluşları ve yerel yönetimlerin takip ettiği sonucuna varılmıştır. Araştırmada ikinci olarak, 2020 Ege Denizi Depreminde aktif rol oynayan seçili politika aktörlerinin Twitter paylaşımlarının içeriğinin afet yönetimi kapsamında tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu hususta, en fazla vurgu yapılan temanın “arama kurtarma ve ilk yardım” teması olduğu görülmektedir. “Arama kurtarma ve ilk yardım” temasını “sürekli bilgi akışının sağlanması”, “temel ihtiyaçların giderilmesi”, “çadır kentlerin kurulması” takip ederken en az üzerinde durulan konuların “güvenli yapı inşası” ve “çok aktörlü / dayanışmacı afet yönetimi” olduğu görülmektedir. En fazla vurgu yapılan “arama kurtarma ve ilk yardım”, “sürekli bilgi akışının sağlanması” ve “temel ihtiyaçların giderilmesi” hem merkezi yönetim hem yerel yönetimler hem de sivil toplum kuruluşları tarafından hassasiyetle karşılanmıştır. Ancak temel ihtiyaçların giderilmesi konusunda halka en yakın birim olan yerel yönetimlerin ağırlıklı görevler üstlendikleri görülmüştür. Ayrıca yerel yönetimlerin bu süreçte ihtiyaçları yerinde tespit ederek yardımların eşit bir şekilde paylaştırılması hususunda başat bir rol oynadıkları sonucuna varılmıştır. Ayrıca merkezi yönetimin bilgi akışını sürekli hale getirerek bir güven ortamı inşa etmeyi hedeflediği sonucuna varılmıştır. Daha sonra afet anında en fazla ihtiyaç duyulan şeyin çadır kentlerin kurulması gerektiği açığa çıkarken bu durumun merkezi yönetimin güven tesis etmek adına ciddi bir şekilde ağırlık verdiği görülmektedir. Son olarak da “çevre sağlığı ve güvenlik önlemlerin alınmasının temel ihtiyaçların giderilmesi, sürekli bilgi akışının sağlanması ve hasar tespiti temaları ile bağlantılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırmada sonuç olarak, kamu yönetiminde yaşanan paradigma değişiminin aksine Türkiye’de çok aktörlü/dayanışmacı afet yönetimi anlayışına geçilemediği dolayısıyla merkeziyetçi/bürokratik anlayışının hâkim olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle afet yönetimine ilişkin karar verme yetkisinin ve uygulama sorumluluğunun ağırlıklı olarak merkezi yönetim etrafında şekillendiği görülmüştür. Politika belgelerinde bütünlüklü afet yönetimi kapsamında çok aktörlü / dayanışmacı afet yönetimi yaklaşımına ilişkin temel esaslar yer alırken sürecin detaylarında yetki ve görev paylaşımının belgelerde yer aldığı şekliyle yapılmadığı görülmüştür. Bu durumda Türkiye’de mevcut hiyerarşik / bürokratik afet yönetimi yaklaşımının varlığını doğrulayarak çok aktörlü / dayanışmacı afet yönetimi modeli yaklaşımının benimsenemediğini göstermektedir.

Kaynaklar

- AFAD, (2020), *Afet türleri*, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, <https://www.afad.gov.tr/afet-turleri>, [Erişim 14 Aralık 2020].
- AFAD, (2021a), *AFAD ve tarihçesi*, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, <https://www.afad.gov.tr/afad-hakkinda>, [Erişim 4 Ocak 2021].
- AFAD, (2021b), *Açıklamalı afet yönetimi terimleri sözlüğü*, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>, [Erişim 05 Ocak 2021].
- AKUT, (2021a), *AKUT tüzüğü*, AKUT Arama ve Kurtarma Derneği, <https://www.akut.org.tr/tuzuk>, [Erişim 25 Ocak 2021].
- AKUT, (2021b), *AKUT ekipleri Elazığ depreminde kalabalık bir ekiple yardım elini uzattı*, AKUT Arama ve Kurtarma Derneği, <https://www.akut.org.tr/haberler/6479/akut-ekipleri-elazig-depreminde-kalabalik-bir-ekiple-yardim-elini-uzatti>, [Erişim 25 Ocak 2021].
- Akyel R., (2005), *Türkiye kamu yönetiminde afet yönetimi*, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 14(1), 15-29.
- Baş T., Akturan U., (2017), *Sosyal bilimlerde bilgisayar destekli nitel araştırma yöntemleri*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 240ss.
- Bilgin N., (2014), *Sosyal bilimlerde içerik analizi teknikler ve örnek çalışmalar*, Siyasal Kitabevi, Ankara, 272ss.
- Çilingir G.A., (2018), *Türkiye’de uygulanan afet yönetimi politikalarının incelenmesi: yasal düzenlemeler ve DASK*, Dirençlik Dergisi, 2(1), 13-21.
- Dombrowsky Wolf R., (1998), *Again and again: is a disaster what we call a disaster*, What is a Disaster, (Quarentelli, E.L., Ed.), Roudledge, ss.31-42.
- Drabek T.E., (1987), *Emergent structures*, Sociology of Disasters: Contribution of Sociology to Disaster Research, Franco Angeli, (Dynes, R.; Marchi B.; Pelanda, C., Ed.), Milan, ss.190- 259.
- Ergünay O., (2000), *Türkiye’nin afet yönetim sistemine genel bir bakış: sorunlar ve çözümler*, Kentsel Yerleşmeler ve Doğal Afetler’in İçinde, (Komut E., Ed.), Mimarlar Odası, Ankara, ss.1-9.
- Eryılmaz B., (1999), *Kamu yönetimi, düşünceler- yapılar-fonksiyonlar*, Okutman Yayıncılık, İstanbul, 234ss.
- IFRC, (2020), *World Disasters Report 2020*, https://www.ifrc.org/sites/default/files/2021-05/20201116_WorldDisasters_Full.pdf, [Erişim 11 Aralık 2020].
- Kadioğlu M., (2008), *Modern, bütünlüklü afet yönetimin temel ilkeleri*, Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri’nin İçinde, (Kadioğlu M., Özdamar E., Ed.), JICA Türkiye Ofisi Yayınları, Ankara, ss.1-34.
- Leblebici Ö., (2014), *Afetlerde kamu yönetiminin rolü ve toplum temelli afet yönetimine doğru*, Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 7(2), 457- 478.
- Macit İ., (2019), *Bütünlüklü afet yönetiminde sendai çerçeve eylem planının beklenen etkisi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1), 175-18.
- McGuire M., Silvia C., (2010), *The Effect of problem severity, managerial and organizational capacity and agency structure on intergovernmental collaboration: evidence from local emergency management*, Public Administration Review, 70(2), 279-288.
- Özel M., (2013), *Afet yönetiminin iyileştirme aşaması bağlamında 2011 Van depremi sonrasında “konteynır kent” uygulaması*, Türk İdare Dergisi, 85(477), 11-34.
- Ploughman P., (1997), *Disasters, the media and social structures: a typology of credibility hierarchy persistence based on newspaper coverage of the love canal and six other disasters*, Disasters, 21(2), 118-137.
- Saruhan Ş. C., Özdemirci A., (2016), *Bilim, Felsefe ve Metodoloji*, Beta Yayıncılık, İstanbul, 436ss.
- TAMP, (2021), *Türkiye afet müdahale planı (TAMP)*, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/2419/files/Afet_Mud_PL_ResmiG_20122013.pdf, [Erişim 25 Ocak 2021].
- TBMM, (1997), *TBMM Genel Kurul Tutanağı, 20. Dönem 3. Yasama Yılı, 18. Birleşim 25 Kasım 1997*, TBMM, https://www.tbmm.gov.tr/develop/owa/tutanak_b_sd.birlesim_baslangic_yazici?P4=10985&P5=B&page1=41&page2=41, [Erişim 16 Aralık 2020].
- Tercan B., (2018), *Türkiye’de afet politikaları ve kentsel dönüşüm*, Abant Kültürel Araştırmalar Dergisi, 3(5), 102-120.
- UNDHA, (1992), *Glossary: internationally agreed glossary of basic term related to disaster management*, DHA Geneva. <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/004DFD3E15B69A67C1256C4C006225C2-dha-glossary-1992.pdf>, [Erişim 14 Aralık 2020].
- URL-1, (2009), *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı ile İlgili Bazı Düzenlemeler Hakkında Kanun*, Resmi Gazete Tarih: 17.06.2009, Sayı: 27261, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.5902.pdf>. [Erişim 20 Ağustos 2020].
- URL-2, (2012), *Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun*, Resmi Gazete Tarih: 31.05.2012, Sayı: 28309, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6306.pdf>. [Erişim 20 Ağustos 2020].
- URL-3, (1959), *Sivil Savunma Kanunu*, Resmi Gazete Tarih: 13.06.1959, Sayı: 9931, <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.3.7126.pdf>, [Erişim 20 Ağustos 2020].
- Varol A., (2019), *Afet yönetimi, afet eğitimi ve afet farkındalığı: Amerika örneği*, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 29(1), 193-204.

- Waugh W.L.J., Streib G., (2006), *Collaboration and leadership for effective emergency management*, Public Administration Review, 66(s1), 131-140.
- WHO, (2020), *WHO Coronavirus (COVID-19) dashboard*, World Healty Organization, <https://covid19.who.int/>, [Erişim 27 Aralık 2020].
- Yavaş H., (2004), *Doğal afetler yönüyle Türkiye’de belediyelerde kriz yönetimi (İzmir örneği)*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Yavuz C.I., (2011), *Türkiye’de afet yönetiminde değişim*, Toplum ve Hekim Dergisi, 26(5), 366-377.
- Yavuz Ö., (2020), *Afet yönetişiminde iş birliği ağlarının önemi: Kocaeli örneği*, Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.
- Yıldırım A., Şimşek, H., (2016), *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 224ss.

Scenario-Based Risk Assessment for Düzce Province

Zeynep Mihçı¹, Hüseyin Bayraktar^{2,*}

¹Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, 81900, Düzce.

²Düzce Üniversitesi, Kaynaşlı Meslek Yüksek Okulu, Yapı Ressamlığı Programı, 81900, Düzce.

Abstract

However, following the earthquake event of 12 November 1999, 80% of the built environment in the Düzce area had been destroyed and after the removal of the ruins, it was transformed into a huge open space. Subsequently, on 9 December 1999, Düzce was declared the provincial capital city, having 20 neighborhoods, 97 villages, and 7 districts under its administration. The main components featured in this study are 10 urban neighborhoods of Düzce that are all comprised of structural and natural environments located in the vicinity of the North Anatolian Fault Line. These areas are briefly defined and some benefits from their restructuring as viewed within this framework are presented. The most important result we obtained as a result of the earthquake scenario prepared for Düzce province; The fact that the ten neighborhoods we examined in the central district of Düzce are at a critical point on the fault line and Most of the buildings here were affected by the 17 August 1999 İzmit Gulf earthquake, If the buildings encounter a possible earthquake of this magnitude, it may be effective in the high number of dead and injured. Another important finding is; The main purpose of earthquake risk analyzes is to determine the number of tents that may be needed in advance and the area required for the tent. As a result; This study, which was carried out in the central district of Düzce province, will ensure that the necessary precautions are taken beforehand in case of a possible earthquake, and that the loss of life will be reduced to a minimum by acting more planned and faster at that time.

Keywords

Risk Analysis, Earthquake Scenario, Gulf of İzmit, Düzce

Düzce İli İçin Senaryo Bazlı Risk Değerlendirmesi

Özet

Düzce’de 12 Kasım 1999 depreminden sonra kentsel alandaki yapıların %80’i yıkılmış ve kalıntıların kaldırılmasından sonra büyük bir alanın etkilendiği görülmüştür. 9 Aralık 1999’da Düzce, idaresi altında 20 mahalle, 97 köy ve 7 ilçe bulunan il ilan edildi. Bu çalışmada öne çıkan ana bileşenler, Kuzey Anadolu Fay Hattı civarında yer alan, tümü yapısal ve doğal ortamlardan oluşan Düzce’nin 10 kentsel mahallesidir. Bu alanlar kısaca tanımlanmış ve risk değerlendirmelerine ait bulgular sunulmuştur. Düzce ili için hazırlanan deprem senaryosu sonucunda elde ettiğimiz en önemli sonuç; Düzce ili merkez ilçesinde incelediğimiz on mahallenin fay hattı üzerinde kritik bir noktada bulunması ve buradaki bulunan çoğu binanın 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi depreminden etkilenmiş olduğu, binaların yine bu şiddette olası bir depremle karşılaşması halinde ölü ve yaralı sayısının fazla olmasında etkili olabileceğidir. Başka önemli bulgu ise; deprem risk analizlerinin temel amacı olan önceden ihtiyaç duyulabilecek çadır sayısı ve çadır için gerekli olan alanın tespitidir. Sonuç olarak; Düzce ili Merkez ilçesi özelinde yapılan bu çalışma il genelinde düşünülerek olası bir deprem ile karşı karşıya kalınması durumunda önceden gerekli tedbirlerin alınmış olmasını ve o anda daha planlı ve hızlı hareket edilerek can kaybını minimum seviyeye inmesini sağlamış olacaktır.

Anahtar Sözcükler

Risk Analizi, Deprem Senaryosu, İzmit Körfezi, Düzce

1. Introduction

According to the United Nations, a disaster is defined as “any natural, technological, or human induced event that causes physical, economic, or social loss for humans, affects communities by stopping or interrupting normal life, and cannot be coped with by local facilities” (UNDRR 2009). In this case, a residential area may not recover from this negative event without support from outside. As urbanization rates are increasing worldwide, Globally, 29% of the world’s population in 1950, 37.2% in 1975, 50.5% in 2010, and 54% in 2014 lived in cities. 59% in 2030 and 68.7% in 2050 are expected to live in cities (UN 2014). The impact rates from disasters are also increasing. These rates are further increasing in the locations where the urbanization has been unplanned and uncontrolled. The urbanization rate in Turkey had reached 88% in 2018 (URL-1 2021). In contrast to 24% in 1927 (Yüceşahin vd. 2004).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (380) 5442811 Faks: +90 (380) 5442812

E-posta: zynpmihci1@gmail.com (Mihçı Z), huseyinbayraktar@duzce.edu.tr (Bayraktar H)

Gönderim Tarihi / Received : 19/12/2021

Kabul Tarihi / Accepted : 29/07/2022

This indicates how rapidly the urbanization rate is increasing in Turkey. Turkey's population had reached 84 680 273 in 2021. According to a population projection scenario, the population is expected to be 107 100 904 by 2080 ([URL-2 2021](#)). Industrialization and the opportunities offered by city life are assumed to be among the most important reasons for this increase. As Turkey is a country with a rapid population growth and high rate of urbanization, carrying out necessary disaster preparedness activities is important.

In Turkey, 66% of the land is located in active fault regions and 71% of the population continues to live in these areas ([JICA 2004](#)). Turkey is located on three major fault lines: the North Anatolian fault (NAF) line, the Eastern Anatolian fault (EAF) line, and the Western Anatolian fault (WAF) line. Almost the entire territory of Turkey is located within a seismic zone, with 70% of the total population living in seismic zones I and II and comprising 84% of the population in the metropolitan cities ([Birinci 2013](#)). Earthquakes cause 65% of the natural disaster-caused deaths in Turkey. This fact is the most obvious indication of the impact of major earthquakes among the natural disasters in Turkey ([Akdur 2000](#)). When the economic effects of earthquakes in Turkey are investigated, results show that after an earthquake, about 2% of the national income is consumed on reconstruction and other post-earthquake expenses ([Avdar 2017](#)). The necessity of urban transformation in Turkey emerged in 1999 after the 17 August Marmara/Gulf of İzmit and 12 November Düzce Earthquakes. Rapid application of urban transformation can reduce structural vulnerability and reduce loss of life and economic loss. With Law No. 6306 on the Transformation of Areas under Disaster Risk, adopted in 2012, urban transformation was included within the scope of legislation ([Uslu ve Uzun 2014](#); [Fahjan vd. 2015](#)). In order to ensure that urban transformation is correctly planned and carried out, it is important to identify risky/hazardous locations for transformation, i.e., to determine the regions that can be affected by an earthquake and to identify unsafe structures within these areas. Forms listing basic urban characteristics, a physical inventory, the socio-economic status, and type of management of a city can be used to evaluate and reduce urban risks ([Dodmana vd. 2017](#)).

In residential areas, earthquakes and other disasters affect the society and the physical inventory negatively. For example, even when an earthquake event lasts for only a short time, the effects on the structures and people continue for many years ([Karimzadeh vd. 2014](#)). Scenario-based methods are used to predict the effects of an earthquake and its possible consequences. Possible effects can be estimated by simulating an earthquake scenario based on an actual situation. In this way, emergency measures to be applied against earthquake effects can be evaluated ([Zhang vd. 2018](#)). At the same time, scenario-building methods are often used to manage the uncertainty of technological outcomes and to shape prospective policies ([Banuls and Salmeron 2007](#)). Earthquake scenarios can also be created by applying seismic values. In the estimation of damage and losses, parameters that are evaluated in a seismic risk analysis include earthquake magnitude, focal depth, and distance from the source ([Pavel and Vacareanu 2016](#)). Today, studies on earthquake prediction are developing rapidly. Although scientific studies have been conducted on earthquake events, the exact timing of the earthquake cannot be predicted. However, looking at the long-term data, it is seen that there is no significant change in the frequency of earthquakes. According to the graph of records from the 1900s to 2019 (Figure 1), an average of 16 major earthquakes are expected in any given year. Statistically, 15 of the 16 earthquakes expected to occur during the year are expected to be around 7 in magnitude, and 1 of them is expected to be around 8 or larger. In the last 40-50 years, this generalization has been exceeded only 10-12 times; In the remaining years, it was observed that earthquakes were always around the expected average ([URL-4 2022](#)).

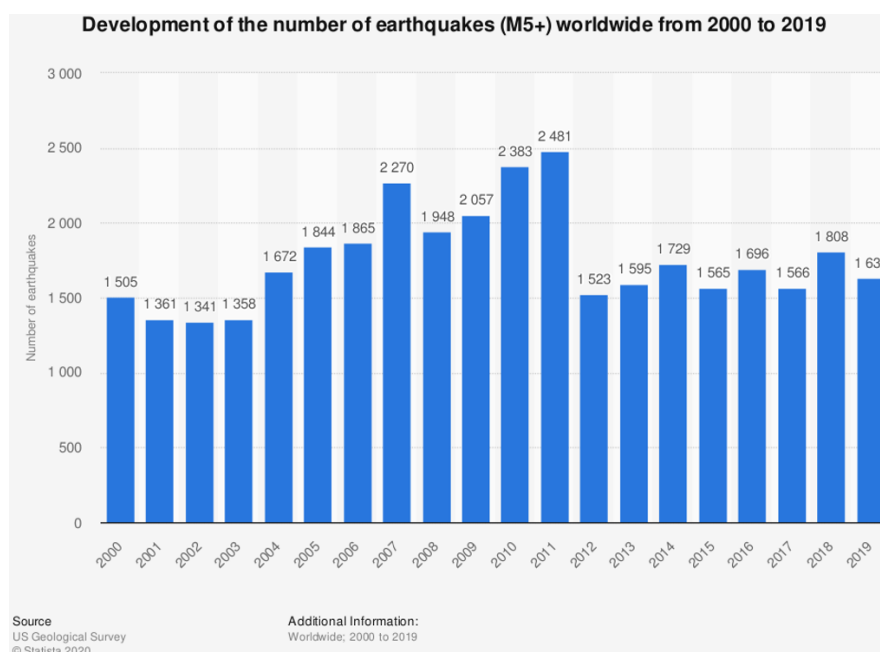


Figure 1: Development of the number of the earthquakes (M5+) worldwide from 2000 to 2019 ([URL-4 2022](#))

According to Figure 1, 2010 was one of the years with the most earthquakes recorded until 2019. In 2010, 24 major earthquakes with a magnitude of 7 and above were experienced. In a significant part of the other years, the number of major earthquakes was less than 16. For example, there were only 6 major earthquakes in the world in 1989, and only 7 major earthquakes in 1988. As a result, there is no data showing that earthquakes increase or decrease significantly, and even in the event of a change in this direction, this trend cannot be seen as a predictable, predictable predictor of a large earthquake (URL-4 2022).

The inadequacy of interventions against accidents, fires, etc. That are common occurrences of daily life in cities can reveal similar deficiencies in the event of an earthquake and may serve as a reference for pre-earthquake preparations (Buldurur and Kurucu 2015).

Osuteye vd (2017) indicated that six sub-Saharan African cities had been increasingly affected by disasters and hazards on a daily basis. Some studies had been done on those living in sub-Saharan cities. In particular, the lack of keeping records in squatter settlements may have reduced the reliability of data at the national level. It was concluded that a regular registration system could be created on a national scale by providing data from accident records, police, fire, and hospital record data, and information from the mass media (Osuteye vd. 2017). It is important to plan the work to be done and the precautions to be taken before an earthquake occurs. In order for these planning studies to be carried out correctly, prospective scientific studies on the magnitude of a possible earthquake and how it will affect the population centers can help the authorities to determine the risks.

2. Aim and Scope

In the study, an earthquake scenario for the selected central neighborhoods was prepared by analyzing the history and risks of the area in terms of earthquakes. In light of the findings, after determining the number of structures and people to be affected and the designated tent city areas, the aim was to demonstrate the approach in terms of architectural and urban planning principles for the study area.

Within the scope of the study, by obtaining a structural inventory and recent earthquake information, an earthquake scenario was prepared for a total of ten neighborhoods located near the North Anatolian Fault Line, including those of Uzun Mustafa, Kültür, Şerefiye, Burhaniye, Nusrettin, Kiremitocağı, Camikebir, Cedidiye, Çay, and Azmimilli (Figure 2).

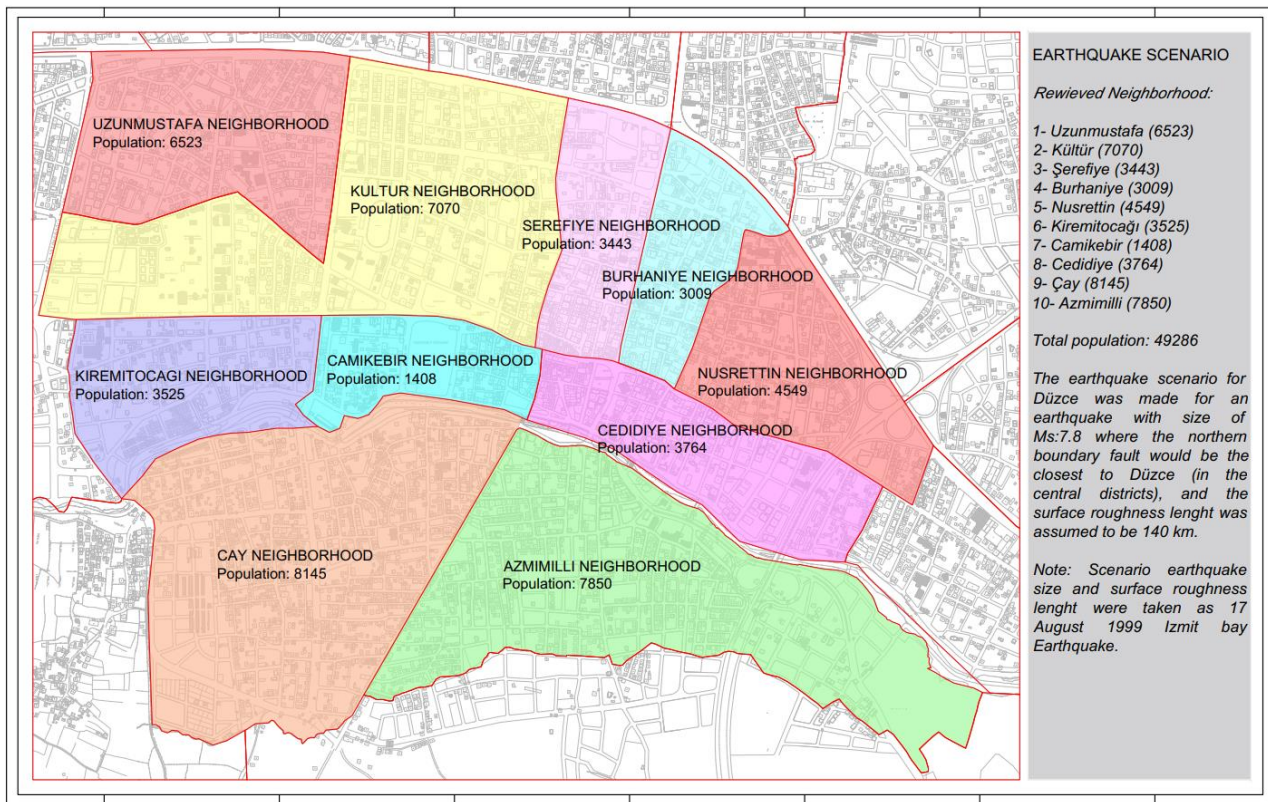


Figure 2: Düzce earthquake scenario study area

3. Material and Methods

3.1. Material

The main material of the study consists of information on the boundaries and structures of ten neighborhoods in Düzce that are located on a first-degree seismic zone, namely, the neighborhoods of Uzun Mustafa, Kültür, Şerefiye, Burhaniye, Nusretin, Kiremitocağı, Camikebir, Cedidiye, Çay, and Azmimilli.

3.2. Methods

The first part is the introductory part. The earthquake, which is one of the natural disasters, and its impact areas are mentioned in general terms. The second part is the part where the purpose and scope are explained. What is aimed with the findings to be obtained in the study is explained. The third section is the material and method section. In the study, the criteria used by Özmen (2002) in the earthquake scenario study for Istanbul were used. It will be explained in more detail. In the fourth chapter, Düzce settlement, geological structure and seismicity, which consists of structural damage and existing land use after the Düzce earthquake, are explained. In the fifth chapter, Düzce earthquake scenario application was made. In the sixth section, the results section is given.

4. Settlement, Geological Structure, and Seismicity of Düzce

Düzce is a city located in the Western Black Sea Region of Turkey with a population of 387 844. From 1390 BC up to the present day it has been a settlement. It became an important center in the Roman and Byzantine periods and continued its status when it came under Ottoman rule in 1321. It has the advantage of being located between the two major cities of Istanbul and Ankara. However, after the earthquake of 12 November 1999 (hereafter referred to as the Düzce Earthquake), 80% of the structures of the settlement had been destroyed and the city lost its functionality (Erdoğan vd. 2004). With the decree of the Council of Ministers on 9/12/1999, Düzce was designated the provincial capital (central) city, which included 20 neighborhoods, 97 villages, and 7 districts.

Düzce is surrounded by the Black Sea in the north and by mountains in the east and south. The land is fertile and suitable for agriculture and animal husbandry, and the area continues to develop rapidly industrially. The population continues to increase, with an annual growth rate of about 1.5% in 2021 (URL-3 2022). The settlement and its population are mainly concentrated in and around the city. In Figure 2, the position of Düzce Province and neighborhoods investigated in this study is.

The provincial center of Düzce is located on a fertile plain having a slope of approximately 3°, which is directed toward the southwest. The Asar and Melen Streams passing through the city center have contributed to the formation of its soil with a great extent of silt and clay. For this reason, the depth of the groundwater is 2.5–3.5 m below the surface, (Özaslan vd. 2001). As the level of underground water is close to the surface and the soil is saturated, a possible increase in earthquake severity may arise. The people settled here live mostly in the plain area of Düzce. The vulnerability of structures and humans may be higher in the event of possible earthquakes because of the increased density of the ground.

All of Düzce Province remains under the influence of one of Turkey's most important tectonic structures, the 1200-km long strike-slip NAF system. The NAF line is divided into a separate segment as the Düzce fault. The Düzce fault line, located between the settlements of Akyazı and Kaynaşlı, is 70-km long in total, (Erdoğan vd. 2004). The Düzce Earthquake occurred on the Düzce fault and Düzce Province suffered heavy damage from this earthquake.

Active faults include the NAF line passing through the Düzce residential area in addition to the Hendek, Çilimli, and Yığılca faults present in the vicinity of Düzce. An earthquake along the NAF line can also cause large earthquakes by affecting the Düzce fault and its immediate vicinity. The fact that Düzce is located in a region among such intense seismic fault lines demonstrates the vital importance of pre-earthquake studies.

4.1. Structural Damage

Özmen (2002) indicated that the intensity of an earthquake is determined by its effects on structures, nature and people. This effect varies depending on the earthquake's magnitude, focal depth, distance, earthquake resistance of structures, local soil structure and geology. The greatest structural damage from the Düzce Earthquake occurred in the Düzce urban central district and in the Kaynaşlı district. Despite its position along the center of the surface rupture, not much structural damage occurred in the Dariyeri Hasanbey village in Kaynaşlı due to its low-rise (one- and two-storey) buildings and separate houses in garden layouts. This fact shows that the most important vulnerable parameters for Düzce and Kaynaşlı structures in particular are multi-storey and poor-quality buildings. The distribution of structural damage in Düzce and its vicinity as a result of the Düzce Earthquake is presented in Table 1.

Table 1: Post-Düzce Earthquake distribution of damaged houses and workplaces by provinces (Özaslan vd. 2001)

Province	Collapsed-Extensive Damage		Moderate Damage		Slight Damage	
	Residence	Workplace	Residence	Workplace	Residence	Workplace
Bolu	2532	218	5745	757	5736	828
Düzce	12513	2478	9065	2066	10222	1446
Eskişehir	10	2	71	10	84	10
İstanbul	0	0	2059	612	2855	700
Karabük	0	0	74	0	99	1
Kocaeli	2355	608	10260	1599	11055	1502
Sakarya	5675	1089	6270	1804	8576	1036
Yalova	3511	92	3969	99	1364	104
Zonguldak	108	6	312	3	953	8
Total	26704	4493	37825	6950	40944	5635

Table 1 shows the proportional distribution of the damage caused by the Düzce Earthquake to Düzce and nearby cities. In terms of collapsed or extensively damaged residences, Düzce Province suffered the most severe damage in residential areas (47%) compared to the collapsed or extensively damaged housing among the nearby cities. However, it also had the most (55%) collapsed or extensively damaged workplaces. The percentage distribution of those who died in the Düzce Earthquake was 6% in Bolu, 93% in Düzce, 0.4% in Sakarya, 0.1% in Kocaeli, and 0.1% in Yalova. The highest mortality rate was observed in the Düzce urban central district and the Kaynaşlı district (Özaslan vd. 2001).

4.2. Current Land Use of Düzce Province After the Earthquake

The 17 August 1999 Marmara/Gulf of İzmit and 12 November 1999 Düzce Earthquakes caused great damage to the city. After the earthquakes, the urban neighborhoods that had the most damage were evacuated and the inhabitants were settled in residential areas in nearby villages in one- and two-storey housing zones with garden layouts. To reduce the effects of the earthquakes, the former Ministry of Public Works and Settlement built 7,000 permanent residences in the mountainous area in the northeastern section of Düzce (Özmen 2000). According to Figure 3, the urban post-earthquake development between 2000 and 2010 was directed towards the geologically earthquake-resistant suburb areas and displayed a splash development.

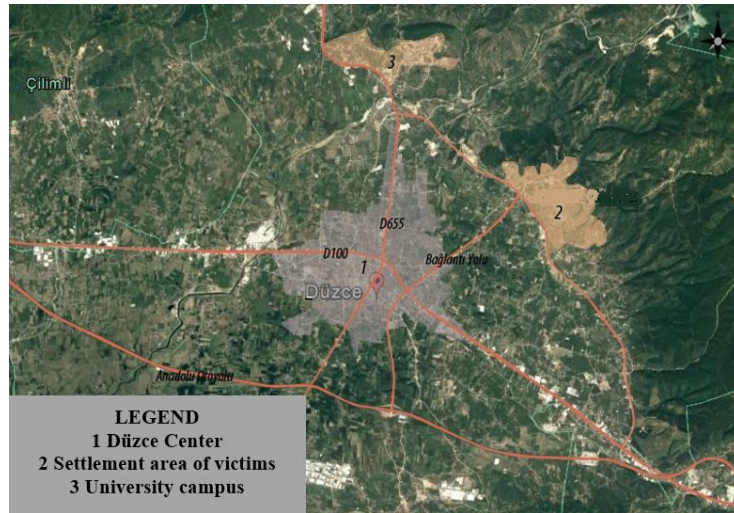


Figure 3: Post-Earthquake splash development of Düzce

5. Earthquake Scenario for Düzce Province

Earthquake scenarios can also benefit from previous earthquake information as a basis for damage reduction studies to estimate possible post-earthquake effects and capacity increases and to facilitate administrative decision-making. In this study, the calculation tables used in the earthquake scenario for the Düzce urban central district were derived from the study "Earthquake Scenario for Istanbul Province" (ATN İMAR 2013). The severity scales given in the table were determined according to the severity of previous earthquakes and the current restoration status of the neighborhoods. The earthquake scenario was prepared for ten neighborhoods located in the Düzce Municipality central district.

These included the neighborhoods of Uzun Mustafa, Kültür, Şerefiye, Burhaniye, Nusrettin, Kiremitocağı, Camikebir, Cedidiye, Çay, and Azmimilli. The earthquake scenario was designed for a Mw 7.8 magnitude earthquake which would follow the lines of the northern boundary faults nearest to the central Düzce neighborhoods, and the surface rupture length was assumed as 140 km. The magnitude and the surface rupture length of the scenario earthquake were taken as those of the earthquake of 17 August 1999 (hereafter referred to as the Gulf of İzmit Earthquake).

Table 2 shows the percentages of extensive, moderate, and slight damage of the affected houses in the Gulf of İzmit Earthquake. The ratios given in Table 3 were used in estimating the housing damage in the study. According to Table 3, for example, in an area affected by an earthquake with a magnitude of IX, 15.7% of the houses might be extensively damaged, 18% moderately damaged, and 23% slightly damaged (ATN İMAR 2013).

Table 2: Damage rates in the regions affected by the Gulf of İzmit Earthquake (Özmen 2002)

Intensity (MSK) ¹	Extensive Damage and Collapse (%)	Moderate Damage (%)	Slight Damage (%)
VI	0.04	0.22	0.24
VII	0.91	2.67	2.59
VIII	2.82	4.41	5.31
IX	15.70	18.16	22.75
X	33.06	15.29	19.14

The number of dead in the earthquake scenario was calculated using the 26% rate obtained by dividing the death toll in the Gulf of İzmit Earthquake by the number of the extensively damaged houses, whereas the number of injured was calculated by taking the number 2.515 into account (obtained from the ratio of injured over the death toll in the Gulf of İzmit Earthquake). Furthermore, the number of people left exposed was calculated according to the number household members (obtained by considering the extensively and moderately damaged housing). Generally it was accepted that 75% of the injured in an earthquake could be treated as out-patients, and 25% hospitalized (Özmen 2002). The number of residents in the district was found by dividing the number according to the population census into the household size determined by Turkish Statistical Institute (TurkStat) data.

The possible outcomes in the event of an earthquake of 7.8 magnitude according to population and household data are represented in Table 3. The table presents the magnitudes of an earthquake that could affect the neighborhood population and the housing damage status. The calculated housing data, death toll, number of injured and exposed, and the tent requirements are presented in the table.

Table 3: Damage status results in the Düzce central district neighborhoods based on the earthquake scenario

Name of Neighborhood	Magnitude	Population (2021)	Number of Households	Extensively Damaged Households	Moderately Damaged Households	Slightly Damaged Households	Number of deaths	Number of Injured	Number of Exposed	Tent requirements	Ambulatory Treatment	Hospital Treatment
Uzun Mustafa	VI	6523	2038	1	4	5	1	3	17	5	2	1
Kültür	VII	7070	2209	20	59	57	5	13	253	79	10	3
Şerefiye	VIII	3443	1076	30	47	57	8	20	249	78	15	5
Burhaniye	VIII	3009	940	27	41	50	7	17	218	68	13	4
Nusrettin	VIII	4549	1422	40	63	75	10	26	329	103	20	7
Kiremitocağı	VII	3525	1102	10	29	29	3	7	126	39	5	2
Camikebir	IX	1408	440	69	80	100	18	45	477	149	34	11
Cedidiye	IX	3764	1176	185	214	268	48	121	1274	398	91	30
Çay	IX	8145	2545	400	462	579	104	261	2758	862	196	65
Azmimilli	IX	7850	2453	385	445	558	100	252	2658	831	189	63
Total		49286	15402	1166	1446	1778	304	765	8359	2612	574	191

According to the results in Table 3, it is probable that there would be difficulties in reaching the neighborhoods in a possible earthquake. The evaluation concluded that the proposed death toll would be 304, and of a total of 765 injured, those given ambulatory care would be 574, and those hospitalized 191. There would be 8359 people left exposed, with 1166 buildings collapsed, 1446 moderately damaged, and 1778 slightly damaged. Rescue work would be difficult because the main or side streets in residential areas would be blocked due to the collapsed buildings. There would be power outages and the need for drinking water would arise as a result of the damage to the infrastructure. Hospitals might also suffer from damage.

In the earthquake scenario study conducted in Kırşehir, it was estimated that a total of 90,337 buildings would suffer between 2% and 5% heavy damage and very heavy damage, and 14% and 26% moderate and light damage. It is estimated that the population of Kırşehir province is 225,197 and there will be losses between 17 and 57 people. It was found that the number of injured in the hospital would vary between 42 and 138 people (Işık vd. 2019). In the earthquake scenario study conducted for the Zeytinburnu district of Istanbul, 43.78% of the 17,219 buildings were found to be slightly damaged, 35.60% moderately damaged, 16.40% heavily damaged, and 4.22% collapsed. In the study, comparative loss estimation data of different earthquake scenarios are given (Karaman ve Şahin 2009).

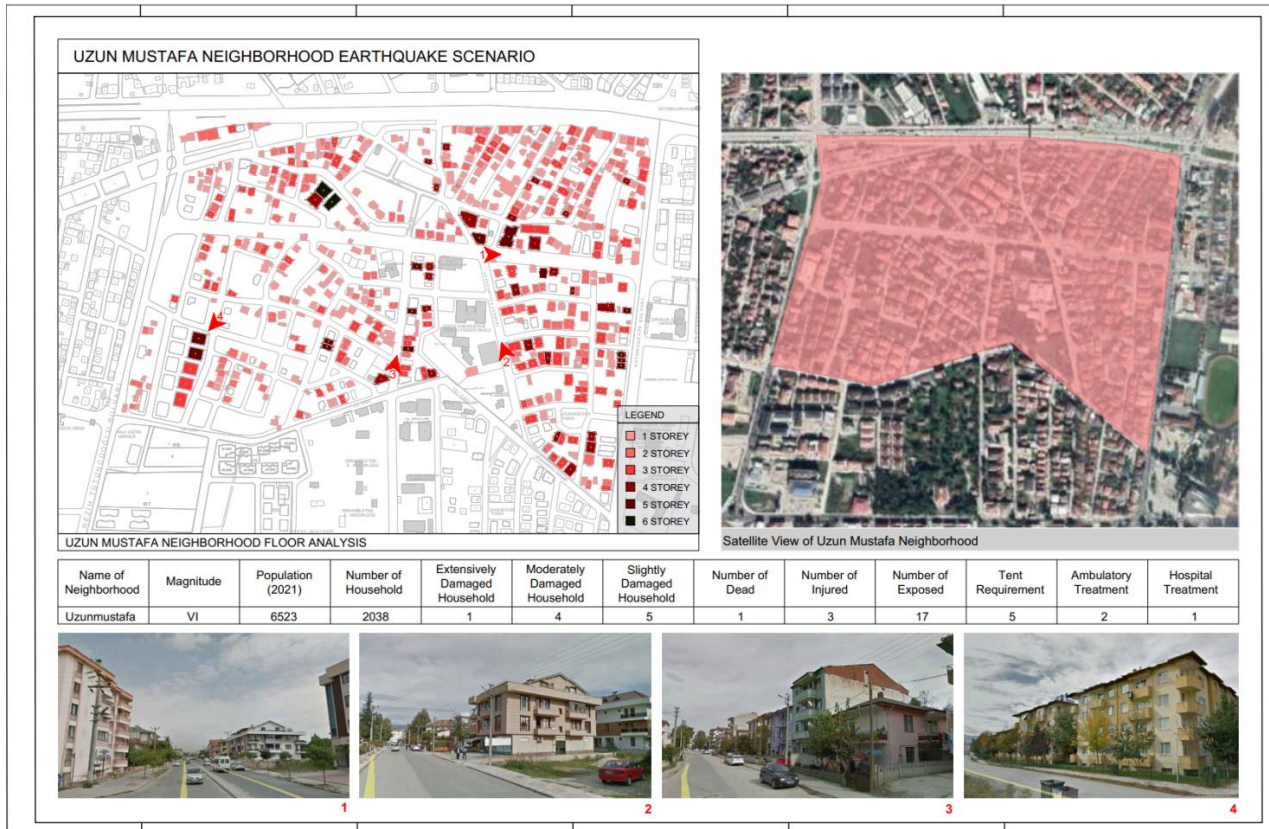


Figure 4: Uzun Mustafa Neighborhood earthquake scenario

Figure 4 gives a satellite image showing the borders of Uzun Mustafa neighborhood, a map section with a storey analysis, and some photographs of the neighborhood. Most of the buildings in the neighborhood (75%) consist of one and two storeys. There are 539 buildings in the neighborhood, including 250 one-storey, 154 two-storey, 94 three-storey, 25 four-storey, 14 five-storey and 2 six-storey buildings. No building in the neighborhood consists of more than six storeys. According to the prepared earthquake scenario, one extensively damaged, four moderately damaged, and five slightly damaged residences would be found in the neighborhood. The number of dead was calculated as one, whereas the number of injured was three, and the number of exposed people was 17. The required number of tents was predicted to be five.



Figure 5: Kültür neighborhood earthquake scenario

There are a total of 663 buildings in Kültür Neighborhood. Among these, 223 are one-storey, 228 two-storey, 84 three-storey, 71 four-storey, 39 five-storey, 15 six-storey, and 3 seven-storey buildings. No buildings in the neighborhood are more than seven storeys. Most (68%) of the buildings have one or two storeys. A satellite image showing the borders of Kültür Neighborhood, a map section with a storey analysis, and some photographs of the neighborhood are presented in Figure 5. According to the prepared earthquake scenario, 20 extensively damaged, 59 moderately damaged, and 57 slightly damaged residences would be found in the neighborhood. The number of dead was calculated as five, whereas the number of injured was 13, and the number of exposed people 253. The required number of tents was predicted to be 79.

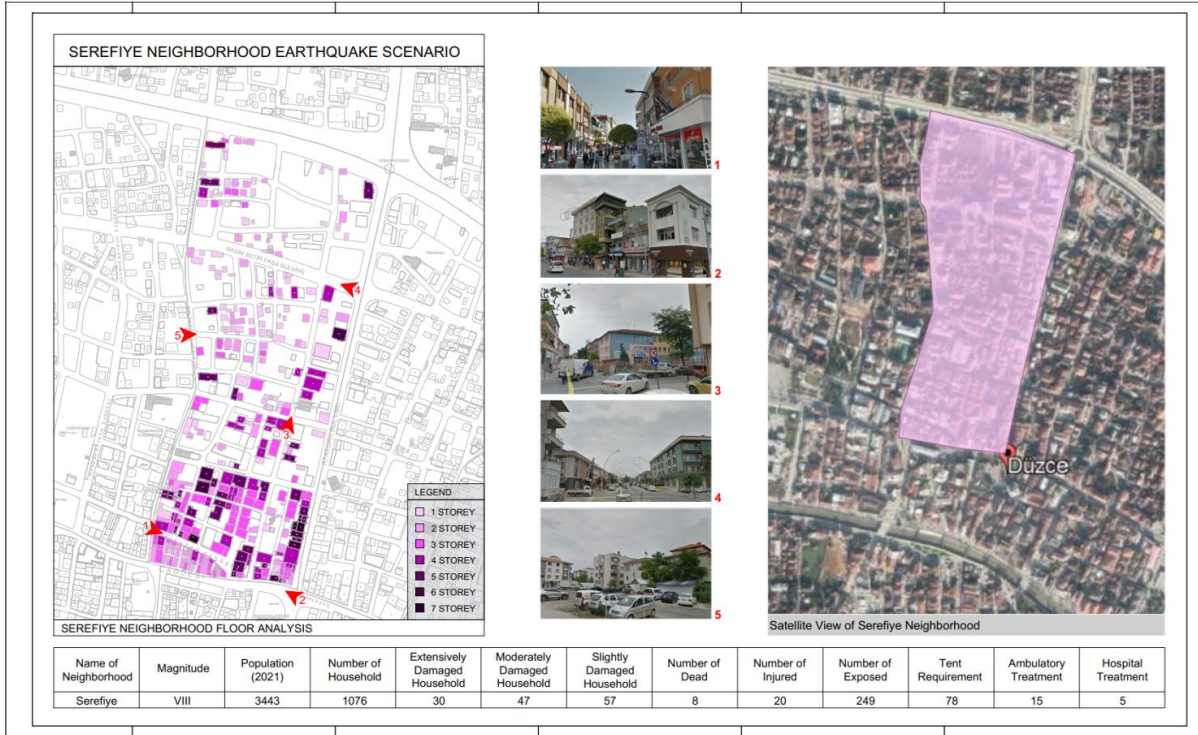


Figure 6: Şerefiye Neighborhood earthquake scenario

There are a total of 334 buildings in Şerefiye Neighborhood. Among these, 102 are one-storey, 81 two-storey, 68 three-storey, 41 four-storey, 29 five-storey, 10 six-storey, and 3 seven-storey buildings. No buildings in the neighborhood are more than seven storeys and 55% are one- and two-storey buildings. Figure 6 includes a satellite image showing the borders of Şerefiye Neighborhood, a map section with a storey analysis, and some photographs of the neighborhood. According to the prepared earthquake scenario, 30 extensively damaged, 47 moderately damaged, and 57 slightly damaged residences would be found in the neighborhood. The number of dead was calculated as eight, the number of injured as 20, and the number of exposed people as 249. The number of tents required was predicted to be 78.

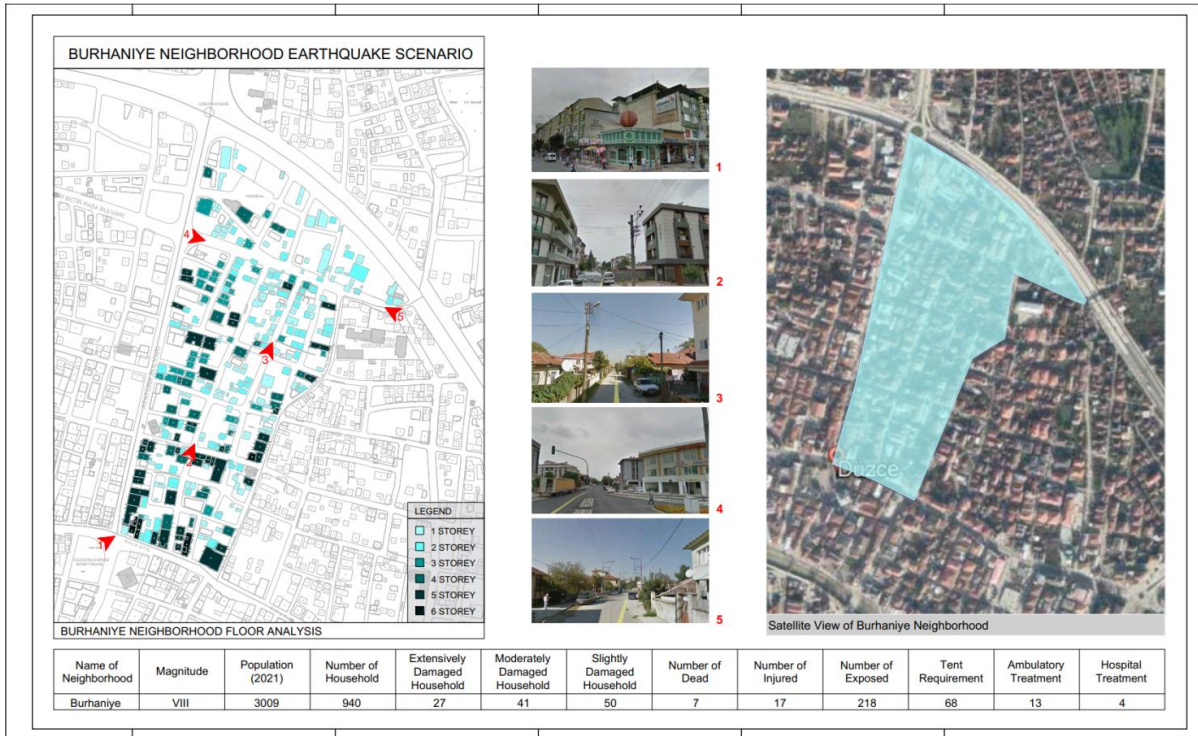


Figure 7: Burhaniye Neighborhood earthquake scenario

In Figure 7, a satellite image showing the borders of Burhaniye Neighborhood, a map section with a storey analysis, and some photographs of the neighborhood are presented. There are a total of 310 buildings in the neighborhood. Among these 127 are one-storey, 70 two-storey, 36 three-storey, 27 four-storey, 42 five-storey, and 7 six-storey buildings. No buildings in the neighborhood are more than six storeys, and one- and two-storey buildings make up 64% of the buildings. According to the prepared earthquake scenario, 27 extensively damaged, 41 moderately damaged, and 50 slightly damaged residences would be found in the neighborhood. The number of dead was calculated as seven, the number of injured as 17, and the number of exposed people as 218. The number of tents required was predicted to be 68.

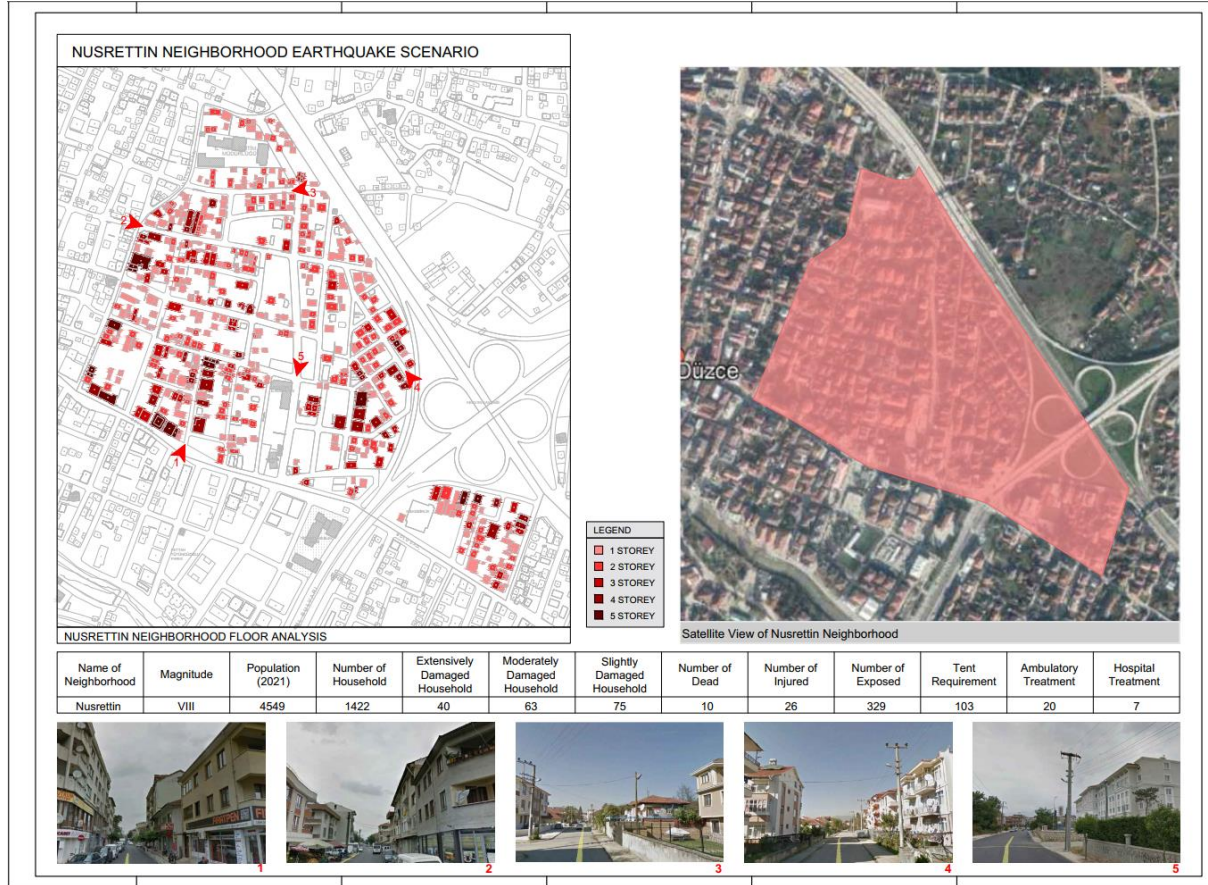


Figure 8: Nusrettin Neighborhood earthquake scenario

Figure 8 presents a satellite image showing the borders of Nusrettin Neighborhood, a map section with a storey analysis, and some photographs of the neighborhood. There are a total of 547 buildings in the neighborhood, including 280 one-storey, 152 two-storey, 60 three-storey, 37 four-storey, and 18 five-storey buildings. No buildings in the neighborhood are more than five storeys, with the majority (79%) consisting of one- and two-storey buildings. According to the prepared earthquake scenario, 40 extensively damaged, 63 moderately damaged, and 75 slightly damaged residences would be found in the neighborhood. The number of dead was calculated as 10, the number of injured as 26, and the number of people left exposed as 329. The required number of tents was predicted to be 103.

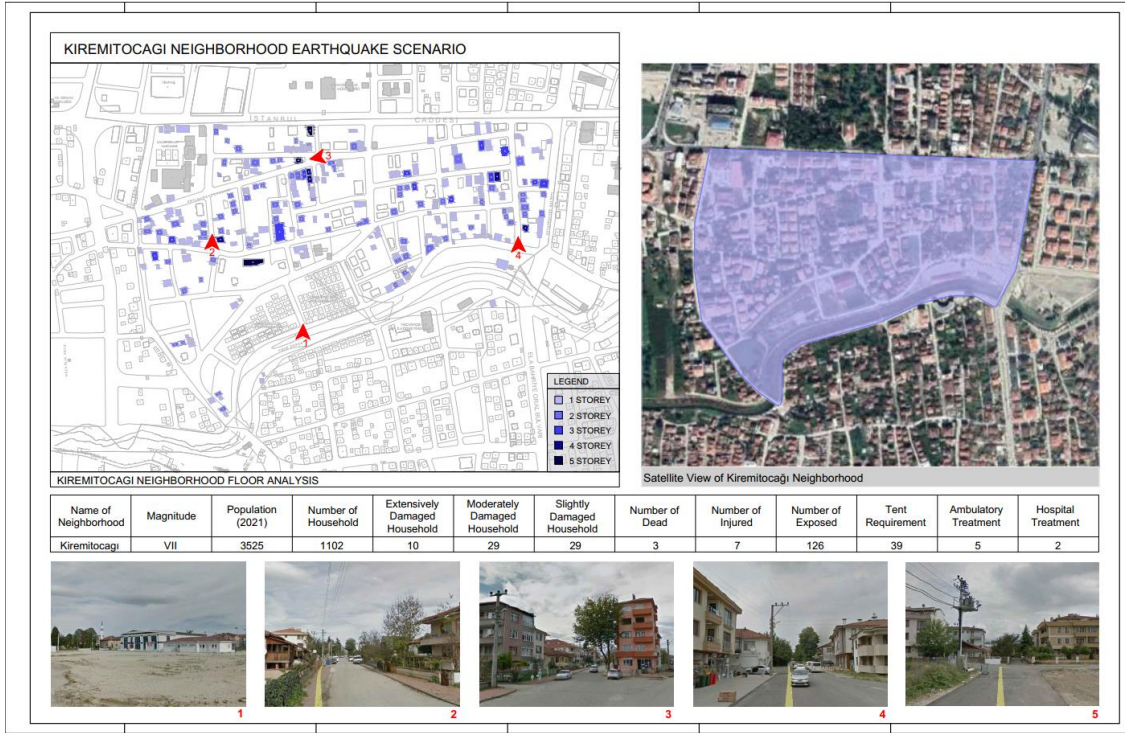


Figure 9: Kiremitocağı Neighborhood earthquake scenario

Figure 9 gives a satellite image showing the borders of Kiremitocağı Neighborhood, a map section with a storey analysis, and some photographs of the neighborhood. There are a total of 353 buildings in the neighborhood, including 258 one-storey, 75 two-storey, 12 three-storey, 5 four-storey, and 3 five-storey buildings. There are no buildings of more than five storeys in the neighborhood, with 94% comprised of one- and two-storey buildings. According to the prepared earthquake scenario, 10 extensively damaged, 29 moderately damaged, and 29 slightly damaged residences would be found in the neighborhood. The number of dead was calculated as 3, the number of injured as 7, and the number of people left exposed as 126. The required number of tents was predicted to be 39.

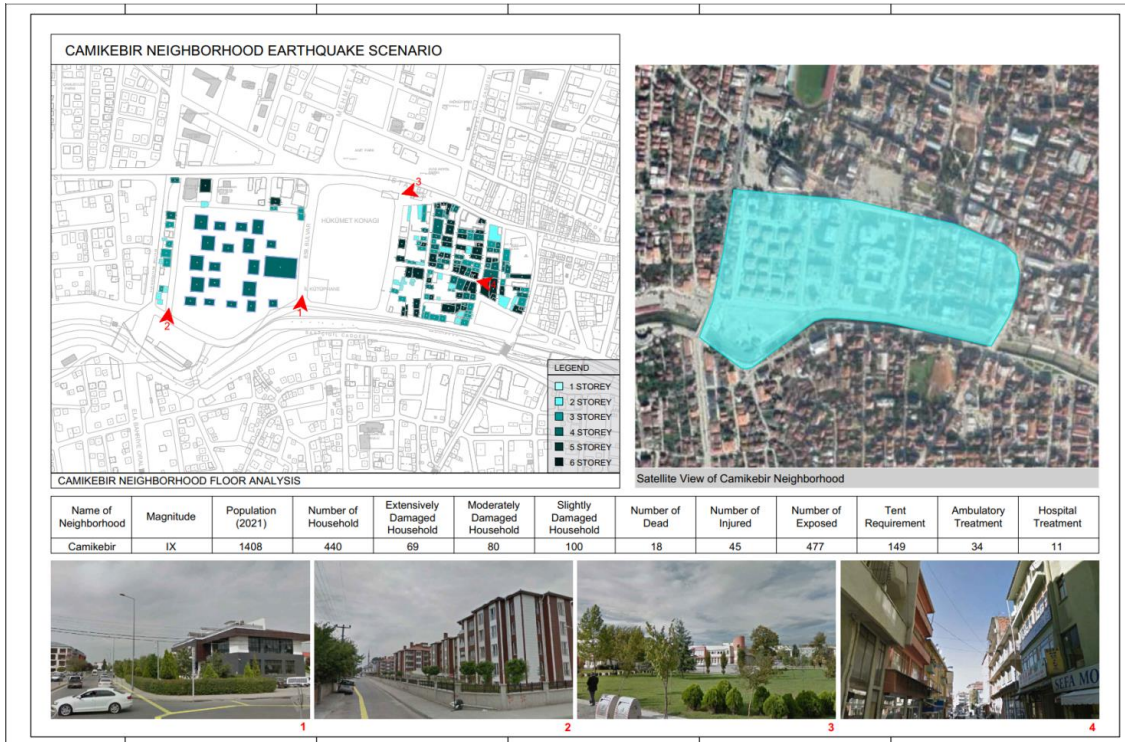


Figure 10: Camikebir Neighborhood earthquake scenario

Figure 10 presents a satellite image showing the borders of Camikebir Neighborhood, a map section with a storey analysis, and some photographs of the neighborhood. There are a total of 304 buildings in the neighborhood. Among these, 104 are one-storey, 96 two-storey, 41 three-storey, 37 four-storey, 21 five-storey, 4 six-storey, and 1 seven-storey. No buildings in the neighborhood are more than seven storeys, with 66% consisting of one- and two-storey buildings. According to the prepared earthquake scenario, 69 extensively damaged, 80 moderately damaged, and 100 slightly damaged residences would be found in the neighborhood. The number of dead was calculated as 18, the number of injured as 45, and the number of people left exposed as 477. The required number of tents was predicted to be 149.



Figure 11: Ceditiye Neighborhood earthquake scenario

In Figure 11, a satellite image showing the borders of Ceditiye Neighborhood, a map section with a storey analysis, and some photographs of the neighborhood are presented. There are a total of 393 buildings in the neighborhood, including 123 one-storey, 96 two-storey, 52 three-storey, 70 four-storey, 42 five-storey, 6 six-storey, 3 seven-storey, and 1 eight-storey. No buildings in the neighborhood are more than eight storeys, with 56% of the buildings made up of one- and two-storey buildings. According to the prepared earthquake scenario, 185 extensively damaged, 214 moderately damaged, and 268 slightly damaged residences would be found in the neighborhood. The number of dead was calculated as 48, the number of injured as 121, and the number of exposed people as 1274. The number of tents required was predicted to be 398.

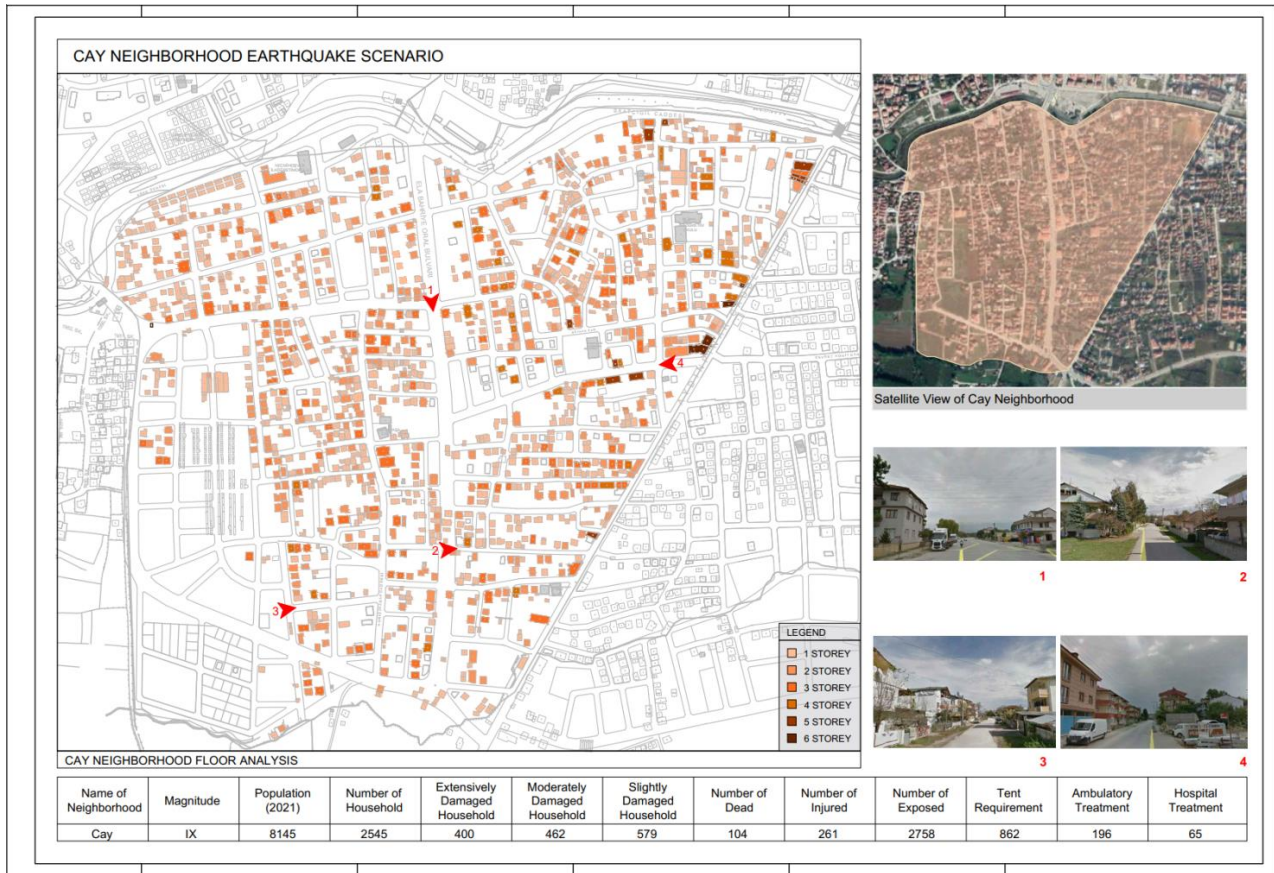


Figure 12: Çay Neighborhood earthquake scenario

Figure 12 presents a satellite image showing the borders of Çay Neighborhood, a map section with a storey analysis, and some photographs of the neighborhood. There are a total of 1465 buildings in the neighborhood. Among these, 920 are one-storey, 352 two-storey, 143 three-storey, 35 four-storey, 10 five-storey, and 5 six-storey buildings. There are no buildings in the neighborhood with more than six storeys, and 87% are made up of one- and two-storey buildings. According to the prepared earthquake scenario, 400 extensively damaged, 462 moderately damaged, and 579 slightly damaged residences would be found in the neighborhood. The number of dead was calculated as 104, the number of injured as 261, and the number of exposed people as 2758. The number of tents required was predicted to be 862.

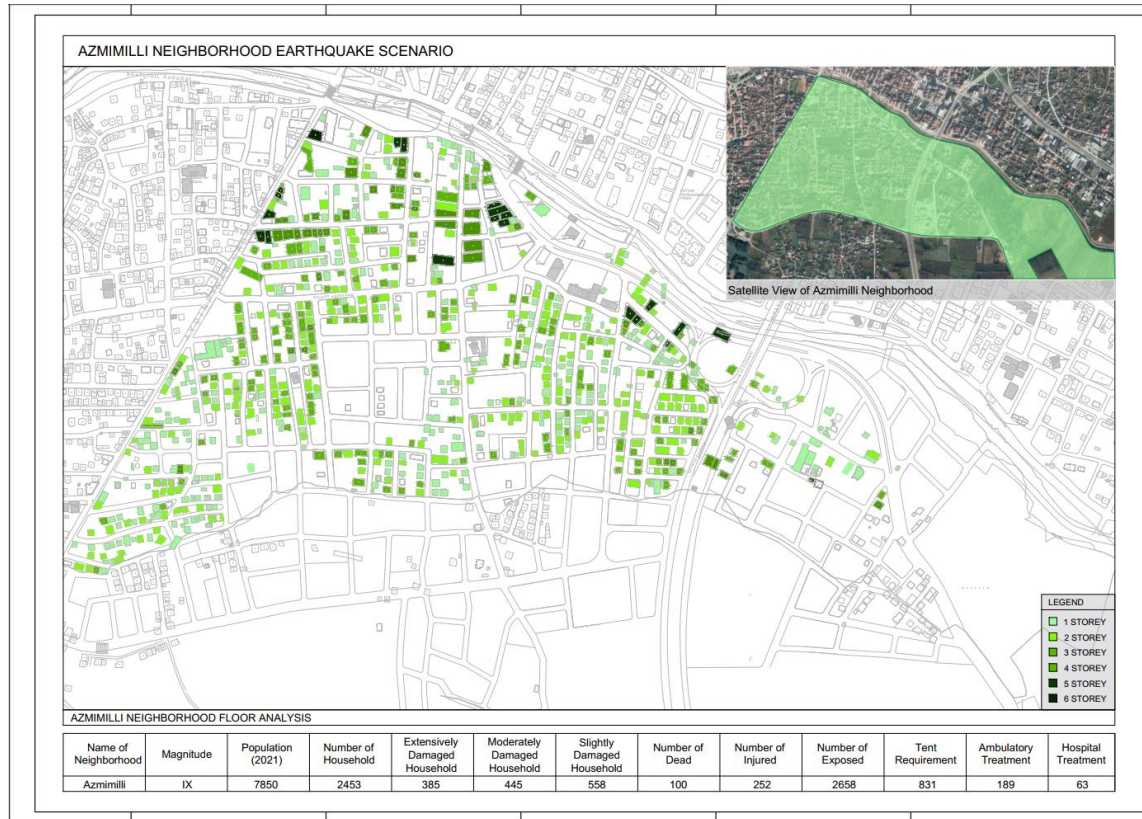


Figure 13: Azmimilli Neighborhood earthquake scenario

In Figure 13, a satellite image of the borders of Azmimilli Neighborhood and a map section with a storey analysis are presented. There are a total of 813 buildings in the neighborhood, including 329 one-storey, 266 two-storey, 155 three-storey, 42 four-storey, 19 five-storey, and 2 six-storey buildings. No buildings in the neighborhood are more than six storeys, with most (73%) consisting of one- and two-storey buildings. According to the prepared earthquake scenario, 385 extensively damaged, 445 moderately damaged, and 558 slightly damaged residences would be found in the neighborhood. The number of dead was calculated as 100, the number of injured as 252, and the number of exposed people as 2658. The number of tents required was predicted to be 831.

6. Conclusion

In a predictive earthquake in Düzce, it was estimated that there would be 304 dead, and 765 injured individuals, and 1166 extensively damaged, 1446 moderately damaged, and 1778 slightly damaged residences. The people left exposed due to this damage would number 8359, and 2612 tents would be needed to accommodate them. If damage due to secondary disasters and damage to infrastructures were added to these numbers, the damage estimate would be even greater.

Damages to road, bridge, port, drinking water and wastewater networks, electricity network, sewage, natural gas that may occur as a result of the scenario earthquake could not be included in the scenario due to lack of data. In a big earthquake that may affect Düzce (Scenario earthquake), in addition to the jolts to be caused by strong ground movements, damages may also occur due to landscape, ground surfaces, liquidations, tsunami, fire, flood, dangerous materials leaks. Before making disaster planning, it is necessary to estimate the damages that may occur in the above-mentioned issues as a result of the scenario earthquake and to prepare the plan accordingly. In order to make these predictions, detailed databases and long-term teamwork are needed.

Using earthquake scenarios to estimate the magnitude of the damage that might occur during an earthquake, the situation likely to be faced in the event of a possible disaster can be realized. These studies should not be considered as absolute scientific studies because naturally, many uncertainties and errors are involved. The aim of these studies is to help authorities take all the necessary technical, administrative, and legal precautions and to carry out more realistic planning to ensure that the community recovers with the least amount of damage and physical loss in the event of a possible disaster. Awareness of earthquakes as the most frequent type of natural disaster in Turkey must be emphasized. Moreover, within the context of ensuring coordination during a possible large earthquake, the data created in the light of planning studies in Düzce can perceptibly contribute to application areas in the future.

It has been stated that there are many factors affecting the earthquake phenomenon in the study adapted for Düzce, by taking this study as an example with the earthquake scenario study conducted for the province of Istanbul. However, in

both studies, it is aimed to help the authorities take all the necessary technical, administrative and legal measures and make their planning more realistically in order for the society to survive a possible disaster with the least damage and physical loss. According to the Istanbul earthquake scenario with a total population of 10033478 in 2000, calculated on the basis of the intensity and numerical ratios of the 17 August 1999 Izmit Bay Earthquake, which is one of the major earthquakes, the number of dead will be 32536, the number of injured will be 81828, the number of heavily damaged houses will be 125137, the number of moderately damaged houses will be 169473 and 206187 with light damage, and 1219685 people will be exposed due to these damages and 294610 tents will be needed (Özmen 2002). However, these data were calculated only for the provincial borders, as mentioned in the earthquake scenario of Düzce province. Better results can be obtained if the damages in the surrounding provinces on the same fault line are taken into account.

References

- Akdur R., (2000), *Afetlere hazırlık ve afet yönetimi*, Afetlerde Sağlık Hizmetleri Yönetimi'nin İçinde, (Esin A.S., Oğuzhan T., Kaya C., Ergüder T., Özkan A.T., Yüksel İ., Ed.), Ankara Türkiye, ss.1-38.
- Atılğan D., (2004), *Bilimsel bilgiye erişimin önemi ve Türkiye'de eğitim araştırmaları veri tabanı*, <http://eprints.rclis.org/7235/>, [Accessed 9 May 2021].
- ATN İMAR., (2013), *İlave Revizyon Uygulama İmar Planı Plan Açıklama Raporu*, ATN İmar İnşaat Harita Proje Turizm San. ve Tic. A.Ş., Çankaya, Ankara.
- Avdar R., (2017), *1999-2011 arası dönemde Türkiye'de meydana gelen depremlerin ekonomik etkileri*, Econder International Academic Journal, 1(1), 53-63.
- Banuls V.A., Salmeron L.J., (2007), *A scenario-based assessment model-SBAM*, Technological Forecasting & Social Change, 74(6), 750-762.
- Birinci F., (2013), *Türkiye'nin depremselliği ve yapı stoğu yönünden mevzuat ve mali politikaların kentsel dönüşümü zorlaştıran unsurları*, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül, Antakya, Hatay, ss.25-27.
- Buldurur M.A., Kurucu H., (2015), *İstanbul'da afet yönetimi ve acil ulaşım yollarının değerlendirilmesi*, Planlama Dergisi, 25(1), 21-31.
- Dodmana D., Leckb H., Ruscab M., Colenbrandera S., (2017), *African urbanisation and urbanism: implications for risk accumulation and reduction*, International Journal of Disaster Risk Reduction, 26(2017), 7-15.
- Erdoğan E., Yazgan E.M., Dilaver Z., Benzer N., Özer N., (2004), *Düzce kenti deprem sonrası kentsel yenileme araştırmaları*, Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje Numarası 2001.07.11-052, Ankara Üniversitesi, Ankara, 369ss.
- Fahjan Y., Pakdamar F., Eryılmaz Y., Kara F.İ., (2015), *Afet planlanmasında deprem riski belirsizliklerinin değerlendirilmesi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1(1-2), 21-39.
- Işık E., Sağır Ç., Tozlu Z., Ustaoglu S.Ü., (2019), *Farklı deprem senaryolarına göre Kırşehir ili kayıp tahmin analizleri*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1), 80-93.
- JICA, (2004), *Türkiye'de doğal afetler konulu ülke strateji raporu*, Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA), Ankara, Turkey, 163ss.
- Karaman H., Şahin M., (2009), *Zeytinburnu ilçesi için deprem hasar tahmini çalışması*, İtüdergisi/d mühendislik, 8(3), 91-101.
- Karimzadeh S., Miyajima M., Hassanzadeh R., Amiranzadeh R., Kamel B.A., (2014), *GIS-based seismic hazard, building vulnerability and human loss assesment for the earthquake scenario in Tabriz*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 66(2014), 263-280.
- Osuteye E., Johnson C., Brown D., (2017), *An analysis of data availability on disaster losses in Sub-Saharan African Cities*, International Journal of Disaster Risk Reduction, 26, 24-33.
- Özaslan M., Erşahin G., Akkahve D., Sabuncu A., (2001), *Düzce ili raporu*, Devlet Planlama Teşkilatı, Bölgesel Gelişme ve Yapısal Uyum Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Özmen B., (2000), *12 Kasım 1999 Düzce depreminin konut ve işyeri hasarları (rakamsal verilerle)*, 12 Kasım Düzce Depremi Raporu, Ankara, ss.155-214.
- Özmen B., (2002), *İstanbul İli için Deprem Senaryosu*, Türkiye Mühendislik Haberleri, 417, 23-28.
- Pavel F., Vacareanu R., (2016), *Scenario-based earthquake risk assesment for Burcharest, Romania*, International Journal of Disaster Risk Reduction, 20(2016), 138-144.
- UNDRR, (2009), *2009 UNISDR terminology on disaster risk reduction*, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, <https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction>, [Accessed 14 March 2022].
- URL-1, (2021), *Kentleşme*, Wikipedia, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kentleşme>, [Accessed 12 August 2021].
- URL-2, (2021), *Turkish statistical institute*, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30567>, [Accessed 9 May 2021].
- URL-3, (2022), *Düzce nüfusu*, <https://www.nufusu.com/il/duzce-nufusu>, [Accessed 14 March 2022].
- URL-4, (2022), *Deprem sıklığı ve anlamı: deprem sıklığının azalıyor veya artıyor gibi gözükmesi, büyük bir depremin geleceğine işaret eder mi?*, Evrim Ağacı, <https://evrimagaci.org/deprem-sikligi-ve-anlami-deprem-sikliginin-azaliyor-veya-artiyor-gibi-gozukmesi-buyuk-bir-depremin-geleceğine-isaret-eder-mi-9502>, [Accessed 12 June 2022].
- UN, (2014), *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014), New York, 32ss.
- Uslu, G., Uzun B., (2014), *Kentsel dönüşüm projelerinde deprem etkisi*, Harita Teknolojileri Elektronik, 6(2), 1-11.
- Yüceşahin M.M., Bayar R., Özgür M.E., (2004), *Türkiye'de şehirleşmenin mekansal dağılışı ve değişimi*, Coğrafi Bilimler Dergisi, 2(1), 23-39.
- Zhang Y., Weng W.G., Huang Z.L., (2018), *A scenario-based model for earthquake emergency management effectiveness evaluation*, Technological Forecasting & Social Change, 74(6), 750-762.