



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. 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. Selim SANİN (Hacettepe Üniversitesi)
Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK (Gümüşhane Üniversitesi)
Doç. Dr. Yalçın KANBAY (Artvin Çoruh Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Kazım Onur DEMİRARSLAN (Artvin Çoruh Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Serden BAŞAK (Artvin Çoruh 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

- Uzaktan Algılama Yöntemleri İle Burdur Gölü'ndeki Alansal Değişiminin Belirlenmesi
Determination of Burdur Lake's Area Changes Using Remote Sensing Techniques
Özümcan Alara Kaya, Gordana Kaplan..... 1 - 12
- Trafik Kaynaklı Ağır Metal Kirliliklerinin İzlenmesinde Zeytin Ağacının (*Olea europaea* L.) Biyomonitör Olarak Değerlendirilmesi: Artvin Örneği
*Evaluation of Olive Tree (*Olea europaea* L.) as A Biomonitor for Monitoring of Heavy Metal Pollution Caused by Traffic: Example of Artvin*
Mustafa Umut Konanç..... 13 - 26
- Kent İçi Trafikten Kaynaklanan Stratejik Gürültü Haritalarının Değerlendirilmesi
Evaluation of Strategic Noise Maps Arising from Urban Traffic
Şafak Hengirmen Tercan, Gökhan Yaman..... 27 - 40
- SPI ve CZI Kuraklık İndislerinin CBS Tabanlı Zamansal ve Konumsal Karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası Örneği
GIS Based Spatiotemporal Comparison Between SPI and CZI Drought Index: A Case Study of Burdur Lake Basin
Erhan Şener, Şehnaz Şener 41 - 58
- Şiran (Gümüşhane) İlçe Merkezi Su Kaynaklarının Kalitesi ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi
Investigation of Hydrogeochemical Characteristics and Quality of the Water Resources in Şiran (Gümüşhane) District Center, Turkey
Ümmühan Semiz, Mehmet Ali Gücer, Selçuk Alemdağ 59 - 74
- Su İdarelerinin Su Kayıp Yönetim Performansının Analizi ve Temel Performans Gösterge Hesaplama Aracının Geliştirilmesi
Analysis of Water Loss Management Performance of Water Utilities and Development of Basic Performance Indicator Analysis Tool
Mahmut Fırat, Cansu Orhan, Salih Yılmaz, Özgür Özdemir..... 75 - 88
- Muğla İlinde 1960-2018 Dönemi Kuraklık Analizi
Drought Analysis of Muğla City for 1960-2018 Period
Kahraman Oğuz, Muhammet Ali Pekin, Gülten Çamalan..... 89 - 100
- Trafik Verilerine Göre Afetlerde Bölgesel Hizmet Verebilecek İdeal Havalimanı Önerileri
Traffic Data Based Ideal Airport Suggestions Providing Regional Service in Disasters
Emre Demir 101 - 109
- Taşkın Farkındalık ve Erken Uyarı Sistemleri Değerlendirmesi: Trabzon Beşikdüzü Örneği
Assessment of Flood Awareness and Early Warning Systems: The Case of Beşikdüzü, Trabzon
Tuğçe Anılan, Hilal Durmuş, Emre Akçalı, Ömer Yüksek..... 110 - 123
- Güneydoğu Anadolu Bölgesi İllerinin CBS Kullanarak Hava Kalitesinin Mekânsal Değişiminin İncelenmesi (2007-2019)
Investigation of Spatial Change of Air Quality of Southeast Anatolia Region Provinces Using GIS (2007-2019)
Ercan Vural..... 124 - 135
- EraInterim Re-analiz Verileri Kullanılarak İstatistiksel Ölçek İndirgeme Yöntemi ile Doğu Karadeniz Havzası Aylık Ortalama Sıcaklık Değerlerinin Tahmin Edilmesi
Estimation of the Monthly Mean Temperature Values of the Eastern Black Sea Basin with Statistical Downscaling Method Using EraInterim Re-analysis Data
Sinan Nacar, Murat Kankal, Umut Okkan..... 136 - 148
- Siirt İli Deprem Tehlike Analizi
Siirt Province Earthquake Hazard Analysis
Murat Doğruyol 149 - 158

Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Ankara İli İçin Olası Afet Sonrası Geçici Barınma Alanlarının Seçimi

The Selection of Temporary Shelter Areas with Fuzzy TOPSIS Method for the Ankara Province

Mine Ömürgönülşen, Cem Menten..... 159 - 175

Eğimli Arazilerde Kaya Tutucu Toprakarme Duvarların Uygulanabilirliği ve Alternatif Kaya Islahı Çözümleriyle Karşılaştırılması: Kanlıpelit Örneği

Applicability of the Reinforced Ground Embankments on Sloped Terrain and Their Comparison with Alternative Rockfall Protection System Solutions: Kanlıpelit Case

Muhammet Çelik, Mohammad Manzoor Nasery..... 176 - 191

Açık İşletme Demir Cevherleşmesinin Asit Maden Drenajı Oluşumuna Yönelik Kestirimlerinin Araştırılması (Adana/Saimbeyli)

Investigation of the Operations of Open Pit Iron Mineralization for Acid Mine Drainage (Adana/Saimbeyli)

Ayşe Dokuzlar, Nil Yapıcı 192 - 203

Uzaktan Algılama Yöntemleri İle Burdur Gölü'ndeki Alansal Değişiminin Belirlenmesi

Özümcan Alara Kaya¹, Gordana Kaplan^{2,*}

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve CBS A.B.D., 25555, Eskişehir.

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü, 25555, Eskişehir.

Özet

Sürdürülebilir su kaynakları yönetiminde kuraklığın izlenmesi, göller gibi su kütleleri için oldukça önemlidir. Su alanlarının haritalanması ve izlenmesi için uzaktan algılama yöntemleri ve teknikleri, son yıllarda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada Göller Yöresi bölgesinde, Isparta ile Burdur illeri arasında bulunan Burdur Gölü'nün 2009 ile 2019 yılları arasındaki alansal değişimi, uzaktan algılama teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada Landsat-7, Landsat-8 ve Sentinel-2 uydu görüntülerine obje bazlı sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırmada, literatürde de sık kullanılan, normalleştirilmiş su fark indeksi (NDWI) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan görüntüler Eylül ayını kapsamaktadır. Ek olarak mevsimsel değişim analizi için, 2017 ve 2019 yıllarının Nisan ve Mayıs aylarına ait Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre; Burdur gölünün 2009-2019 yılları arasında 17 km² alan kaybettiğini göstermektedir. Landsat görüntüleri ile 2009-2019 yıllarına ait Eylül ayı verilerinin korelasyon analizi yapılmıştır ve analiz sonucu $R^2 = 0,94$ olarak elde edilmiştir. 2017 ve 2019 yıllarında, bahar ile sonbahar mevsimleri arasında, su alanında gözlenen azalma 2 km² olarak belirlenmiştir. Sınıflandırma doğrulukları %90 - %96 arasında değişmektedir. En yüksek sınıflama doğruluğu Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışma, su alanlarındaki alansal değişimlerin uzaktan algılama verileri ve teknikleriyle yüksek doğrulukta belirlenebileceğinin önemli bir örneğidir.

Anahtar Sözcükler

Alansal Değişim, Kuraklık, Uzaktan Algılama, Burdur Gölü

Determination of Burdur Lake's Area Changes Using Remote Sensing Techniques

Abstract

Drought monitoring in water bodies such as lakes is essential for sustainable management of water resources. In recent years, remote sensing methods and techniques have been successfully used for mapping and monitoring water area changes. This study aimed to investigate the ten-year change between 2009 and 2019 in the Burdur Lake, located between Isparta and Burdur provinces in the Göller District, through remote sensing data and techniques. In the study, object-based classification was made using Landsat-7, Landsat-8, and Sentinel-2 satellite imagery. For the classification, the frequently used normalized water difference index (NDWI) combined with threshold analysis was used for water classification. All images were acquired in September. In addition to the seasonal variation analysis, Sentinel-2 images from April and May, 2017 and 2019 were used. As a result, in the last decade, Burdur lake has lost approximately 17 km² of its water surface. Correlation analysis of the Landsat images of September for the years 2009-2019 resulted in an R^2 of 0.94. The change between spring and autumn in 2017 and 2019 was determined as 2 km². The classification accuracies range from 90% to 96%, and the highest classification accuracy was obtained with Sentinel-2 images. The results of the study show that the changes in water areas can be monitored with high accuracy through remote sensing data and techniques.

Keywords

Area Changes, Drought, Remote Sensing, Burdur Lake

1. Giriş

Yaşam kaynağı olan su, ekolojik ve toplumsal aktivitelerin ayrılmaz bir parçasıdır. Yeryüzündeki değerli ve doğal kaynakların başında gelen su, dünyada ve Türkiye'de yoğun biçimde kullanılmaktadır. Özellikle yarı kurak iklime sahip, yıllık yağışın belirli mevsimlerde gerçekleştiği Türkiye gibi ülkelerde sürdürülebilir su kaynaklarının yönetimi, gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Sulak alanlar, yeryüzünün en zengin ve en üretken ekosistemlerini oluşturmaktadır. Bu alanlar, yöre insanları ile ülke geneline geniş yelpazede hizmet veren, oldukça karmaşık, doğal sistemlerdir ve yeryüzündeki başka hiçbir ekosistemle karşılaştırılamayacak ölçüde işlev ve değere sahiptir (Acharya vd. 2019; Aksoy vd. 2019; Anderson vd. 2018; Emanuel 2018; Giardino vd. 2010; Kaplan vd. 2019).

Türkiye'nin yedinci büyük gölü olan Burdur Gölü, daha önce yapılan çalışmalardan da bilindiği üzere kurumaktadır (Sarp ve Özcelik 2017; Yiğitbaşoğlu ve Uğur 2010). Bölgedeki iklimsel değişimler, artan antropojenik etkiler (havalimanı, yoğun olarak tarım amaçlı sulama suyu ile kullanımı, bölgede yapılan yapay göletler, barajlar ve endüstriyel amaçlı soğutma suyunda kullanma) sonucunda göl hem kurumaktadır hem de gölün su kalitesi düşmüştür. Daha önce yapılan araştırmalarda gölün su kalitesi ve göl alanındaki değişimler üzerine çalışılmıştır. Fakat gölün değişimi üzerine yapılan çalışmada, nesne tabanlı sınıflandırma ve mevsimsel değişimi uzaktan algılama yöntemi kullanılmamıştır.

Normalleştirilmiş su fark indeksi (Normalized Difference Water Index NDWI) analizi ile su sınırlarının belirlenmesi, son 20 yıldaki çalışmalarda kullanılmış olup bu çalışmalarda gayet başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Yang vd. 2017), NDWI, Modife edilmiş normalleştirilmiş su fark indeksini (Modified NDWI, MNDWI) kullanarak su alanlarını belirlemiştir. Ek olarak SWIR bandı için pansharpening yöntemi kullanmışlardır. Kaplan ve Avdan (2017), Sentinel-2 verilerini ve NDWI kullanarak Makedonya'da, nehir sınırları üzerine çalışmışlardır. Kwang vd. (2018), Landsat ve Sentinel verilerini ve NDWI kullanarak nehir sınırı çıkarımı yapıp iki uydu görüntüsünü de ayrıca karşılaştırmıştır.

Burdur Gölü günümüze dek birçok farklı çalışmaya konu olmuştur. Ataol (2010) gölün yıllık su kaybını yaklaşık 40 hm³ olarak hesaplamıştır. Öneri olarak ise mevcut yüzeysel sulama yöntemi yerine basınçlı sulamanın kullanılmasını sunmuş, bu yöntemin kullanılması hâlinde tasarruf edilecek su miktarını, gölün yıllık su kaybının bir buçuk katı olarak hesaplamıştır. Kaya vd. (2015) adlı çalışmada Türkiye'nin altıncı büyük göl havzası olan Burdur Gölü Havzası'nın ekolojisinin ve özellikle alanın endemik türü olan dikkuyruğun korunması amacıyla ulusal ve uluslararası literatür ve bölgeyle ilgili gözlemlerine dayanarak havzayı etkileyen etmenler ve havzayla ilgili sorunlarla ilgili olası çözüm önerileri üzerinde durmuştur. Temiz ve Durduran (2016), 1985-2015 yılları arasında, gölün kıyı şeridindeki değişimleri Landsat uydusunun verilerini kullanarak hesaplamışlardır. Elde ettikleri verilere göre göl, 30 yılda 70km²'lik küçülmüştür. Ek olarak Burdur Gölü için SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) analizi üzerinde de çalışma yapmışlardır.

Çalışmanın amacı; hem Burdur gölündeki değişimleri değerlendirmek hem de farklı uydu görüntülerin su sınıflandırmada değerlendirmek. Bu çalışmada Göller Yöresi bölgesinde, Isparta ile Burdur illeri arasında bulunan Burdur Gölü'nün on yıllık değişimi, uzaktan algılama teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada Landsat-7, Landsat-8, ve Sentinel-2 uydu görüntülerine obje bazlı sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırmada, literatürde de sık kullanılan, NDWI kullanılmıştır. Tüm görüntüler eylül ayına aittir. Ek olarak mevsimsel değişim analizi için, 2017 ve 2019 yıllarının Nisan ve Mayıs aylarına ait Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Burdur Gölü, göller yöresi bölgesinde Isparta ile Burdur illeri arasında yer almaktadır (Şekil 1). Göl, göller bölgesi'nin en büyük gölleri arasındadır. Kuşlar için önemli bir konaklama merkezi görevi gördüğü için Türkiye'nin 13 Ramsar alanından (uluslararası öneme sahip sulak alan) biri olarak tescillenmiş olup aynı zamanda Yaban Hayatı Geliştirme Sahası statüsüne sahiptir. Göl, küresel ölçekte nesli tehlike altında olan bir ördek türünün, dikkuyruğun (Oxyura leucocephala) yakın zamana kadar dünyadaki nüfusunun çok büyük bir kısmının kışladığı bir alan olup ayrıca gölde gölün tuzlu suyuna uyum sağlamış endemik balık türleri de bulunmaktadır (Ataol 2010).

Burdur Gölü, kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda Söğüt Dağı ile Sulu Dere, Yayla Dağları arasında yer alan çöküntü gölüdür. Gölün güney ve kuzeyinde bulunan alüvyon alanda sazlıklar mevcuttur. Göl, Burdur Kapalı Havzası'nda yer almaktadır kısacası havzadaki sular denize ulaşamamaktadır. Kapalı havzada yer almasına bağlı olarak gölün suyu tuzludur. Genel anlamda göl; yağışlardan, gölü besleyen yüzey ve yeraltı sularından beslenirken kapalı havza olma özelliğinden dolayı meydana gelen buharlaşma ve yer altındaki kaçaklar gölün başlıca su kayıp parametreleridir.

Akdeniz iklimi ile karasal iklim arasında bir geçiş zonunda yer alan Burdur Gölü, 30 yıl öncesine kadar fazla dalgalanma göstermeyen bir su seviyesine sahip iken 1987 yılından itibaren sürekli su kaybetmeye başlamıştır (Ataol 2010). 1971 yılında Burdur Gölü'nün en yüksek su seviyesine ulaşmış, 1971-2003 yılları arasında gölde su kaybı devam etmiş fakat 2003 yılında, su kaybında bir duraksama olmuştur (Yiğitbaşoğlu ve Uğur 2010).

2012 yılındaki Burdur Gölü'nün Sorunları, Çözümleri, Yönetimi ve Ekonomik Potansiyeli raporuna göre Burdur Gölü Havzası içerisinde 17 gölet, 1 rezervuar ve 1 baraj olmak üzere toplam 19 adet su tutma yapısı bulunmaktadır. Bu su tutma yapılarından 12 adet gölet, 1 adet rezervuar ve 1 adet baraj tali havzalarından biri olan Bozçay Havzası'nda, geriye kalan 5 adet gölet diğer tali havzalarda yer almaktadır.

Havzadaki meteoroloji istasyonlarının ölçümlerine göre, uzun yıllar bölgenin yağış ortalaması 447 mm'dir. 1995'ten bu yana havzada yağışlı bir döneme girilmiş olmasına rağmen havzaya düşen yağışın neredeyse tamamı baraj ve göletlerde tutulduğu için, göl seviyesindeki düşüş, yağış artışına rağmen devam etmektedir.



Şekil 1: Burdur gölü ve çevresine ait yerler ile ilgili harita

2.2. Veri ve Yöntem

Genel olarak Türkiye'deki yağışlar ile Türkiye'nin iklim özellikleri göz önünde bulundurulduğunda haziran-eylül ayları kurak dönemleri temsil ederken nisan-mayıs ayları ise yağışlı ayları temsil etmektedir. Çalışma alanında ilk olarak 2009-2019 yılları arasındaki kurak dönem (eylül ayı) değişimlerini belirlemek için <https://earthexplorer.usgs.gov/> ve <https://scihub.copernicus.eu/dhus> sitelerinden Landsat ve Sentinel uydularına ait görüntüler indirilmiştir. Landsat-7, USGS ve NASA tarafından geliştirilen bir gözlem uydusudur. Uydu, Landsat Programı kapsamında geliştirilmiş olup uydunun ana hedefi, uydu fotoğraflarının küresel arşivini yenilemek, araştırmacılara güncel ve bulutsuz görüntüler sunmaktır. Program, USGS tarafından yönetilir, işletilir; Landsat-7'den gelen veriler, USGS tarafından toplanır ve dağıtılır. Landsat-7, 15 Nisan 1999 tarihinde uzaya fırlatılmıştır (URL-1 2020). Landsat-8; 11 Şubat 2013 tarihinde uzaya fırlatılan, USGS ve NASA tarafından geliştirilen bir gözlem uydusudur. Landsat 8 multispektral bantlarda 30 m, pankromatik bantta ise 15 m mekansal çözünürlüklü veri toplamaktadır. Landsat 7'de mevcut olmayan pankromatik banda sahiptir.

Copernicus Programı'ndaki Avrupa Uzay Ajansı (AUA) tarafından geliştirilen Sentinel-2, Sentinel-2A ve Sentinel-2B olmak üzere 2 uydudan oluşmaktadır. Bu uydular, 786 km yörünge yüksekliği ve 10, 20 ile 60m konumsal çözünürlüğe sahip 13 adet spektral bantıyla kutupsal yörüngeli multi-spektral görüntü alabilmektedir. Sentinel-2A, 23 Haziran 2015 tarihinde ve Sentinel-2B 7 Mart 2017 tarihinde uzaya fırlatılmıştır. İki uydu ekvatorda 5 günlük bir tekrar ziyaret süresi sağlamaktadır Sentinel-2 Uydusu, yüksek mekansal çözünürlüklü olup günümüzde pek çok araştırmada kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan bantlar 10m konumsal çözünürlüğe sahiptirler. Tablo 1'de çalışma kapsamında kullanılan bantlara ait spektral özellikler verilmiştir. Landsat-7, Landsat-8 ve Sentinel-2 verilerinin özellikleri, Şekil 2'de (URL-2 2020) gösterilmiştir.

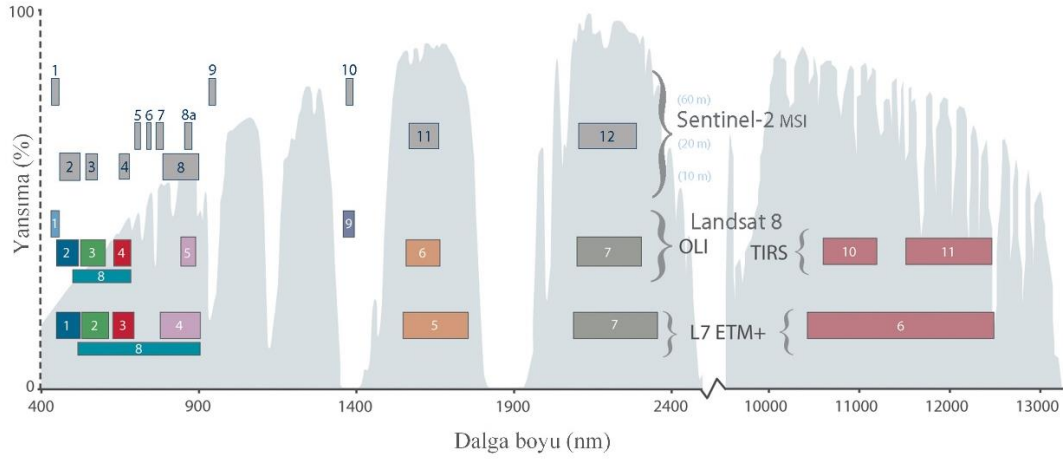
Kullanılan verilerde bulutluluk oranı %10'dan küçüktür. Genel olarak bulutluluk durumu gölün çevresinde olup; bulutluluğun giderilmesi için ek bir düzeltme yapılmamıştır. Landsat uydu görüntüleri <https://earthexplorer.usgs.gov/> internet sitesinden ön sipariş sonucu indirilmekle birlikte site, uydu görüntülerinde atmosferik ve radyometrik düzeltmeler yapmaktadır. Böylece Landsat verileri için atmosferik ve radyometrik düzeltmeler yapılmamıştır. Landsat-7'ye ait Satır Hatasını (Scan Line) düzeltmek için QGIS programı ve gap fill uygulaması kullanılmıştır. Şekil 3'de Landsat-7'ye ait olan görüntünün satır hatası düzeltilmeden önceki ve düzeltilmiş hali birlikte verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ait özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Sentinel ve Landsat uydularını spektral özellikleri (URL-3 2020; URL-4 2020)

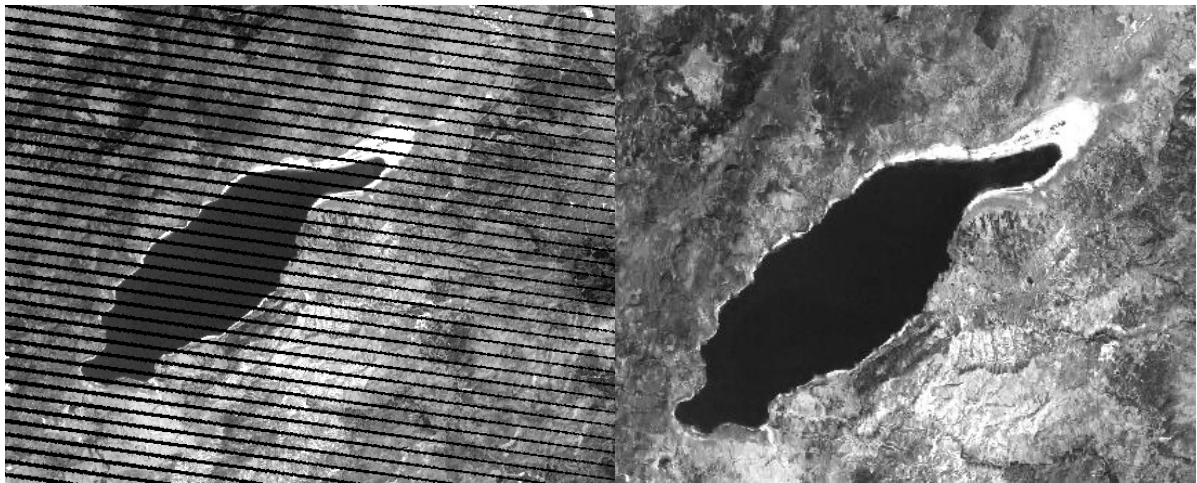
Sentinel 2 Uydusunun Spektral Özellikleri		
Bant Numarası	Spektral Çözünürlük (nm)	Konumsal Çözünürlük (m)
Bant 2 Mavi	458-523	10
Bant 3 Yeşil	543-578	10
Bant 4 Kırmızı	650-680	10
Bant 8 Yakın Kızılötesi	785-900	10

Landsat 7 Uydusunun Spektral Özellikleri		
Bant Numarası	Spektral Çözünürlük (µm)	Konumsal Çözünürlük (m)
Bant 1 Mavi	0.441-0.514	30
Bant 2 Yeşil	0.519-0.601	30
Bant 3 Kırmızı	0.661-0.692	30
Bant 4 Yakın Kızılötesi	0.772-0.898	30

Landsat 8 Uydusunun Spektral Özellikleri		
Bant Numarası	Spektral Çözünürlük (µm)	Konumsal Çözünürlük (m)
Bant 2 Mavi	0.452-0.512	30
Bant 3 Yeşil	0.533-0.590	30
Bant 4 Kırmızı	0.636-0.673	30
Bant 5 Yakın Kızılötesi	0.851-0.879	30



Şekil 2: Landsat-7 ile 8 ve Sentinel-2 bantlarının karşılaştırılması (URL-2 2020)



Şekil 3: Satır hatası düzeltilmeden önceki hali (solda), satır hatası düzeltilmiş hali (sağda) verilmiştir

Tablo 1: Uydu görüntülerine ait özellikler

Yıl	Görüntü Tarihi	Uydu	Uydu Özelliği	İndirilen Site
2009	06/09/2009	Landsat	Landsat 7_TM	Earth Explorer
2011	05/09/2011	Landsat	Landsat 7_TM	Earth Explorer
2013	09/09/2013	Landsat	Landsat 8_TM	Earth Explorer
2015	08/09/2015	Landsat	Landsat 8_TM	Earth Explorer
	18/09/2015	Sentinel	Sentinel 2_2A	Copernicus
2017	20/09/2017	Landsat	Landsat 8_TM	Earth Explorer
	07/09/2017	Sentinel	Sentinel 2_2A	Copernicus
2019	10/09/2019	Landsat	Landsat 8_TM	Earth Explorer
	07/09/2019	Sentinel	Sentinel 2_2A	Copernicus

Pankeskinleştirme; uydu görüntülerinde bulunan düşük çözünürlüğe sahip renkli bantların yüksek çözünürlüklü pan bandı kullanılarak çözünürlüğünün artırılmasını sağlayan veri bütünleştirme (fusion) yöntemleridir (URL-5 2020). Çalışmada Landsat-7 ve Landsat-8 uydusu için görüntü keskinleştirme uygulanmıştır. Bu kapsamda Envi Programı ile Gram Schmidt Metodu kullanılmıştır.

Literatürde birçok çalışmada NDWI su alanlarını sınıflandırmak için kullanılmıştır, fakat son yıllarda yapılan çalışmalarda nesne bazlı sınıflandırma ve NDWI kullanarak daha yüksek doğruluk elde edildiğini ortaya çıkmıştır (Kaplan ve Avdan 2017). Burdur Gölü'nün sınırlarını çıkarmak için nesne bazlı sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırma yöntemi olarak NDWI değerlerine eşik tanımlanmıştır ve sıfırdan büyük NDWI değere sahip olan objeler, su sınıfına atanmıştır. Analizler için eCognition Programı kullanılmıştır. Nesne bazlı sınıflandırmanın ilk adımı, segmentasyon işlemidir. Çalışmada Çoklu Çözünürlüklü Segmentasyon yöntemi uygulanmıştır. Çalışmanın amacı, Burdur Gölü'nün sınırlarını belirlemek olduğu için çalışmada iki sınıf mevcuttur: su ve diğer alanlar. Çoklu çözünürlüklü segmentasyonda sulak alanı daha iyi belirlemek amacıyla yakın kızıl ötesi bandına, kırmızı, mavi ve yeşil banttan daha fazla ağırlık verilmiştir. Farklı parametreler deneyip Burdur Gölü'nün sınırlarını çıkarmak için en uygun değerler seçilmiştir. Bu çalışmada segmentasyon sırasında kullanılan parametreler Tablo 3'te verilmiştir, Şekil 4'te eCognition programı kullanılarak elde edilen Sentinel 2 uydusunun 2019 yılının eylül ayına ait segmentasyon figürü yer almaktadır. Segmentasyondan sonra NDWI değerleri kullanılıp sınıflandırma yapılmıştır. Burdur Gölü'nün sınırlarını çıkarmak için sıfırdan büyük değerler su sınıfına atanmıştır. NDWI'nin formülü aşağıda verilmiştir.

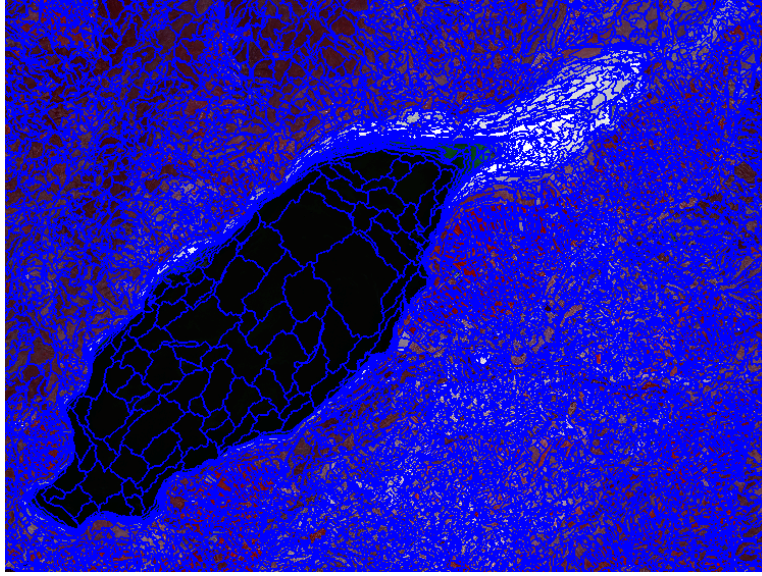
$$NDWI = \frac{Yeşil - YKÖ}{Yeşil + YKÖ} \quad (1)$$

NDWI değerleri hesaplamak için Landsat-7'nin ikinci ve dördüncü, Landsat-8'in üçüncü ve beşinci ve Sentinel-2'nin üçüncü ve sekizinci bantları kullanılmıştır.

Sonuçların doğruluğunu hesaplamak için çalışma alanının üzerinde, rastgele nokta yöntemi ile doğruluk analizleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında 2 sınıf sulak alan ve diğer alanlar yer aldığından her sınıfa 100'er adet olmak üzere toplamda 200 örnek noktası atılmıştır. Landsat verileri ile Sentinel eylül ayı verilerine doğruluk analizi yapılmıştır.

Tablo 3: Segmentasyon parametreleri

Bant ağırlıklar	Mavi: 1
	Yeşil: 1
	Kırmızı: 1
	Yakın kızıl ötesi: 2
Ölçek parametresi	100
Biçim parametresi	0.8
Yoğunluk parametresi	0.3



Şekil 4: Sentinel 2 uydusunun 2019 Eylül ayına ait görüntüsünün segmantasyon işlemi

3. Bulgular

Bu çalışmada Göller Yöresi bölgesinde, Isparta ile Burdur illeri arasında bulunan Burdur Gölü'nün on yıllık değişimi uzaktan algılama teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışma, farklı mekânsal çözünürlüklere sahip iki uydunun verileri ile elde edilen bulguları da karşılaştırma imkanı sağlamıştır.

Daha iyi sonuç alabilmek için, görüntü keskinleştirme yöntemiyle Landsat verilerinin çözünürlüğü 15 m'ye çıkarılmıştır. Görüntülerin detayları incelendiğinde kalitesinin arttığı görülmüştür. Böylece nesne tabanlı sınıflandırmaları, 15 m Landsat ve 10 m Sentinel-2'nin görüntüleri üzerinde yapılmıştır.

3.1. Analiz Bulguları

Çalışma kapsamında ilk olarak Landsat-7 ve 8 uydularına ait 2009, 2011, 2013, 2015, 2017, 2019 yıllarında, eylül ayında çekilmiş veriler değerlendirilmiştir. Daha sonra da daha yüksek çözünürlüğe sahip (10 m) Sentinel Uydusuna ait 2015, 2017, 2019 yıllarının eylül ayı görüntüleri kullanılmıştır. Son olarak mevsimsel değişim analizi için Sentinel Uydusuna ait 2017 ile 2019 yıllarının Nisan ve Mayıs ayı görüntülerinden Burdur Gölü alan değişimi incelenmiştir.

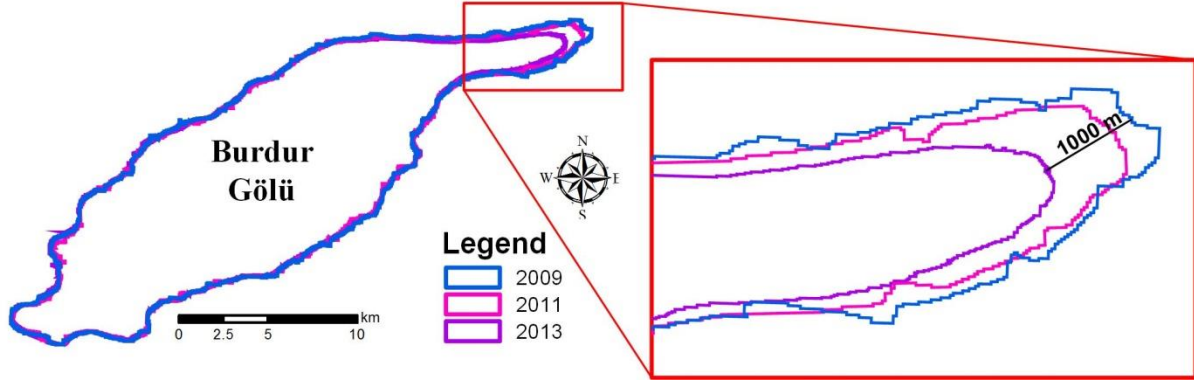
3.1.1. Landsat Bulguları

Landsat-7 görüntüleri ile 2009 ve 2011 yıllarının Eylül verileri, Landsat-8 görüntüleri ile de 2013 yılının Eylül ayı verisi elde edilmiştir. Daha önceden de bahsedildiği üzere görüntülerin çözünürlükleri görüntü keskinleştirme yöntemiyle 15m yükseltilmiştir.

Sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. 2009'da gölün alanı 142 km², 2011'de 139 km² ve 2013'te 136 km² olarak hesaplanmıştır (Tablo 4 ve Şekil 5). 2009-2013 yılları arasındaki yıllık değişim 1.5 km²'dir.

Tablo 4: 2009-2013 yıllarına ait alan verisi

Yıllar	Alan (km ²)
2009	142
2011	139
2013	136

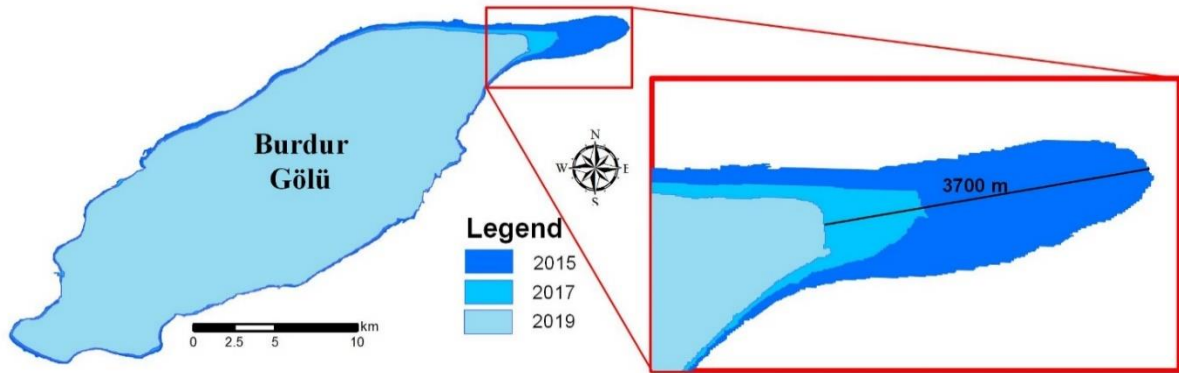


Şekil 5: Landsat – 7; 2009-2013 Eylül ayında gölün alansal değişimi

Landsat -8 görüntüleriyle 2019 ile 2017 yıllarının ve 2015 yılının Eylül ayı verileri elde edilmiştir. Gölün alanı, 2015'te 136 km², 2017'de 130 km², 2019'da da 126 km² olarak hesaplanmıştır. 2015-2019 yıllarının arasındaki değişim, 10 km²'dir. Sonuçlar Tablo 4 ve Şekil 6'da verilmiştir.

Tablo 2: 2015-2019 yıllarına göre göl alanları

Yıllar	Alan (km ²)
2015	136
2017	130
2019	126



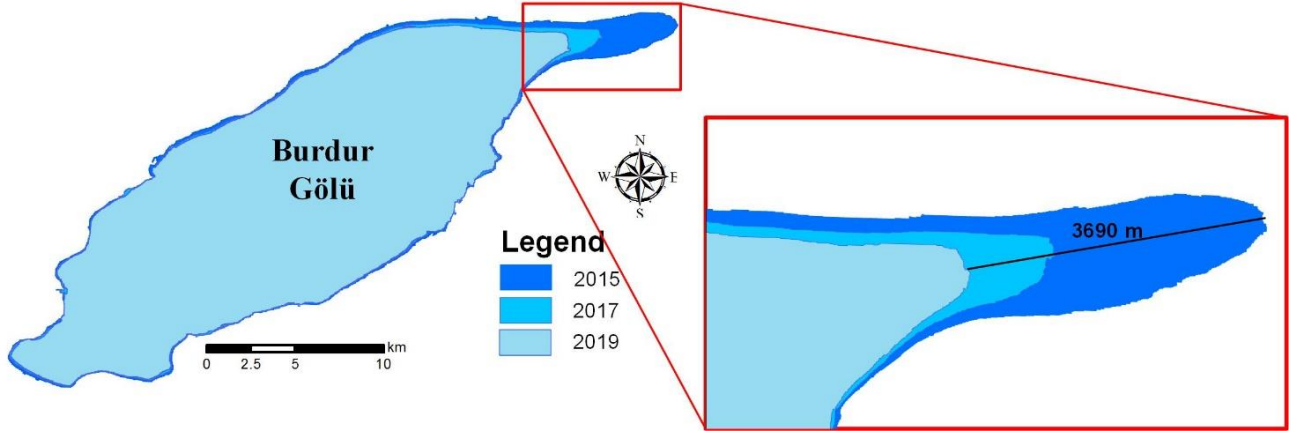
Şekil 6: Landsat – 8; 2015-2019 Eylül ayında gölün alansal değişimi.

3.1.2. Sentinel Bulguları

Sentinel-2 görüntüleri sonucunda elde edilen verilere göre, 2015-2019 yılları arasında su alanı 10 km² azalmıştır. Sonuçlar Tablo 5 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.

Tablo 3: 2015-2019 yıllarına göre göl alanları

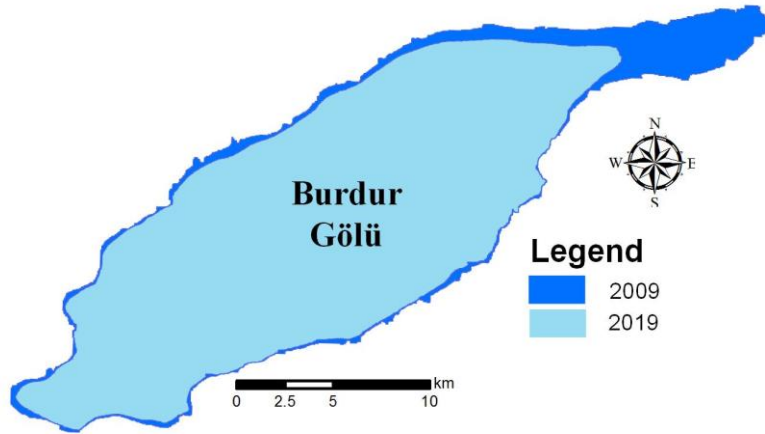
Yıllar	Alan (km ²)
2015	135
2017	129
2019	125



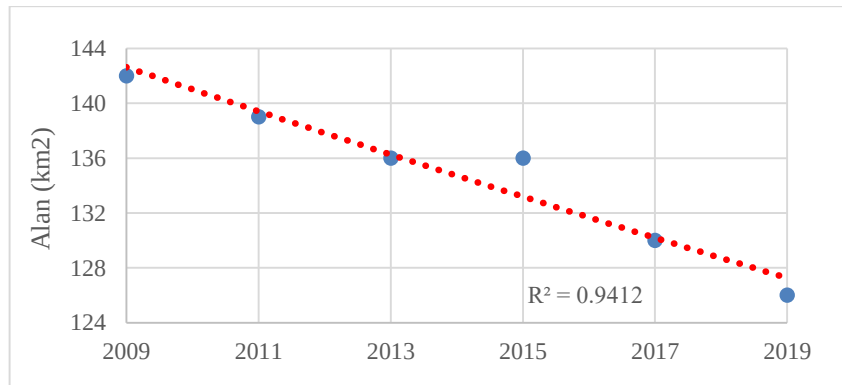
Şekil 7: Sentinel – 2 2015-2019 yılları Eylül ayında gölün alansal değişimi

3.1.3. Genel Değerlendirme

2009-2019 yılları arasındaki Landsat eylül ayı verileri toplu olarak değerlendirilmiştir (Şekil 8). Göl, toplamda 16 km²'lik bir azalış göstermiştir. Fakat bu azalış, düzenli bir şekilde olmamıştır. 2009-2013 yılları arasında yıllık ortalama 1.5 km²'lik bir azalış söz konusuyken 2013 ile 2015 yıllarında bir azalış görülmemektedir. Buna karşın 2015-2017 yılları arasında 6km²'lik bir azalış görülmüştür. 2017-2019 yıllarında, yine ortalama 1.5 km²'lik bir azalış söz konusudur. Şekil 9'da alansal değişimin yıllara bağlı korelasyonu gösterilmiştir. Korelasyon, su miktarındaki yıllık değişimin doğrusal olarak azaldığını göstermektedir.



Şekil 8: 2009-2019 Eylül ayı gölün alansal değişimi



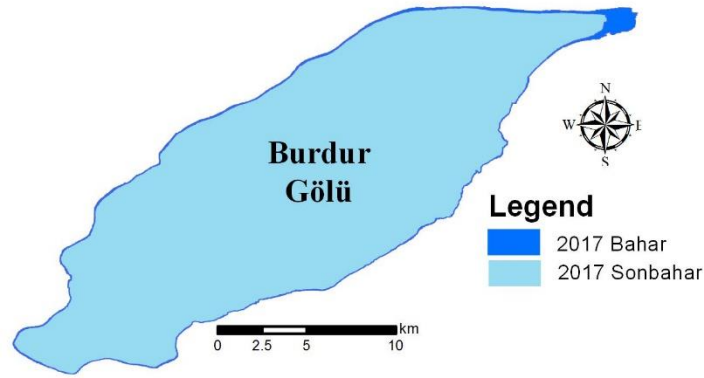
Şekil 9: Alansal değişimin korelasyonu

3.1.4. Mevsimsel Değişim

10 m çözünürlüğe sahip Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak 2017 ve 2019 yılları için, mevsimsel ve kurak dönemlerdeki farklar üzerine çalışılmıştır. Her iki yılda da bahar (nisan-mayıs) ve sonbahar (eylül) mevsimlerinin arasındaki değişim, 2 km² olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar Tablo 6 ve Şekil 10'de verilmiştir.

Tablo 4: 2017-2019 yıllarına göre mevsimsel değişim

Yıllar	Bahar (km ²)	Sonbahar (km ²)
2019	127	125
2017	131	129

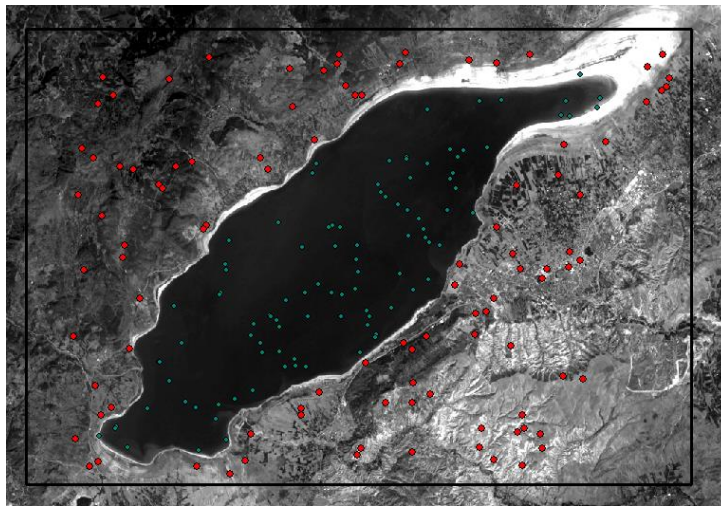


Şekil 10: 2017 yılı Burdur Gölü'nün mevsimsel alansal değişimi

3.2. Doğruluk Analizi

Çalışma kapsamında 2 sınıf sulak alan ve diğerleri mevcut olduğundan her sınıfa 100'er adet olmak üzere toplamda 200 örnek noktası atılmıştır (Banko 1998). Noktalar çalışma alanı üzerinde rastgele bir şekilde dağıtılmıştır (Şekil 11). Doğruluk analizi, Landsat verileri ve Sentinel Eylül ayı verilerine göre yapılmıştır.

2009-2019 yıllarının Eylül ayı verileri için doğruluk analizleri yapılmıştır. En düşük doğruluk, 2011 yılına ait olup %89'dur. En yüksek doğruluk sonucu ise 2019 yılına ait olup %95'dir. Doğruluk analizlerinin sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.



Şekil 11: Doğruluk Analizi için çalışma alanına ait rastgele seçilen noktalar

Tablo 7: Landsat doğruluk analizi matrisleri

Landsat - 7 / 2009 Referans veri					Landsat - 8 / 2015 Referans veri				
Su	Su	Diğer	Toplam		Su	Su	Diğer	Toplam	
	89	11	100	0.89		95	5	100	0.95
Diğer	10	90	100	0.90	Diğer	12	88	100	0.88
Toplam	99	101	200		Toplam	107	93	200	
	0.90	0.89		0.90		0.89	0.95		0.92
Landsat - 7 / 2011 Referans veri					Landsat - 8 / 2017 Referans veri				
Su	Su	Diğer	Toplam		Su	Su	Diğer	Toplam	
	86	14	100	0.86		93	7	100	0.93
Diğer	9	91	100	0.91	Diğer	9	91	100	0.91
Toplam	95	105	200		Toplam	102	98	200	
	0.91	0.87		0.89		0.91	0.93		0.92
Landsat - 7 / 2013 Referans veri					Landsat - 8 / 2019 Referans veri				
Su	Su	Diğer	Toplam		Su	Su	Diğer	Toplam	
	94	6	100	0.94		97	3	100	0.97
Diğer	10	90	100	0.90	Diğer	6	94	100	0.94
Toplam	104	96	200		Toplam	103	97	200	
	0.90	0.94		0.92		0.94	0.97		0.96

2015 – 2019 yılları Sentinel-2 görüntülerinden, eylül ayı verileri için doğruluk analizi yapılmıştır. En düşük doğruluk, 2015 yılına ait olup %94'tür. En yüksek doğruluk sonucu ise 2019 yılına ait olup %96'dır. Her iki uydu görüntüsü karşılaştırıldığında Sentinel-2 Uydusuna ait görüntülerin daha yüksek doğruluk değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeni de Sentinel-2 uydusunun 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip olmasıdır. Buna karşılık çalışma kapsamında Landsat uydu görüntülerinin de görüntü keskinleştirme metoduyla mekânsal çözünürlükleri 15 m yükseltilmiştir. Tablo 8'de Sentinel-2 uydu görüntülerinden yapılan sınıflandırmanın doğruluk analizi verilmiştir.

Tablo 8: Sentinel-2 doğruluk analizi matrisleri

Sentinel - 2 / 2015 Referans veri				
	Su	Diğer	Toplam	
Su	95	5	100	0.95
Diğer	6	94	100	0.94
Toplam	101	99	200	
	0.94	0.95		0.95
Sentinel - 2 / 2017 Referans veri				
	Su	Diğer	Toplam	
Su	93	7	100	0.93
Diğer	3	97	100	0.97
Toplam	96	104	200	
	0.97	0.93		0.95
Sentinel - 2 / 2019 Referans veri				
	Su	Diğer	Toplam	
Su	95	5	100	0.95
Diğer	4	96	100	0.96
Toplam	99	101	200	
	0.96	0.95		0.96

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada; hem Burdur gölündeki değişimleri değerlendirip hem de farklı uydu görüntülerin su sınıflandırmada değerlendirilmiştir. Çalışmada Göller Yöresi bölgesinde, Isparta ile Burdur illeri arasında bulunan Burdur Gölü'nün on yıllık değişimi, uzaktan algılama teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada Landsat-7, Landsat-8 ve Sentinel-2 uydu görüntülerine obje bazlı sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırmada, literatürde de sık kullanılan, NDWI kullanılmıştır. Kullanılan görüntüler eylül ayına aittir. Ek olarak mevsimsel değişim analizi için 2017 ve 2019 yıllarının Nisan ve Mayıs aylarına ait Landsat uydusundan daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır.

Daha önce birçok çalışmada kullanılan NDWI analiz ve obje bazlı kontrollü sınıflama, Burdur Gölü için de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre göl, 2009-2019 yılları arasında alansal olarak küçülmeye devam etmiştir. Göl, 2009-2013 yılları arasında yıllık 1.5 km² küçülürken 2015-2019 yılları arasında ortalama yıllık 3 km² küçülmüştür. Mevsimsel olarak incelendiğinde ise ortalama 2 km²'lik bir değişim söz konusudur.

Farklı mekânsal çözünürlüklere sahip iki uydu için doğruluk analizi sonuçları farklılık göstermektedir. Landsat uydu görüntülerinde doğruluk analizi sonuçları % 89-95 arasında değişmektedir. Sentinel uydu görüntülerinde doğruluk analizi sonuçları % 94-96 arasında değişmektedir. Genel olarak doğruluk analizi %90 ve üzerinde olup; Landsat uydu görüntüleri için uygulanan pankeskinleştirme sonucu artan mekânsal çözünürlük doğruluk değerlerini de arttırmıştır. Mekânsal çözünürlük arttıkça doğruluk değerleri de artmaktadır.

2012 yılına ait Burdur Gölü raporu verilerine göre 1970 yılında gölün alanı 274 km² iken 2012 yılında 149 km² olarak hesaplanmıştır. Göl, 42 yılda 125 km² küçülmüştür. 42 yıl için yıllık değişim miktarı ise 2.9 km²'dir. Temiz vd. (2017)'ye göre göl, 1985-2015 yılları arasında 70 km² küçülmüştür. Yıllık değişim miktarı ise 2,3 km²'dir. Gölün alanı ise son 10 yılda yıllık ortalama 1,6 km² azalmıştır. Daha önce elde edilen veriler ve elde ettiğimiz veriler birlikte incelendiğinde, gölün azalım trendinin değişim gösterdiği görülmektedir. Genel trendde yıllık değişim 2.5 km² alınırsa ve bu trend devam ederse gölü besleyen parametrelerde bir artış, değişim söz konusu olmaz ise genel anlamda 2070 yılında göl tamamen kuruyabilir. Gölün su seviyesindeki farklılığın sadece mevsimsel değişimler sonucu olmadığı açıktır. Daha önceki çalışmalarda da belirtildiği üzere gölü besleyen suların akışının değiştirilmesi artan antropojenik etkilerden de kaynaklanmaktadır. Göl alanının azalması fakat buharlaşmanın sabit olması dolayısıyla da gölün su kalitesinin düşeceği (artan tuzluluk oranı) bilinmektedir.

Daha sonraki çalışmalarda bölgedeki tarım alanları nesne tabanlı sınıflama ile belirlenip bu alanlardaki tarım ürünlerinin su ihtiyacı saptandığında mevsimsel bazlı değişimin nedeni ortaya konulabilir. Bunlara ek olarak gölü besleyen akarsuların hidrolojik özellikleri UA ve CBS yöntemleri ile belirlenerek göl için detaylı bir modelleme yapılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Eskişehir Teknik Üniversitesi'nde yürütülen Uzaktan Algılamada Özel Konular dersi kapsamında yapılmıştır. Değerli yorumları ve katkıları için Majid Aghlmand ve Mohammad Asef Mobariz'e teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Acharya T.D., Subedi A., Lee D.H., (2019), *Evaluation of machine learning algorithms for surface water extraction in a Landsat 8 scene of Nepal*, Sensors, 19(12), 2769, doi: 10.3390/s19122769.
- Aksoy T., Sarı S., Çabuk A., (2019), *Sulak alanların yönetimi kapsamında su indeksinin uzaktan algılama ile tespiti, Göller Yöresi*, GSI Journals Serie B: Advancements in Business and Economics, 2(1), 35-48.
- Anderson M., Gao F., Knipper K., Hain C., Dulaney W., Baldocchi D., Eichelmann E., Hemes K., Yang Y., Medellin-Azuara J., (2018), *Field-scale assessment of land and water use change over the California Delta using remote sensing*, Remote Sensing, 10(6), 889, doi: 10.3390/rs10060889.
- Ataol M., (2010), *Burdur Gölü'nde seviye değişimleri (The water level changings in Burdur Lake)*, Turkish Journal of Geographical Sciences, 8(1), 77-92.
- Banko G., (1998), A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data and of methods including remote sensing data in forest inventory, IIASA Interim Report. IIASA, Laxenburg, Austria.
- Emanuel R.E., (2018), *Climate change in the Lumbee River watershed and potential impacts on the Lumbee tribe of North Carolina*, Journal of Contemporary Water Research & Education, 163(1), 79-93.
- Giardino C., Bresciani M., Villa P., Martinelli A., (2010), *Application of remote sensing in water resource management: the case study of Lake Trasimeno, Italy*, Water Resources Management, 24(14), 3885-3899.
- Kaplan G., Avdan U., (2017), *Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery*, European Journal of Remote Sensing, 50(1), 137-143.
- Kaplan G., Avdan Z.Y., Avdan U., Jovanovska T., (2019), *Uzaktan algılama teknikleriyle uluslararası suların izlenmesi: Dojran Gölü örneği*, International Disaster and Resilience Congress, Eskişehir, Turkey, ss. 413-418.
- Kaya L.G., Yücedağ C., Duruşkan Ö., (2015), *Burdur Gölü havzasının çevresel açıdan irdelenmesi*, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(1), 6-10.

- Kwang C., Jnr E.M.O., Amoah A.S., (2018), *Comparing of landsat 8 and sentinel 2A using water extraction indexes over Volta River*, Journal of Geography and Geology, 10(1), 1-7.
- Sarp G., Ozcelik M., (2017), *Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey*, Journal of Taibah University for Science, 11(3), 381-391.
- Temiz F, Durduran S.S., (2016), *Monitoring coastline change using remote sensing and GIS technology: a case study of Acıgöl Lake, Turkey*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 44(4), 042033, doi:10.1088/1755-1315/44/4/042033.
- URL-1, (2020), *Landsat 7*, Vikipedi Özgür Ansiklopedi, https://tr.wikipedia.org/wiki/Landsat_7, [Erişim 01 Mayıs 2020].
- URL-2, (2020), *Comparison of Landsat 7 and 8 bands with Sentinel-2*, <https://www.usgs.gov/media/images/comparison-landsat-7-and-8-bands-sentinel-2>, [Erişim 01 Mayıs 2020].
- URL-3, (2020), *Sentinel online*, The European Space Agency, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>, [Erişim 01 Mayıs 2020].
- URL-4, (2020), *U.S. Geological Survey*, <https://www.usgs.gov/>, [Erişim 01 Mayıs 2020].
- URL-5, (2020), *Pan keskinleştirme*, <https://www.gezgin.gov.tr/pansharp/>, [Erişim 10 Ağustos 2020].
- Yang X., Zhao S., Qin X., Zhao N., Liang L., (2017), *Mapping of urban surface water bodies from Sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening*, Remote Sensing, 9(6), 596, doi: 10.3390/rs9060596.
- Yiğitbaşıoğlu H., Uğur A., (2010), *Burdur Gölü havzasında arazi kullanım özelliklerinden kaynaklanan çevre sorunları*, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 2(2), 129-143.

Trafik Kaynaklı Ağır Metal Kirliliklerinin İzlenmesinde Zeytin Ağacının (*Olea europaea* L.) Biyomonitör Olarak Değerlendirilmesi: Artvin Örneği

Mustafa Umut Konanç^{1,*} 

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, 08100, Artvin.

Özet

Bu çalışmada trafik yoğunluğundan kaynaklanan ağır metal konsantrasyonunun izlenmesinde zeytin ağacının (*Olea europaea* L.) biyomonitör olarak kullanılma potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla Artvin ili kent merkezinde trafik yoğunluğunun farklı olduğu altı farklı istasyondan toplanan toprak, yaprak, meyve ve kabuk örneklerindeki % kükürt miktarı, elementel analiz cihazı ile Cr, Ti, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Pb ve Al içerikleri ise ICP-OES ile belirlenmiştir. Analiz ölçümlerinin doğruluğu toprak örnekleri için LGC 6187 ve bitki örnekleri için ERM-CD 281 standart referans madde kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarındaki farklılıklar ise ANOVA testi kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; toprak, yaprak, meyve ve kabukta yüzdesel olarak en yüksek kükürt değeri trafik yoğunluğunun en fazla olduğu noktalarda tespit edilmiştir. Bitki ve toprak örneklerindeki Cr, Ti, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Pb ve Al elementleri için ağır metal konsantrasyonları yapılan diğer çalışmalar ve yönetmeliklerle karşılaştırılmış ve tüm metallerin sınır değerler içerisinde bulunduğu gözlenmiştir. Yapılan istatistiksel çalışmalarda; noktalar arasında %95 güven düzeyinde anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir. Ayrıca trafiğin yoğun olduğu alanlardan uzaklaştıkça toprak, yaprak, meyve ve kabuğun metal konsantrasyonlarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu durum zeytinin trafik kaynaklı kirliliğin belirlenmesinde biyomonitör olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Sözcükler

Ağır Metal, Biyomonitörler, Zeytin Ağacı, Çevre Kirliliği

Evaluation of Olive Tree (*Olea europaea* L.) as A Biomonitor for Monitoring of Heavy Metal Pollution Caused by Traffic: Example of Artvin

Abstract

In this study, the potential of using olive tree (*Olea europaea* L.) as a biomonitor was investigated in monitoring heavy metal concentrations caused by traffic density. For this reason, in soil, leaf, fruit and shell samples collected from regions where traffic density is different in the city center of Artvin province, Sulfur content (%) was determined by elemental analyzer and heavy metals (Cr, Ti, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Pb and Al) was determined by ICP-OES. The accuracy of the assay measurements was tested using LGC 6187 for soil samples and ERM-CD 281 for plant samples. The differences in the measurement results obtained were determined using the ANOVA test. According to the results obtained; the highest sulfur value in soil, leaves, fruit and bark was determined at the points with the highest traffic density. Heavy metal concentrations for Cr, Ti, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Pb and Al elements in plant and soil samples were compared with other studies and regulations, and all metals were found to be within the limit values. In statistical studies, it has been determined that there is a significant difference between points at 95% confidence level. In addition, it has been found that metal concentrations of soil, leaves, fruits and bark decrease as they move away from traffic areas. This is an indication that olives can be used as biomonitors in detecting traffic pollution.

Keywords

Heavy Metal, Biomonitors, Olive Tree, Environmental Pollution

1. Giriş

Dünyada hızla artan dünya nüfusu ile birlikte endüstri ve sanayileşmeye olan talep artmakta; ekosistemde yer alan doğal kaynakların hızlı ve bilinçsizce tüketiminin bir sonucu olarak yaşamsal kaynaklar günden güne azalmaktadır. Ekosistem üzerinde yaşamsal faaliyetlerin sürdürülebilir olması için üç temel bileşenden hava, su ve toprağın kontrolsüz ve yanlış kullanımı sonucunda çevresel problemler karşımıza çıkmakta ve yaşamsal alanlar her geçen gün sınırlandırılmaktadır. İnsan kaynaklı bu çevresel problemlerin temelinde; plansız kentleşme, hızlı sanayileşme, organik ve inorganik kaynaklı atıklar ve bilinçsizce kullanılan tarımsal ilaçlar gibi birçok etken sayılabilir (Sayılı ve Akman 1994). Bu etkenlerin kontrolsüz kullanımının doğaya yansması su, hava ve toprak kirliliği olarak karşımıza çıkmaktadır.

Toprak kirliliği; toprağın sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin geri dönüşümsüz olarak yitirilmesi olarak ifade edilebilir (Karaca ve Turgay 2012). Su kirliliği; su kaynaklarının, fiziksel, kimyasal, bakteriyel ve radyolojik açıdan belirlenen sınır değerleri aşması ve artan konsantrasyonlara bağlı olarak ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişimi olarak tanımlanmaktadır (Yanık ve Atamanalp 2001). Hava kirliliği; atmosferde azot oksitlerin (NO_x), kükürt dioksitlerin (SO_2), partikül maddelerin (PM) ve karbon türevlerinin belirlenen sınır değerini üzerinde derişim göstermesi şeklinde ifade edilebilir (Bayram vd.2006).

Toprak, su ve havanın kontrolsüzce kirlenmesi sonucu doğal yapısının kısmen ve tamamen değişmesine yol açan birçok kirlenici unsur bulunmaktadır. Bu kirlenici unsurlardan çoğunlukla eser miktarda bulunan ve kimyasal kirlilik olarak adlandırılan gruplar arasında ağır metaller önemli bir yer tutmaktadır (Mater 1998).

Ağır metaller genel olarak, periyodik tabloda atom ağırlıkları bakımından 63,546 ile bakır elementinden başlayan ve 200,590 atom ağırlığı ile civa elementi ile sonlanan; özgül ağırlıkları 4 g/cm^3 'den büyük olan elementler olarak adlandırılır (Altın 2002). Bu metallerin ekosfere yayılımında; endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtlar, madensel faaliyetler, tarımsal ilaçlamalar ve kentsel atıklar gibi birçok kaynak yer almaktadır (Stresty ve Rao 1999). Biyosferde etkin olarak yer alan bu eser elementlerin biyolojik proseslere katılımı ise gereklilik ve toksik olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Canlı organizmada belli konsantrasyonlarda bulunan ve organizmanın temel yapı taşları arasında yer alan ağır metaller olduğu gibi, besinler yoluyla alınabilen ve canlı organizmada toksik etki gösteren ağır metallerde mevcuttur. Örneğin bakır canlı organizmalarda oksidasyon, redoksasyon ve kırmızı kan hücrelerinin oluşumunda yer alırken, eser düzeyde civa kükürtlü enzimlerle bağlanarak beyinden, böbreklere kadar birçok organa zarar verebilir (Bingham vd. 2001). Ağır metal kaynaklı kirlenmelerin canlı ekosisteme katılımında endüstriyel gelişmelere bağlı olarak motorlu taşıt kirliliği önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle insan kaynaklı popülasyonun yüksek olduğu şehirlerde motorlu taşıt sayısı günden güne artmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK 2019) verilerine göre Türkiye'de toplam motorlu taşıt sayısı 23,156,975 olarak hesaplanmıştır. Yine TÜİK Trabzon Bölge Müdürlüğü'nün 2019 Haziran verileri incelendiğinde Artvin için toplam araç sayısı 388,874 olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum 2018 yılı verileriyle kıyaslandığında %1.7 oranında bir artış gözlenmiştir. Özellikle yaz aylarında artan nüfusa paralel olarak ağır metal kirliliğinde Ti, Pb, Cd, Ni, Cr, Cu ve Zn gibi eser elementler düşük konsantrasyonlarda yayılım göstermektedir. Bu düşük konsantrasyonlardaki metal iyonlarının canlı organizmada zamanla birikimi ile sınır değerler aşılmakta ve toksik etkiler karşımıza çıkmaktadır. Bu toksik etkilerin atmosferdeki değişiminin takibinde günümüzde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de biyomonitör ile ağır metal birikimin takibidir. Biyomonitör olarak kullanılan bitkiler; toprak ve havadaki ağır metallerin bir kısımlarını bünyelerine absorbe ederek ekosistem zinciri üzerinden canlı organizmalara kadar metal taşınımı sağlayabilmektedir. Bu metal absorpsiyonu toprakta artan konsantrasyonlara bağlı olarak köklerde olabildiği gibi bitkinin diğer organelleri olan yapraklarda, meyve ve çiçeklerde de görülebilmektedir (Bondada vd. 2004). Biyomonitör olarak kullanılan türler arasında mantarlar, likenler, yosunlar, yıllık bitkiler ve yüksek yapılı çok yıllık ağaca kadar birçok tür yer almaktadır (Barnes vd. 1976) Bu türler arasında özellikle kentsel alanlar ve otoyol kenarlarında biyomonitör olarak kullanılan bitkileri için genel tercih her daim yeşil kalan ve çok yıllık bitki türleridir. Bu çok yıllık bitki türleri arasında bölgenin coğrafi konumu ve bitki florası göz önüne alındığında biyomonitör olarak bölgede geniş bir yayılım alanına sahip olan zeytin tercih edilmiştir.

Zeytin, Oleaceae familyasından gelmektedir. Bu familya içerisinde birçok tür yer almaktadır. Bu türler dünyada 27 çeşit; takson olarak ise 600 civarında yayılıma sahiptir Türkiye içerisinde yayılış alanı; coğrafi özellikler ve optimum iklim şartlarına bağlı olarak %57.3 Ege Bölgesi, %26.5 Akdeniz Bölgesi, %11.1 Marmara Bölgesi, %4.7 Güneydoğu Anadolu Bölgesi, %0.4 Karadeniz bölgesi olarak sıralanmaktadır (Efe vd. 2009). Karadeniz bölgesinde toplam zeytin ağacı 390.000 civarında olup Artvin, Trabzon, Samsun ve Sinop'ta sadece lokal alanlarda ürün yetiştirilmektedir. Bu yetiştirilen ürünlerin %77 ise küçük aile işletmelerinde sofralık zeytin üretiminde kullanılmaktadır. Çalışmanın yapıldığı Artvin ilinde toplam 4,240 dekar alanda zeytin tarımı yapılmakta ve 1426 ton zeytin ve 70 ton zeytinyağı üretimi gerçekleştirilmektedir. Ancak Deriner Barajının faaliyete girmesi ile tarımsal hasat alanı 1000 dekar civarlarına kadar düşüş göstermiştir.

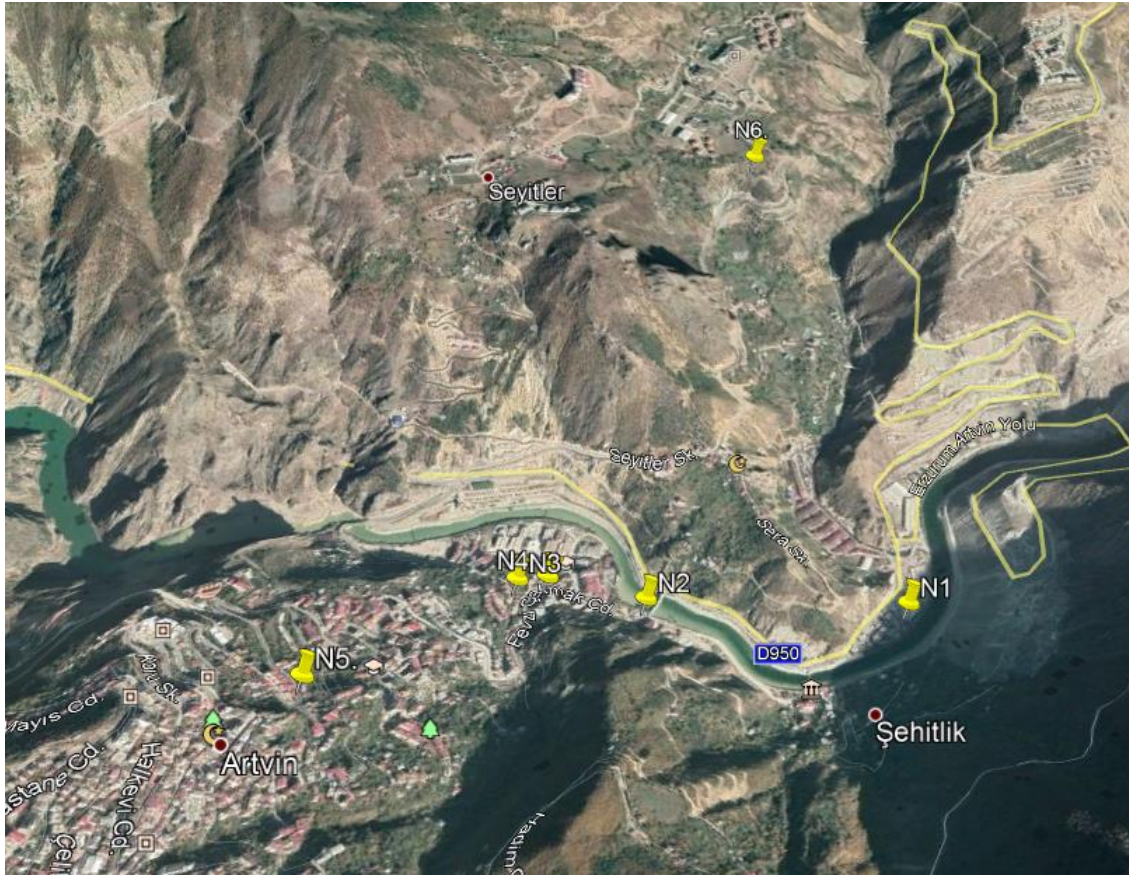
Besin içeriği bakımından zeytinin kimyasal bileşenlerine bakıldığında önemli bir kısmı su ve yağdan oluşmakta birlikte protein, selüloz, şeker, mineral maddeler, hidrokarbonlar ve fenolik bileşenler temel yapı içerisinde yer almaktadır. Özellikle kimyasal kompozisyon içerisinde yer alan ve eser miktarda olmasına karşın antioksidan özellik gösteren fenolik bileşenler oksidatif stabilite ve besin değeri açısından önemli bir yer tutmaktadır (Kirstakis 1998). Zeytin ağacı temelde meyvenin direk olarak tüketimi veya zeytinyağı üretiminde hammadde kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte zeytinyağı üretiminde zeytin keki (Prina), karasu, ince dallar ve yapraklar gibi yan ürünlerde büyük miktarda oluşmaktadır. Dolayısıyla zeytin yaprağı zeytinin toplanmasında, budanmasında ve yağ olarak işleme basamaklarında toplam zeytin ağırlığının %10 kadarlık kısmı olarak ortaya çıkmaktadır. Zeytin yapraklarının yapısında bulunan fenolik bileşenlerin (oleuropein, verbaskosin, ligrosin gibi fenolik glikozitler ile flavonoidler, flavonol glikozitleri, antosiyaninler ve glikozitleri, fenolik asitler) antioksidan, antifungal ve antibakteriyel özelliklere sahip olması gıda ürünlerde aktif olarak kullanılabilme imkanı ortaya çıkarmaktadır (Ferreire vd. 2007; Keçeli vd. 2002). Bu kapsamda yapılan çalışmada; Artvin ili merkez ilçede coğrafi yayılış gösteren zeytin (*Olea europaea* L.)'in trafik kaynaklı kirliliğinin tespitinde biyomonitör olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu kapsamda trafik akışının yoğun olduğu beş farklı istasyon noktası ve trafik kaynaklı kirlilikten uzak bir kontrol noktasından alınan zeytin (*Olea europaea L.*) bitkisinin toprak, yaprak, meyve ve kabuk kısımlarındaki Cr, Ti, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Al ve Mn konsantrasyonları ICP-OES ile ölçülmüş ve çıktılar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi ve Numunelerin Toplanması

Çalışma alanının belirlenmesinde bölgenin coğrafi konumunda yayılım gösteren ve ekonomik bir değere sahip olan zeytin (*Olea europaea L.*) bitkisinin meyvelerinin gıda kaynaklı tüketim için kullanılması, çok yıllık bir bitki olması ve her mevsim yeşil kalması avantajları dikkate alınarak biyomonitör olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla Şekil 1’de görüldüğü üzere Artvin ili merkez ilçesinde ana artel üzerinde bulunan ve trafik yoğunluğunun fazla olduğu 5 istasyon ölçüm noktası olarak seçilmiştir. Ayrıca numunelerin trafik kaynaklı kirliliklerinin etkilerinin en az olduğu bir istasyon kontrol noktası olarak belirlenmiştir. Eylül 2019 yılında GPS konumları Tablo 1’de verilmiş olan 6 istasyon üzerindeki zeytin bitkisi için odaklanmış örneklem yöntemi kullanılmış ve rastgele örneklem yöntemi ile toprakların 5 farklı noktasından (0-10 cm derinlikten) kompozit örneklem yapılmıştır. Aynı bitkilerin 6 istasyonundan zeytin yaprakları ve meyve örnekleri rastgele örneklem modeli kullanılarak alınmış ve tüm örnekler steril kilitli poşetlere aktararak aynı gün içerisinde laboratuvara taşınmıştır (Aksoy vd. 1999).



Şekil 1: Artvin ili yol ağı ve örneklem noktaları

Tablo 1: Örnek istasyonların coğrafi konumları

İstasyon numarası	Coğrafi konum (enlem, boylam)
N1	41° 10.660'N - 41° 50.601'E
N2	41° 10.881'N - 41° 50.110'E
N3	41° 11.014'N - 41° 49.885'E
N4	41° 10.997'N - 41° 49.946'E
N5	41° 10.931'N - 41° 49.409'E
N6	41° 11.600'N - 41° 50.893'E

2.2. Bitki ve Toprak Örneklerinin Hazırlanması

6 ölçüm istasyonundan laboratuvara getirilen toprak örnekleri kurutma kâğıdı üzerine konularak bir hafta boyunca oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Hava kurusu oluncaya kadar bekletilen örnekler 2mm'lik eleklerden elenerek homojen hale getirilmiş ve kilitli poşetlere alınarak ölçüm için hazır hale getirilmiştir (Massaquoi vd. 2015). Farklı istasyon noktalarından toplanan zeytin örneklerine ait yaprak ve meyve kısımları üç kez musluk suyu ile ardından saf su ile yıkanarak üzerindeki toz ve partiküllerden arındırılmıştır. Ardından örneklerin meyve kısımları ve iç kabukları ayrılarak petri kaplarına alınmış ve tüm numuneler 45 °C'de 1 hafta boyunca kurutulmuştur. Sabit tartıma gelen bitki ve meyve örnekleri bitki öğütücüsüne; kabuk kısımları ise kırılıp havanda dövülerek homojen hale getirilmiş ve kilitli poşetlere aktarılmıştır (Pınar 2019).

2.3. Kimyasal Analiz

Tüm istasyonlardan toplanan örneklerin numune türüne bağlı olarak pH, iletkenlik, elementel analiz ve ağır metal analizleri yapılarak kimyasal karakterizasyonları değerlendirilmiştir. Bu amaçla her bir istasyondan alınan toprak numunelerinden hassas terazide 10 g tartılarak bir erlene aktarılmış ve üzerine 25 mL saf su eklenerek çalkalayıcıda 105 rpm'de 30 dakika karıştırılmıştır. Karıştırılan örneklerden 15 mL'lik falkon tüplere dekantasyon yapılarak pH ve iletkenlik değerleri belirlenmiştir. pH değerinin belirlenmesinin ardından bitki, meyve, kabuk ve toprak örneklerinin % kükürt değerleri elementel analiz cihazında ölçülmüştür. Bu amaçla toprak örneklerinden 200 mg hassas terazide tartılarak kalay kapsüllere alınmış ve üzerine inorganik safsızlıkları gidermek amacıyla 200 mg tungusten altı oksit (WO₃) eklenerek elementel analiz cihazına yerleştirilmiştir. Ardından tüm örnekler 1150 derecede yakılarak toplam % S içerikleri belirlenmiştir. Yaprak, meyve ve kabuk örnekleri için ise aynı prosedür 100 mg örnek ve 100 mg tungusten altı oksit (WO₃) kullanılarak tekrarlanmıştır.

İstasyon noktalarında trafik kaynaklı ağır metal türleri arasından seçilen Cr, Ti, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Al ve Mn elementlerinin eser düzeydeki derişimlerini belirlemek amacıyla tüm örnekler mikrodalga ile yakma prosedürü uygulanmış ve gerekli seyrelmelerin yapılmasının ardından örneklerdeki metal konsantrasyonları PerkinElmer Optima 8000 ICP-OES cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla ön hazırlık işlemi tamamlanmış olan her bir istasyona ait toprak numunesinden hassas terazide 0,5 g tartılarak teflon kaplara konulmuş ve üzerine 9 mL HNO₃ ve 3 mL HCl asit karışımı eklenerek mikrodalgaya yerleştirilmiştir. 2007 yılında yayınlanan (EPA 2007) mikrodalga yakma prosedürüne göre örnekler 175±5°C'de 5,5 dakika; 180±5 °C'de 4.5 dakika bekletilmiş ve oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Ardından tüm örnekler süzgeç kağıdında süzülerek son hacimleri 50 mL'ye tamamlanmıştır. Farklı istasyonlardan alınan yaprak, meyve ve kabuk örneklerinde ağır metal konsantrasyonları belirlenmesi için; homojen hale getirilen her bir örnekten hassas terazide 0,3 gram tartılarak teflon kaplara aktarılmış üzerine 2 mL HNO₃ ve 3 mL H₂O₂ eklenerek çeker ocakta 20 dakika bekletilmiştir. Ardından örnekler mikrodalga yakma ünitesinde 145±5°C'de 5,5 dakika 180±5 °C'de 10 dakika bekletilmiş ve oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Ardından tüm örnekler süzgeç kağıdında süzülerek son hacimleri 50 mL'ye tamamlanmıştır. Ön işlemleri tamamlanan tüm örnekler 0,45 µ şırınga filtre sisteminden geçirilerek ICP-OES ile analiz için hazır hale getirilmiştir. Bitki ve toprak örneklerindeki numunelerin ağır metal konsantrasyonları belirlemek amacıyla Cr, Ti, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Al ve Mn elementlerinin 1000 mg/L'lik ana stoklarından 0.02 mg/L ile 5 mg/L arasında 5 noktada kalibrasyon grafikleri çizilmiştir. Kalibrasyon grafiklerinden yararlanılarak tüm örneklerin metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca numune kaynaklı matriks girişimini en aza düşürmek amacıyla tüm örnekler iç standart katma yöntemi ile 1 mg/L düzeyinde Yttrium (Y) elementi katılarak örneklerin matriks etkisinden uzaklaştırılması sağlanmıştır.

Yapılan çalışmalarda analitik yöntemin doğruluğunu test etmek amacıyla toprak numuneleri için sertifikalı standart referans materyaller kullanılarak iz elementlerin metal konsantrasyonları ölçülerek geri kazanım değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla toprak örneklerinde standart referans materyal LGC 6187 ve bitkide standart referans materyal ERM CD 281 kullanılmıştır.

Örneklerden elde edilen tüm veriler SPSS 19 yazılım programı kullanılarak varyans analiz (tek yönlü anova) testi ile değerlendirilmiştir. Ölçümü yapılan örneklerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-wilk testi, varyansların homojenliği Levene testi ile kontrol edildikten sonra %95 güven seviyesinde gruplar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile ortaya konmuştur.

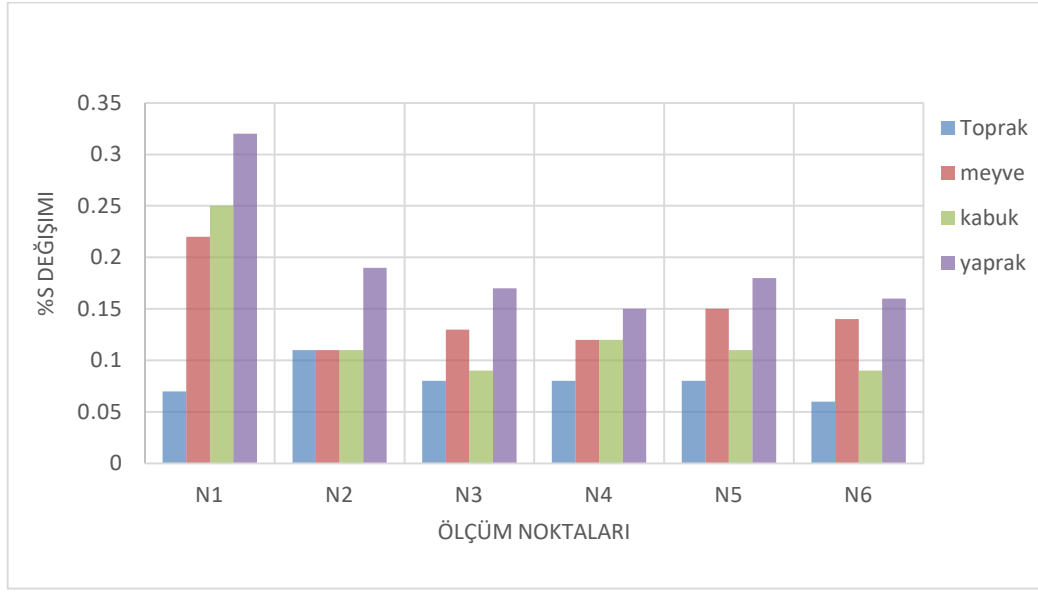
3. Bulgular ve Tartışma

İstasyon noktasından elde edilen veriler incelendiğinde, pH değerleri noktalar arasında 8.10-8.45 arasında değişkenlik göstermiştir. Tablo 2'den görüldüğü üzere pH verileri birbirine oldukça yakın değerlerde olması tüm noktalarda yer alan toprak örneklerinin hafif alkalın reaksiyonlarında olduğunu göstermektedir (Aydeniz 1985). Diğer bir parametre olan iletkenlik ölçüm sonuçlarına göre iletkenlik (EC) değerleri 277-593 µs/cm arasında değişim göstermiştir. Tablo 2'ye göre en yüksek iletkenlik 593 µs/cm ile N2 istasyon noktasından en düşük iletkenlik ise 277 µs/cm ile N6 kontrol noktasından elde edilmiştir. Bu durum kirlenici elementlerin toprak yüzeylerine doğru göç eğiliminde olduğunu ve bu nedenle iletkenlik değerlerinde artışa sebep verdiği sonucunu ortaya koymaktadır (Ulpaka 2016).

Tablo 2: Toprak örnekleri için pH-iletkenlik verileri

Örneklem Noktaları	PH	İletkenlik (µS/cm)
N1	8.45	299
N2	8.12	593
N3	8.31	343
N4	8.35	488
N5	8.10	857
N6 (Kontrol)	8,41	277

Ölçüm noktalarından alınan örneklerin elementel analiz verilerine göre toprak, yaprak, meyve ve kabuk örnekleri için % kükürt değerleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Toprak örnekleri için yüzde kükürt değişimi 0.06-0.11 arasında, yaprak örnekleri için 0.15-0.32 arasında, meyve örnekleri için 0.11-0.22 arasında ve kabuk örnekleri için 0.09-0.25 arasında bulunmuştur.



Şekil 2: Biyomonitörlerin noktalar arası % (S) kükürt değişimi

Tablo 3: Biyomonitörlerin toprak, kabuk, meyve ve yaprakta yüzde (%S) verileri

Ölçüm Noktaları	Toprak	Yaprak	Meyve	Kabuk
N1	0.07	0.32	0.22	0.25
N2	0.11	0.19	0.11	0.11
N3	0.08	0.17	0.13	0.09
N4	0.08	0.15	0.12	0.12
N5	0.08	0.18	0.15	0.11
N6	0.06	0.16	0.14	0.09

Tablo 2’de yer alan kükürt miktarlarındaki değişim için en yüksek ölçüm değeri toprakta N2 noktasında bulunmuşken, yaprak, meyve ve kabuk verileri için N1 noktasından elde edilmiştir. Bu sonuç şekil 1’den de görüldüğü üzere kentsel alanlardan uzaklaştıkça % S derişiminin azaldığını, trafik yoğunluğunun artması ile taşıt kaynaklı emisyonu bağli olarak terminal (N1) ve galeri (N2) noktalarında % S derişiminin arttığını göstermektedir (Alfani vd. 2000). Elementel analiz ölçümlerinin ardından örneklem çalışmaları öncesi metot validasyonu ve geri kazanım testleri yapılarak doğrusalılık çalışmaları tamamlanmıştır. Bu çalışmalara ait veriler Tablo 4’de görülmektedir.

Tablo 4: Referans toprak örneği için geri kazanım değerleri

Element Adı	Referans Toprak (LGC 6187)	Ölçüm değeri (mg/kg)	% Geri kazanım	% RSD
Cr	84±1.4	82.35±0.12	98.03	0.14
Ti	-	401.7±13.90	-	3.46
Fe	23600±1500	23020±69.49	97.50	0.30
Ni	34.7±1.7	28.70±0.16	82.70	0.55
Co	-	5.99±0.09	-	1.50
Cu	83.6±4.1	78.34±0.05	93.70	0.06
Zn	439±26	444.28±1.36	101.2	0.30
Pb	77.2±4.5	54.94±4.5	71.1	8.19
Mn	1240±60	1082±15.89	87.2	1.46
Al	-	-	-	-

Tablo 5: Referans bitki örneği için geri kazanım değerleri

Element Adı	Referans Toprak (ERM CD-281)	Ölçüm değeri (mg/kg)	% Geri kazanım	% RSD
Cr	24.8	21.68±0.08	87.41	0.36
Ti	-	1.141±0.02	-	1.75
Fe	-	113.3±0.74	97.50	0.66
Ni	15.2	13.07±0.09	90.13	0.68
Co	-	ND	-	-
Cu	10.2	11.03±0.17	108.13	1.54
Zn	30.5	31.85±1.36	104.42	4.27
Pb	1.67	2.07±0.08	123.95	3.86
Mn	82	78.65±1.74	95.91	2.41
Al	-	10.91±0.24	-	2.20

*Sertifika verilerinde ölçüm yapılmamış metal konsantrasyonlarını göstermektedir.

Yapılan çalışma öncesi seçilen yöntemin analitik çalışmaya uygunluğunu belirlemek amacıyla yapılan geri kazanım değerleri toprak için Tablo 4’de bitki için Tablo 5’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu çalışma ile seçilen yöntemin doğruluğu ve ölçüm sonuçlarının kesinliği test edilmiştir. Deneyisel çalışmaya göre toprak örnekleri için geri kazanım çalışması % 71.1-98.03 arasında, bitki örnekleri için % 87.41-123.95 arasında bulunmuştur.

Bu sonuçlara göre çalışma Pb elementi dışında doğruluğu yüksek sonuçlar vermektedir. Çalışılan bitki örnekleri için Pb konsantrasyonu birçok noktada ölçüm limitinin altında bulunduğundan yöntem de herhangi bir revizyona gidilmemiştir. İstasyon noktalarından toplanan örneklerin eser element düzeyleri için belirlenen Cr, Ti, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Al ve Mn elementlerine ait ICP-OES ölçüm verileri Tablo 6’da gösterilmektedir.

Tablo 6: Farklı istasyonlardan toplanan Zeytin (*Olea europaea* L.) bitkisine ait toprak, yaprak, bitki ve kabuk örneklerindeki eser element konsantrasyonları (mg/kg)

Element	Lokalite	Toprak	Yaprak	Kabuk	Meyve	BSKD* (mg/Kg)	TSKD** (mg/kg)
Cr	N1	23.02±0.26	0.34±0.03	ND	ND	30 (FAO 2003)	100
	N2	26.19±0.11	2.19±0.03	0.51±0.02	ND		
	N3	30.53±0.05	0.91±0.04	ND	ND		
	N4	26.38±0.23	0.50±0.01	ND	1.10±0.04		
	N5	23.47±0.2	0.36±0.01	ND	0.29±0.008		
	N6	8.02±0.06	ND	ND	ND		
Ti	N1	361.12±0.71	5.78±0.43	ND	ND	-	-
	N2	217.43±0.23	7.58±0.31	0.81±0.06	ND		
	N3	346.55±2.53	6.23±0.78	ND	0.04±0.008		
	N4	132.16±0.65	6.96±0.65	ND	0.24±0.09		
	N5	215.47±0.23	4.40±0.40	0.90±0.013	0.08±0.008		
	N6	22.91±0.25	4.13±0.62	ND	0.21±0.03		
Fe	N1	27450±110.90	194.13±1.05	-	-	250 (Kabata - Pedias 2000)	38000 (Kaçar ve Katkat 1998)
	N2	23120±72.29	262.95±1.07	81.31±0.54	11.46±0.06		
	N3	23860±318.73	222.74±1.18	34.64±0.04	17.02±0.29		
	N4	22710±356.64	214.53±3.58	43.82±0.10	13.03±0.18		
	N5	23970±242.46	185.92±1.04	85.26±0.52	50.62±0.116		
	N6	19010±82.93	110.11±1.22	22.9±0.01	18.28±0.53		
Ni	N1	17.07±0.21	1.13±0.39	ND	ND	10 (Kılıç 2019)	75
	N2	8.943±0.08	1.47±0.06	1.60±0.01	0.04±0.01		
	N3	20.43±0.13	0.66±0.05	5.13±0.01	0.90±0.01		
	N4	16.04±0.27	0.38±0.08	12.22±0.17	0.57±0.02		
	N5	16.86±0.09	0.23±0.06	8.65±0.02	0.23±0.04		
	N6	1.12±0.07	0.14±0.01	3.02±0.07	0.86±0.05		

ND: ölçüm sınırının altındaki değeri göstermektedir.

*BSKD: Bazı bitki türleri için sınır konsantrasyon değerleri

**TSKD: Toprakta sınır konsantrasyon değerleri

Tablo 6'nın devamı

Element	Lokalite	Toprak	Yaprak	Kabuk	Meyve	BSKD* (mg/Kg)	TSKD** (mg/kg)
Co	N1	4.49±0.07	ND	ND	ND	0.02-0.50 (Schachtschabel 1984)	40 (Carrigan ve Erwin 1951)
	N2	2.97±0.04	ND	ND	ND		
	N3	4.25±0.08	ND	ND	ND		
	N4	3.64±0.06	ND	ND	ND		
	N5	3.55±0.09	ND	ND	ND		
	N6	ND	ND	ND	ND		
Cu	N1	50.32±0.19	6.436±0.71	ND	ND	30 (Elmacı 1995)	140
	N2	48.35±0.45	7.628±0.02	5.81±0.02	18.92±0.18		
	N3	41.71±0.09	26.71±0.23	8.61±0.10	27.30±0.099		
	N4	75.62±0.24	13.15±0.25	9.17±0.15	29.74±0.51		
	N5	42.94±0.42	12.67±0.01	7.75±0.15	28.75±0.052		
	N6	6.74±0.15	15.64±0.01	3.72±0.04	24.19±0.04		
Zn	N1	77.39±1.31	25.83±0.05	ND	ND	400 (Tok 1996)	300
	N2	166.81±.61	31.11±0.01	17.58±0.41	9.11± 0.11		
	N3	156.32±0.05	29.15±0.50	11.22±0.08	12.59±0.195		
	N4	234.76±1.86	18.01±0.01	14.63±0.21	17.97±0.10		
	N5	138.19±0.13	23.34±0.04	14.18±0.08	15.18±0.20		
	N6	89.02±0.37	18.29±0.06	11.23±0.56	11.71±0.01		
Pb	N1	ND	0.56±0.03	ND	ND	10 (WHO 1989; WHO 2007)	300
	N2	9.70±0.03	0.27±0.11	ND	ND		
	N3	3.25±0.17	ND	ND	ND		
	N4	19.65±0.29	ND	ND	ND		
	N5	9.72±0.09	ND	ND	ND		
	N6	ND	ND	ND	ND		

ND: ölçüm sınırının altındaki değeri göstermektedir.

*BSKD: Bazı bitki türleri için sınır konsantrasyon değerleri

**TSKD: Toprakta sınır konsantrasyon değerleri

Tablo 6'nın devamı

Element	Lokalite	Toprak	Yaprak	Kabuk	Meyve	BSKD* (mg/Kg)	TSKD** (mg/kg)
Mn	N1	685.46±10.14	17.94±0.3	ND	ND	400 (Elmacı 1995)	1530
	N2	563.12±20.74	17.57±0.1	5.83±0.033	4.13±0.01		
	N3	553.85±0.08	23.35±0.1	4.81±0.07	4.35±0.04		
	N4	911.25±3.18	15.32±0.06	5.55±0.07	3.68±0.06		
	N5	576.81±11.90	25.38±0.40	4.87±0.04	6.49±0.03		
	N6	1162,23±10.32	23.35±0.32	7.63±0.04	5.41±0.03		
Al	N1	10000±25.46	147.51±4.27	ND	ND	-	-
	N2	10500±41.98	286.72±0.49	ND	7.02±0.34		
	N3	10060±82.24	170.44±0.04	5.68±0.36	1.54±0.36		
	N4	10950±45.82	166.15±5.76	6.02±0.44	ND±		
	N5	13300±61.17	121.96±0.24	13.73±0.50	5.35±0.32		
	N6	8606±31.46	170.49±0.14	11.36±0.56	3.87±0.40		

ND: ölçüm sınırının altındaki değeri göstermektedir.

*BSKD: Bazı bitki türleri için sınır konsantrasyon değerleri

**TSKD: Toprakta sınır konsantrasyon değerleri

Çeşitli bitki türleri ve toprak örnekleri için yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde Cr, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Pb ve Mn için toprak örneklerine ait (0-10cm) örnekleme alanlarında ağır metal konsantrasyonları sınır değerler içerisinde kalmıştır. Bitki örnekleri açısından sınır değerler ile karşılaştırma yapıldığında Cr, Ni, Zn, Pb, Mn sınır değerler içerisinde kalmışken 2.ölçüm noktasında Fe sınır değerinin üzerindedir. Ayrıca 3. ölçüm noktası için Cu değeri sınır değer içerisinde kalmasına rağmen diğer ölçüm noktalarına göre yüksek konsantrasyona sahiptir.

Ölçümü yapılan bitki örneğinin toprak, yaprak, meyve ve kabuk yönünden ağır metal konsantrasyonları incelendiğinde; Cr konsantrasyonu, toprakta 8.02-23.02 mg/kg, yaprakta ND-0.51 mg/kg, kabukta ND-0.51 mg/kg ve meyvede ND-1.10 mg/kg arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre Cr konsantrasyonu; toprak>meyve>kabuk>yaprak şeklinde sıralanmaktadır.

Ti konsantrasyonu toprakta 22.91-361.12 mg/kg, yaprakta 4.13-7.58 mg/kg, kabukta ND-0.90 mg/kg ve meyvede ND-0.24 mg/kg arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ti konsantrasyonu; toprak>yaprak>kabuk>meyve şeklinde sıralanmaktadır.

Fe konsantrasyonu toprakta 19010-27450 mg/kg, yaprakta 110.11-262.93 mg/kg, kabukta 22.94-81.31 mg/kg ve meyvede 11.46-50.62 mg/kg arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Fe konsantrasyonu; toprak>yaprak>kabuk>meyve şeklinde sıralanmaktadır.

Ni konsantrasyonu toprakta 1.12-20.43 mg/kg, yaprakta 0.14-1.47 mg/kg, kabukta 1.60-12.22 mg/kg ve meyvede 0.04-0.90 mg/kg arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ni konsantrasyonu; toprak>kabuk>yaprak>meyve şeklinde sıralanmaktadır.

Cu konsantrasyonu toprakta 6.74-75.62 mg/kg, yaprakta 06.43-26.71 mg/kg, kabukta 0-9.17 mg/kg ve meyvede 18.92-29.74 mg/kg arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Cu konsantrasyonu; toprak>meyve>yaprak>kabuk şeklinde sıralanmaktadır.

Co konsantrasyonu toprakta ND-4.49 mg/kg bulunurken, yaprakta, kabukta ve meyvede ölçüm değerlerinin altında olduğundan tespit edilememiştir.

Zn konsantrasyonu toprakta 77.39-234.76 mg/kg, yaprakta 18.29-31.11 mg/kg, kabukta 11.22-17.58 mg/kg ve meyvede 9.11-17.97 mg/kg arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Zn konsantrasyonu; toprak>yaprak>meyve>kabuk şeklinde sıralanmaktadır.

Pb konsantrasyonu toprakta ND-19.65 mg/kg, yaprakta 00.56 mg/kg, kabukta 0.56 mg/kg ve meyvede ölçüm değerlerin altında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Pb konsantrasyonu; toprak>yaprak>meyve>kabuk şeklinde sıralanmaktadır.

Mn konsantrasyonu toprakta 553.85-1162.23 mg/kg, yaprakta 17.57-25.38 mg/kg, kabukta 4.81-7.63 mg/kg arasında ve meyvede 3.68-6.49 mg/kg arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Mn konsantrasyonu; toprak>yaprak>kabuk>meyve şeklinde sıralanmaktadır.

Al konsantrasyonu toprakta 8606-10950 mg/kg, yaprakta 121.96-286.72 mg/kg, kabukta ND-13.73 mg/kg ve meyvede ND-7.02 mg/kg arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Mn konsantrasyonu; toprak>yaprak>kabuk>meyve şeklinde sıralanmaktadır.

Elde edilen verilerin sınır değerlerle karşılaştırılması, bitki türüne ve toprak yapısına göre değişiklik göstereceğinden verilerin varyansları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. İstatistiksel olarak yapılan çalışmada ilk olarak toprak örneği için varyansların homojenliği karşılaştırılmıştır. Bu amaçla yapılan Levene testine göre tüm metal türleri için sig. değeri 0.05 ten büyük olduğu için varyanslar homojenliği sağlanmıştır. Yapılan varyans analizine göre türler arasındaki farklılıklar tüm noktalar için istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$). Noktalar arasındaki farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7: Toprak örnekleri için farklı noktalar arasındaki ağır metal konsantrasyonların değişimi (n:5 ölçüm)

Örneklem (Toprak)	1.nokta	2.nokta	3.nokta	4.nokta	5.nokta	6.nokta (Kontrol)
Cr	23.02±0.26 ^b	26.19±0.11 ^c	30.53±0.05 ^d	26.38±0.23 ^c	23.47±0.2 ^b	8.02±0.06 ^a
Ti	361.12±0.71 ^a	217.43±0.23 ^b	346.55±2.53 ^c	132.16±0.65 ^d	215.47±0.23 ^e	22.91±0.25 ^f
Fe	27450±110.90 ^a	23120±74.29 ^b	23860±318.73 ^a	22710±356.64 ^a	23970±2421.46 ^a	19010±82.93 ^c
Ni	17.07±0.21 ^a	8.943±0.08 ^b	20.43±0.13 ^a	16.04±0.27 ^a	16.86±0.09 ^a	1.12±0.007 ^c
Co	4.49±0.07 ^a	2.97±0.04 ^b	4.25±0.08 ^a	3.64±0.06 ^a	3.55±0.09 ^a	ND
Cu	50.32±0.19 ^a	48.35±0.45 ^b	41.71±0.09 ^c	75.62±0.24 ^d	42.94±0.42 ^e	6.74±0.15 ^f
Zn	77.39±1.31 ^a	166.81±3.61 ^b	156.32±0.05 ^c	234.76±1.86 ^d	138.19±0.13 ^e	89.02±0.37 ^f
Pb	ND	9.70±0.03 ^a	3.25±0.17 ^b	19.65±0.29 ^c	9.72±0.09 ^d	ND
Al	10000±25.46 ^a	10500±31.98 ^b	10060±32.24 ^a	10950±45.82 ^c	13300±52.17 ^d	8606±31.46 ^e
Mn	685.46±10.14 ^a	563.12±20.74 ^b	553.85±0.08 ^c	911.25±3.18 ^d	576.81±11.90 ^e	1162.23±10.32 ^f

*ND: ölçüm aralığının dışında olduğunu göstermektedir. Yatay olarak metal konsantrasyonları üzerinde kullanılan harfler istasyonlar arasındaki farkı ifade etmekte olup, farklı harfler ile gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).

Tablo 7’den görüldüğü üzere toprak örnekleri için Duncan testi sonuçları değerlendirildiğinde aynı harf ile temsil edilen noktalar ortalamaları arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre Cr için en yüksek konsantrasyon 30.53±0.053 mg/kg ile 3 nolu istasyonda en düşük konsantrasyon ise 8.02±0.06 mg/kg ile 6 nolu kontrol istasyonundan elde edilmiştir. Ti için; en yüksek konsantrasyon 361.12±0.71 mg/kg ile 1 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 22.91±0.25 mg/kg ile 6 nolu kontrol istasyonundan elde edilmiştir. Fe için; en yüksek konsantrasyon 27450±110.90 mg/kg ile 1 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 19010±0.25 mg/kg ile 6 nolu kontrol istasyonundan elde edilmiştir. Ni için; en yüksek konsantrasyon 20.43±0.13 mg/kg ile 3 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 1.12±0.007 mg/kg ile 6 nolu kontrol istasyonundan elde edilmiştir. Co için; en yüksek konsantrasyon 4.49±0.07 mg/kg ile 1 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 6 nolu kontrol istasyonundan elde edilmiştir. Cu için en yüksek konsantrasyon 75.62±0.24 ile 4 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 6.74±0.15 ile 6 nolu kontrol istasyonundan elde edilmiştir. Zn için en yüksek konsantrasyon 234.76±1.86 ile 4 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 77.39±1.31 ile 1 nolu istasyonundan elde edilmiştir. Pb için; en yüksek konsantrasyon 19.65±0.29^c mg/kg ile 4 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 1 ve 6 nolu istasyonlardan elde edilmiştir. Al için en yüksek konsantrasyon 13300±52.17 ile 5 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 8606±31.46 ile 6 nolu kontrol istasyonundan elde edilmiştir. Mn için en yüksek konsantrasyon 1162.23±10.32 ile 6 nolu kontrol istasyonundan en düşük konsantrasyon 553.85±0.08 ile 3 nolu kontrol istasyonundan elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler; istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; kontrol noktasına göre bütün gruplar farklı harf aldıklarından ortalamalar arasındaki anlamlı bir fark vardır ($p<0.05$). Ayrıca Ti, Cu, Zn, Pb ve Mn için bütün istasyon noktalarındaki ölçüm değerleri farklı harflerle simgelenmiştir. Bu durum noktalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu kanıtlar ($p<0.05$). Farklı noktalardan alınan toprak örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarına ait veriler; dünyadaki farklı şehirlerde yapılan çalışmalarla karşılaştırılmış ve Tablo 8’de verilmiştir.

Dünyada ve ülkemizde trafik kaynaklı ağır metal kirliliği için yapılan çalışmalar ve kontrol noktasındaki deneysel veriler incelendiğinde trafik yoğunluğuna bağlı olarak 0-10 cm’den alınan toprak örnekleri için ağır metal konsantrasyonları Ti, Ni, Cu ve Pb yönünden kontrol noktasına göre 10 katı kadar artış göstermekte iken Co ve Cr yönünden 3 kat artış göstermiştir. Bu durum Artvin örneğinin diğer birçok çalışmadaki konsantrasyonlara paralellik gösterdiğini ve kirlletici etmenlerden birisinin de trafik yoğunluğu olduğu sonucunu ortaya koymaktadır (Knezevic vd. 2009; Möller vd. 2004; Sezgin 2003). Tablo 9’da bitki örnekleri için noktalar arası karşılaştırmalarda Cr için en yüksek konsantrasyon 2.19±0.03 mg/kg ile 2 nolu istasyondan en düşük 4.13±0.62 m konsantrasyon 6 nolu istasyondan elde edilmiştir. Ti için; için en yüksek konsantrasyon 7.58±0.31 mg/kg ile 2 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 4.13±0.62 mg/kg ile 6 nolu istasyondan elde edilmiştir.

Fe için en yüksek konsantrasyon 262.95 ± 1.07 mg/kg ile 2 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 110.11 ± 1.22 mg/kg ile 6 nolu istasyondan elde edilmiştir. Co için tüm veriler ölçüm değerlerinin altında kalmıştır. Cu için en yüksek konsantrasyon 26.71 ± 0.23 mg/kg ile 3 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 6.436 ± 0.71 mg/kg ile 1 nolu istasyondan elde edilmiştir. Zn için en yüksek konsantrasyon 31.11 ± 0.01 mg/kg ile 2 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 18.01 ± 0.01 mg/kg ile 4 nolu istasyondan elde edilmiştir. Al için en yüksek konsantrasyon 286.72 ± 0.49 mg/kg ile 2 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 147.51 ± 4.27 mg/kg ile 1 nolu istasyondan elde edilmiştir. Mn için en yüksek konsantrasyon 25.38 ± 0.40 mg/kg ile 5 nolu istasyondan en düşük konsantrasyon 17.57 ± 0.1 mg/kg ile 2 nolu istasyondan elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler; istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; kontrol noktasına göre bütün gruplar farklı harf aldıklarından ortalamalar arasındaki anlamlı bir fark vardır ($p < 0.05$).

Tablo 8: Dünyada ve ülkemizde trafik kaynaklı ağır metal içeriklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar

Şehir/Ülke	Cr mg/kg	Ti mg/kg	Fe mg/kg	Ni mg/kg	Co mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Pb mg/kg	Al mg/kg	Mn mg/kg	Literatür
Shanx (Çin)	-	-	-	23	-	71	32	30	-	-	(Pan vd. 2016)
HongKong (Japonya)	23.10	-	-	12.40	-	23.30	125	94.60			(Li vd. 2004)
Toronto (kanada)	558	-	70050	327	-	392.1	1367.8	378.7	-	3125	(Nazzal vd. 2014)
Galwey (İrlanda)	33.3	1643	1.7	22	5.6	33.2	99.3	78.4	1.2	674	(Zhang 2006)
Palermo (İtalya)	39.00	-	-	19.10	-	77.00	151.00	253.0	-	566.0	(Manta vd. 2002)
Eskişehir (Türkiye)	97.65	-	19149	161.53	-	39.33	31.50	64.93	-	395.7	(Malkoc vd. 2010)
Kayseri (Türkiye)	23.5	-	22830	23.7	-	15.8	56.3	17.9	-	494	(Yalçın vd. 2007)
Artvin örneği (Türkiye)	22.93	215.8	23353	13.41	3.15	44.27	143.71	7.05	10569	742.0	

Tablo 9: Yaprak örnekleri için farklı noktalar arasındaki ağır metal konsantrasyonların değişimi (n:3 ölçüm)

Örneklem (Yaprak)	N1	N2	N3	N4	N5	N6
Cr	0.34 ± 0.03^a	2.19 ± 0.03^b	0.91 ± 0.04^c	0.50 ± 0.01^d	0.36 ± 0.01^e	ND
Ti	5.78 ± 0.43^a	7.58 ± 0.31^b	6.23 ± 0.78^c	6.96 ± 0.65^d	4.40 ± 0.40^e	4.13 ± 0.62^e
Fe	194.13 ± 1.05^a	262.95 ± 1.07^b	222.74 ± 1.18^c	214.53 ± 3.58^d	185.92 ± 1.04^e	110.11 ± 1.22^f
Ni	1.13 ± 0.39^a	1.47 ± 0.06^b	0.66 ± 0.05^c	0.38 ± 0.08^d	0.23 ± 0.06^e	0.14 ± 0.01^f
Co	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	6.436 ± 0.71^a	7.628 ± 0.02^b	26.71 ± 0.23^c	13.15 ± 0.25^d	12.67 ± 0.01^e	15.64 ± 0.01^f
Zn	25.83 ± 0.05^a	31.11 ± 0.01^b	29.15 ± 0.50^c	18.01 ± 0.01^d	23.34 ± 0.04^e	18.29 ± 0.06^d
Pb	0.56 ± 0.03^a	0.27 ± 0.11^b	ND	ND	ND	ND
Al	147.51 ± 4.27^a	286.72 ± 0.49^b	170.44 ± 0.04^c	166.15 ± 5.76^d	121.96 ± 0.24^e	170.49 ± 0.14^c
Mn	17.94 ± 0.3^{ab}	17.57 ± 0.1^{ab}	23.35 ± 0.1^c	15.32 ± 0.06^{ad}	25.38 ± 0.40^e	23.35 ± 0.32^e

*ND: ölçüm aralığının dışında olduğunu göstermektedir. Yatay olarak metal konsantrasyonları üzerinde kullanılan harfler istasyonlar arasındaki farkı ifade etmekte olup, farklı harfler ile gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).

Farklı noktalardan alınan zeytin (*Olea europaea* L.) yaprağı örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarına ait veriler; dünyadaki farklı şehirlerde yapılan çalışmalarla karşılaştırılmış ve Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10'dan görüldüğü üzere yaprakta ağır metal birikiminin Dünya ve Türkiye'de yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında; Cr yönünden orta düzeyde kirlilik, Pb yönünden düşük düzeyde kirlilik göstermişken diğer bütün elementlerde konsantrasyonların yapılan çalışmaların üzerinde olduğu gözlemlenmiştir.

Farklı noktalardan alınan zeytin (*Olea europaea* L.) meyvesi örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarına ait veriler karşılaştırmalı olarak Tablo 11'de verilmiştir. Artvin çalışması için istasyonlardan alınan örneklerle diğer çalışmalar karşılaştırıldığında Fe, Ni, Cu ve Mn konsantrasyonlarının yüksek olduğu görülmektedir (Kılıç 2020).

Tablo 10: Dünyada ve ülkemizde trafik kaynaklı ağır metal içeriklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar

Örnek Türü	Cr mg/kg	Ti mg/kg	Fe mg/kg	Ni mg/kg	Co mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Pb mg/kg	Al mg/kg	Mn mg/kg	Literatür
Zeytin yaprağı Aydın (Türkiye)	22	-	7.67	-	-	2.65	-	27	7.92	1.40	(Turan vd. 2011)
Zeytin yaprağı (Tunus)	0.4	-	-	-	-	1.31	3.9	-	-	-	(Zaouni vd.2018)
Zeytin Yaprak Kazdağları (Türkiye)	0.7	-	9.6	0.4	-	1.2	0.9	-	-	1.7	(Kılıç 2020)
Zeytin Yaprak Artvin (Türkiye)	2.19	7.58	262.9	1.47	-	26.7	31.1	0.6	286.7	25.4	

Tablo 11: Ülkemizde trafik kaynaklı ağır metal içeriklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar

Örnek Türü	Cr mg/kg	Ti mg/kg	Fe mg/kg	Ni mg/kg	Co mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Pb mg/kg	Al mg/kg	Mn mg/kg	Literatür
Zeytin meyve Kazdağları (Türkiye)	0.7	-	9.6	0.4	-	1.2	0.9	-	-	1.7	(Kılıç 2020)
Zeytin Meyve Bursa (Türkiye)	0.59	-	7.08	0.37	0.06	0.78	10.58	0.75	7.02	-	(Şahan vd. 2007)
Zeytin Meyve Artvin (Türkiye)	0.5	-	50.62	0.86	-	29.74	17.97	-	7.02	6.49	

4. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak yapılan çalışmada toprak örnekleri için; trafiğe yakın bölgelerdeki alanlardan alınan örneklerdeki tüm metal konsantrasyonlar sınır değerlerin içerisinde yer almaktadır. Ancak, kentleşme ve trafik kaynaklı kirlilikten uzak olan kontrol noktasından alınan örnekler göre karayolu üzerinden alınan tüm örneklerde Cr, Ti, Fe, Ni, Co, Cu ve Pb konsantrasyonunun yüksek çıkması trafik kaynaklı ağır metal kirliliği bulgusunu desteklemektedir (Şişman 1999). Çalışmanın biyomonitör üzerinden ağır metal birikimi incelendiğinde; çok yıllık bitkilerin yaprak yüzeylerinde biriken ağır metallerin stomata, kitükiler ve çatlaklar gibi kanallardan bitkide absorblanmakta ve yıllar içerisinde ağır metal birikimi olarak karşımıza çıktığı görülmektedir (Shahid vd. 2017). Bu bitkilerin yapraklarındaki metal birikimine ait kimyasal kompozisyon incelendiğinde; 3 temel kirlileti grubu karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan toprak kaynaklı matriks elementleri olanlar (Si, Al, Fe, Mg, N, S, Ca, K, Cl); yakıt kaynaklı matriks elementleri olanlar (Al, Si, Ca, Ni, Fe, V ve Pb) ve kömür kaynaklı matriks elementleri olanlar (C, Al, Si, K, Ca) olarak sınıflandırılabilir. Yapılan çalışma ve ölçüm değerleri incelendiğinde; yakıt kaynaklı matriks elementleri arasında Al ve Fe değerinin trafik yoğunluğuna bağlı olduğu alanlarda kontrol noktasına göre yüksek olduğu ICP-OES ile tespit edilmiş ve istatistiksel testlerle de ayrıntılı olarak gösterilmiştir (Tomasevic ve Anicic 2010). Bu durum trafik yoğunluğu ve kentleşmenin fazla olduğu alanlardan uzaklaştıkça bitkilerdeki ağır metale bağlı biyoakümülyasyonun azaldığını göstermektedir. Çalışmanın son basamağı olan meyve ve kabuk çalışması bitkide akümüle olan antropojenik kaynaklı ağır metalin yer küreden canlı organizmaya taşınmasındaki basamağı göstermektedir. Her ne kadar meyve örneklerindeki ağır metal birikimi belirlenen örnek çalışmalardan görüldüğü üzere sınır değerlerin içerisinde yer alsada da Cr ve Al yönünden kontrol noktasına göre yüksek değerler tespit edilmiştir.

Ayrıca zeytin meyvelerindeki Cu konsantrasyonları yapılan birçok çalışmada 0.73-3.55 mg/kg arasında tespit edilmesine rağmen; (Şahan vd. 2007) örneklem noktalarından alınan örneklerde 26.7 mg/kg Cu derişimi elde edilmiştir. Bu metal konsantrasyonlarındaki yüksekliğin sebebi; trafik kaynaklı kirliliklerinin dışında, bölgenin coğrafî ve jeolojik yapısı ile toprağın maden zuhurları bakımından zengin olması olabilir. Bu nedenle gıda kaynaklı metal konsantrasyonlarına bağlı olarak kontamine olan gıda ürünlerinin günlük sınır değerinin dışında tüketimi sonucu vücutta akümüle olarak toksik etki gösterebilmektedir (Dökmeci vd. 2005).

Teşekkür

Çalışmanın yürütüldüğü ve analizlerinin değerlendirildiği Artvin Çoruh Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma merkezine katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Aksoy A., Hale W.H., Dixon J.M., (1999), *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic. as a biomonitor of heavy metals, *Science of the Total Environment*, 226(2-3), 177-186.
- Alfani A., Baldantoni D., Maisto G., Bartoli G., De Santo A.V., (2000), *Temporal and spatial variation in C, N, S and trace element contents in the leaves of Quercus ilex within the urban area of Naples*, *Environmental Pollution*, 109(1), 119-129.
- Altın V., (2002), *Yenilenebilir enerji kaynakları*, TÜBİTAK Bilim-Teknik Dergisi-Yeni Ufuklara Eki, 410, 2-23.
- Aydeniz A., (1985), *Toprak Amenajman*, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları: 928, Ankara.
- Barnes D., Hamadah M.A., Ottaway J.M., (1976), *The lead, copper and zinc content of tree rings and bark A measurement of local metallic pollution*, *Science of the Total Environment*, 5(1), 63-67.
- Bayram H., Dörtbudak Z., Fişekçi F.E., Kargın M., Bülbül B., (2006), *Hava kirliliğinin insan sağlığına etkileri, dünyada, ülkemizde ve bölgemizde hava kirliliği sorunu*, *Dicle Tıp Dergisi*, 33(2), 105-112.
- Bingham E., Cohrssen B., Powell C.H., (2001), *Toxicological Issues Related to Metals: Neurotoxicology and Radiation Metals and Metal Compounds*, Wiley-Interscience, New York, USA, 819ss.
- Bondada B.R., Tu S., Ma L.Q., (2004), *Absorption of foliar-applied arsenic by the arsenic hyperaccumulating fern (Pteris vittata L.)*, *Science of the Total Environment*, 332(1-3), 61-70.
- Carrigan R.A., Erwin T.C., (1951), *Cobalt determination in soils by spectrographic analysis following chemical preconcentration*, *Soil Science Society of America Journal*, 15(C), 145-149.
- Dökmeci İ., Dökmeci A.H., (2005), *Toksoloji zehirlenmede tanı ve tedavi*, 4. Baskı, Nobel Tıp Kitapevleri, İstanbul, Türkiye.675ss.
- Efe R., Soykan A., Sönmez S., Cürebal İ., (2009), *Sıcaklık şartlarının Türkiye'de zeytinin (Olea europea L. subs. europaea) yetişmesine, fenolojik ve pomolojik özelliklerine etkisi*, *Ekoloji*, 18 (70), 17-26.
- Elmacı Ö.L., (1995), *Güney Marmara Bölgesi sanayi domates alanlarındaki toprak sulama suyu ve domates (Lycopersicum esculentum) meyvelerinde ağır metal içeriklerinin belirlenmesi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- EPA, (2007), *Method 3051A (SW-846): Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, and Oils*, Revision 1, <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>, [Erişim 1 Temmuz 2020].
- FAO, (2003), *Codex Alimentarius Commission adopts more than 50 new food standards*, <http://www.fao.org/english/newsroom/news/2003/20363-en.html>, FAO Newsroom, [Erişim 1 Temmuz 2020].
- Ferreire I.C.F.R., Barros L., Soares M.E., Bastos M.L., Pereira J.A., (2007), *Antioxidant Activity and Phenolic Contents of Olea europaea L. Leaves Sprayed with Different Copper Formulations*, *Food Chemistry*, 103, 188-195.
- Kabata-Pendias, A., 2000, *Trace element in soils and plants*, 3rd edition, CRC Press, USA, 413ss.
- Kaçar B., Katkat A.V., (1999), *Gübreler ve gübreleme tekniği*, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları, Bursa, Türkiye, 401ss.
- Karaca A., Turgay O.C., (2012), *Toprak kirliliği*, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 1(1), 13-19.
- Keçeli T., Gordon M.H. (2002), *Ferric ions Reduce the Antioxidant Activity of the Phenolic Fraction of Virgin Olive Oil*, *Journal of Food Science*, 67(3), 943-947.
- Knezevic M., Stankovic D., Krstic B., Nikolic M.S., Vilotic D., (2009), *Concentrations of heavy metals in soil and leaves of plant species Paulownia elongata SY Hu and Paulownia fortunei Hemsl*, *African Journal of Biotechnology*, 8(20), 5422-5429.
- Kılıç D.D., (2019), *Investigation of heavy metal accumulation and biomonitoring of Calepina irregularis species growing in Amasya (Turkey) province*, *Anatolian Journal of Botany*, 3(2), 44-50.
- Kılıç S., (2020), *Kazdağları Bölgesine Ait Zeytin, Zeytin Yaprağı ve Zeytinyağlarının Element Tayini ve Metot Validasyonu*, *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(1), 48-54.
- Kiritsakis A.K., (1998), *Flavor components of olive oil—A review*, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(6), 673-681.
- Li X., Lee S.L., Wong S.C., Shi W., Thornton I., (2004), *The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach*, *Environmental Pollution*, 129(1), 113-124.
- Malkoc S., Yazıcı B., Savas Koparal A., (2010), *Assessment of the levels of heavy metal pollution in roadside soils of Eskisehir, Turkey*, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(12), 2720-2725.
- Manta D.S., Angelone M., Bellanca A., Neri R., Sprovieri M., (2002), *Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy*, *Science of the Total Environment*, 300(1-3), 229-243.
- Massaquoi L.D., Ma H., Liu X.H., Han P.Y., Zuo S.M., Hua Z.X., Liu D.W., (2015), *Heavy metal accumulation in soils, plants, and hair samples: an assessment of heavy metal exposure risks from the consumption of vegetables grown on soils previously irrigated with wastewater*, *Environmental Science and Pollution Research*, 22(23), 18456-18468.
- Mater B., (1998), *Toprak coğrafyası*, Çantay Kitabevi, İstanbul, Türkiye, 271ss.

- Möller A., Müller H.W., Abdullah A., Abdelgawad G., Utermann J., (2005), *Urban soil pollution in Damascus, Syria: concentrations and patterns of heavy metals in the soils of the Damascus Ghouta*, Geoderma, 124(1-2), 63-71.
- Nazzal Y., Ghrefat H., Rosen M. A., (2014), *Heavy metal contamination of roadside dusts: a case study for selected highways of the greater Toronto area, Canada involving multivariate geostatistics*, Research Journal of Environmental Sciences, 8(5), 259-273.
- Pan L.B., Ma J., Wang X.L., Hou H., (2016), *Heavy metals in soils from a typical county in Shanxi Province, China: levels, sources and spatial distribution*, Chemosphere, 148, 248-254.
- Pınar B., (2019), *Bazı peyzaj bitkilerinde ağır metal birikiminin trafik yoğunluğuna bağlı değişimi*, Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Sayılı M., Akman Z., (1994), *Tarımsal uygulamalar ve çevreye olan etkileri*, Ekoloji Dergisi, 12(7), 28-32.
- Sezgin N., Ozcan H.K., Demir G., Nemlioğlu S., Bayat C., (2003), *Determination of heavy metal concentrations in street dusts in İstanbul E-5 Highway*, Environment International, 29, 973-985.
- Schachtschabel P., Blume H.P., (1984), *Lehrbuch der Bodenkunde*. Enke, Stuttgart, Almanya, 441ss.
- Sresty T.V.S., Rao K.M., (1999), *Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cells of pigeonpea*, Environmental and Experimental Botany, 41(1), 3-13.
- Şahan Y., Basoglu F., Gücer S., (2007), *ICP-MS analysis of a series of metals (Namely: Mg, Cr, Co, Ni, Fe, Cu, Zn, Sn, Cd and Pb) in black and green olive samples from Bursa, Turkey*, Food Chemistry, 105(1), 395-399.
- Shahid M., Dumat C., Khalid S., Schreck E., Xiong T., Niazi N.K., (2017), *Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake*, Journal of hazardous materials, 325, 36-58.
- Şişman İ., (1999), *Sapanca bölgesinde TEM otoyolundan kaynaklanan ağır metal kirliliği*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Turan D., Kocahakimoglu C., Kavcar P., Gaygısız H., Atatanir, L., Turgut C., Sofuoğlu S. C., (2011), *The use of olive tree (Olea europaea L.) leaves as a bioindicator for environmental pollution in the Province of Aydın, Turkey*, Environmental Science and Pollution Research, 18(3), 355-364.
- TÜİK, (2019), *Türkiye'de katılı toplam motorlu kara taşıtı sayısı istatistikleri*, Türkiye İstatistik Kurumu, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Aralik-2019-33648>, [Erişim:30 Ocak 2020].
- Tok H.H., (1997), *Çevre Kirliliği*, Anadolu Matbaası, İstanbul, 404ss.
- Tomašević M., Aničić M., (2010), *Trace element content in urban tree leaves and sem-edax characterization of deposited particles*, Facta Universitatis-Series: Physics, Chemistry and Technology, 8(1), 1-13.
- Ukpaka C.P., (2016), *Empirical model approach for the evaluation of pH and conductivity on pollutant diffusion in soil environment*, Chemistry International, 2(4), 267- 278.
- WHO, (1989), *Evaluation of certain food additives and contaminants: Thirty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on food additives*, World Health Organization, WHO technical report series, no. 776, WHO, Geneva (1989), 66ss.
- WHO, (2007), *WHO guidelines for assessing quality of herbal medicine with reference contaminants and residues*, World Health Organization, Spain, 105ss.
- Yalcin M.G., Battaloglu R., Ilhan S., (2007), *Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey*, Environmental Geology, 53(2), 399-415.
- Yanık T., Atamanalp M., (2001), *Balık yetiştiriciliğinde su kirliliğine giriş*, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ders Yayınları No: 226, Erzurum.
- Zaanouni N., Gharssallaoui M., Eloussaief M., Gabsi S., (2018), *Heavy metals transfer in the olive tree and assessment of food contamination risk*, Environmental Science and Pollution Research, 25(19), 18320-18331.
- Zhang C., (2006), *Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soils in Galway, Ireland*, Environmental Pollution, 142(3), 501-511.

Kent İçi Trafikten Kaynaklanan Stratejik Gürültü Haritalarının Değerlendirilmesi

Şafak Hengirmen Tercan^{1*}, Gökhan Yaman²

¹Hasan Kalyoncu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 27560, Gaziantep.

²Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı, Gaziantep.

Özet

Kentlerde, trafik, sanayi ve eğlence gibi çeşitli faaliyetlerden oluşan çevresel gürültü önemli çevre sorunlarından birisi olmuştur. Gelişmiş ülkelerdeki sağlık sorunları sıralamasında kara, hava ve demiryollarındaki trafikten kaynaklanan gürültü ikinci sırada yer almaktadır. Trafikten kaynaklanan gürültünün, insan sağlığı üzerinde negatif etkileri bulunmaktadır. Yüksek nüfus yoğunluğu olan yaşam alanları trafikten kaynaklı gürültü maruziyetlerinin olduğu bölgelerdir. Kentlerdeki gürültü alanlarını belirlemek ve yaşanabilir kentler oluşturmak için stratejik gürültü haritaları hazırlanmaktadır. Böylece, çevresel gürültü ile ilgili sorunlar belirlenmekte ve gerekli kontrol tedbirleri alınabilmektedir. Bu çalışmada, Gaziantep'te nüfus yoğunluğu yüksek olan bölgelerde karayolu trafiğinden kaynaklanan stratejik gürültü haritaları trafik sayımları ve simülasyon programı ile oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında 161 km'si ana karayolu olmak üzere toplam 193 km karayolu modellenmiş ve 33 yol kesitinde araç sayımı yapılmıştır. Elde edilen simülasyon verileri ile gündüz, akşam ve gece için stratejik gürültü haritaları hazırlanmıştır. Daha sonra, karayolu trafiğinden kaynaklanan gürültü sınır değerlerini aşan bölgelerdeki nüfus oranları hesaplanmıştır. Buna göre; Gaziantep nüfusunun % 5,4'ü gündüzleri, % 8,2'si akşamları ve % 7,5'i geceleri belirlenen kritik seviyelerin üzerinde karayolu kaynaklı gürültü seviyelerine maruz kalmaktadır. Hassas bölgeler olan 201 okul ve 95 hastane bu gürültü alanlarında bulunmakta ve karayolu kaynaklı gürültü seviyelerine maruz kalmaktadır.

Anahtar Sözcükler

Trafikten Kaynaklı Gürültü, Stratejik Gürültü Haritası, Gürültü Kirliliği

Evaluation of Strategic Noise Maps Arising from Urban Traffic

Abstract

Environmental noise from traffic, industry and entertainment in cities has been one of the important environmental problems. In developed countries, noise from highways, airways and railways are the second major health problem. Traffic noise has negative effects on human health. The traffic noise exposures are occurring in the high populated living areas. Strategic noise maps are prepared to identify these noise areas in cities and to create liveable cities. Thus, problems related to environmental noise are identified and necessary control measures can be taken. In this study, strategic noise maps arising from the road traffic in Gaziantep with high population density were created with traffic counts and simulation program. Within the scope of the study, a total of 193 km of highways, 161 km of which are main roads, were modelled and vehicle counts were made on 33 road sections. Strategic noise maps were prepared for daytime, evening and night with the obtained simulation data. Then, the population ratios in the regions exceeding the noise limit values caused by road traffic were calculated. According to this; 5.4% of the population of Gaziantep is exposed to traffic noise levels above the critical levels determined during the day, 8.2% in the evening and 7.5% at night. Sensitive areas, 201 schools and 95 hospitals, are located in these noise areas and are exposed to traffic noise levels.

Keywords

Traffic Noise, Strategic Noise Map, Noise Pollution

1. Giriş

Kentlerde, trafik, sanayi ve eğlence gibi çeşitli faaliyetlerden oluşan çevresel gürültü önemli çevre sorunlarından birisi olmuştur. Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) verilerine göre; sağlık sorunları sebepleri sıralamasında çevresel gürültü ikinci sırada gelmektedir. Aşırı gürültü insan sağlığına ciddi şekilde zarar vermekte ve insanların okulda, işte, evde ve boş zamanlarında günlük aktivitelerini olumsuz etkilemektedir. Gürültü, uyku bozukluğu, kardiyovasküler ve psiko-fizyolojik etkiler, performansı düşüklüğü ve rahatsızlık tepkileri ve sosyal davranışta değişiklikler oluşturmaktadır. Tek başına trafik gürültüsü, DSÖ Avrupa Bölgesinde neredeyse her üç kişiden birinin sağlığına zararlı olmakta ve her beş Avrupalıdan biri düzenli olarak geceleri sağlığı önemli ölçüde zarar verebilecek ses seviyelerine maruz kalmaktadır (WHO 2020).

Dünya Sağlık Örgütü'nün "Avrupa İçin Gece Gürültüsü Kılavuzu", gece gürültüsüne maruz kalmanın oluşturduğu sağlık sorunlarına dair kanıtlar sunmakta ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerin gözlemlendiği eşik değerleri belirtmektedir. Kılavuzda yıllık ortalama 40 desibeli (dB) aşmayan ortalama maruziyet önerilmiştir. Yıl boyunca ortalama 40 dB'in üzerinde gece gürültü seviyelerine maruz kalanlar, uyku bozukluğu ve uyanık kalma gibi etkilerle karşılaşmaktadır. Uzun süreli 55 dB ortalama maruziyetin üstünde oluşan gürültüler ise yüksek kan basıncını tetikleyebilmekte ve iskemik kalp hastalığına yol açabilmektedir. Avrupa Birliği'nde (AB) karayolu, demiryolu ve havayolu trafiğinden kaynaklanan gürültünün sağlığa etkileri konusunda yaptırılan bir araştırmaya göre her yıl yaklaşık 910 bin ek hipertansiyon vakası, en az 10 bin koroner kalp hastalığı ve inme ile ilgili erken ölüm vakası ve gürültü sebebiyle 43 bin hastaneye başvuru vakası oluşmaktadır. Bu çalışma, gürültüye maruz kalmayla ilgili kısmi verilere dayandığından, tüm AB'deki genel sağlık etkilerinin şu anda tahmin edilenden daha yüksek olması beklenebilir (EC 2020).

Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA 1974) değerlerine göre 24 saat boyunca 70 dB ve üzeri gürültüye maruz kalanlarda kalıcı işitme kaybı olabilmektedir. EPA tarafından gürültüye hassas olan bölgeler olan konut, okul ve hastane bölgeleri için 45 dB, dış mekânlar için ise 55 dB ses seviyesi üst limit olarak belirlenmiştir. Gürültünün insan sağlığı üzerine olan etkileri hakkında hazırlanan el kitabında ise işitme kaybı, fizyolojik tepkiler olarak; stres, kardiyovasküler etkiler, kalp krizi, yüksek tansiyon, inme veya felç, ülser, sindirim sistemi sorunları ve fetüs üzerindeki etkiler, psikolojik tepkiler olarak; anti sosyal davranış, yardım etme isteğinde azalma gibi etkiler görülebilmektedir (EPA 1981).

Trafikten kaynaklanan gürültünün insan sağlığı üzerindeki negatif etkileri ile ilgili birçok araştırma bulunmaktadır. Frankfurt'ta yapılan bir çalışmada sağlık sigortaları üzerinden alınan verilerle 40 yaşından büyük yaklaşık 578 bin kişi arasında 77 bin kişinin 24 saat sürekli 70 dB ve üzeri seviyede karayolu trafik gürültüsüne maruz kalması sebebiyle depresyona girdiği tespit edilmiştir (Seidler vd. 2017). Aynı şekilde hipertansiyon etkileri de gözlenmiştir (Zeeb vd. 2017). Yine Frankfurt'ta havayolu, karayolu ve demiryolu gürültüleri için yapılan bir çalışmada; kalp yetmezliği veya hipertansif kalp hastalığı ile istatistiksel olarak anlamlı bir doğrusal risk ilişkisi bulunmuştur. Buna göre havayolu gürültüsü 24 saatlik sürekli gürültü seviyesinde 10 dB artış başına % 1,6 risk artışı; karayolu gürültüsü için 10 dB artış başına % 2,4 risk artışı ve demiryolu gürültüsü için 10 dB artış başına % 3,1 risk artışı gözlenmiştir (Seidler vd. 2016). Diğer bir çalışmada farklı bir bakış açısıyla karayolu gürültüsünün emlak kiralara olan etkileri incelenmiştir. Gürültü sürekli değişken olarak kullanıldığında dB başına % 0,4 fiyat düşüşleri bulunmuştur. Gürültü kategorik bir değişken olarak kullanıldığında ise % 9,6'ya varan bir düşüş modellenmiştir (Kuehnel ve Moeckel 2020).

Avrupa Komisyonu, 2002 yılında Çevresel Gürültü Yönergesini (The Environmental Noise Directive, END) yayımlamıştır (EU 2002). Bu Yönergeye göre; Avrupa Birliği ülkelerinin kentsel planlamalarını gürültü kaynaklarını göz önünde bulundurarak yapması, gürültüye maruz kalma etkileri hakkında bilgilerin topluma ulaşmasının sağlanması ve ülkelerin gürültü politikalarının desteklenmesi amaçlanmıştır. Böylece, "Stratejik Gürültü Haritaları" şehirlerde çevresel gürültünün planlaması ve kontrolü için ana araç haline gelmiştir (Borelli vd. 2014). Bu aşamadan sonra, AB'ye üye ülkeler, gürültü denetimi ile ilgili devam etmekte olan çalışmalarına hız vermişler ve tüm yerleşimlerin gürültü haritalarının çıkartılması ve gürültü açısından mevcut durumun ortaya konmasına yönelik ortak yönergeler oluşturmuşlardır.

Ülkemizde, çevresel gürültü ile ilgili AB Yönergesinin (2002/49/EC) uyumlaştırılması ve uygulanması amacıyla AB ile ortak projeler yapılmıştır. Türkiye için gürültünün kontrolü ve azaltılmasına yönelik hedef ve ilkeler belirlenmiş ve "2009-2020 Çevresel Gürültü Eylem Planı" hazırlanmıştır (ÇŞB 2018). Konu ile ilgili kurum ve kuruluşların görevlerinin belirlenmesi ve işbirliği içinde çalışmaların yapılması amacıyla belirlenen çevresel gürültü standartlarını sağlayacak şekilde çalışmaların yapılmasına yönelik Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY) yürürlüğe girmiştir (URL-1 2010). Yönetmelik, kişilerin beden ve ruh sağlığını, huzur ve sükûnunu gürültü ile bozmayacak bir çevrenin geliştirilmesi için, çevresel gürültüye maruz kalmanın etkileriyle mücadele etmeye yönelik esas ve kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin gürültü kaynakları bazında uygulanması için çeşitli kaynaklardan yayılan gürültü emisyonuna sınırlamalar getirmiştir. Ayrıca, yerleşim yerleri, karayolları, demiryolları ve hava alanları için gürültü düzeylerini ve bu düzeylere maruz kalan konut, okul, hastane ve etkilenen kişi sayısını gösteren gürültü haritalarının hazırlanmasını belirtmektedir. Bu harita sonuçları esas alınarak, özellikle çevresel gürültüye maruz kalma seviyelerinin insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere yol açtığı yerler ile çevresel gürültü seviyesinin aşılmasının gerekli olduğu yerlerde, gürültünün kontrol altına alınmasına yönelik eylem planları hazırlanarak uygulamaya konulması öngörülmektedir. Stratejik gürültü haritalama esaslarına göre 250 bin'den fazla yerleşik nüfusu olan ve nüfus yoğunluğu kentleşmiş alanda 1000 kişi/km²'den fazla olan yerleşim alanları, stratejik gürültü haritalarının hazırlanması gereken öncelikli alanlar olarak tanımlanmıştır (URL-1 2010). Ayrıca Çevre Kanunu ve Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliğinde Madde 21(5)'de de İmar planlarında, planlama alanının niteliğine göre mevzuatta öngörülen sağlık koruma bantları, güvenlik bölgesi ve benzeri koruma kuşakları gösterilir. İmar planları, varsa stratejik gürültü haritaları ve eylem planları dikkate alınarak hazırlanır ve planlarda bu konuda gerekli tedbirler alınır" denilmektedir (URL-2 2014).

1.1. Türkiye'de yapılan çalışmalar

Türkiye'de gürültü ile ilgili yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük kısmı büyükşehir olmayan il ve ilçe merkezlerinde yer almıştır (Sillelioğlu 2004; Özdemir ve Kalıpcı 2011; Kalıpcı ve Dursun 2009).

Afyonkarahisar için yapılan çalışmada elde edilen değerlerin %58,5'i 80 dB(A)'ın, %6,85'i 90 dB(A)'ın üstündedir (Erdoğan vd. 2007). Giresun'da 99 noktada yapılan gürültü ölçümleri ve coğrafi bilgi sistemi ile haritalama çalışmasında, limanın şehir içinde, kafe ve düğün salonlarının konut bölgelerinde bulunmasından dolayı kentteki sanayi, eğlence ve trafik gürültüsünün birbirine karıştığı ve yoğunluğu artırdığı görülmüştür. 3 caddede 68 dB(A) değeri aşılmıştır (Kalıpcı ve Dursun 2009). Sarayönü ilçesinde 44 noktada yapılan çalışmada gürültü ölçüm seviyelerinin sabah 45-103 dB(A), öğlen 44-90 dB(A) ve akşam 39-82 dB(A) aralığında olduğu belirlenmiştir (Öden ve Bilgin 2019). Avanos'ta 24 noktada yapılan çalışmada eşdeğer gürültü ölçüm seviyelerinin gündüz 79-85 dB(A) aralığında olduğu ve ilçe giriş-çıkış karayollarındaki maksimum gürültü seviyesinin L_{max} 109 dB(A), minimum L_{min} 82 dB(A) olduğu belirlenmiştir (Kalıpcı 2017).

Büyükşehir belediyesi sınırlarında olan ilçe alanlarını kapsayan yapılan çalışmalarda, örneğin İzmit kent merkezinde gündüz 1 cadde, 6 okul, 4 park alanı ve 2 hastane alanındaki trafikten kaynaklı gürültü 70 dB(A) sınır değerinin üzerinde olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde akşam için; 2 cadde, 1 üniversite, 6 park ve 2 hastane 65 dB(A) sınır değerinin üzerinde olarak tespit edilmiştir. Son olarak gece için; 1 cadde, 6 park ve 2 hastane 60 dB(A) sınır değerinin üzerinde olarak tespit edilmiştir (Bayraktar 2006). Benzer şekilde Samsun'da en büyük nüfuslu 2. İlçe olan Atakum ilçesinde yapılan çalışmada, hafif raylı sistem ve aynı güzergâhta bulunan karayolundaki trafikten kaynaklanan gürültü seviyeleri ölçülmüştür. $L_{gündüz}$ ızgaralı gürültü haritası incelendiğinde, güzergâhta bulunan binaların konumu, açıları ve çizgisel gürültü kaynaklarına olan uzaklıklarına göre 65-70 dB(A) ve 70-75 dB(A) aralığında ulaşım gürültüsüne maruz kaldıkları görülmektedir. $L_{akşam}$ ızgaralı gürültü haritası verileri incelendiğinde, binaların maruz kaldığı en yüksek gürültü düzeyinin 65-70 dB(A) olduğu tespit edilmiştir. L_{gece} ızgaralı gürültü haritası verilerine 55-60 dB(A) ve 60-65 dB(A) aralığında ulaşım gürültüsüne maruz kaldıkları anlaşılmaktadır. $L_{(gag)}$ gürültü haritasına bakıldığında çalışma aksından cephe alan binaların konumu, açıları ve çizgisel gürültü kaynaklarına olan uzaklıklarına göre ağırlıklı olarak 70-75 dB(A) aralığında ulaşım gürültüsüne maruz kaldıkları görülmektedir (Öner ve Sesli 2018).

Konya'da trafikten kaynaklı gürültü için farklı çalışmalar da mevcuttur (Özdemir vd. 2012; Kalıpcı ve Aslan 2007). Büyükşehir belediyesinde bulunan tüm merkez ilçeleri kapsayan çalışmalar için örnek Konya'da yapılmıştır. Çalışmadaki sonuçlara göre gündüz vakti için nüfusun yaklaşık %25-30'u yani 80 bin konut 300 bin konut sakininin 60 dB(A) seviyesinde trafikten kaynaklı gürültüye maruz kaldığını göstermektedir. L_{gece} değerleri kapsamında değerlendirildiğinde; trafikten kaynaklı 55 dB(A) değerini aşan gürültüye maruz nüfusun yaklaşık %10-15 olduğu ve 60 bin konut, 200 bin kişiyi kapsadığını göstermektedir (Dalkılıç ve Dursun 2019).

Bu çalışmada, Gaziantep'te, büyükşehir kapsamındaki tüm merkez ilçeleri kapsayacak bir alanda, nüfus yoğunluğu yüksek olan bölgelerde karayolu trafiğinden kaynaklanan stratejik gürültü haritaları trafik sayımları ve simülasyon programı ile oluşturulmuştur. Elde edilen simülasyon verileri ile gündüz, akşam ve gece için stratejik gürültü haritaları hazırlanmıştır. Daha sonra, karayolu trafiğinden kaynaklanan gürültü sınır değerlerini aşan bölgelerdeki nüfus oranları hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Son yıllarda, çevresel gürültü haritalarının hazırlanması için birçok farklı simülasyon modelleri kullanılmıştır (Borelli vd. 2014; Lee vd. 2014; Vogiatzis ve Remy 2014; Gulliver vd. 2015). Bu modelleme araçları, planlama aşamasında ölçüm yapmanın mümkün olmadığı durumlarda çok kullanışlı olmaktadır. CadnA ve SoundPLAN gibi programlar çevresel gürültü haritalamasında en yaygın kullanılanlar arasında sayılabilir (Khan vd. 2018). Bu yazılımlar yetkin, güvenilir ve trafik gürültüsünü modellemek için genellikle doğru araçlar olarak kabul edilmektedir (Karantonis vd. 2019). SoundPLAN kullanıcı kolaylığı sağlayan, yerel verilerle uyumlu ve önceki çalışmalarda başarılı sonuçlar elde etmiş bir yazılım olarak bilinmektedir (Bodin vd. 2009; Sorensen vd. 2012; 2013; 2014; 2015). Bu sebeple, bu çalışmada, motorlu taşıt trafiğinden kaynaklanan çevresel gürültünün modellenmesi için SoundPLAN kullanılmıştır. Proje kapsamında NMPB Routes 96 isimli Fransız ulusal hesaplama yöntemi de kullanılarak karayolu trafik gürültüsü belirlenmiştir (Besnard vd. 2011).

Mevcut veya tahmin edilen gürültü düzeylerini ve gürültü kaynağını belirlemek için çevresel gürültü haritaları kullanılmaktadır. Çevresel gürültü haritaları ile gürültü limitlerinin aşıldığı alanlar tespit edilmektedir. Böylece, gürültüden etkilenen konut, okul, hastane gibi hassas yapılar ve bölgedeki nüfus belirlenmektedir. Gürültü haritaları coğrafi veri tabanları üzerine eklenen bilgi katmanları olarak tanımlanır. Bir bölgenin sınırları belirlenerek yeterli sayıda alıcı nokta yerleştirilmekte ve bu noktalardaki gürültü düzeyleri tek tek hesaplanarak gürültü konturları oluşturulmaktadır. Coğrafi haritalar ve yerleşim planları kullanılarak alıcı noktalar ve aralarındaki mesafeler arazi üzerinden tespit edilmektedir. Bu nedenle gürültü haritalarının hazırlama çalışmaları sırasındaki en önemli adımlardan biri fiziksel çevre verilerinin saptanması olarak belirtilmektedir. Bu veriler, yapıların konumu ve yükseklikleri, kat adetleri, zemin tipleri, topoğrafik durum ile doğal ve yapay engellerden oluşmaktadır.

Gürültü haritası sonuçlarında elde edilen çevresel gürültü üzerine, çalışmanın yapılacağı alandaki binaların yoğunluğu ve şekli, açık alanların varlığı ve fiziksel şekli vb. arazi özelliklerinin önemli etkileri bulunmaktadır. Gürültü haritası hazırlanması için çalışılan alanda bulunan tüm arazi kullanım bilgilerinin, oluşturulan coğrafi veri tabanı içerisinde değerlendirilmesi gerekmektedir (Italio vd. 2011).

Çalışmadaki arazi kullanımına ait sayısal haritalar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan elde edilen "Coordination of Information on the Environment (CORINE)" Arazi Sınıflandırma Sistemi kullanılarak hazırlanmıştır. CORINE Sınıflandırma Sistemi 1990 yılından beri tüm AB Üye ülkelerinde kullanılan ortak sınıflandırma sistemidir. Türkiye'de ise 1998 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından uygulanmaya başlanmıştır. 2006 yılı uydu görüntüleri kullanılarak yapılan ilk çalışma 2008 yılı ortalarında tamamlanmıştır (Çivi vd. 2009).

CORINE Sistemi dört temel amaca hizmet etmektedir:

1. Avrupa Birliği'nin bütün üye devletleri için belirlenmiş öncelikli konulara göre çevrenin durumu ile ilgili bilgilerin toplanması,
 2. Üye devletler içinde ya da uluslararası düzeyde, verilerin toplanması ve bilgilerin uyumlu hale getirilmesi,
 3. Bilgilerin tutarlılığının ve verilerin uyumluluğunun sağlanması,
 4. Avrupa Çevre Ajansı kriterlerine göre "Arazi Kullanım" haritalarının oluşturulması.
- Ayrıca CORINE Sistemi ile farklı düzeylerde yapılan çok sayıdaki çalışma ile toplanan çevresel bilgilerin yıllar itibarıyla değişiminin izlenmesi sağlanmaktadır.

2.1. Model oluşturulması

Çalışma alanı, sayısal haritalar, koordinatlar, arazi kotları ve bina bilgi sistemi gibi katmanlarla modellenmiştir. Bina bilgi sistemi binaların kullanım amacı, kat sayısı, binadaki daire sayısı vb. bilgileri kapsamaktadır. Arazi modellemesi yapıldıktan sonra bina nüfus bilgilerini kapsayan bir veri tabanı oluşturulmuştur. Hesaplamanın üçüncü adımında, proje çalışma alanı içerisinde yer alan gürültü kaynağı olan karayolu trafiği modele işlenmiştir.

Ana karayolu yılda üç milyondan fazla aracın geçtiği bölgesel, ulusal veya uluslararası karayollarını kapsamaktadır. Tanımlanan ana karayollarının belirlenmesi amacıyla otoyollar ve devlet yollarına ait bilgiler Karayolları Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Kent içinde belirlenen yoğun caddeler ve ana arterler için Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından 2014 yılında yapılan trafik sayımları göz önüne alınmıştır. Ayrıca, 2006 yılında hazırlanan hâlihazır haritalar ve imar planları kullanılmıştır.

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan gürültüler incelenirken öncelikle taşıtların sınıflandırılması gerekmektedir. Taşıtlar, gereksinime bağlı olarak tekerlek sayılarına, akslarına, kullanım amaçlarına ve tiplerine göre değişik biçimlerde sınıflandırılır. Gürültü açısından sınıflandırma ise, gürültü emisyonlarına bağlı olarak, ağır ve hafif taşıtlar biçimindedir. Üç tondan ağır olan çeşitli büyüklükteki kamyonlar, otobüsler ağır taşıt olarak sınıflandırılırken, otomobil ve motosiklet ise hafif taşıt olarak nitelendirilebilir (TS 6407 2013; TRB 2010). Gerçekleştirilen araştırma sonuçlarına göre gürültü düzeyleri; artan taşıt ağırlığı, motorun bakımsız ve eski olması, artan hız ve ivmeye bağlı olarak artmaktadır (Nelson and Piner 1977; Nelson 1987). Genellikle yüksek hızlarda lastik/yol yüzeyi sürtünme gürültüsü, orta hızlarda aerodinamik gürültü ve düşük hızlarda motor gürültüsü önemli olmaktadır.

Karayolu gürültüsünün spektral özellikleri incelendiğinde; gürültü seviyelerinin düşük frekanslarda daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ağır taşıtların referans gürültüleri; yol kenarından 7,5 m'de düşük frekanslarda 90 dB seviyesine kadar ulaşırken, yüksek frekanslarda 45 dB'e kadar düşmektedir. "A" ağırlıklı toplam gürültü düzeyinde ise ağır taşıtlar yaklaşık 80 dB(A) ve hafif taşıtlar 70 dB(A) civarında gürültü emisyonlarına sahiptirler (Kurra 2009).

Tekil ve durağan durumda iken noktasal kaynak olarak nitelendirilen motorlu taşıtlar, bir doğrultu boyunca sıralanmaları sonucunda çizgisel kaynak olarak incelenmektedir. Ayrıca ulaşım gürültüsü bir alan içerisinde yaygın gürültü biçiminde düşünülerek düzlemsel kaynak olarak da ele alınır. Karayolu gürültüsüne etki eden önemli etmenlerden birisi de trafik akışıdır. Ulaşım akışının niteliği (kesikli veya kesiksiz akış), durmalar, ivmelenmeler kavşak, trafik lambaları ve ulaşım sıklığı ile ve vites değişimlerinin çevresel gürültü düzeylerine önemli etkileri mevcuttur. Karayolundan kaynaklanan gürültüde diğer önemli bir etken de ulaşımın hacmi (taşıt/birim zaman) veya gece-gündüz ağırlığı uygulanarak bulunan "efektif taşıt sayısı" olarak belirtilebilir (Johnson ve Saunders 1968).

Bunlarla birlikte yolların kaplamalarının da (asfalt, beton ve parke gibi) gürültü düzeyleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve özellikle soğuk iklim bölgelerinde kaymaya karşı uygulanan yivli ya da oluklu beton yüzeylerin, sürtünmeden dolayı gürültü düzeylerini artırdığı ifade edilmiştir (Kurra 2009). Yol eğiminin artması, yollarda bulunan kurba ve kavşaklar, yolların çevreye göre yükseltilmiş veya alçaltılmış olması özellikle gürültünün yayılma alanını etkiler ve topoğrafik etkiler ile yapısal etkilerin doğru saptanmasını gerektirir. Yol genişliği ve şerit sayısı ise gürültü hesaplamalarında, trafik hacmi, kaynak uzaklığı gibi diğer değişkenleri de etkiler. Özetle, trafik ışıkları, eğimler ve kavşaklar ya da topografya, meteorolojik koşullar ve düşük fon gürültüleri gibi trafik hareketleriyle taşıtın hızında ve gücünde değişikliklerin gerektirdiği özel bölgelerde ve durumlarda gürültü düzeyleri yükselebilir. Karayolu kaplama malzeme tipleri "düz asfalt, gözenekli yüzey, beton yol veya stabilize yol" olarak tanımlanabilmektedir.

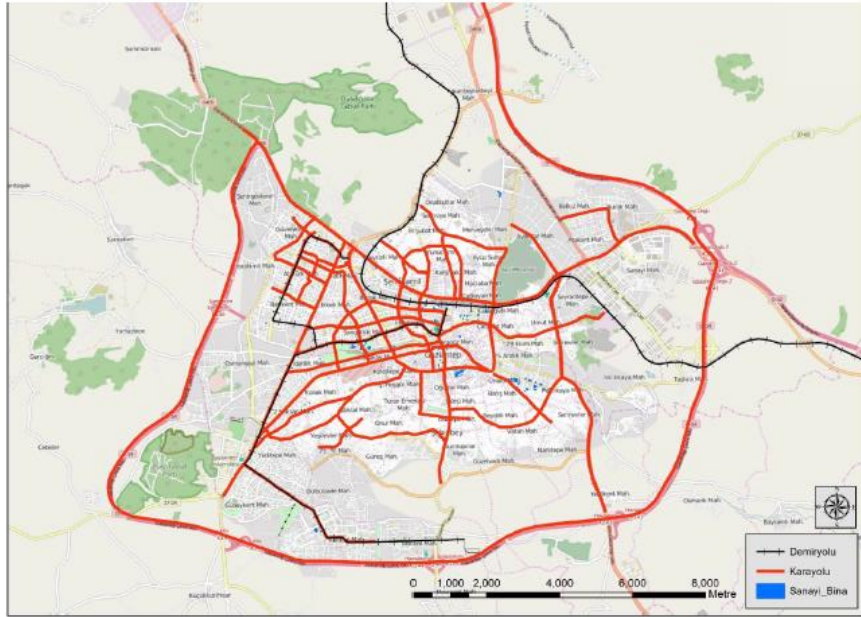
Karayolu gürültüsüne etki eden bu faktörlerin dışında, yolun tek veya çift yönlü olması, şerit sayısı, yol kaplama malzemelerinin dokusu, boşluk oranı ve yoğunluğu da önemlidir. Yoldaki iniş eğimi, gürültü seviyelerinde azalmaya sebep olurken, yukarı eğim olduğunda ise motorun daha fazla zorlanması ve parçaların üzerine daha fazla yük binmesi nedeniyle gürültü emisyon miktarında artışlar gözlenmektedir.

2.2. Çalışma Alanı

Çalışmadaki stratejik gürültü haritası alanı, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi merkez ilçeleri olan Şahinbey ve Şehitkâmil ilçeleri sınırları içerisindeki şehirleşmiş alanlar olarak belirlenmiştir. Şahinbey’de 187, Şehitkâmil’de 144 mahalle çalışma alanına dâhil edilmiştir. 2014 yılı verilerine göre gürültüden etkilenen alan içerisindeki toplam nüfus 1.556.381 kişidir. Nüfusu 100 binden fazla olan, şehirleşmiş alan olarak kabul edilen ve nüfus yoğunluğunun kilometrekare başına bin kişiden fazla olduğu alanlar, stratejik gürültü haritalama esaslarına göre haritası hazırlanacak yerleşim alanı olarak belirlenmiştir. Şehirleşmiş bölgeler çalışma alanına dâhil edilmiş boş araziler ise kapsam dışı bırakılmıştır. Gürültü haritalarının oluşturulmasında proje çalışma alanı için arazi kullanım bilgileri değerlendirilmiştir. Bu iki ilçede şehir yapısı yaklaşık çalışma alanlarının % 2’sini kapsamaktadır. Şahinbey ve Şehitkâmil ilçeleri arazi kullanımı bilgileri sırasıyla, Tablo 1’de verilmektedir. Şehitkâmil ve Şahinbey ilçelerinde çalışma alanı ve bulunan gürültü kaynaklarının konumları Şekil 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1: Gaziantep Şahinbey ve Şehitkâmil ilçeleri arazi kullanımı

Arazi Kullanımı	Şahinbey Alan (m ²)	Şehitkâmil Alan (m ²)
Şehir yapısı	24.279.445	27.836.349
Endüstriyel ve ticari yapılar	6.685.237	23.961.244
Karayolları, demiryolları ve ilgili alanlar	598.699	7.424.595
Limanlar	-	-
Havaalanları	-	-
Tarım alanları	856.555.527	951.592.019
Orman yeri ve yarı doğal alanlar	95.180.665	207.591.452
Sulak alanlar	-	-
Su yapıları	1.432.865	-
Diğer	6.408.162	13.748.341
Toplam	991.140.600	1.232.154.000



Şekil 1: Şahinbey ve Şehitkâmil ilçelerindeki trafik gürültü kaynaklarının (demiryolu ve karayolu) konumları

2.3. Stratejik Gürültü Haritaları için Trafik Sayımları

Çalışma kapsamında 161 km’si ana karayolu olmak üzere toplam 193 km karayolu modellenmiştir. Yılda üç milyondan fazla aracın geçtiği ana karayolları ile kent içi trafiğin yoğun olduğu toplamda 33 yol kesitinde araç sayımları gerçekleştirilmiştir. Araçlar gürültü emisyonlarına bağlı olarak hafif ve ağır olarak kategorize edilmiştir. Üç tondan ağır araçlar ağır taşıt kategorisine girmektedir. Karayolu gürültü seviyeleri taşıt ağırlığı, motor bakımı ve yaşı, hız ve ivme, trafik akışı, kavşaklar, trafik lambaları, ulaşım sıklığı, yol kaplamaları, yol eğimi, topoğrafik etkiler, yol genişliği gibi değişkenlere bağlı olarak hesaplanmıştır.

Belirlenen yol kesitlerinde günün üç zaman dilimini (gündüz, akşam ve gece) temsil eden zirve saatlerde 1 saatlik taşıt sayımları ağır ve hafif araç olarak sınıflandırılarak yapılmıştır. Hafta sonu trafik yoğunluğu hafta içine oranla farklılık gösteren yollar içinde ayrıca günün üç zaman dilimini temsil eden en yoğun saatlerde 1 saatlik taşıt sayımları gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmaları sonucunda elde edinilen sayım verileri tüm zaman dilimleri için Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2: Proje çalışma alanı içerisinde yer alan karayollarına ait taşıt sayımları (taşıt/saat)

Cadde/Sokak	Yol kaplaması	Gündüz (07:00-19:00)		Akşam (19:00-23:00)		Gece (23:00-07:00)	
		Ağır taşıt	Hafif taşıt	Ağır taşıt	Hafif taşıt	Ağır taşıt	Hafif taşıt
Hoca Ahmet Yesevi Cad.	Düz Asfalt	137	333	12	82	3	37
Duisburg Bulv.	Düz Asfalt	162	586	86	467	29	206
Mustafa Taşar Cad.	Düz Asfalt	128	428	119	245	9	18
Hasan Celal Güzel Cad.	Düz Asfalt	141	441	138	461	3	17
Vehbi Dinçerler Cad.	Düz Asfalt	88	341	32	310	16	164
Gazi Ali Düşün Cad.	Düz Asfalt	114	516	346	347	7	45
Muhsin Yazıcıoğlu Cad.	Düz Asfalt	212	426	203	567	25	72
Kemal Köker Cad.	Düz Asfalt	94	256	63	203	9	22
Atatürk Bul.	Düz Asfalt	276	933	172	505	62	258
İnönü Cad.	Düz Asfalt	649	1.073	554	1.074	67	180
Tüfekçi Yusuf Cad.	Düz Asfalt	866	1.192	449	851	229	530
Maaş Kuyu Cad.	Düz Asfalt	282	467	359	538	28	60
Hafız Tefvik Cad.	Düz Asfalt	500	636	213	365	61	111
Kâtip Hoca Cad.	Düz Asfalt	90	264	55	161	17	37
Şöför Ali Cad.	Düz Asfalt	28	114	15	80	5	24
Tekel Cad.	Düz Asfalt	71	318	46	234	13	36
Lefkoşe Cad.	Düz Asfalt	427	382	211	360	84	115
Hasip Düri Cad.	Düz Asfalt	246	393	174	212	22	37
Yavuz Sultan Selim Cad.	Düz Asfalt	328	528	238	714	154	508
Mehmet Oğuz Göğüş Cad.	Düz Asfalt	279	369	254	535	46	245
77 Cadde	Düz Asfalt	410	562	195	361	16	26
Şanlıdere Cad.	Düz Asfalt	413	387	317	350	36	78
Aşık Mahsuni Şerif Cad.	Düz Asfalt	278	446	199	319	112	92
Özdemir Cad.	Düz Asfalt	495	783	244	515	40	50
140 Cad.	Düz Asfalt	264	489	246	438	85	153
216 Cad.	Düz Asfalt	585	1.067	417	939	20	92
27041 Cad.	Düz Asfalt	81	335	41	289	10	50
Karkamış Cad.	Düz Asfalt	85	201	42	152	8	26
Fatih Sultan Mehmet Bul.	Düz Asfalt	100	278	60	254	11	41
Cumhuriyet Cad.	Düz Asfalt	138	374	63	288	17	49
D850-14 1. Kısım	Düz Asfalt	457	1.853	216	1.531	108	483
D400-23 3. Kısım	Düz Asfalt	113	364	66	252	42	70
O54 Otoyolu	Düz Asfalt	228	672	88	463	53	123

Sayımları yapılan yol kesitleri ve Karayolları Genel Müdürlüğüne bağlı karayolları günlük araç yoğunlukları belirlenmiş olan 9 ana arterde (Sani Konukoğlu Bulvarı, Abdulkadir Aksu Bulvarı, Ali Şir Nevai Caddesi, Bahriye Üçok Bulvarı, İstasyon Caddesi, Gazi Mustafa Kemal Bulvarı, Ali Fuat Cebesoy Bulvarı, Ali Nadi Ünler Bulvarı ve Mareşal Fevzi Çakmak Bulvarı) modelleme çalışmalarına dahil edilmiştir.

2.4. Model Sonuçlarının Doğrulanması

Avrupa Komisyonu çalışma grubu tarafından 2007 yılında yayımlanan kılavuza göre, 300 m doğrulama mesafesi içerisinde model ile ölçüm değerleri arasındaki farkın 1 dB, 600 m uzakta 3 dB ve 2-3 km uzaklıklarda ise 10 dB olabileceği belirtilmektedir (EC 2007). Yine END'de (EU 2002) belirtilen gürültünün değerlendirilmesinde kentsel alanlarda alıcı noktalar için hesaplanan gürültü değerlerinin standart sapmasının yaklaşık 5 dB(A) olabileceği belirtilmektedir (Vos vd. 2005). Birleşik Devletler Otoyol İşletmeleri Ulaştırma Departmanı tarafından 2010 yılında yayınlanan rehberde göre karayolu gürültüsü modelleme sonuçlarının ± 3 dB(A) değerinde doğrulukta kabul edilebileceği öngörülmektedir. Ölçüm sonuçları ile model çıktıları arasındaki farklılıkların nedenleri olarak; kent ölçeğinde bir çok farklı kaynağın alıcı noktadaki ölçüm sonucuna etkisi, hesaplama yazılımı ve yöntemden kaynaklı belirsizlik, hesaplama alanındaki bina, yer geometrisi ve emisyon girdileri sıralanabilir (USDT 2010).

Proje çalışma alanındaki belirlenen alıcı noktalar farklı mesafelerdeki karayolu, demiryolu sanayi ve eğlence tesislerinden yayılan gürültü emisyonlarının etkisi altında kalmaktadır. Kaynak bazında mesafeye bağlı hesaplanan model sonuçlarının doğrulamasını bağımsız olarak yapmak mümkün değildir. Dolayısıyla alıcı noktalar için hesaplanan model sonuçları tüm kaynakların etkisi dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Tüm zaman dilimleri için hesaplanan model sonuçları ölçümler ile karşılaştırıldığında alıcı noktaların yaklaşık % 75'inde farkın 3 dB(A) seviyesinin altında olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, model çıktıların uluslararası kabul görmüş kaynaklardaki belirtilen kriterlere göre oldukça iyi ve güvenilir aralıklarda olduğu karar verilmiştir (TÜBİTAK-MAM 2016).

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanı içerisinde gürültüye maruz kalan konut sayısı, okul sayısı, hastane sayısı ve yaşayan kişi sayısı için SoundPLAN programı kullanılarak etkilenme analizi yapılmıştır. Etkilenme analizi için, en fazla gürültü alan cephede ve zeminden 4 m. yüksekteki gürültü seviyesi farklı değer aralıklarına göre hesaplanmıştır. Bu gürültü seviyeleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Bunlara ilave olarak değer aralıklarına göre gürültüye maruz kalan tahmini konut sakini sayılarının yüzdelik dilimlerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Binaları etkileyen gürültü, bina cephelerinde zeminden 4 m yükseklikte ve cephenin 2 m önünde ölçüldüğünde eğer ölçülen en yüksek değerden 20 dB(A) daha düşük ise bu cephe sakin cephe olarak tanımlanmaktadır. Haritalar hazırlanırken bu gürültü seviyeleri Tablo 3'deki farklı renklerde gösterilmiştir.

Trafik yoğunlukları ve akışlarının çevrelerine etkileri gündüz, akşam ve gece zaman dilimlerine göre değişmektedir. Bu sebeple, çalışma alanındaki karayollarının çevresindeki maruziyet hesaplamaları gün içerisindeki farklı zamanlarda ayrı ayrı yapılmıştır.

Tablo 3: Ölçülen gürültü düzeyleri için haritalarda kullanılan renkler.

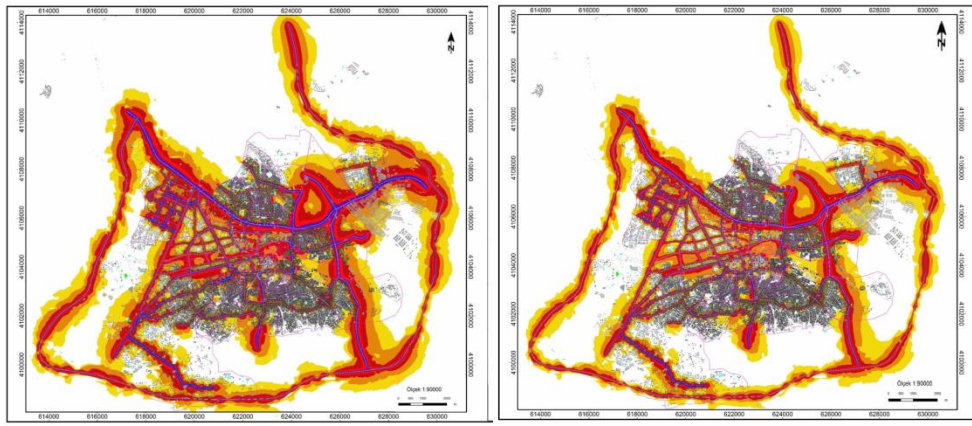
Gürültü Düzeyi dB(A)	
	50 - 55
	55 - 60
	60 - 65
	65 - 70
	70 - 75
	>75

3.1. Şahinbey ve Şehitkâmil İlçeleri (Merkez) Karayolu Stratejik Gürültü Haritaları

Ortalama gürültü değeri (L_{gag}) ve gündüz ölçülen gürültü değeri ($L_{gündüz}$) gürültü düzeylerine göre hesaplanan etkilenme analizi sonuçları Tablo 4'te verilmektedir. 5 dB(A) kontur aralıkları ile hazırlanmış L_{gag} ve $L_{gündüz}$ Karayolu Stratejik Gürültü Haritası Şekil 2'de verilmektedir. Renkler sarıdan maviye doğru giderken gürültü seviyesi Tablo 3'de gösterildiği gibi artmaktadır.

Tablo 4: Şahinbey ve Şehitkâmil ilçeleri (merkez) karayolu gürültüsü etkilenme analizi hesaplama sonuçları, L_{gag} ve $L_{gündüz}$

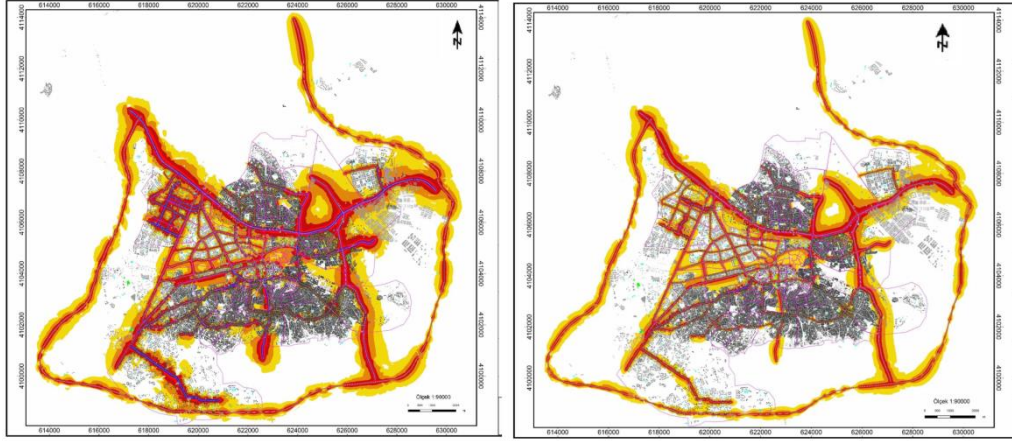
Gürültü Düzeyi (dB(A))	L_{gag}					$L_{gündüz}$				
	Alan (km ²)	Konut	Konut Sakini	Okul	Hastane	Alan (km ²)	Konut	Konut Sakini	Okul	Hastane
50-54	35,4	65.600	228.700	121	17	31	50.300	188.500	94	18
55-59	28,9	36.100	147.100	91	26	23,5	27.000	116.100	76	20
60-64	19,1	20.800	93.400	61	13	13,3	16.000	74.700	49	19
65-69	10,2	12.400	64.400	42	24	7,2	10.500	54.300	37	14
70-74	5,8	9.100	43.800	39	13	4,8	7.900	38.000	29	15
>75	6,4	9.200	38.000	11	10	4,8	7.000	28.000	6	5

Şekil 2: Şahinbey ve Şehitkâmil ilçeleri karayolu stratejik gürültü haritası 5 dB(A) kontur aralıkları ile hazırlanmış L_{gag} (solda) ve $L_{gündüz}$ (sağda)

Akşam ölçülen gürültü değeri ($L_{akşam}$) ve gece ölçülen gürültü değeri (L_{gece}) cinsinden etkilenme analizi hesaplama sonuçları Tablo 5'te verilmektedir. 5 dB(A) kontur aralıkları ile hazırlanmış $L_{akşam}$ ve L_{gece} Karayolu Stratejik Gürültü Haritası Şekil 3'de verilmiştir.

Tablo 5: Şahinbey ve Şehitkâmil ilçeleri (merkez) karayolu gürültüsü etkilenme analizi hesaplama sonuçları, $L_{akşam}$ ve L_{gece}

Gürültü Düzeyi (dB(A))	$L_{akşam}$					L_{gece}				
	Alan (km ²)	Konut	Konut Sakini	Okul	Hastane	Alan (km ²)	Konut	Konut Sakini	Okul	Hastane
50-54	29,4	43.800	169.500	95	24	24	24.400	107.100	68	16
55-59	19,7	24.200	105.800	66	13	13,6	13.900	65.900	46	26
60-64	10,9	14.700	75.000	44	22	7,2	9.700	51.400	36	15
65-69	6,2	9.900	47.000	40	15	4,8	6.500	28.700	21	9
70-74	4,5	6.600	30.200	22	12	2,3	3.000	11.700	0	2
>75	2,8	5.300	20.300	3	3	0,5	700	1.900	0	0



Şekil 3: Şahinbey ve Şehitkâmil ilçeleri karayolu stratejik gürültü haritası 5 dB(A) kontur aralıkları ile hazırlanmış $L_{kşm}$ (solda) ve L_{gece} (sağda)

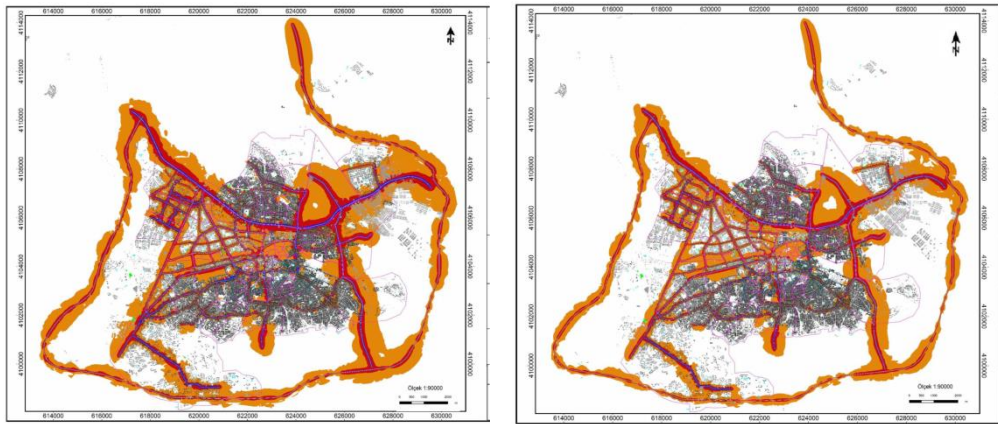
3.2. Yüksek Seviyelerdeki Gürültüye Maruz Kalan Nüfusun Belirlenmesi

Belirtilen indikatörlere göre stratejik gürültü haritaları hazırlandıktan sonra L_{gag} değerinin ve L_{gece} değerinin >55 , >65 ve >75 dB(A) olduğu gürültü alanlarında yaşayan insan sayısının saptanması gerekmektedir. Bu kapsamda, karayollarından kaynaklanan 55, 65 ve 75 dB(A) değerlerinden daha yüksek L_{gag} , $L_{gündüz}$, $L_{kşm}$ ve L_{gece} gürültü düzeylerine maruz kalan toplam alan (km^2) ile tahmini toplam konut sayısı ve bu alanlarda yaşayan tahmini toplam sakin sayısı hesaplanmıştır.

Modelleme sonucunda gürültü sınırlarına göre elde edilen L_{gag} ve $L_{gündüz}$ değerine bağlı sonuçlar Tablo 6'da verilmektedir. L_{gag} ve $L_{gündüz}$ için Karayolu Stratejik Gürültü Haritası ve >55 , >65 ve >75 dB(A) gürültü düzeyi değerlerine maruz kalan alanlar Şekil 4'de verilmektedir.

Tablo 6: Şahinbey ve Şehitkâmil ilçelerinde (merkez) gürültü sınırlarına göre karayolu kaynaklı L_{gag} ve $L_{gündüz}$ değerinden etkilenme

	L_{gag}					$L_{gündüz}$				
Gürültü Düzeyi dB(A)	Alan (km^2)	Konut	Konut Sakini	Okul	Hastane	Alan (km^2)	Konut	Konut Sakini	Okul	Hastane
>55	70,3	87700	386600	244	86	53,7	68.400	311.100	197	73
>65	22,4	30700	146100	92	47	16,8	25.300	120.400	72	34
>75	6,4	9200	38000	11	10	4,8	7.000	28.000	6	5

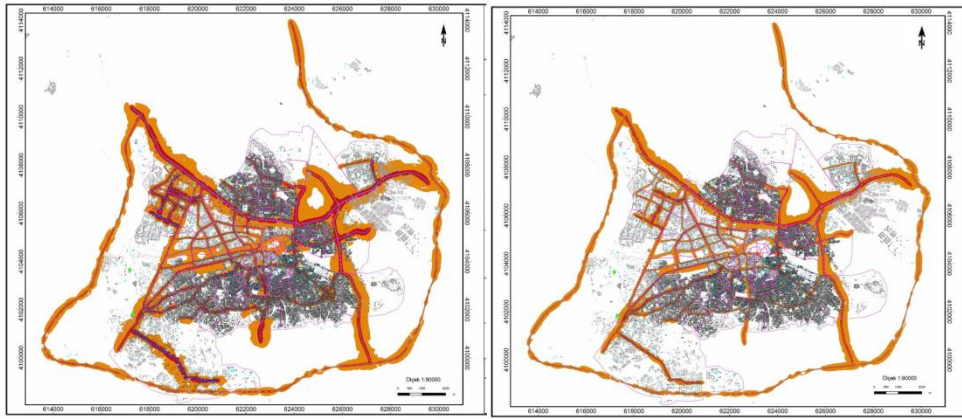


Şekil 4: Şahinbey ve Şehitkâmil ilçeleri karayolu stratejik gürültü haritası >55 , >65 , >75 db(A) düzeylerine maruz kalan alanlar, 5 dB(A) kontur aralıkları ile hazırlanmış L_{gag} (solda) ve $L_{gündüz}$ (sağda)

Hesaplanan $L_{akşam}$ ve L_{gece} değerlerine maruziyet ile ilgili sonuçlar Tablo 7’de verilmektedir. $L_{akşam}$ ve L_{gece} için Karayolu Stratejik Gürültü Haritası ve >55 , >65 ve >75 dB(A) gürültü düzeyi değerlerine maruz kalan alanlar Şekil 5’te verilmektedir.

Tablo 7: Şahinbey ve Şehitkâmil İlçelerinde (Merkez) Gürültü sınırlarına göre karayolu kaynaklı $L_{akşam}$ ve L_{gece} değerinden etkilenme

Gürültü Düzeyi (dB(A))	$L_{akşam}$					L_{gece}				
	Alan (km ²)	Konut	Konut Sakini	Okul	Hastane	Alan (km ²)	Konut	Konut Sakini	Okul	Hastane
>55	44,1	60600	278200	175	65	28,4	33.700	159.600	103	52
>65	13,5	21800	97400	65	30	7,6	10.100	42.300	21	11
>75	2,8	5300	20300	3	3	0,5	700	1.900	0	0



Şekil 5: Şahinbey ve Şehitkâmil ilçeleri karayolu stratejik gürültü haritası >55 , >65 , >75 dB(A) düzeylerine maruz kalan alanlar, 5 dB(A) kontur aralıkları ile hazırlanmış $L_{akşam}$ (solda) ve L_{gece} (sağda)

3.3. Gürültü Sınır Değerlerin Aşıldığı Alanlar

Karayolundan çevreye yayılan gürültü seviyesi ve gürültünün önlenmesine ilişkin sınır değerler Tablo 8’de belirtilmiştir. Karayollarından kaynaklanan çevresel gürültü seviyesi Tablo 8’deki sınır değerleri aşmaması gerekmektedir.

Tablo 8: Karayolu çevresel gürültü sınır değerleri (URL-1 2010)

Alanlar	Planlanan/Yenilenmiş/ Onarılmış Yollar			Mevcut Yollar		
	Lgündüz	Lakşam	Lgece	Lgündüz	Lakşam	Lgece
Gürültüye hassas kullanımlardan eğitim, kültür ve sağlık alanları ile yazlık ve kamp yerlerinin ağırlıklı olduğu alanlar	60	55	50	65	60	55
Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan konutların yoğun olarak bulunduğu alanlar	63	58	53	68	63	58
Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan işyerlerinin yoğun olarak bulunduğu alanlar	65	60	55	70	65	60
Endüstriyel alanlar	67	62	57	72	67	62

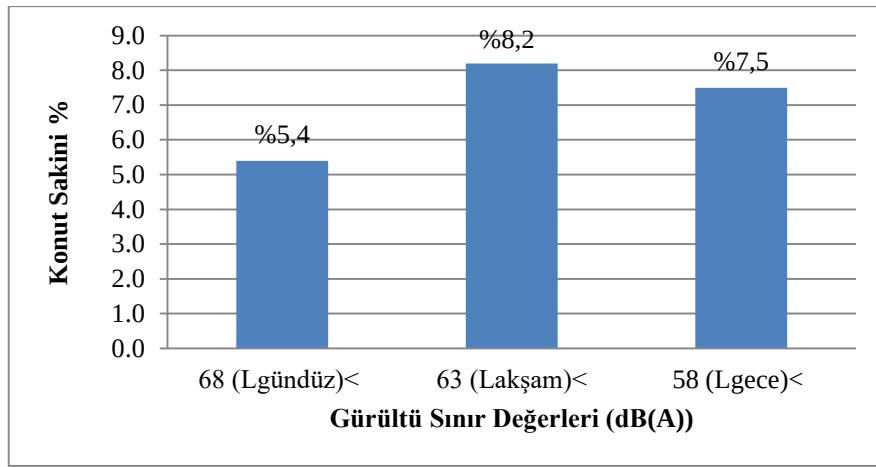
Çalışma alanı, Tablo 8’de tanımlanan “Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan konutların yoğun olarak bulunduğu alanlar” olarak kabul edilmiştir. Projedeki karayollarının etki alanındaki değerlendirmeler için, aynı tabloda karayollarına yönelik verilen sınır değerler kullanılmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda proje çalışma alanı kapsamında sınır değerlerin aşıldığı alanlardaki konut sayısı, konut sakini sayısı, okul sayısı ve hastane sayısı belirlenmiştir. Çalışma alanında maruziyet aşımını gösteren gece, gündüz ve akşam için verilen sınır değer aşım hesaplama sonuçları Tablo 9'da verilmektedir. Bu verilere göre belirlenen nüfus yüzdelik değerleri de Şekil 6'da verilmektedir.

Tablo 9: Şahinbey ve Şehitkâmil ilçeleri (merkez) karayolu gürültüsü sınır değer aşım hesapları

Sınır Değerler dB(A)	Konut	Konut Sakini	Okul	Hastane
<68 (L _{gündüz})	18.700	83.800	47	26
<63 (L _{akşam})	26.900	127.400	80	34
<58 (L _{gece})	24.600	117.100	74	35

Gürültü haritaları sonuçlarına göre Gaziantep nüfusunun % 7,5'i geceleri (L_{gece}) 58 dB(A) ve üzeri, % 8,2'si akşamları (L_{akşam}) 63 dB(A) ve üzeri ve % 5,4'ü gündüzleri (L_{gündüz}) 68 dB(A) ve üzeri karayolu kaynaklı gürültü seviyelerine maruz kalmaktadır. Yine aynı şekilde, toplam çalışma alanında bulunan 201 okul ve 95 hastane belirlenen kritik seviyelerin üzerinde karayolu kaynaklı gürültü seviyelerine maruz kalmaktadır.



Şekil 6: Gece, akşam ve gündüz verilerine göre belirlenen sınır değerlere maruz kalan nüfus yüzdelik oranları.

Hazırlanan gürültü haritası sonuçlarına göre belirlenen sınır değerlerin üzerinde gürültüye maruz kalan bölgelerde “Gürültü Eylem Planlarının” hazırlanması gerekmektedir. Eylem planları kapsamında gürültü düzeylerinin hangi seviyelere indirileceği ve uygulanacak metod aktif ve pasif eylem planları olarak iki şekilde belirlenmektedir. Pasif eylem planlarında bina cephelerine gelen gürültü düzeyi bilinmesi durumunda, sınırların aşıldığı binalarda akustik yalıtım yapılmaktadır. Aktif eylem planlarında ise gürültünün arazi üzerinde nasıl yayıldığı ve bina cephelerine gelen gürültü seviyeleri bilinmekte ve alıcı ile gürültü kaynağı arasında çeşitli hesaplamalara göre gürültü bariyerleri yerleştirilmesi gerekmektedir. Günümüzde kullanılan gürültü bariyerleri, emici ve yansıtıcı paneller olarak 2 grupta toplanabilir. Bariyerler; ahşap (çit, kalas, kontrplak levhalar), beton (takviyeli, öngermeli), duvar (taş, beton), çelik, alüminyum, şeffaf (akrilik, sertleştirilmiş cam) veya toprak şevler ve bitki örtüsü olarak tasarlanabilmektedirler. Etkili gürültü bariyerleri genellikle trafik gürültü seviyelerini 5 ila 12 dB(A) kadar azaltır. Gürültü bariyerlerinin fiziki alan kısıtlamalarından dolayı kullanılamayacağı bölgelerde ise trafik talep yönetimi çözümleri ile gürültü seviyeleri düşürülmelidir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre hazırlanacak olan bir “Gürültü Eylem Planı”nda gerekli aktiviteler, boyutlandırmalar ve hesaplamalar yapılmalıdır.

4. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Çevresel gürültü ile ilgili sorunların belirlenmesi ve gerekli kontrol tedbirlerinin alınabilmesi için stratejik gürültü haritalarının hazırlanması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Gaziantep kent içi karayolu trafiğinden kaynaklanan stratejik gürültü haritaları değerlendirilmiştir. Proje çalışma alanında yer alan karayolu stratejik gürültü haritası sonuçlarına göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. 24 saatlik zaman dilimi (L_{gag}, L_{gündüz}, L_{akşam} ve L_{gece} ortalaması) için,

- 75 dB(A) ve üzeri gürültü düzeyinden etkilenen yaklaşık 6,4 km²'lik bir alanda 9.200 konut, 11 okul, 10 hastane ve 38.000 konut sakini,
- 65 dB(A) ve üzeri gürültü düzeyinden etkilenen yaklaşık 22,4 km²'lik bir alanda 30.700 konut, 92 okul, 47 hastane ve 146.100 konut sakini,

- 55 dB(A) ve üzeri gürültü düzeyinden etkilenen yaklaşık 70,3 km²'lik bir alanda 87.700 konut, 244 okul, 86 hastane ve 386.600 konut sakini bulunmaktadır.

Gece zaman dilimi (L_{gece}) için;

- 75 dB(A) ve üzeri gürültü düzeyinden etkilenen yaklaşık 0,5 km²' bir alanda 700 konut ve 1.900 konut sakini,
- 65 dB(A) ve üzeri gürültü düzeyinden etkilenen 7,6 km²'lik bir alanda 10.100 konut, 21 okul, 11 hastane ve 42.300 konut sakini,
- 55 dB(A) ve üzeri gürültü düzeyinden etkilenen 28,4 km²'lik bir alanda 33.700 konut, 103 okul, 52 hastane ve 159.600 konut sakini bulunmaktadır.

Bu sonuçlar ve ÇGDYY sınır değerlerine göre Gaziantep nüfusunun %5,4'ü gündüzleri 68 dB(A) ve üzeri; %8,2'si akşamları 63 dB(A) ve üzeri ve %7,5'i geceleri 58 dB(A) ve üzeri; karayolu kaynaklı gürültü seviyelerine maruz kalmaktadır. Toplam çalışma alanında bulunan 201 okul ve 95 hastane belirlenen kritik seviyelerin üzerinde karayolu kaynaklı gürültü seviyelerine maruz kalmaktadır. Bu seviyeler Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği 24 saat için 40 dB, gece için 55 dB değerlerinin ve Amerikan Çevre Ajansının belirlediği 70 dB işitme kaybı, 45 dB hassas alanlar, 55 dB dış mekân sınır değerlerinin de üzerinde kalmaktadır. Bu durumda, bahsi geçen nüfus oranlarında işitme kaybı, fizyolojik tepkiler olarak; stres, kardiyovasküler etkiler, kalp krizi, yüksek tansiyon, inme veya felç, ülser, sindirim sistemi sorunları ve fetüs üzerindeki etkiler, psikolojik tepkiler olarak; anti sosyal davranış, yardım etme isteğinde azalma gibi sağlık sorunları ortaya çıkabilecektir.

Türkiye'de yapılan önceki çalışmalarda elde edilen karayolu kaynaklı en yüksek gürültü değerinin 109 dB(A) ile Avanos'ta olduğu ve bu değeri 90 dB(A) ile Afyonkarahisar'ın takip ettiği görülmektedir. Çalışmalar arasında ölçülen en düşük değer ise 68 dB(A) ile Giresun'da olmuştur. Büyükşehir Belediyelerinin merkez ilçelerini kapsayan çalışmalara bakıldığında ise Gaziantep'e benzer şekilde Samsun, İzmit ve Konya'da birbirine yakın olarak 60-70 dB(A) değerleri elde edilmiştir. Trafikten kaynaklı 55 dB(A) L_{gece} değerini aşan gürültüye maruz kalan Gaziantep'teki %7,5 nüfus oranının Konya'da elde edilen %10-15 değerinden düşük olduğu görülmüştür.

Bu konuda yapılacak gelecek çalışmalar için en önemli konu maruziyet düzeylerine göre gerekli gürültü bariyerleri, akustik yol kaplama türleri ve trafik hacmini düzenleyici trafik talep yönetimi projeleri uygulamaları gibi aktivitelerin belirleneceği eylem planlarının hazırlanmasıdır. İlgili uzmanların ve sorumlu kuruluşların bir araya gelerek bu eylem planlarını hazırlamaları ve toplum sağlığını tehdit eden gürültü maruziyetlerini ortadan kaldıracak şekilde projeler oluşturmaları gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada; Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'nde 2016'da tamamlanan "Yerleşim Alanlarının Stratejik Gürültü Haritalarının Hazırlanması Projesi"nin sonuç raporundan yararlanılmıştır. Çalışmaya katkılarından dolayı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na, TÜBİTAK MAM'a ve Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Bayraktar Ş. (2006). *İzmit kent merkezinin gürültü kirliliği*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Besnard F., Hamet J.F., Lelong J., Le Duc E., Guizard V., Fürst N., Doisy S., Dutilleux G., (2011), *Road noise prediction 1 - Calculating sound emissions from road traffic*, Republic of France, Setra Editions, France, 125ss.
- Bodin T., Albin M., Ardo J., Stroth E., Ostergren P.O., Björk J., (2009), *Road traffic noise and hypertension: results from a cross-sectional public health survey in southern Sweden*, Environ. Health 8, 38, doi: 10.1186/1476-069X-8-38.
- Borelli D., Repetto S., Schenone C., (2014), *Noise mapping of the Flyover Highway in Genoa: comparison of different methods*, Noise Mapping, 1(1), 59-73.
- Çivi A., Akgündüz E., Kalaycı K., İnan Ç., Sarıca E., Toru, E., (2009), *CORINE (Coordination of Information on the Environment) Projesi*, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02- 06 Kasım, İzmir.
- ÇŞB, (2018), *Çevresel gürültü eylem planı 2009-2020*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/EylemPlan/Cevresel_%20Gurultu_%20Eylem_Plani.pdf. [Erişim 30 Mart 2020].
- Dalkılıç E., Dursun Ş., (2019), *Konya Gürültü Kirliliği ve Eylem Planlarının Yorumlanması*, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7(2), 38 – 51.
- Erdoğan S., Doğan M., Yılmaz İ., Güllü M., Baybura T., Ulu M., Sise Ö., (2007), *Afyonkarahisar il merkezi karayolu trafik gürültü haritasının hazırlanması*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(2), 151-164.
- EC, (2020), *Health effects of noise*, European Commission, https://ec.europa.eu/environment/noise/health_effects_en.htm, [Erişim 7 Nisan 2020].
- EC, (2007), *Position Paper - Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*, Version 2, European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), 129ss.
- EPA, (1974), *EPA Identifies Noise Levels Affecting Health and Welfare*, <https://archive.epa.gov/epa/aboutepa/epa-identifies-noise-levels-affecting-health-and-welfare.html>, [Erişim 12 Kasım 2020].
- EPA, (1981), *Noise Effects Handbook*, <https://www.nonoise.org/library/handbook/handbook.htm>, [Erişim 12 Kasım 2020].

- EU, (2002), *The Environmental Noise Directive*, European Union, 25 June 2002, https://ec.europa.eu/environment/noise/directive_en.htm. [Erişim 30 Mart 2020].
- Gulliver J., Morley D., Vienneau D., Fabbri F., Bell M., Goodman P., Fecht D., (2015), *Development of an open-source road traffic noise model for exposure assessment*, Environ. Model Softw., 74, 183–193.
- Italo C., Montalvão G., Bertoli S.R., Zannin P.H.T., (2011), *Influence of urban shapes on environmental noise: a case study in Aracaju—Brazil*, Science of The Total Environment, 412–413, 66–76.
- Johnson D.R., Saunders E.G., (1968), *The Evaluation of Noise from Freely Flowing Road Traffic*, Journal of Sound and Vibration, 7(2), 287–309.
- Kalıpcı E., (2017), *Avanos ilçe merkezinde trafik kaynaklı gürültü kirliliğinin mekânsal analizi*, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(1), 20–29.
- Kalıpcı E., Arslan F., (2007), *Determination of noise pollution knowledge in the sport centers of Konya city*, Journal of International Environmental Application & Science, 2(3&4), 63–69.
- Kalıpcı E., Dursun Ş., (2009), *Presentation of Giresun city traffic noise pollution map via geographical information system*, Journal of Applied Sciences, 9(3), 479–487.
- Karantonis P., Gowen T., Simon M., (2010), *Further Comparison of Traffic Noise Predictions Using the Cadna and Sound PLAN Noise Prediction Models*, Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010, 23–27 August, Sydney, Australia.
- Khan J., Ketzel M., Kakosimos K., Sørensen M., Jensen S.S., (2018), *Road traffic air and noise pollution exposure assessment – a review of tools and techniques*, Sci. Total Environ., 634, 661–676.
- Kuehnel N., Moeckel R., (2020), *Impact of simulation-based traffic noise on rent prices*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 78, 102191, doi: 10.1016/j.trd.2019.11.020.
- Kurra S., (2009), *Çevre Gürültüsü ve Yönetimi*, Bahçeşehir Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 298ss.
- Lee E.Y., Jerrett M., Ross Z., Coogan P.F., Seto E.Y.W., (2014), *Assessment of traffic-related noise in three cities in the United States*, Environ. Res., 132, 182–189.
- Nelson P., (1987), *Transportation Noise Reference Book*, Butterworth-Heinemann, Butterworth, 520ss.
- Nelson P., Piner R.J., (1977), *Classifying road vehicles for the prediction of road traffic noise*, Transport and Road Research Laboratory, Department of Environment, LR 752.
- Öden M.K., Bilgin İ., (2019), *Sarayönü ilçe merkezinde trafik kaynaklı gürültü kirliliğinin araştırılması*, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(1), 103–114.
- Öner İ., Sesli F.A., (2018), *İmar planlarının trafik gürültü değerlerinin etkisi açısından incelenmesi*, Samsun Atakum bölgesi örneği, Kent Akademisi, 11(3), 390–404.
- Özdemir C., Kalıpcı E., (2011), *Kentlerde yaşanan trafik kaynaklı gürültü kirliliği ve çözüm önerileri*, İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü, Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyum ve Fuarı, 10–12 Mayıs, Ankara, ss.22.
- Özdemir C., Kalıpcı E., Öden M.K., Özdoğan A., Şahinkaya S., (2012), *Konya il merkezinde trafik kaynaklı gürültü kirliliği ölçümü ve insan sağlığına etkileri*, 21.Ulusal Biyoloji Kongresi, Ege Üniversitesi, 3–7 Eylül, İzmir, ss.851.
- Seidler A., Hegewald J., Seidler A.L., Schubert M., Wagner M., Dröge P., Haufe E., Schmitt J., Swart E., Zeeb H., (2017), *Association between aircraft, road and railway traffic noise and depression in a large case-control study based on secondary data*, Environmental Research, 152, 263–271.
- Seidler A., Wagner M., Schubert M., Dröge P., Hegewald J., (2016), *Aircraft, road and railway traffic noise as risk factors for heart failure and hypertensive heart disease—A case-control study based on secondary data*, International Journal of Hygiene and Environmental Health, 219, 749–758.
- Sillelioğlu F., (2004), *Balıkesir ilinde gürültü haritalarının oluşturulması üzerine bir araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Sorensen M., Andersen Z.J., Nordsborg R.B., Becker T., Tjønneland A., Overvad K., Raaschou-Nielsen O., (2013), *Long-term exposure to road traffic noise and incident diabetes: a cohort study*, Environ. Health Perspect., 121 (2), 217–222.
- Sorensen M., Andersen Z.J., Nordsborg R.B., Jensen S.S., Lillilund K.G., Beelen R., Raaschou-Nielsen O., (2012), *Road traffic noise and incident myocardial infarction: a prospective cohort study*, PLoSOne, 7(6):e39283, doi: 10.1371/journal.pone.0039283.
- Sorensen M., Hjortebjerg D., Eriksen K.T., Ketzel M., Tjønneland A., Overvad K., Raaschou-Nielsen O., (2015), *Exposure to long-term air pollution and road traffic noise in relation to cholesterol: a cross-sectional study*, Environ. Int., 85, 238–243.
- Sorensen M., Luhdorf P., Ketzel M., Andersen Z.J., Tjønneland A., Overvad K., Raaschou-Nielsen O., (2014), *Combined effects of road traffic noise and ambient air pollution in relation to risk for stroke?* Environ. Res., 133, 49–55.
- TRB, (2010), *Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board, National Research Council, New York, USA.
- TS 6407, (2013), *Şehir içi ulaşım hesaplamalarında kullanılan araç tiplerine göre otomobil eşdeğeri katsayıları*, <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073086075079047106069087102066090067>, [Erişim 30 Mart 2020].
- TÜBİTAK-MAM (2016), *Yerleşim alanlarının stratejik gürültü haritalarının hazırlanması projesi raporu*, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Gaziantep, 255ss.
- URL-1, (2010), *Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*, Resmî Gazete Tarihi: 04.06.2010 Resmî Gazete Sayısı: 27601, <https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.14012&MevzuatIliski=0>. [Erişim 30 Mart 2020].
- URL-2, (2014), *Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği*, Resmî Gazete Tarihi: 14.06.2014 Resmî Gazete Sayısı: 29030, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/06/20140614-2.htm>. [Erişim 11 Kasım 2020].
- USDOT (2010), *Highway Traffic Noise: Analysis and Abatement Guidance*, U.S. Department of Transportation-Federal Highway Administration, https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/regulations_and_guidance/analysis_and_abatement_guidance/revguidance.pdf, [Erişim 30 Mart 2020].
- Vogiatzis K., Remy N., (2014), *Strategic Noise Mapping of Herakleion: The Aircraft Noise Impact as a factor of the Int. Airport relocation*, Noise Mapping 1(1). <https://doi.org/10.2478/noise-2014-0003>.
- Vos P., Beuving M., Verheijen E., (2005), *Project Harmonoise, Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management of Environmental Noise – Final Technical Report*, <http://doutoramento.schiu.com/referencias/>

outras/Harmonised%20Accurate%20and%20Reliable%20Methods%20for%20the%20EU%20Directive.pdf, [Erişim 26 şubat 2020].
WHO, (2020), *Noise*, <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/noise>, [Erişim 12.11.2020].
Zeeb H., Hegewald J., Schubert M., Wagner M., Seidler, A., (2017), *Traffic noise and hypertension – results from a large case-control study*, *Environmental Research*, 157, 110-117.

SPI ve CZI Kuraklık İndislerinin CBS Tabanlı Zamansal ve Konumsal Karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası Örneği

Erhan Şener^{1*}, Şehnaz Şener²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Arş. Uygulama Merkezi, Isparta.

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta.

Özet

Son yıllarda su kaynakları üzerinde iklim değişikliğinin olumsuz etkileri daha fazla gözlenmeye başlamıştır. Burdur Gölü havzasında da yağışların azalmasına bağlı olarak özellikle yüzey sularında ciddi miktarlarda hacim kayıpları söz konusudur. Bu çalışmada, standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI) ve Çin Z indeksi (CZI) yöntemleri kullanılarak havzaya yönelik kuraklık analizleri yapılmıştır. Bunun için havza içerisinde ve çevresinde bulunan 6 farklı meteoroloji istasyonuna ait yağış verileri kullanılmıştır. Ayrıca SPI ve CZI indeksleri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak ortaya konulmuştur. Burdur Meteoroloji istasyonunda en uzun kuraklık döneminin 24 aylık zaman ölçeğinde SPI yöntemi ile yapılan analizlerde 1612 gün ile 1951 yılının Ocak ayından itibaren yaşandığı, bununla birlikte en şiddetli kuraklığın ise 1989 yılının Ocak ayından itibaren 70.027 şiddetinde 2250 gün sürdüğü belirlenmiştir. Aynı meteoroloji istasyonunda Çin Z indeksi kullanılarak yapılan kuraklık analizlerine göre ise en uzun kuraklık dönemlerinin 1989 yılının Ocak ayından itibaren 70.782 şiddetinde 1553 gün sürdüğü belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 2019 yılında Burdur Gölü çevresi ile havzanın güneyinde orta ve hafif kuraklıklar tespit edilmiştir. Ayrıca her iki yöntemin R^2 değerleri (0.96-0.98) oldukça yüksek olup birbirlerine çok yakın indeks değerleri hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler

Kuraklık Analizi, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), Çin Z İndeksi (CZI), Burdur Gölü Havzası

GIS Based Spatiotemporal Comparison Between SPI and CZI Drought Index: A Case Study of Burdur Lake Basin

Abstract

In recent years, the negative effects of climate change on water resources have been observed. Due to the decrease in precipitation in the Burdur Lake basin, there is serious volume loss especially in surface waters. In this study, basin drought analysis was performed using standardized precipitation index (SPI) and China Z index (CZI) methods. For this, precipitation data of 6 different meteorological stations located in and around the basin were used. In addition, the relationships between SPI and CZI indices are statistically revealed. In Burdur Meteorology station, it was determined that the longest drought period was experienced in the 24-month time scale with the SPI method since January 1951 with 1612 days. However, the most severe drought has been determined to have lasted 2250 days with a severity of 70.027 since January 1989. According to the drought analysis using the China Z index at the same meteorology station, the longest drought periods were 1553 days since January 1989, with a severity of 70.782. According to the obtained results, medium and mild droughts were detected around the Burdur Lake and south of the basin in 2019. In addition, the R^2 values of both methods (0.96-0.98) are quite high and very close index values were calculated.

Keywords

Drought Analysis, Standardized Precipitation Index (SPI), China Z Index (CZI), Burdur Lake Basin

1. Giriş

Uluslararası Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesine göre kuraklık; herhangi bir bölgede ölçülen yağışların, o bölgede kaydedilmiş ortalama yağışın önemli ölçüde altına düşmesi sonucunda arazi kullanımını ve su kaynaklarını olumsuz yönde etkileyen bir doğal afet olarak tanımlanmaktadır (WMO 1997; Dracup vd. 1980). İklimin doğal bir süreci olan kuraklık, yağmur ormanları da dahil olmak üzere dünyanın herhangi bir iklim rejiminde ortaya çıkabilir. Diğer doğal afetlere nazaran etkileri yaygın olmasının aksine hızları çok daha yavaştır (WMO 2016). Aynı zamanda, diğer doğal afetlere göre nispeten çok daha fazla insanı etkileyen kuraklığın dünya genelindeki yıllık maliyeti çok yüksektir (Wilhite 2000). Özellikle son yıllarda dünyada etkisini gittikçe arttırmasına rağmen, kuraklığın kapsamı henüz tam olarak anlaşılamamış ve etkileri yeterince değerlendirilememiştir. Bunun doğal sonucu olarak ta kuraklığın kesin tanımı yapılamamaktadır. Yapılan tanımlar mesleklere göre meteorolojik, hidrolojik, tarımsal, coğrafik veya endüstriyel, enerji üretimi, su temini, denizcilik, mesire yerleri bakımından olmaktadır (Şen 2001).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (246) 2111585 Faks: +90 (246) 2111072

E-posta: erhansener@sdu.edu.tr (Şener E), sehnazsener@sdu.edu.tr (Şener Ş)

Gönderim Tarihi / Received : 25/09/2020

Kabul Tarihi / Accepted : 08/12/2020

Tarih boyunca çok sayıda ekonomik, çevresel ve sosyal zararlara neden olsa da, kuraklıkların tanımlanması, belirlenmesi ve izlenmesi oldukça zor olduğundan diğer meteorolojik olaylardan daha az ilgi görmüştür (Mishra ve Singh 2011). Genel olarak uzun bir zaman periyodunda yağışın belirgin bir şekilde normal değerlerinin altına düşmesi olarak tanımlanan kuraklığın, meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik olmak üzere 4 farklı türü bulunmaktadır (Wilhite ve Glantz 1985; Choi vd. 2013; Sırdaş ve Şen 2003; Orhan 2014; Mishra ve Singh 2011; Şener ve Şener 2019; Kömüşçü ve Erkan 2006). Meteorolojik kuraklık genel olarak belirli bir bölgenin belli bir periyodun ortalamasına göre yağış miktarının azalması veya belirli bir zaman periyoduna ait normallerde meydana gelen sapmalar olarak tanımlanmakta olup ilk görülen kuraklık türüdür (Anisfeld 2010). Hidrolojik kuraklık ise yağışlarda meydana gelen azalmaya bağlı olarak yüzey ve yeraltı sularındaki azalma olarak tanımlanmaktadır (Wilhite ve Glantz 1985; Tuna vd. 2009; Sırdaş 2002). Belirli bir zaman diliminde bitkilerin ihtiyacı olan toprak neminin yetersiz kalması ise tarımsal kuraklığı işaret eder.

Meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklıktan kaynaklanabilecek olası etkilerin en aza indirilebilmesi kuraklıkların etkileyebileceği alanların yanı sıra, şiddeti ve süresine bağlı olarak gerekli planlamaların yapılarak kuraklığa hazırlıklı olmakla mümkündür (Mishra ve Singh 2011). Bu amaçla birçok araştırmacı ve kurum tarafından kuraklıkların izlenmesi amacıyla çok sayıda kuraklık indeksi geliştirilmiştir. Söz konusu kuraklık indekslerinden en önemlileri Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (McKee vd. 1993), Palmer Kuraklık İndeksi (Palmer 1965), Standart Yağış Buharlaşıma İndeksi (Vicente Serrano vd. 2010), Normalin Yüzdesi İndeksi (Willeke vd. 1994), Keşif Kuraklık İndeksi (Tsakiris ve Vangelis 2005), Ondalıklar İndeksi (Gibbs ve Maher 1967), Standartlaştırılmış Akım İndeksi (Shukla ve Wood 1993), Standartlaştırılmış Yeraltısuyu İndeksi, Standartlaştırılmış Rezervuar İndeksi, China Z indeksi (Wu vd. 2001), Efektif Kuraklık İndeksi (Byun ve Wilhit 1999), Normalleştirilmiş Bitki Fark İndeksi (NDVI), Bitki Durum İndeksi (VCI)'dir. Söz konusu indekslerde yağış başta olmak üzere sıcaklık, potansiyel buharlaşma ve terleme en sık olarak kullanılan girdi parametrelerindendir. Aynı zamanda bazı indeks hesaplamalarında çok sayıda girdi parametresine ihtiyaç varken standartlaştırılmış yağış indeksi ve efektif kuraklık indeksi gibi bazı indekslerde ise sadece yağış verileri girdi olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden söz konusu yağış verilerine nispeten kolay ulaşılabilmesi ve indeks hesaplamalarının basit ve tutarlı sonuçlarından dolayı standartlaştırılmış yağış indeksi dünya genelinde en sık kullanılan kuraklık indekslerinin başında gelmektedir.

Sırdaş ve Şen (2003), Trakya'nın (İstanbul, Edirne, Tekirdağ ve Kırklareli) kuraklık analizini SYİ metoduyla yapmışlardır. Çalışma alanı için farklı zaman ölçeklerinde seriler üretilmiş ve kriging yöntemiyle kuraklık haritaları hazırlanmıştır. Kuraklık süresi ve şiddeti arasındaki ilişkileri gösterebilmek için kurak dönem için kuraklık şiddeti ve SYİ değerleri hesaplanmıştır. Çaldağ vd. (2004) SYİ yöntemi ile Türkiye'nin kuzeybatısı (Trakya Bölgesi) için kuraklık analizi yapmışlardır. SYİ değerlerine göre Trakya Bölgesi, İstanbul hariç 2000 ve 2001 yıllarında şiddetli kuraklık etkisi altında kalmıştır. Pamuk vd. (2004) Ege bölgesindeki meteorolojik kuraklığın şiddeti ve süresini belirlemek amacıyla Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemini kullanmışlardır. Söz konusu analizlere göre, çalışma alanı kış dönemlerinde orta kurak sınırına yakın olmakla birlikte tüm ayların ortalama değerlerinin ise normal sınırlar içerisinde bulunduğu belirlenmiştir. Morid vd. (2006) tarafından İran'da yapılan ve yedi farklı kuraklık indekslerinin karşılaştırılmasını amaçlayan çalışmada SPI ve CZI indeksleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla yapılan lineer regresyon analizlerinde determinasyon katsayısı değerlerinin (R^2) 0.84-0.96 arasında değiştiği belirlenmiştir. Jain vd. (2015) tarafından yapılan Ken nehir havzasında farklı kuraklık indekslerinin karşılaştırılmasını amaçlayan çalışmada SPI, CZI, EDI, Z-Score, RD ve RDDI indeksleri arasında yüksek korelasyon belirlenmiş ve bununla birlikte özellikle 9-12 ay zaman ölçeklerindeki korelasyonun çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Awchi ve Kalyana (2017) tarafından Irak'ın kuzey bölgesinde standartlaştırılmış yağış indeksi ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak yapılan çalışmada geçen yüzyılın ortalarından itibaren hemen hemen her 10 yılda bir ciddi kuraklık yaşandığını belirlenmiştir. Wambua vd. (2018) tarafından Tana nehir havzasında standartlaştırılmış yağış indeksi ile efektif kuraklık indeksi gibi farklı kuraklık indeksleri kullanarak yapılan çalışmada SPI ve EDI ile elde edilen kuraklık verileri haritalandırılmıştır. Buna göre Tana nehir havzasının güneydoğu kesiminin daha kuraklığa eğilimli alanlar oldukları belirlenmiştir. İrvem ve Özbülü (2019) tarafından Muğla bölgesinde Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemi kullanarak yapılan kuraklık analizi çalışmasında özellikle son 30 yıllık zaman diliminde kuraklığın görülme frekansının arttığı ve kuraklık görülen ay sayısının giderek arttığını belirlenmiştir. Şener ve Şener (2019) tarafından Çorak Gölü Havzasında Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak yapılan çalışmaya göre 1982, 1984, 1993, 1995, 2005 ve 2016 yıllarında havzanın tamamında hafif kuraklık gözlenirken 1971, 1976, 1985, 1988, 1994, 1997 ve 2015 yıllarında hafif yağışlı bir dönem yaşandığı belirlenmiştir. Ayrıca 1989 yılında havzanın % 9.1'inde çok aşırı kuraklık yaşanırken 2009 yılında ise havzanın %50.3'ünden aşırı yağışlı ve %47.3'ünde ise çok şiddetli yağışlı bir dönem yaşandığı tespit edilmiştir. Dikici (2019) Asi Havzasında yapılan kuraklık analizlerinin sonucunda Asi havzası genelinde yıllık toplam yağışlarda %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olmasa da bir artış eğilimi olduğu görülmüştür. Yıllık ortalama sıcaklıklarda ise, hem alt havza hem havza bazlı bariz bir artış eğilimi olduğu belirlenmiştir. Bakanoğulları (2020a) tarafından Trakya bölgesinde yaklaşık 4.4 km²'lik Kumdere Havzasında yapılmış olan pilot çalışmada Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ile karşılaştırılmıştır. Buna göre SPEI ve SPI İndeksleri arasındaki regresyon analizinde SPI ve SPEI kuraklık indeksleri arasında determinasyon katsayısını (R^2) 0.95 olarak belirlenmiştir.

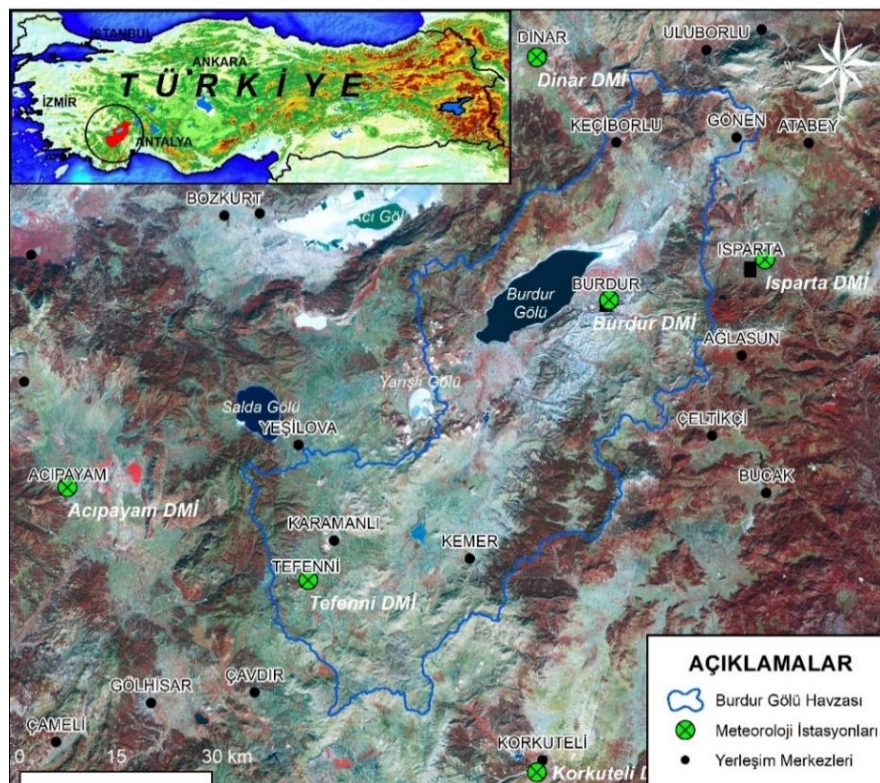
Bakanoğulları (2020b) İstanbul-Büyükçekmece içme suyu havzasında yer alan Damlıca deresi havzasında 1982-2006 yılları arasına ait meteorolojik veriler kullanılarak kuraklığın sıklığı ve şiddetinin Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile belirlenmesi ve Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ile karşılaştırmıştır. Buna göre söz konusu çalışmada 25 yıllık veri seti ile yıllık SPEI ve SPI İndeksleri arasındaki regresyon analizinde, ikinci derece polinoma göre yıllık SPI ve SPEI kuraklık indeksleri arasında determinasyon katsayısı (R^2) 0.977 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma Burdur Gölü Havzasında Standartlaştırılmış Yağış İndisi ile Çin Z İndisleri kullanılarak 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde kuraklık analizi yapılmıştır. Yağış bazlı iki farklı indeks kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen verilerin istatistiksel karşılaştırması yapılmış aynı zamanda söz konusu veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında enterpole edilerek havzaya ait kuraklık haritaları elde edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Burdur Gölü havzası kapalı havza olduğu özelliğinde olup Türkiye'nin güneybatısında, Göller Bölgesi içerisinde yer almaktadır. Güneybatı Anadolu'da 36° 53" ve 37° 50" kuzey enlemleri ile 29° 24' ve 30° 53' doğu boylamları arasında yaklaşık 3264 km² alana sahiptir (Şekil 1). Havzada Burdur, Yarıklı ve Karataş Gölleri, Karamanlı ve Karaçal Barajı ve birçok gölet bulunmaktadır. Çalışma alanındaki en önemli yüzey suyu olan Burdur Gölü 37° 45' kuzey enlemi 30° 12' doğu boylamında, mevcut durumda toplam 125.8 km²'lik bir yüzey alanına sahiptir. Burdur Gölü, Türkiye'nin en derin göllerinden biridir. Temmuz (2018) ölçümlerine göre gölün su kotu 840.50 m, derinliği 59.53 m, göl hacmi ise 4195 hm³'tür. Gölün uzunluğu 23.60 ve genişliği 8.16 km'dir. Gölün kuzeydoğusu ile güneybatısındaki düzlük alanlar ise 850-1000 m arasında yer almaktadır. Yapısı bakımından tektonik bir göldür. Gölün kuzeydoğusu ve kuzeyi ovalarla çevrilidir. Doğusu ve kuzeybatısı ise hemen yükselen dağlarla sınırlanmıştır (TOB 2018). Burdur Gölü'nün beslenimi, göl alanına düşen yağışlar, göle ulaşan mevsimlik ve sürekli akarsular, akiferlerden yeraltısuyu akımı, boşalımı ise, buharlaşma ile olmaktadır. Gölü besleyen önemli akarsular gölün güneybatı ucundan giren Bozçay deresi, sırasıyla doğuya doğru Kravgaz, Kurna, Çerçin, Lengüme dereleri ve Keçiborlu yönünden gelen Adalar çayıdır. Bu akarsuların debileri oldukça düşük olup, büyük bir kısmı yazın kurumaktadır. Kapalı bir havzada yer alan gölün dışarıya akıntısı yoktur. Göl suları ciddi oranda tuzludur (Ataol 2010). 1994 yılında gölün yarısı (12.600ha), 1998 yılında ise tamamı (24.800 ha) Ramsar Sözleşmesi listesine dahil edilmiştir. Alan, 1998 yılında ise Kültür Bakanlığı tarafından I. Derece Doğal Sit Alanı da ilan edilmiştir. Burdur Gölü 1987 yılından bu yana hacminin %40'ını kaybetmiştir. Bu süreçte göl seviyesinde 9.5 metrelik alçalma meydana gelmiş olup gölün yüzey alanı 1987 yılında 203 km² iken günümüzde 125.8 km²'ye kadar gerilemiştir (TOB 2018).



Şekil 1: Çalışma alanının yerbulduru haritası

2.2. Yöntem

Burdur Gölü Havzasındaki kuraklıkların şiddeti, süresi ve alansal dağılımlarının belirlenmesi amacıyla Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Çin Z İndeksi yöntemleri kullanılmıştır. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi belirlenen zaman dilimi (1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 ay) içinde aylık yağış miktarının, yağış serisinin ortalamasından olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir (McKee vd. 1993). Bu yöntemde en az 30 yıllık yağış kayıtları kullanılmaktadır. Yağış zaman serisi aylık toplam yağışlar şeklinde düzenlenerek hesaplamalar yapılmaktadır.

Standartlaştırılmış Yağış İndeksinde kuraklık sınıfları, standart normal (Gaussian) dağılımlı yağış verilerinden elde edilir. Dolayısıyla ilk aşamada ham yağış verilerinin olasılık dağılımının bulunması gerekir. Ancak yağış dizilerinin olasılık dağılım fonksiyonu genellikle normal dağılıma uymamaktadır (McKee vd. 1993; McKee vd. 1995). Yağış verilerine en iyi uyan olasılık dağılımı Gamma olasılık dağılımı olduğundan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yönteminde, yağış verilerinden elde edilen olasılık dağılım fonksiyonları Gamma olasılık dağılım fonksiyonlarına dönüştürülmektedir (Thom 1966; McKee vd. 1993; McKee vd. 1995).

$$g(x) = \frac{1}{\beta \alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x>0 \text{ için} \quad (1)$$

Burada;

$\Gamma(\alpha)$: Gamma Dağılımı
 α : şekil parametresi ($\alpha>0$)
 β : ölçek parametresi ($\beta>0$)
 x : yağış miktarını ($x>0$) ifade eder.

α ve β 'nin tahmininde maksimum olasılık çözümlerin kullanılır. Buna göre;

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (3)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (4)$$

Burada n yağış gözlem sayısıdır. Eldeki mevcut verilerden elde edilen bu olasılık tanımlamaları daha sonra herhangi bir ayda gözlenmiş bir değerin kümülatif olasılığını bulmak için kullanılabilir. Bu durumda kümülatif olasılık aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta \alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (5)$$

Gamma fonksiyonu $x=0$ için tanımsız olduğundan ve yağış dağılımı sıfır (0) değerler içerdiğinden kümülatif olasılık yeniden aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$H(x) = q + (1 - q)Gx \quad (6)$$

Bir sonraki aşamada, gamma dağılım fonksiyonundan elde edilen yağış olasılıkları, ters-standart normal dağılım fonksiyonu kullanılarak standart yağışlara dönüştürülür. Bu yolla ortalaması sıfır ve varyansı (değişkesi) bir olan standartlaştırılmış yağışlar elde edilir. Standart Yağış İndisi (SYI), belirlenen zaman dilimi içinde yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir (McKee vd. 1993).

$$SYI = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma} \quad (7)$$

Burada;

SYI: Standartlaştırılmış Yağış İndeksi
 X_i : Yıllık yağış miktarının normalleştirilmiş miktarı,
 $\bar{X}_i$: Her bir istasyon için seçilen zaman aralığında yağış ortalaması,
 σ : Her bir istasyona ilişkin değerlerin zaman aralığı içindeki standart sapmasını ifade eder.

Çin Z-indeksi (CZI), Çin Ulusal İklim Merkezi (NCC) tarafından ülke genelindeki kuraklık koşullarını izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Wu vd. 2001; Dogan vd. 2012). Çin Z-indeksinde, yağış verilerinin Pearson tip III dağılımına uygun olduğu ve Wilson–Hilferty küp kök dönüşümüyle (Wilson ve Hilferty 1931) ki-kare değişkenlerinin Z ölçeğinde ilişkili olduğu varsayılır ve şu şekilde hesaplanır (Kendall ve Stuart 1977).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

$$C_{st} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot \sigma^3} \quad (9)$$

$$CZI = \frac{6}{C_{st}} \left(\frac{C_{st}}{2} ZScore_t + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_{st}} + \frac{C_{st}}{6} \quad (10)$$

Burada C_{st} herhangi t zaman ölçeği (1, 3, 6, 9, 12 ve 24 ay) için çarpıklık katsayısı, σ standart sapma, n gözlem yapılan süredir. Her iki kuraklık indekslerine ait kuraklık sınıfları Tablo 1’de verilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ve Çin Z indeksi ile elde edilen veriler noktasal bazlı olup meteoroloji istasyonlarını temsil etmektedirler. Söz konusu veriler kullanılarak havza bazlı alansal tematik haritaların hazırlanmasında Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (Inverse Distance Weighted – IDW) kullanılmıştır. IDW enterpolasyon tekniği enterpole edilecek yüzeyde yakındaki noktaların uzaktaki noktalardan daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayandırılmıştır. Bu teknik enterpole edilecek noktadan uzaklaştıkça ağırlığı da azaltan ve örnekleme noktalarının ağırlıklı ortalamasına göre bir yüzey enterpolasyonu yapmaktadır (Köroğlu 2006; İlker vd. 2019).

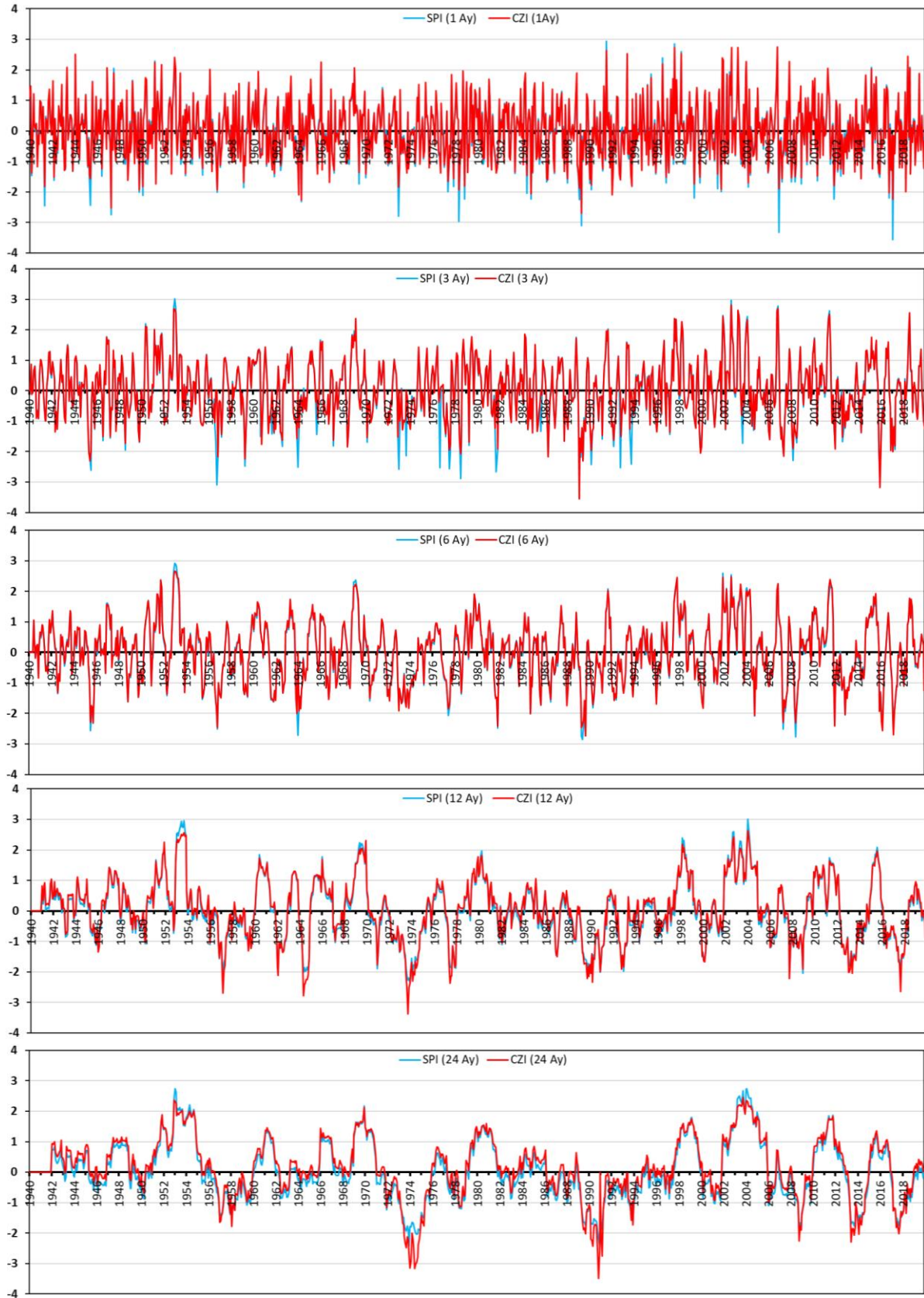
Tablo 1: SPI ve CZI kuraklık indekslerinin kuraklık sınıfları

Yağış (Kuraklık/Nemlilik) Sınıfı	Kuraklık İndeksleri
Aşırı Yağışlı	≥ 2
Çok Şiddetli Yağışlı	1.50 / 1.99
Orta Yağışlı	1 / 1.49
Hafif Yağışlı	0 / 0.99
Hafif Kuraklık	0 / -0.99
Orta Kuraklık	-1 / -1.49
Çok Şiddetli Kuraklık	-1.49 / -1.99
Aşırı Kuraklık	≤ -2

3. Araştırma Bulguları

Burdur Gölü Havzasındaki meteorolojik kuraklık analizlerinde Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Çin Z İndeksi yöntemleri kullanılmıştır. Bu kapsamda havza içerisinde bulunan ve gerekli ölçüm periyotlarına sahip olan Burdur ve Tefenni meteoroloji istasyonlarının yanı sıra havzanın yakınlarında bulunan Dinar, Isparta, Korkuteli ve Acıpayam meteoroloji istasyonlarına ait yağış verileri kullanılmıştır. Burdur DMI’de 1940, Tefenni DMI’de 1964, Korkuteli DMI’de 1969, Isparta DMI’de 1940, Dinar DMI’de 1959 ve Acıpayam DMI’de ise 1697 yılından 2019 yılı Aralık ayını kapsayan veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden temin edilerek kuraklık analizlerinde kullanılmıştır.

Burdur Meteoroloji İstasyonunda 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde standartlaştırılmış yağış indeksi yöntemi ile yapılan kuraklık analizlerine göre, en uzun kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 245 gün süre ile Haziran 2012’den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 548 gün süre ile Nisan 2012’den, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 669 gün süre ile Aralık 1972’den, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1247 gün süre ile Ocak 1972’den ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 2250 gün süre ile Ocak 1989’dan itibaren yaşandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte söz konusu meteoroloji istasyonunda en uzun yağışlı periyotların 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 304 gün süre ile Ağustos 1968’den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 428 gün süre ile Temmuz 1959’dan, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 519 gün süre ile Haziran 1975’den, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1127 gün süre ile Aralık 2001’den ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 1612 gün süre ile Ocak 1951’den itibaren yaşandığı tespit edilmiştir (Şekil 2). Çin Z indeksi kullanılarak yapılan kuraklık analizlerinde ise benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: Burdur Meteoroloji İstasyonunda 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde SPI ve CZI kuraklık indekslerinin karşılaştırması

Burdur Meteoroloji istasyonunda standartlaştırılmış yağış indeksi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en şiddetli kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 182 gün süre ile 6.928 şiddetinde Aralık 2006'dan, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 273 gün süre ile 13.644 şiddetinde Ocak 1989'dan, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 669 gün süre ile 25.963 şiddetinde Aralık 1972'den, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1247 gün süre ile 48.7 şiddetinde Ocak 1972'den, 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 2250 gün süre ile 70.027 şiddetinde Ocak 1989'dan itibaren yaşandığı belirlenmiştir. Burdur Meteoroloji istasyonunda Çin Z indeksi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en şiddetli kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 182 gün süre ile 5.742 şiddetinde Aralık 2006'dan, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 273 gün süre ile 14.478 şiddetinde Ocak 1989'dan, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 669 gün süre ile 26.167 şiddetinde Aralık 1972'den, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1247 gün süre ile 50.512 şiddetinde Ocak 1972'den, 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1553 gün süre ile 70.782 şiddetinde Ocak 1989'dan itibaren yaşandığı belirlenmiştir.

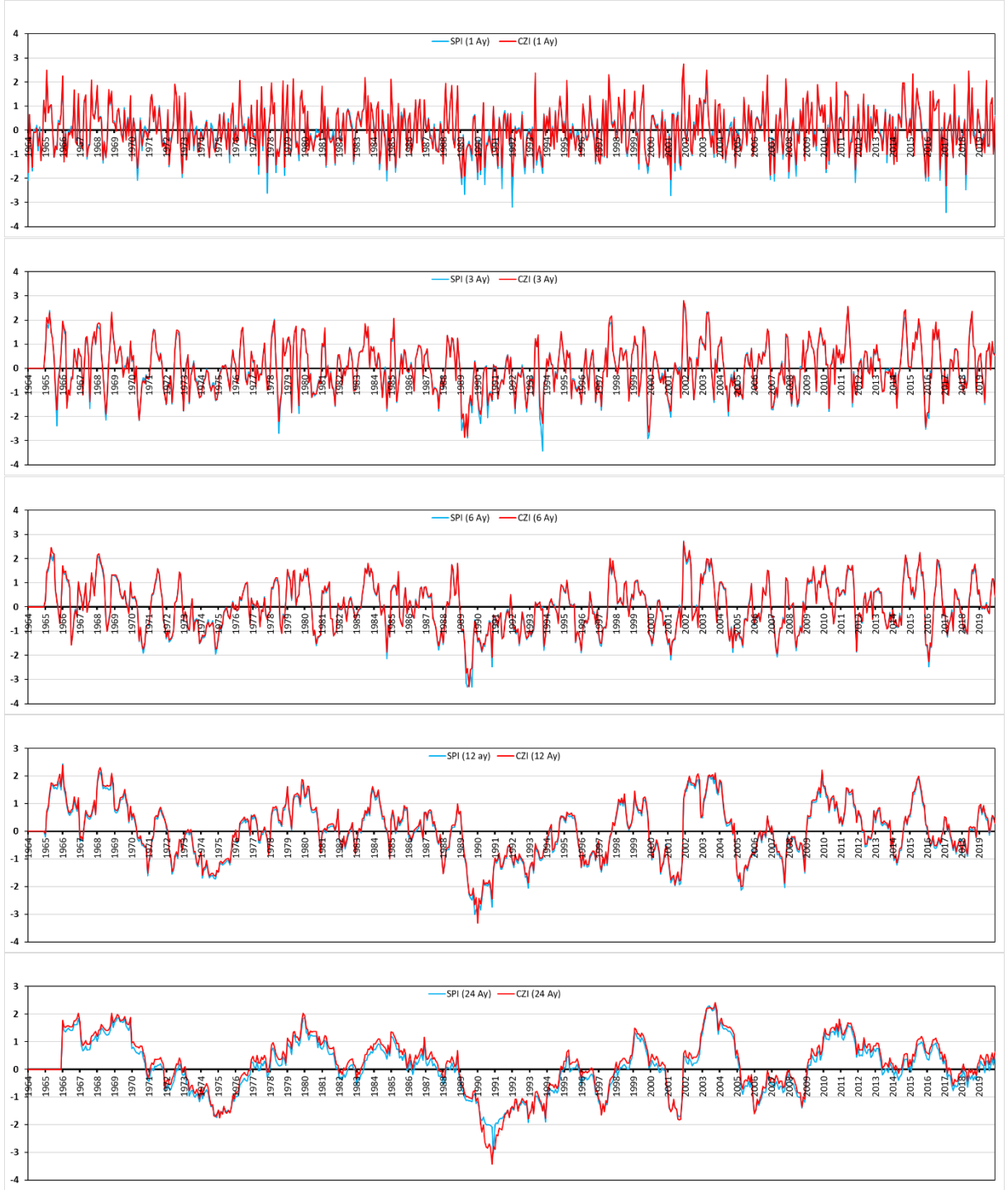
Tefenni Meteoroloji İstasyonunda 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde standartlaştırılmış yağış indeksi yöntemi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en uzun kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 304 gün süre ile Aralık 1988'den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 577 gün süre ile Eylül 1973'den, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1064 gün süre ile Ocak 1989'dan, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1826 gün süre ile Mart 1989'dan ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 2222 gün süre ile Aralık 1988'den itibaren yaşandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte söz konusu meteoroloji istasyonunda en uzun yağışlı periyotların 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 273 gün süre ile Ocak 1983 ve Eylül 1968'den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 488 gün süre ile Temmuz 2014'den, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 577 gün süre ile Ocak 2009'dan, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1155 gün süre ile Şubat 2009'dan ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 1796 gün süre ile Aralık 1965'den itibaren yaşandığı tespit edilmiştir (Şekil 3). Çin Z indeksi kullanılarak yapılan kuraklık analizlerinde ise benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 3).

Söz konusu meteoroloji istasyonunda en uzun yağışlı periyotların 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 276 gün süre ile Mayıs 2014'den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 549 gün süre ile Mayıs 2014'den, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 973 gün süre ile Kasım 2001'den, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1370 gün süre ile Aralık 2001'den ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 1492 gün süre ile Aralık 2001'den itibaren yaşandığı tespit edilmiştir (Şekil 4). Çin Z indeksi kullanılarak yapılan kuraklık analizlerinde ise benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4).

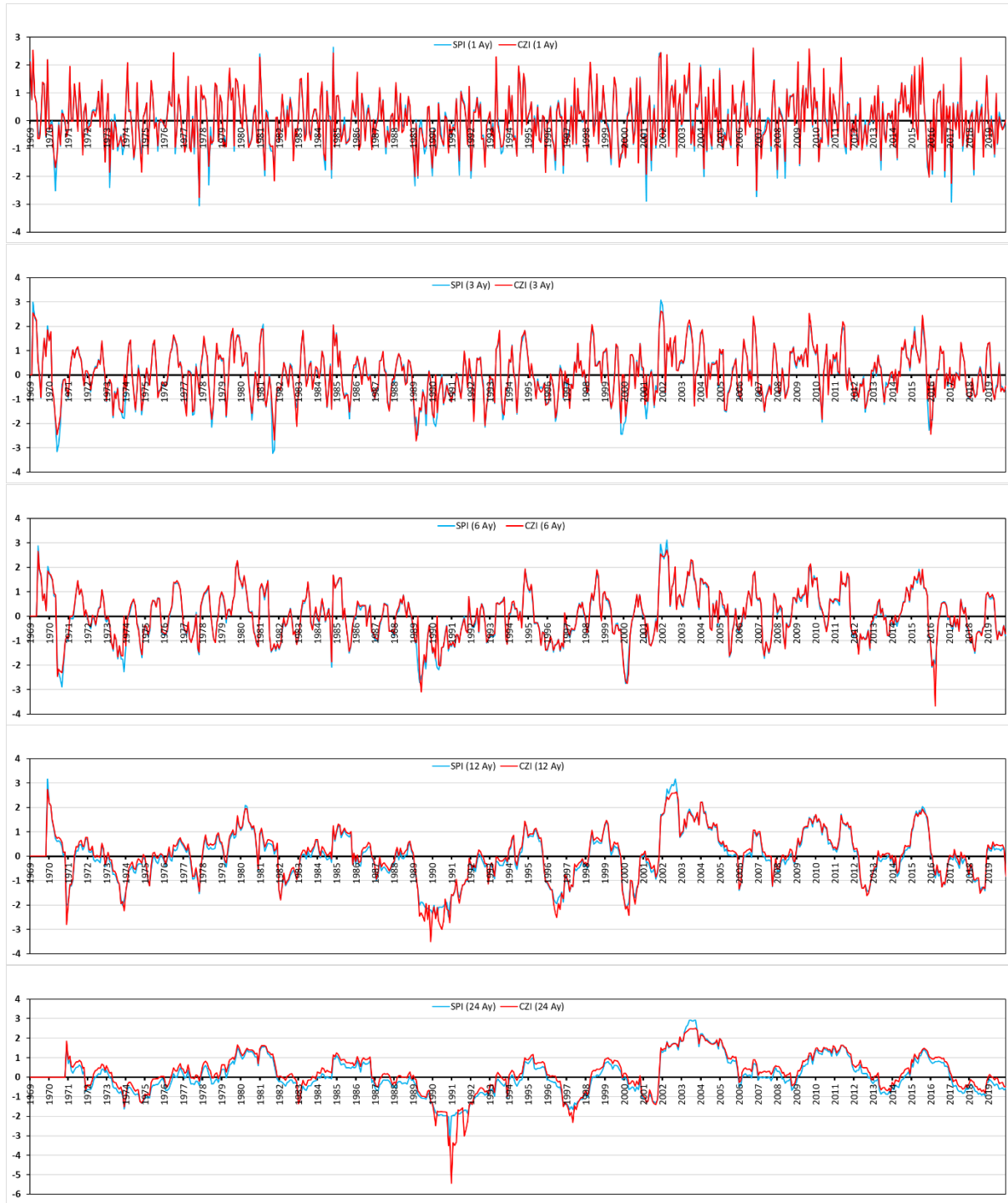
Korkuteli Meteoroloji istasyonunda standartlaştırılmış yağış indeksi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en şiddetli kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 243 gün süre ile 6.434 şiddetinde Aralık 1998'den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 486 gün süre ile 15.23 şiddetinde Aralık 1989'dan, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1095 gün süre ile 43.358 şiddetinde Aralık 1988'den, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1216 gün süre ile 62.395 şiddetinde Şubat 1989'dan, 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1916 gün süre ile 73.474 şiddetinde Aralık 1988'den itibaren yaşandığı belirlenmiştir. Korkuteli Meteoroloji istasyonunda Çin Z indeksi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en şiddetli kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 304 gün süre ile 8.729 şiddetinde Aralık 1988'den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 304 gün süre ile 14.05 şiddetinde Ocak 1989'dan, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 579 gün süre ile 18.468 şiddetinde Mayıs 1990'dan, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 851 gün süre ile 30.026 şiddetinde Kasım 1995'den, 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 669 gün süre ile 24.178 şiddetinde Temmuz 1996'dan itibaren yaşandığı belirlenmiştir.

Isparta Meteoroloji İstasyonunda 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde standartlaştırılmış yağış indeksi yöntemi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en uzun kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 153 gün süre ile Şubat 1970'den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 488 gün süre ile Mayıs 1985'den, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1003 gün süre ile Eylül 1984'den, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1552 gün süre ile Aralık 1955'den ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 3256 gün süre ile Şubat 1989'dan itibaren yaşandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte en uzun yağışlı periyotların 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 304 gün süre ile Ağustos 1968'den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 577 gün süre ile Ağustos 1968'den, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 760 gün süre ile Haziran 1940'dan, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1095 gün süre ile Aralık 1964'den ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 3044 gün süre ile Eylül 1962'den itibaren yaşandığı tespit edilmiştir (Şekil 5). Çin Z indeksi kullanılarak yapılan kuraklık analizlerinde ise benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5). Isparta Meteoroloji istasyonunda standartlaştırılmış yağış indeksi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en şiddetli kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 153 gün süre ile 6.489 şiddetinde Haziran 1993'den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 396 gün süre ile 14.184 şiddetinde Mart 1970'den, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 911 gün süre ile 34.421 şiddetinde Ocak 1989'dan, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1005 gün süre ile 44.537 şiddetinde Mart 1989'dan, 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 3256 gün süre ile 100.356 şiddetinde Şubat 1989'dan itibaren yaşandığı belirlenmiştir. Isparta Meteoroloji istasyonunda Çin Z indeksi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en şiddetli kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 273 gün süre ile 5.565 şiddetinde Aralık 1989'dan, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 427 gün süre ile 14.022 şiddetinde Aralık 1972'den, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 972 gün süre ile 28.505 şiddetinde Eylül 1984'den, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1369 gün süre ile 31.87 şiddetinde Haziran 1956'dan, 24

aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 3228 gün süre ile 95.386 şiddetinde Mart 1989'dan itibaren yaşandığı belirlenmiştir.



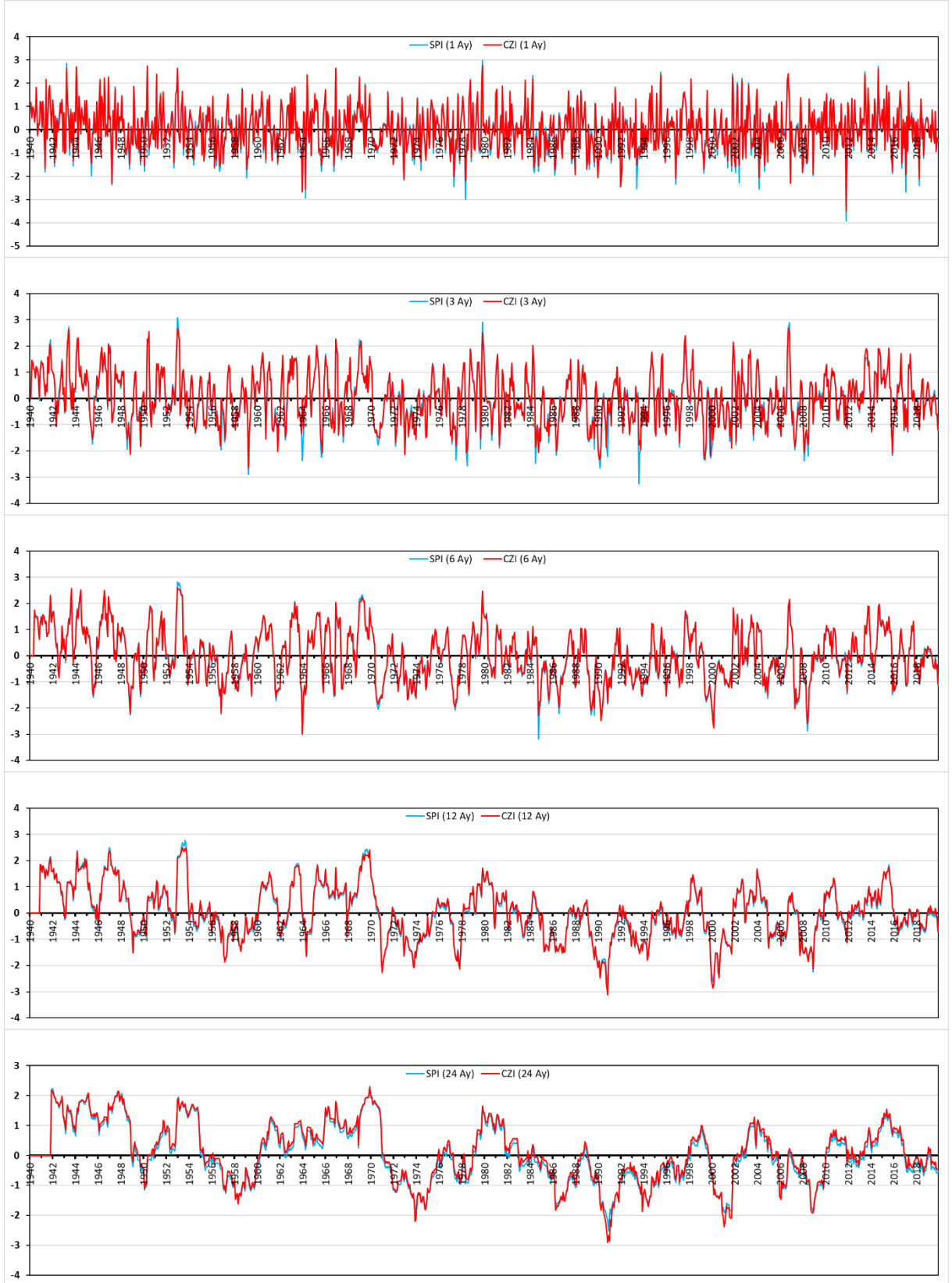
Şekil 3: Tefenni Meteoroloji İstasyonunda 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde SPI ve CZI kuraklık indekslerinin karşılaştırması



Şekil 4: Korkuteli Meteoroloji İstasyonunda 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde SPI ve CZI kuraklık indekslerinin karşılaştırması

Dinar Meteoroloji İstasyonunda 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde standartlaştırılmış yağış indeksi yöntemi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en uzun kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 245 gün süre ile Haziran 2000'den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 427 gün süre ile Temmuz 2000'den, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1003 gün süre ile Eylül 1984'den, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1461 gün süre ile Ocak 1972'den ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 2250 gün süre ile Ocak 1989'dan itibaren yaşandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte söz konusu meteoroloji istasyonunda en uzun yağışlı periyotların 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 275 gün süre ile Mart 2017'den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 549 gün süre ile Mayıs 2014'den, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 609 gün süre ile Aralık 1967'den, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1247 gün süre ile Ocak 2009'dan ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 2679

gün süre ile Ağustos 1963'den itibaren yaşandığı tespit edilmiştir (Şekil 6). Çin Z indeksi kullanılarak yapılan kuraklık analizlerinde ise benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 5: Isparta Meteoroloji İstasyonunda 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde SPI ve CZI kuraklık indekslerinin karşılaştırması

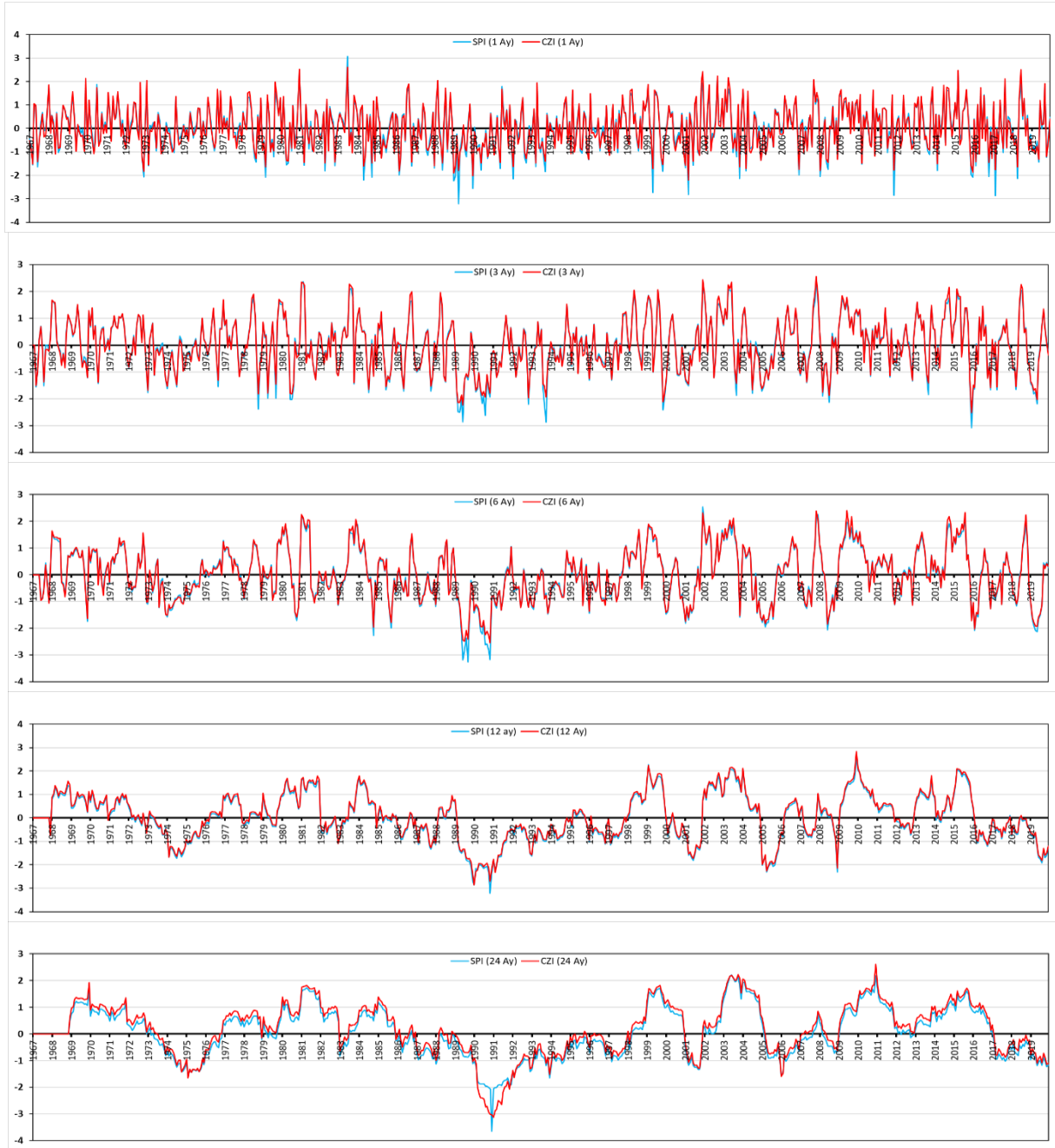


Şekil 6: Dinar Meteoroloji İstasyonunda 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde SPI ve CZI kuraklık indekslerinin karşılaştırması

Dinar Meteoroloji istasyonunda standartlaştırılmış yağış indeksi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en şiddetli kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 245 gün süre ile 7.433 şiddetinde Haziran 2000'den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 427 gün süre ile 16.107 şiddetinde Temmuz 2000'den, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1003 gün süre ile 25.894 şiddetinde Eylül 1984'den, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1461 gün süre ile 45.95 şiddetinde Ocak 1972'den, 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 2250 gün süre ile 85.744 şiddetinde Ocak 1989'dan itibaren yaşandığı belirlenmiştir. Dinar Meteoroloji istasyonunda Çin Z indeksi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en şiddetli kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 245 gün süre ile 7.143 şiddetinde Haziran 2000'den, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 427 gün süre ile 14.811 şiddetinde Temmuz 2000'den, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 912 gün süre ile 25.202 şiddetinde Aralık 1972'den, 12

aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1492 gün süre ile 42.308 şiddetinde Aralık 1971'den, 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 2219 gün süre ile 79.135 şiddetinde Şubat 1989'dan itibaren yaşandığı belirlenmiştir.

Acıpayam Meteoroloji İstasyonunda 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde standartlaştırılmış yağış indeksi yöntemi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en uzun kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 275 gün süre ile Mart 1990'dan, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 546 gün süre ile Ocak 1990'dan, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 942 gün süre ile Şubat 1989'dan, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 2219 gün süre ile Şubat 1989'dan ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 3622 gün süre ile Mayıs 1988'den itibaren yaşandığı belirlenmiştir. Söz konusu meteoroloji istasyonunda en uzun yağışlı periyotların 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 424 gün süre ile Ocak 2009'dan, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 485 gün süre ile Ocak 2009'dan, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 577 gün süre ile Ocak 2009'dan, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 1096 gün süre ile Aralık 2001'den ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 1551 gün süre ile Aralık 1968'den itibaren yaşandığı tespit edilmiştir (Şekil 7). Çin Z indeksi kullanılarak yapılan kuraklık analizlerinde ise benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 7: Acıpayam Meteoroloji İstasyonunda 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde SPI ve CZI kuraklık indekslerinin karşılaştırılması

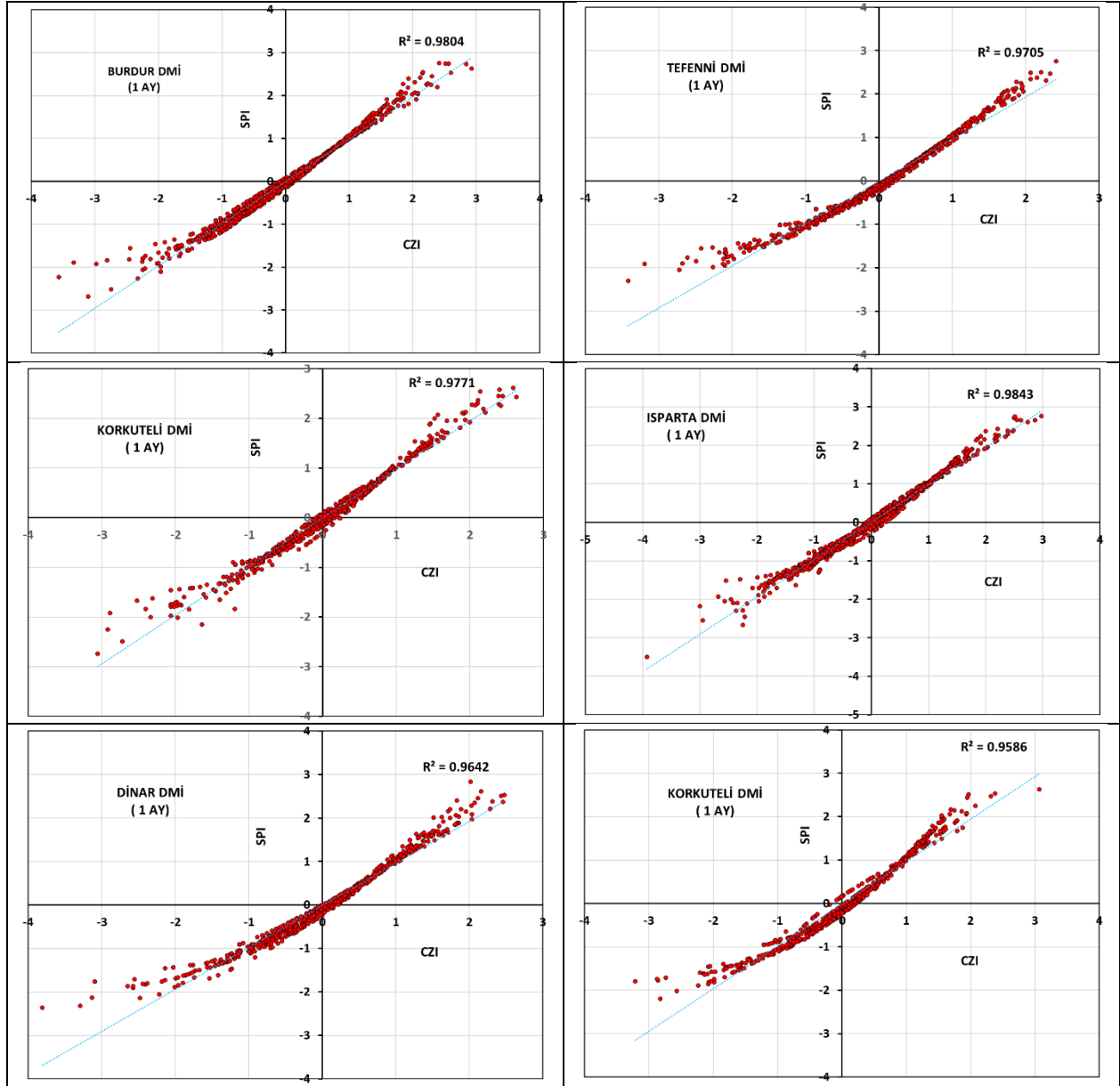
Acıpayam Meteoroloji istasyonunda standartlaştırılmış yağış indeksi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en şiddetli kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 181 gün süre ile 9.148 şiddetinde Ocak 1989'dan, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 546 gün süre ile 23.175 şiddetinde Ocak 1990'dan, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 942 gün süre ile 49.798 şiddetinde Şubat 1989'dan, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 2219 gün süre ile 86.186 şiddetinde Şubat 1989'dan, 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 3622 gün süre ile 111.107 şiddetinde Mayıs 1988'den itibaren yaşandığı belirlenmiştir. Acıpayam Meteoroloji istasyonunda Çin Z indeksi ile yapılan kuraklık analizlerine göre en şiddetli kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 365 gün süre ile 10.748 şiddetinde Aralık 1989'dan, 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 608 gün süre ile 21.507 şiddetinde Aralık 1989'dan, 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 942 gün süre ile 43.909 şiddetinde Şubat 1989'dan, 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 2071 gün süre ile 80.343 şiddetinde Mart 1989'dan, 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 2464 gün süre ile 95.562 şiddetinde Ocak 1989'dan itibaren yaşandığı belirlenmiştir.

3.1. SPI ve CZI kuraklık indekslerinin karşılaştırması

Çalışma alanındaki meteoroloji istasyonlarına ait veriler kullanılarak standartlaştırılmış yağış indeksi ile Çin Z indeksi yöntemleri ile yapılan kuraklık analizleri sonucunda elde edilen indeks değerleri arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla çeşitli istatistiksel analizler yapılmıştır. Bu kapsamda lineer regresyon analizlerine göre 1 ay zaman ölçeğinde SPI ve CZI indekslerinin değerleri arasındaki determinasyon katsayıları (R^2) Burdur DMİ'de 0.9804; Tefenni DMİ'de 0.9705; Korkuteli DMİ'de 0.9771; Isparta DMİ'de 0.9843; Dinar DMİ'de 0.9642 ve Acıpayam DMİ'de ise 0.9586 olarak belirlenmiştir (Şekil 8).

Söz konusu R^2 değerleri oldukça yüksek olup indeks değerlerinin birbirlerine çok yakın olduklarını göstermektedir. Meteoroloji istasyonlarına ait SPI ve CZI indeks değerleri arasındaki korelasyonların belirlenmesi amacıyla yapılan istatistiksel analizlere göre korelasyon katsayıları Burdur DMİ'de 0.9901; Tefenni DMİ'de 0.9851; Korkuteli DMİ'de 0.9885; Isparta DMİ'de 0.9821; Dinar DMİ'de 0.9820 ve Acıpayam DMİ'de ise 0.979'dir. Buna göre tüm istasyonlarda SPI ve CZI indeks değerleri arasında çok yüksek pozitif korelasyon olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Meteoroloji istasyonlarına ait istatistiksel veriler incelendiğinde tüm meteoroloji istasyonlarında SPI ve CZI indeks değerlerinin özellikle ortalamalarının birbirlerine çok yakın olduğu ancak en büyük ve en küçük indeks değerleri arasında bir miktar değişim olduğu belirlenmiştir (Tablo 2).

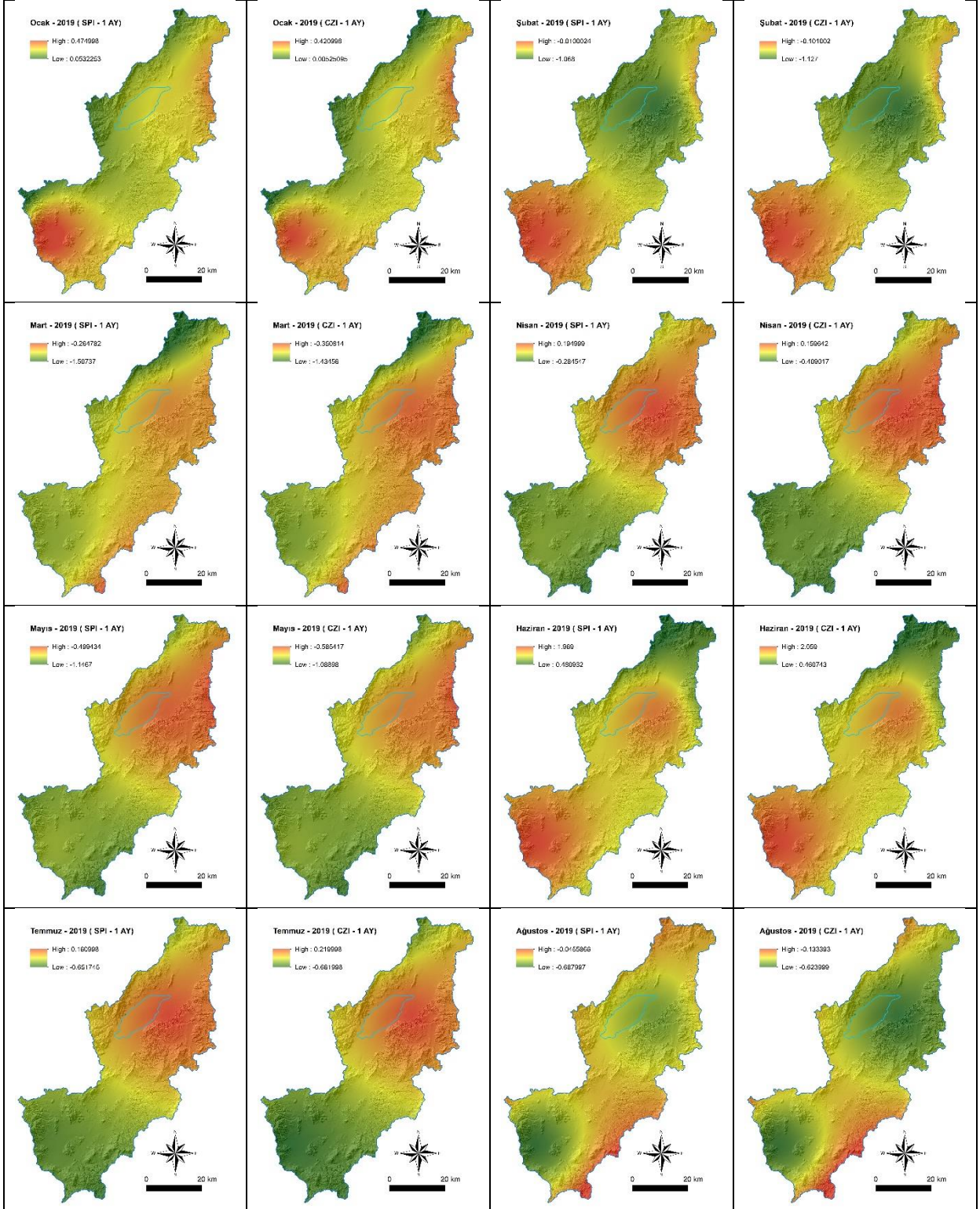
SPI ve CZI yöntemleri ile elde edilen kuraklık indeks değerleri noktasal bazlı olup her bir veri ilgili meteoroloji istasyonunu temsil etmektedir. Söz konusu noktasal veriler kullanılarak alan bazlı tematik kuraklık haritaların oluşturulabilmesi amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında enterpole edilmiştir. Bu kapsamda ArcGIS yazılımında IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak Burdur Gölü Havzasına ait kuraklık haritaları hazırlanmıştır (Şekil 9). En güncel durumun ortaya konulabilmesi amacıyla 2019 yılına ait 1 aylık zaman ölçeğinde SPI ve CZI yöntemleri kullanılarak hazırlanan kuraklık haritaları Şekil 9'da verilmiştir. Hazırlanan haritalarda negatif değerler kuraklığı işaret etmekte olup değer azaldıkça (yeşilden kırmızıya doğru) kuraklık şiddeti artmaktadır. Buna göre, Şubat ayında Burdur Gölü çevresinde orta kuraklık görülürken, Mart ayında SPI yöntemi ile gölün kuzeybatısında orta kuraklık belirlenmiştir. Haziran ayında ise kuzey kesimlerde genellikle hafif kuraklıklar görülmektedir. Temmuz ayında güney kesimlerde, Ağustos ayında ise güney kesimlerde ve göl çevresinde hafif kuraklıklar belirlenmiştir. Çalışma alanının kuzey kesimlerinde Eylül ayında hafif, Ekim ayında ise orta kuraklıklar gözlenmektedir. Genel olarak göl çevresinde Kasım ayında orta kuraklık, Aralık ayında ise hafif kuraklık hakimdir. Söz konusu haritalarda kuraklığın zamansal ve konumsal değişimleri incelendiğinde SPI ve CZI yöntemleri ile elde edilen haritaların birbirlerine çok uyumlu olduğu görülmektedir.



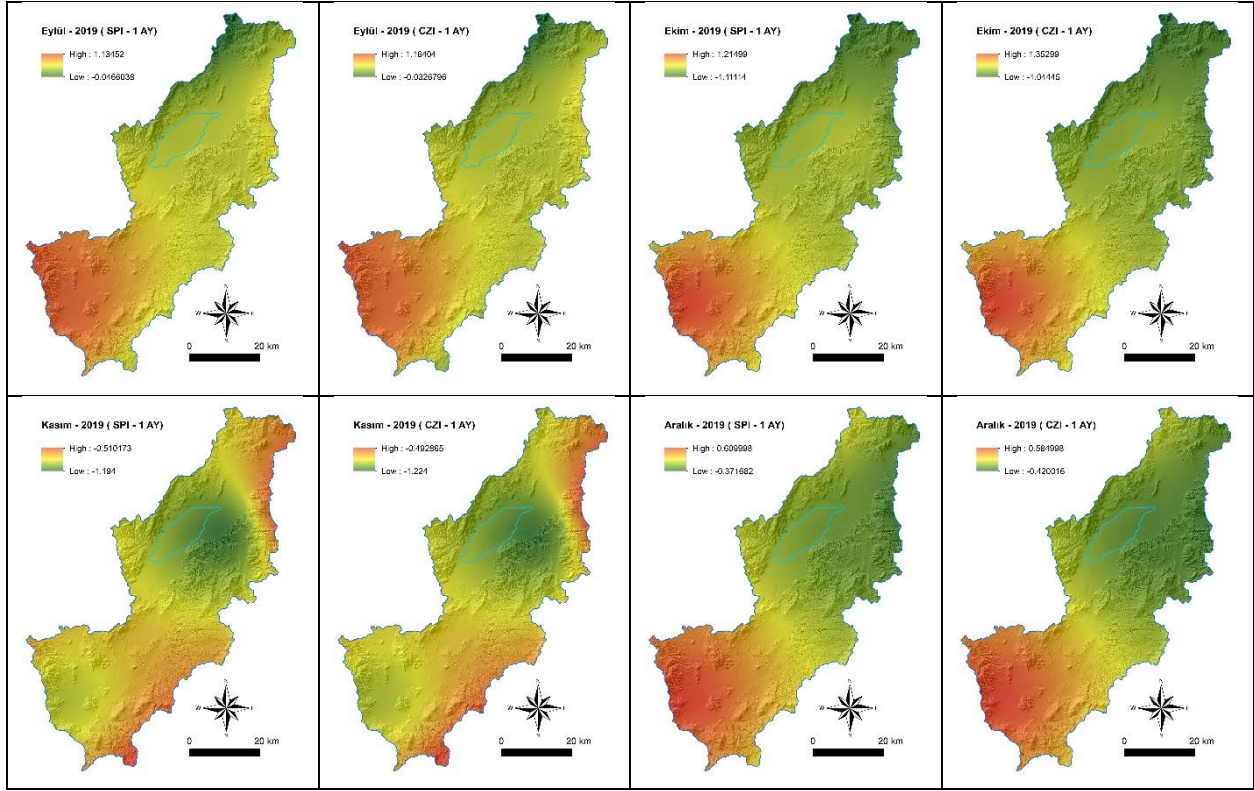
Şekil 8: Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarında 1 aylık zaman ölçeğindeki SPI ve CZI indeksleri arasındaki ilişki

Tablo 2: Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarında 1 aylık zaman ölçeğindeki SPI ve CZI indekslerine ait bazı istatistiksel veriler

	BURDUR DMİ		TEFENNİ DMİ		KORKUTLİ DMİ		ISPARTA DMİ		DİNAR DMİ		ACIPAYAM DMİ	
	SPI	CZI	SPI	CZI	SPI	CZI	SPI	CZI	SPI	CZI	SPI	CZI
En Büyük	2.9330	2.7530	2.4180	2.7480	2.6360	2.6120	2.9750	2.7570	2.4810	2.8250	3.0710	2.6200
En Küçük	-3.564	-2.689	-3.412	-2.307	-3.052	-2.750	-3.919	-3.500	-3.804	-2.367	-3.210	-2.205
Ortalama	0.0231	0.0186	0.0267	0.0140	0.0293	0.0239	0.0173	0.0256	0.0247	0.0164	0.0307	0.0198
Standart Sapma	0.9696	0.9631	0.9705	0.9581	0.9625	0.9536	0.9756	0.9559	0.9732	0.9579	0.9621	0.9604
Korelasyon Katsayısı	0.9901		0.9851		0.9885		0.9921		0.9820		0.9791	
Determinasyon Katsayısı (R²)	0.9804		0.9705		0.9771		0.9843		0.9642		0.9586	



Şekil 9: Çalışma alanının SPI ve CZI yöntemleri kullanılarak hazırlanan aylık kuraklık haritaları



Şekil 9: Çalışma alanının SPI ve CZI yöntemleri kullanılarak hazırlanan aylık kuraklık haritaları (devam)

4. Sonuç ve Tartışma

Burdur Gölü Havzasına düşen yağış miktarında özellikle son yıllarda önemli miktarlarda azalma söz konusudur. Bu nedenle havza genelinde bazı dönemlerde şiddetli ve uzun periyotlu kuraklık yaşanmaktadır. Bu çalışmada havza genelinde standartlaştırılmış yağış indeksi ile Çin Z indeksi yöntemleri kullanılarak kuraklık analizleri yapılmıştır. Ayrıca SPI ve CZI indeksleri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak ortaya konulmuştur. Bu kapsamda havza içerisinde bulunan ve gerekli ölçüm periyotlarına sahip olan Burdur ve Tefenni meteoroloji istasyonlarının yanı sıra havzanın yakınlarında bulunan Dinar, Isparta, Korkuteli ve Acıpayam meteoroloji istasyonlarına ait veriler kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre, SPI ve CZI analizlerinden elde edilen indeks verilerinin değerlendirilmesinde zaman ölçeği arttıkça kurak ve yağışlı dönemler daha hassas olarak belirlenmiş, özellikle 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde kurak ve yağışlı periyotları çok daha net olarak ortaya konulmuştur. Standartlaştırılmış yağış indeksi ile Çin Z indeksi yöntemleri ile yapılan kuraklık analizleri sonucunda elde edilen indeks değerleri arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla yapılan lineer regresyon analizlerine göre iki yöntem arasındaki determinasyon katsayısı (R^2) değerlerinin 0.9586 ile 0.9843 arasında değiştiği belirlenmiştir. SPI ve CZI indeks değerleri arasındaki korelasyon katsayılarının ise Burdur DMİ'de 0.9901, Tefenni DMİ'de 0.9851, Korkuteli DMİ'de 0.9885, Isparta DMİ'de 0.9821, Dinar DMİ'de 0.9820 ve Acıpayam DMİ'de ise 0.9791 olduğu ve her iki indeks arasında çok yüksek pozitif korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca meteoroloji istasyonlarına ait noktasal bazlı kuraklık indeks değerleri kullanılarak IDW enterpolasyon yöntemi ile havza bazlı alansal tematik kuraklık haritaları üretilmiştir. Söz konusu haritalarda kuraklığın zamansal ve konumsal değişimleri incelendiğinde SPI ve CZI yöntemleri ile elde edilen haritaların birbirlerine çok benzer olduğu belirlenmiştir. [Bakanoğulları \(2020b\)](#) tarafından yapılan çalışmada, sunulan çalışmaya benzer şekilde iki farklı kuraklık indeks yöntemi kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Bunlar, Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ve Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) yöntemleri olup, yıllık SPI ve SPEI kuraklık indeksleri arasındaki determinasyon katsayısı (R^2) 0.977 olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde [Mahmoudi \(2019\)](#) ve [Kassaye \(2020\)](#) tarafından yapılan çalışmalarda da SPI ve CZI yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen kuraklık değerlendirmelerinde sonuçların birbirlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada da SPI ve CZI yöntemleri kullanılarak yapılan kuraklık analizlerinde literatürde ki çalışmalara benzer olarak birbirlerine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak Burdur Gölü Havzasında iklim değişikliğine bağlı olarak gelişen kuraklıkların karakterizasyonunun belirlenerek kuraklığın etkilerinin azaltılmasına yönelik eylem planlarının yapılması aşamalarında Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Çin Z İndeksi yöntemlerinin birlikte kullanılmasından ziyade bu yöntemlerden sadece birinin tercih edilmesinin yeterli olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Anisfeld S.C., (2010), *Water Resources*, Island Press, Washington, DC., 352ss.
- Ataol M., (2010), *Burdur Gölü Havzası İçin Yeni Bir Su Yönetim Modeli Önerisi*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Awchi T.A., Kalyana M.M., (2017), *Meteorological drought analysis in northern Iraq using SPI and GIS*, Sustainable Water Resources Management, 3(4), 451-463.
- Bakanoğulları F., (2020a), *Kırsal havzalarda kuraklığın iki yöntem (SPEI ve SPI) kullanılarak belirlenmesi: Kumdere Havzası örneği*, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 7(1), 146-156.
- Bakanoğulları F., (2020b), *SPEI ve SPI indisleri kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi Havzasında kuraklık şiddetlerinin analizi*, Toprak Su Dergisi, 9(1), 1-10.
- Byun H.R., Wilhite D.A., (1999), *Objective quantification of drought severity and duration*, Journal of Climate, 12(9), 2747-2756.
- Choi M., Jacobs J.M., Anderson M.C., Bosch D.D., (2013), *Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables*, Journal of Hydrology, 476, 265-273.
- Çaldağ B., Şaylan L., Toros H., Bakanoğulları F., (2004), *Drought Analysis in northwest Turkey*, Agroenvironment 2004, 20-24 October, Udine, Italy, ss.169-179.
- Dikici M., (2019), *Asi Havzası'nda (Türkiye) kuraklık analizi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1), 22-40.
- Dogan S., Berktaş A., Singh V.P., (2012), *Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey*, Journal of Hydrology, 70(471), 255-268.
- Dracup J.A., Lee K.S., Paulson Jr. E.G., (1980), *On the definition of drought*, Water Resource Research, 16(2), 297-302.
- Gibbs W.J., Maher J.V., (1967), *Rainfall Deciles as Drought Indicators*, Bureau of Meteorology Bulletin, 48, Melbourne, Australia.
- İlker A., Terzi Ö., Şener E., (2019), *Yağışın Alansal Dağılımının Haritalandırılmasında Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Akdeniz Bölgesi Örneği*, Teknik Dergi, 30(3), 9213-9219.
- İrvem A., Özbuldu M., (2019), *Analysis of drought period with SPI for Muğla province of Turkey*, Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 24 (Özel Sayı):142-148.
- Jain V.K., Pandey R.P., Jain M.K., Byun H.R., (2015), *Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin*, Weather and Climate Extremes, 8, 1-11.
- Kassaye A.Y., Shao G., Wang X., Wu S., (2020), *Quantification of drought severity change in Ethiopia during 1952–2017*, Environment, Development and Sustainability, doi: 10.1007/s10668-020-00805-y.
- Kendall M., Stuart A., (1977), *The advanced theory of statistics*, Vol. 1: Distribution Theory, 4th edition, C. Griffin, 484ss.
- Kömüşçü A., Erkan A., (2006), *Kuraklık ve Türkiye Açısından Genel Bir Değerlendirme*, DMİ Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Koroğlu S., (2006), *Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin Hacim Hesabına Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mahmoudi P., Rigi A., Kamak M.M., (2019), *A comparative study of precipitation-based drought indices with the aim of selecting the best index for drought monitoring in Iran*, Theoretical and Applied Climatology, 137(3-4), 3123-3138.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., (1993), *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, California, ss.179-183.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., (1995), *Drought monitoring with multiple time scales*, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, USA, ss.233-236.
- Mishra A.K., Singh V.P., (2011), *Drought modeling - a review*, Journal of Hydrology, 403, 157-175.
- Morid S., Smakhtin V., Moghaddasi M., (2006), *Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran*, International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 26(7), 971-985.
- Orhan O., (2014), *Konya Kapalı Havzası'nda Uzaktan Algılama ve CBS Teknolojileri İle İklim Değişikliği ve Kuraklık Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Palmer W.C., (1965), *Meteorological Drought*, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper No: 45, Washington, DC., USA, 58ss.
- Pamuk G., Özgürel M., Topçuoğlu K., (2004), *Standart yağış indisi (SPI) ile Ege bölgesinde kuraklık analizi*, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 41(1), 99-106.
- Shukla S., Wood A., (2008), *Use of a Standardized Runoff Index For Characterizing Hydrologic*, Geophysical Research Letters, 35(2), L02405, doi:10.1029/2007GL032487.
- Sırdaş S., (2002), *Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve Türkiye Uygulaması*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sırdaş S., Şen Z., (2003), *GAP Bölgesinde kurak dönem özelliklerinin araştırılması*, III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 19-21 Mart, İstanbul, Türkiye, ss.305-317.
- Şen Z., (2001), *Kuraklık Kırımı Yuvarlak Masası Toplantısı*, 20 Mart 2001, Ankara Hilton Otel.
- Şener E., Şener Ş., (2019), *Meteorolojik kuraklığın coğrafi bilgi sistemleri tabanlı zamansal ve konumsal analizi: Çorak Gölü Havzası (Burdur-Türkiye) örneği*, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(3), 596-607.
- TOB, (2018), *Burdur Gölü Sulak Alan Revize Yönetim Planı Projesi Sonuç Raporu*, Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Sulak Alanlar Şube Müdürlüğü, 322ss.
- Thom H.C.S., (1966), *Some Methods of Climatological Analysis*, WMO Technical Note, 81, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 63ss.
- Tsakiris G., Vangelis H.J.E.W., (2005), *Establishing a drought index incorporating evapotranspiration*, European water, 9(10), 3-11.
- Tuna H., Malkoç F., Yılmaz Ö., (2009), *Çoruh Havzasında SPI ile Kuraklık Analizi ve Çevresel Etkileri*, Doğu Karadeniz Bölgesi Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Bunun Ülke Enerji Politikalarındaki Yeri Forumu, Trabzon, ss.114-129.
- Vicente-Serrano S.M., Begueria S., López-Moreno J.I., (2010), *A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index*, Journal of Climate, 23, 1696-1718.
- WMO, (1997), *Extreme Agrometeorological Events*, CagM-X Working Group, WMO/TD-No.836, Geneva, Switzerland, 182ss.

- WMO, (2016), Handbook of Drought Indicators and Indices, Integrated Drought Management Programme (IDMP), WMO-No. 1173, Geneva, Switzerland, 45ss.
- Wambua R.M., Mutua B.M., Raude J.M., (2018), *Detection of spatial, temporal and trend of meteorological drought using standardized precipitation index (spi) and effective drought index (edi) in the upper Tana river basin*, Open Journal of Modern Hydrology, 8, 83-100.
- Wilhite D.A., Glantz M.H., (1985), *Understanding The Drought Phenomenon: The Role of Definitions*, Water International, 10(3), 111-120.
- Wilhite D.A., Svoboda M.D., (2000), *Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation*, Early warning systems for drought preparedness and drought management'in İçinde, (Wilhite D.A, Sivakumar M.V.K., Wood D.A., Eds.), Lisbon, Portugal, ss.1-21.
- Willeke G., Hosking J.R.M., Wallis J.R., Guttman N.B., (1994), *The National Drought Atlas*, U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Report 94-NDS-4, 587ss.
- Wilson E.B., Hilferty M.M., (1931), *The distribution of chi-square*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 17(12), 684-688.
- Wu H., Hayes M.J., Welss A., Hu Q., (2001), *An evaluation the standardized precipitation index, the China-z index and the statistical Z-Score*, International Journal of Climatology, 21, 745-758.

Şiran (Gümüşhane) İlçe Merkezi Su Kaynaklarının Kalitesi ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Ümmühan Semiz¹, Mehmet Ali Gücer^{1*}, Selçuk Alemdağ¹

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane.

Özet

İnceleme alanı, Gümüşhane (KD Türkiye) ilinin güneybatısında yer alan Şiran ilçe merkezini kapsamaktadır. Bu çalışmada, ilçe merkezindeki suların hidrojeokimyasal karakteristikleri incelenmiş ve metal element içerikleri belirlenmiştir. İnceleme alanında, temel birimleri kumtaşı, kilaşı, marn, şeyl ve tüf ardışımından meydana gelen Eosen yaşlı Kelkit Formasyonu oluşturmakta olup Kuvaterner yaşlı alüvyon ile uyumsuz bir şekilde örtülmüştür. Bu birimler hidrojeolojik özelliklerine göre taneli gözenekli serbest akiferleri oluşturmaktadır. Örneklerin pH, özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ) ve toplam sertlik (Fr°) değerleri sırasıyla 5.41-7.48, 106.9-141.3 $\mu S/cm$ ve 4.72-6.78 ($n=18$) arasında değişmektedir. Bu veriler, Kıta İçi Yerüstü Su Kaynakları sınıflamasına göre, suların çoğunlukla I. ve II. sınıf, az oranda ise III. sınıf kalitede olduğunu göstermektedir. İnceleme alanındaki sular genelde Ca-Mg-HCO₃ tipli karbonatlı ($Ca+Mg>Na+K$) olup, zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden (HCO₃⁻>SO₄²⁻+Cl⁻) daha fazladır. İnceleme alanındaki suların ($Ca+Mg$)/(SO₄+HCO₃) oranları sulara silikat ayrışmasının etkisini işaret etmekte, Cl/(Cl+HCO₃) ve (Na+K)/(Na+K+Ca) oranları ise, bu suların kimyasının kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması tarafından kontrol edildiğini, dolayısıyla su-kayaç etkileşimini göstermektedir. Su örneklerindeki çözünmüş potansiyel toksik element içerikleri, birkaç örnek dışında, kabul edilebilir sınırlar arasında dağılım sergilemektedir. Sonuç olarak, elde edilen hidrojeokimyasal veriler, inceleme alanındaki suların genel olarak içme suyu açısından iyi sınıf sular kategorisinde yer aldığını göstermiştir.

Anahtar Sözcükler

Hidrojeokimya, pH, Su Kalitesi, Şiran (Gümüşhane)

Investigation of Hydrogeochemical Characteristics and Quality of the Water Resources in Şiran (Gümüşhane) District Center, Turkey

Abstract

The study area is located of Şiran District Center in the southwest of Gümüşhane (NE Turkey). In this study, hydrogeochemical characteristics of water resources in district center were examined and metal element contents were determined. In the study area, the basement rocks are represented by Eocene Kelkit formation, which is composed of sandstone, claystone, marl, shale and tuff, and this unit is covered unconformably by the Quaternary aged alluvium. These units form granular porous unconfined aquifers according to the hydrogeological features. The pH, specific conductance (SC) and hardness (Fr°) values of the water resources in the study area varied between 5.41-7.48, 106.9-141.3 $\mu S/cm$ and 4.72-6.78 ($n=18$), respectively. According to the classification of Intra-Continental Water Resources, these data show that the samples are mostly class-I and II, rarely class-III water quality characteristics. The water resources in the study area are generally classified as Ca-Mg-HCO₃ type carbonated ($Ca+Mg>Na+K$), and generally their weak acids are more than strong acids (HCO₃⁻>SO₄²⁻+Cl⁻). In the study area, ($Ca+Mg$)/(SO₄+HCO₃) ratios indicated the effect of silicate weathering in the waters, and the Cl/(Cl+HCO₃) and (Na+K)/(Na+K+Ca) ratios show that the chemistry of waters is controlled by the chemical weathering of rock-forming minerals, hence, reflect the water-rock interaction. Except for a few, the concentration of dissolved potentially toxic elements in the water samples were distributed within acceptable limits. Consequently, the hydrogeochemical results showed that the water resources in the study area were in the category of good class waters in terms of drinking water.

Keywords

Hydrogeochemistry, pH, Water Quality, Şiran (Gümüşhane)

1. Giriş

Su, canlıların yaşamlarını sürdürmesi için gereken en önemli temel unsurlardandır. Yaşamsal faaliyetlerin devam ettirilebilmesi, suların etkin bir şekilde kullanılmasına ve su kalitesinin izlenerek kontrol altında tutulmasına bağlıdır. Yüzey ve yeraltı sularının kalitesi (fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik vb.) suların içme, kullanma ve sulamaya uygunluğunun belirlenmesinde ve kalitesinin korunmasında en önemli kriterleri oluşturmaktadır.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (456) 2331000 Faks: +90 (456) 2331075

E-posta: ummuhansemiz5555@gmail.com (Semiz Ü), maligucer@gmail.com (Gücer M.A), selcukalemdag@gmail.com (Alemdağ S)

Gönderim Tarihi / Received : 02/10/2020

Kabul Tarihi / Accepted : 08/12/2020

Bunun yanı sıra biyolojik sistemlerde değişik görevleri olan H, Na, K gibi elementler suda çözünmüş olarak bulunmakta ve canlıların başlıca besin maddelerini oluşturmaktadır. Bu özellik, suda çözünmüş olarak bulunan element düzeylerinin önemini ortaya koymaktadır. Vücuttaki bütün fizyolojik olayların yürütülmesinde su ya doğrudan ya da dolaylı olarak metabolik işlemlere katılır. Suyun insanlara hijyenik olarak, içerisinde As, Cu, Pb, gibi zararlı kimyasal maddeleri ve patojen mikroorganizmaları içermeyecek özellikte, sağlanması gerekmektedir.

Gümüşhane (KD Türkiye) genelinde, il merkezi içme suyu kalitesine yönelik şimdiye kadar yapılmış birkaç çalışma (Gültekin 1998; Gültekin ve Dilek 2005; Uslu 2014; Sipahi ve Uslu 2016) olmasına rağmen, Şiran içme sularının hidrojeokimyasal karakteristiklerine yönelik oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışma kapsamında Şiran’da, başta içme suyu olarak kullanılan kaynakların hidrojeokimyasal özellikleri ve su kalitesine yönelik araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Yerleşim yerindeki suların özelliklerinin ortaya konulması, bölgede bulunan mevcut kaynakların kullanılabilirliğinin belirlenmesi açısından önemlidir.

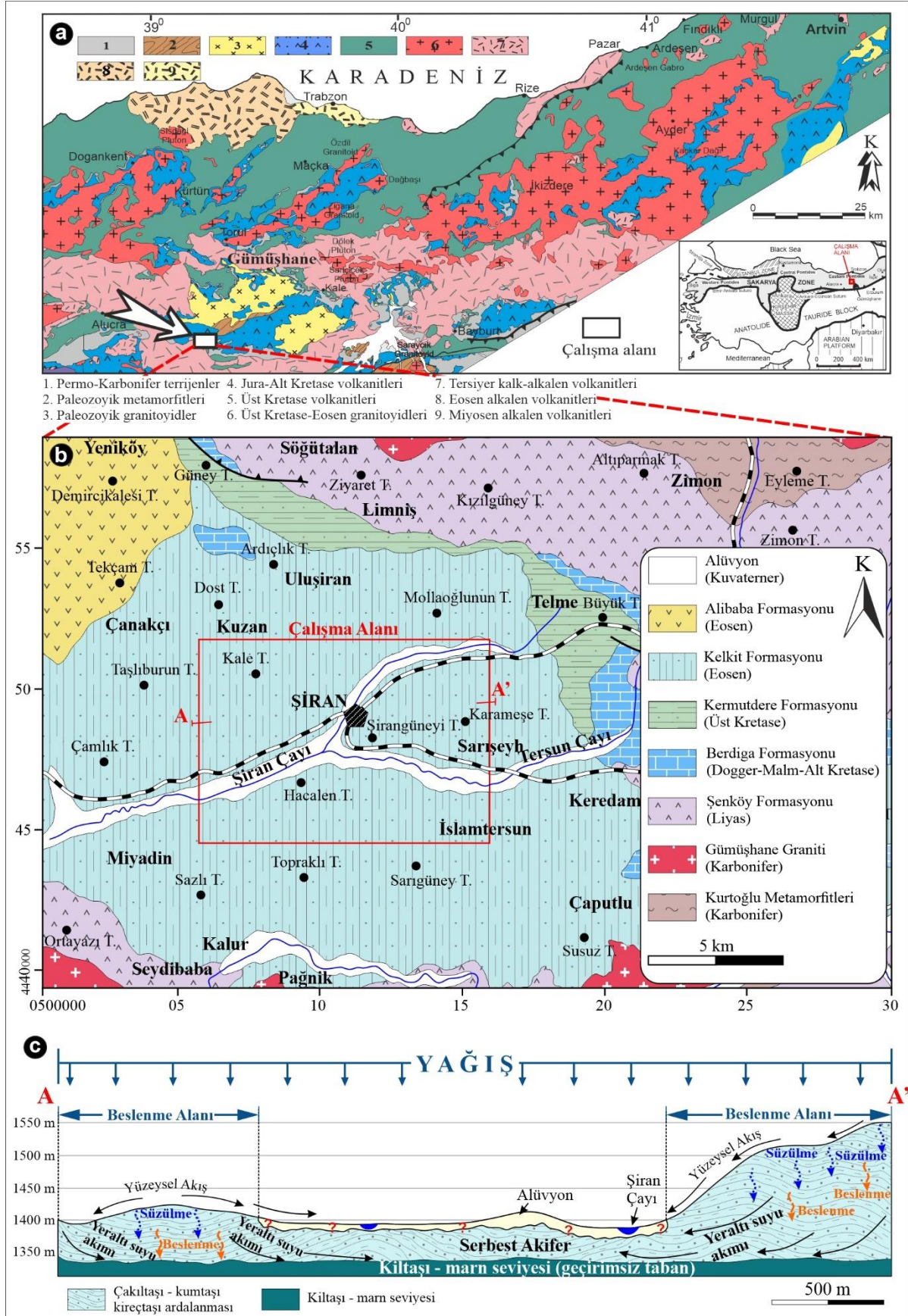
2. İnceleme Alanının Jeolojisi ve Hidrojeolojik Özellikleri

Ülkemiz, jeolojik olarak Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağında yer almakta ve daha yaşlı orojenik dönemleri de temsil etmektedir. Dolayısıyla, Türkiye farklı jeolojik kökenlere sahip birçok tektonik birliğin Geç Tersiyer dönemde bir araya gelmesi sonucu oluşmuş ve birçok tektono-stratigrafik birlikten meydana gelmiştir (Okay 2008; Göncüoğlu 2010). Karadeniz’in güneydoğu kesimi boyunca uzanan ve inceleme alanının da içerisinde yer aldığı Doğu Pontidler ise, yaklaşık 500 km uzunluğa ve 100 km genişliğe sahip bir orojenik kuşağı temsil etmektedir. Bu kuşak, Geç Kretase (Senoniyen) döneminde kuzeyde Avrasya levhası altına yiten Neotetis okyanusunun kuzey kolu üzerinde gelişmiş ve iyi korunmuş eski bir adayayı olarak bilinmektedir (Akin 1979; Şengör ve Yılmaz 1981; Akıncı 1984; Okay ve Şahintürk 1997; Yılmaz vd. 1997). Doğu Pontid orojenik kuşağı, tektonik olarak Sakarya Zonu’nun doğu kesimini teşkil etmektedir (Okay 1989; Okay ve Tüysüz 1999) (Şekil 1a).

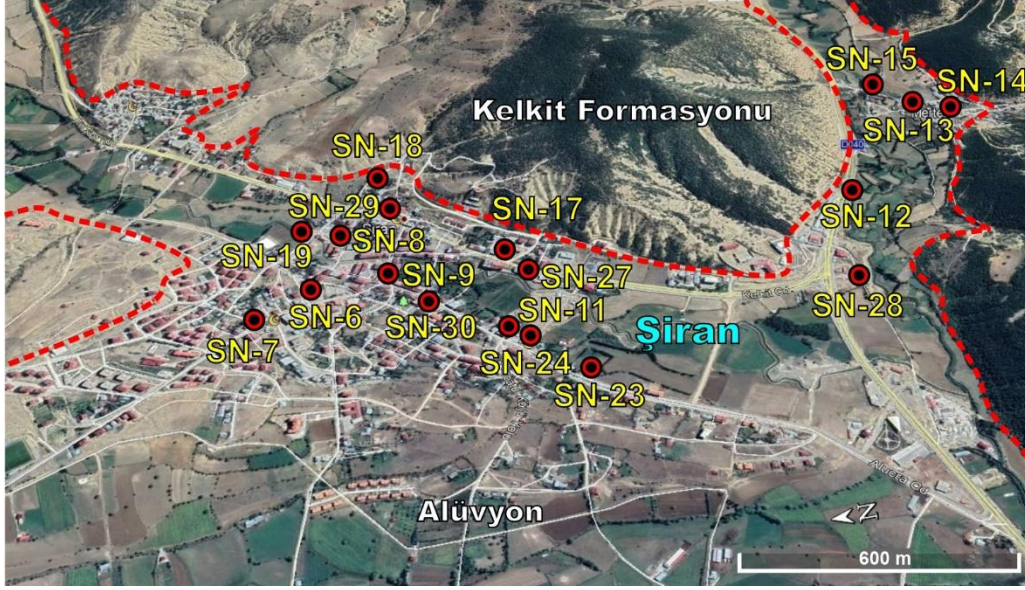
İnceleme alanının temel birimlerini Karbonifer yaşlı metamorfitler (Topuz ve Altherr 2004; Topuz vd. 2007) ve onları keserek yerleşen Karbonifer yaşlı plütonlar (Yılmaz 1972; Çoğulu 1975; Topuz vd. 2010; Dokuz 2011; Kaygusuz vd. 2016; Karşı vd. 2016) oluşturmuştur. Bölgede Paleozoyik temel, Alt-Orta Jura yaşlı volkanik ve volkanoklastik kayalardan oluşan ve Liyasik transgresyon (200-190 My) sonucu meydana gelen Şenköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür (Topuz vd. 2007; Kandemir ve Yılmaz 2009). Volkanoklastik istif üzerine Dogger- Malm-Alt Kretase yaşlı sığ platform karbonatları uyumlu olarak gelmiş olup, bu birim genel olarak gri-bej renkli, kalın ve masif katmanlı, zengin bentik foraminifer fosilleri içeren ve sığ denizel bir istif özelliği sunmaktadır (Pelin 1977). Üst Kretase, taban kesimlerinde türbiditik istif, üst kesimlerinde volkanik ağırlıklı kayalarla (Sipahi 2005; Sipahi ve Sadıklar 2014; Sipahi vd. 2019; 2020) temsil edilirken, tüm bu birimler üzerine taban çakıltısı ile uyumsuz olarak gelen Eosen ise üst kesimlere doğru volkanik tuf, nummulitli kireçtaşı ve volkanitler ile temsil edilmektedir (Tokel 1972; Bergougnan 1976). Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozları inceleme alanının en genç birimini oluşturur (Şekil 1b).

İnceleme alanında baskın litolojiyi Kelkit Formasyonuna ait çakıltısı, kumtaşı, marn, kumlu kireçtaşı ve şeyl ardışımından oluşan Eosen yaşlı birimler ve alüvyon/yamaç molozu birikimleri meydana getirmektedir.

İnceleme alanı deniz seviyesinden 1400 metre yükseklikte yer almakta ve arazi bakımından daha çok bir platoyu andırmaktadır. Bununla birlikte, en önemli akarsuyunu Şiran çayı ve küçük kolları oluşturmaktadır. Özellikle Şiran-Tersun çayları ve dereler boyunca yayılım gösteren alüvyon ve yamaç molozu, akarsular tarafından taşınan kil, kum, çakıl, yamaç döküntüleri gibi tutturulmamış tortul malzemeden meydana gelmekte olup, çalışma alanında taneli gözenekli serbest akifer ortamı temsil etmektedir. Alüvyon tarafından örtülen Kelkit Formasyonu çok ince ve ince-orta tabakalı, açık yeşilimsi rengi ve yumuşak topografik görünümü ile dikkat çekmekte, genel olarak çakıltısı, kumtaşı, kumlu kireçtaşı, şeyl, tuf ardalı ve senklinal kıvrımlı olarak görülmektedir. İstif içerisinde devamlılık arz etmeyen ve kalınlıkları birkaç cm’den birkaç metreye kadar değişen çakıltısı seviyeleri gözlenmektedir. Birim içerisinde bol gözenekli ve çatlaklı tuf ve kumtaşları ile erime boşluklu kireçtaşları geçirimsizlik, depolama ve iletimsizlik açısından akifer özelliği göstermesi ve taban kaya olarak marn, kila ve şeyl ara katkılı seviyelerden oluşması birimin serbest akifer olma özelliğinde olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, inceleme alanında yayılım gösteren alüvyon örtü ve Kelkit Formasyonu litolojik açıdan serbest akifer özelliğindedir. Bu litolojik birimlerin akifer yapısını daha iyi ifade edebilmek için, Şekil 1c’de yeraltı suyu akım modelini gösteren basit bir hidrojeolojik model oluşturulmuştur. Bu modele göre akifer sistem Şiran Çayı’nı beslerken, birim geçirimli olduğu için aynı zamanda Şiran Çayı’ndan beslenmektedir.



Şekil 1: a) Doğu Pontidlerin genelleştirilmiş jeoloji haritası, b) inceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojisi (Güven 1993), c) hidrojeolojik model



Şekil 2: Şiran ilçe merkezinden alınan su örneklerinin konumu

3. Malzeme ve Yöntem

İnceleme alanında, Şubat 2019 döneminde toplam 18 farklı su kaynağından (Şekil 2, Tablo 1) örnekleme yapılmış ve hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Her bir örnek polietilen örnek şişesi ile TS 266'ya uygun olarak alınmış ve etiketlenerek analiz sürecine kadar +4°C'de muhafaza edilmiştir.

Tablo 1: İnceleme alanından alınan su örneklerinin yerleri ve konumu

S.No	Örnek No	Alındığı Yer	Konum (Boylam-Enlem)	
1	SN-6	Mertekli Mahallesi Merkez Çeşmesi	39.124367	40.191616
2	SN-7	Mertekli Mahallesi Meydan Çeşmesi	39.122474	40.203658
3	SN-8	Meydan Çeşmesi	39.127087	40.190960
4	SN-9	Çeşme (isimsiz)	39.124864	40.189755
5	SN-11	Çeşme (isimsiz)	39.121734	40.187059
6	SN-12	Göze (isimsiz)	39.126900	40.177936
7	SN-13	Merkez Çarşı Camii Şadırvanı	39.132074	40.173739
8	SN-14	Tekke Camii Şadırvanı	39.130866	40.172316
9	SN-15	Esentepe Camii Şadırvanı	39.131724	40.174284
10	SN-17	Şeyhi Şirani Çeşmesi	39.125417	40.186895
11	SN-18	Tekke Gözesi	39.155824	40.219212
12	SN-19	Osman Keleş Hayratı	39.127563	40.191941
13	SN-23	Çeşme (isimsiz)	39.119554	40.185389
14	SN-24	Çeşme (isimsiz)	39.121243	40.186599
15	SN-27	Göze (isimsiz)	39.124392	40.186402
16	SN-28	Çeşme (isimsiz)	39.124317	40.179633
17	SN-29	Çeşme (isimsiz)	39.217279	40.168581
18	SN-30	Göze (isimsiz)	39.252654	40.170074

Suların hidrojen iyonu aktivitesi (pH), toplam sertlik (F°), özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ- $\mu S/cm$) ve kimyasal (çeşitli anyon ve katyon) analizleri Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. pH, F° ve ÖEİ analizleri [APHA \(2017\)](#)'ya göre sırasıyla SM 4500-H⁺, SM 2340 C. EDTA (titrasyon) ve SM 2510 metoduna göre analiz edilmiştir. Sülfat (SO_4^{2-}), bikarbonat (HCO_3^-) ve klorür (Cl^-) gibi anyon analizlerinde de farklı teknikler kullanılmış olup [APHA \(2017\)](#)'ya göre sırasıyla türbidimetrik (SM 4500- $SO_4^{2-}.E$), titrasyon (SM 2320 B. alkalinite) ve titrimetrik (SM 4500- Cl^- klorür) yöntemler kullanılmıştır. Katyon ve ağır metal (Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Pb, Cr) analizleri ise emisyon spektrometresi yöntemine göre ([Balaram vd. 2013; Vysetti vd. 2014](#)), Agilent 7700 marka ICP-MS (indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Metallerin ölçümünde kullanılan cihaza ait çalışma koşulları ve performansı ile ilgili bilgiler Tablo 2'de özetlenmiştir ([URL-1 2011; Jankowski vd. 2005](#)).

Tablo 2: ICP-MS cihazının çalışma şartları ve sistemin analitiksel karakteristiği

Element adı	Dalga boyu (nm)	Sisleştirici Basıncı (kPa)	Kararlılık ve numune alma süresi (s)	Peristaltik pompa hızı (rpm)	LOD ¹ (µg/L)	LOQ ² (µg/L)	BSS ³ (%)
Al	396.152	240	10	15	1.4	4.7	4.9
Cd	228.802	140	10	15	0.3	1	0.4
Co	340.512	240	10	15	0.1	0.3	0.7
Cr	425.433	240	10	15	0.2	0.6	1.3
Cu	324.754	240	10	15	0.3	1	0.6
Fe	371.993	120	10	15	1.6	5.3	1.2
Mn	403.076	240	10	15	0.4	1.3	0.7
Ni	352.454	240	10	15	1	3	0.9
Pb	405.781	240	10	15	0.4	1.3	1.5
Zn	213.857	140	10	15	1.2	4	1
Na	588.995	240	10	15	2.3	7.8	1.2
K	766.491	240	10	15	3.4	11.4	0.7
Ca	393.366	120	10	15	3.2	10.6	4.7
Mg	285.213	240	10	15	3.2	6.4	6.4

¹LOD: Gözlenebilirlik sınırı, ²LOQ: Tayin sınırı, ³BSS: Bağlı Standart Sapma

Sularda pozitif ve negatif yüklerin toplamı eşit olması gerektiğinden, analizlerin doğruluğu majör iyonlar için elektriksel yük dengesinden tahmin edilebilmektedir (örneğin, Stumm ve Morgan 1970; Appelo ve Postma 2005). Çalışma alanından derlenen sularda, analiz sonuçlarının doğruluğu Stumm ve Morgan (1970) tarafından önerilen denklem (1) ile test edilmiş, analitik hata oranları (%fark) ise Appelo ve Postma (2005) tarafından önerilen elektronötrallite (%e) denklemi (2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$|\sum \text{anyon} - \sum \text{katyon}| \leq (0.1065 + 0.0155 \times \sum \text{anyon}) \quad (1)$$

$$\text{Elektriksel denge (\%e)} = \frac{\sum \text{katyon} - \sum \text{anyon}}{\sum \text{katyon} + \sum \text{anyon}} \times 100 \quad (2)$$

Hemen hemen tüm analiz sonuçlarında %2'ye varan hatalar kaçınılmazdır, ancak %5'in üzerindeki sapmalarda örnekleme ve analitik prosedürler yeniden gözden geçirilmelidir (Appelo ve Postma 2005). Çalışma alanındaki suların analiz sonuçlarında hata oranı (%e) -4.48 ile 3.92 (n= 18) aralığında değişmekte olup (Tablo 3), yukarıda verilen ölçütler dikkate alındığında, elde edilen sonuçların kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Suların Hidrojeokimyasal Karakteristikleri

Örneklenen sular ana katyon ve anyonları açısından analiz edilmiş ve sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Bununla birlikte söz konusu sularda pH, ÖEİ ve F^o fizikokimyasal parametreler de belirlenmiştir.

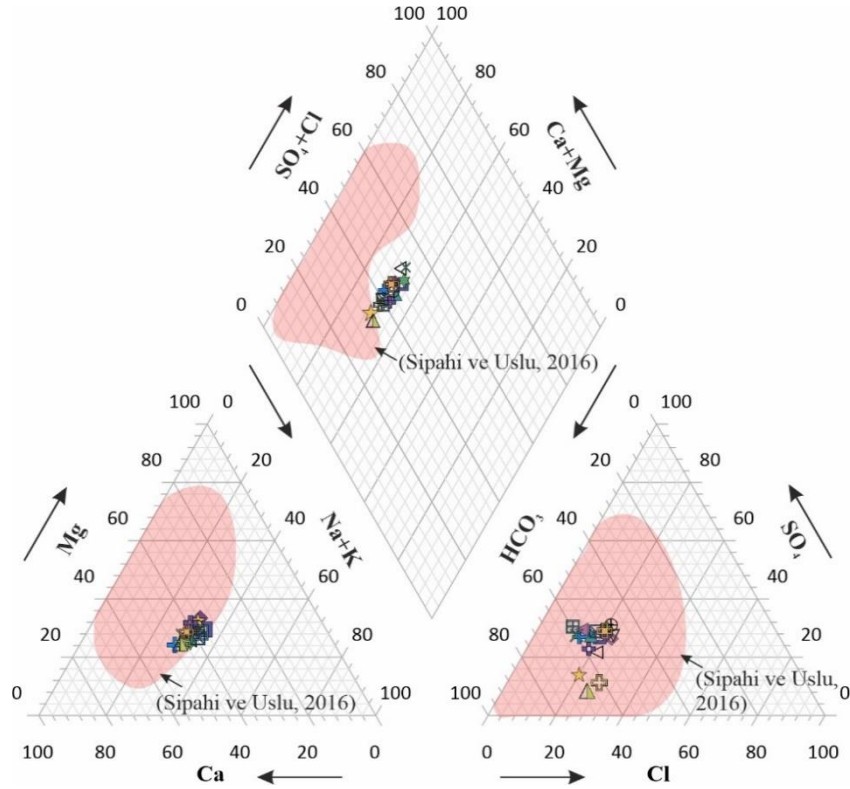
Tablo 3: İnceleme alanında örneklerin pH, ÖEİ, F° ve majör (anyon-kasyon) iyon analiz sonuçları ile hesaplanan yük-deñge hatası (ydh) oranları (%fark)

Parametre	ÖEİ	Sertlik	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Ca	Mg	Na	K	ydh	Grafik	
Birimi	µS/cm	Fr°	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	% fark	Sembolü	
Örnek	pH											
SN-6	7.48	141.3	6.22	7.4	17.9	80.0	13.0	7.2	12.8	0.81	-3.87	▲
SN-7	7.13	117.0	5.41	18.7	11.2	56.0	13.1	5.2	11.4	0.44	-1.07	⊕
SN-8	7.01	110.9	4.83	14.5	10.8	47.7	11.1	5.0	11.1	0.36	2.45	⊕
SN-9	6.76	140.8	6.24	10.9	19.3	74.4	13.4	7.0	12.6	0.82	-4.48	⊕
SN-11	6.99	111.1	4.72	19.9	11.2	47.7	10.9	4.9	11.2	0.36	-2.46	⊕
SN-12	6.88	110.3	5.09	21.4	10.4	49.1	13.0	4.5	11.1	0.35	-1.10	⊕
SN-13	6.96	110.7	5.14	21.6	11.1	53.3	13.1	4.5	11.2	0.36	-3.63	⊕
SN-14	6.95	110.3	5.23	22.4	13.5	50.5	13.3	4.7	11.1	0.36	-4.23	★
SN-15	6.96	140.5	6.78	12.4	13.2	74.4	14.8	7.5	12.9	0.79	2.30	★
SN-17	6.88	110.6	5.20	21.5	11.1	44.9	12.8	4.9	10.8	0.32	0.62	✕
SN-18	6.89	106.9	5.09	20.5	9.8	53.3	12.8	4.6	10.8	0.31	-2.55	✕
SN-19	6.93	110.1	5.08	22.3	11.6	44.9	12.7	4.7	11.0	0.34	-0.83	✕
SN-23	6.67	128.1	5.82	20.4	12.0	65.9	13.4	6.0	11.9	0.55	-4.14	▽
SN-24	6.52	111.1	4.83	20.8	10.2	49.1	12.0	4.5	10.7	0.36	-2.80	▲
SN-27	6.35	111.4	5.36	18.2	7.8	51.9	14.0	4.5	11.2	0.35	3.92	□
SN-28	6.20	112.0	5.24	19.8	7.3	54.7	13.4	4.6	11.1	0.36	0.83	◆
SN-29	5.93	111.4	5.32	21.6	6.7	53.3	13.7	4.6	11.1	0.38	1.32	◆
SN-30	5.41	111.2	5.54	22.8	5.7	56.1	14.5	4.7	11.0	0.34	1.18	+
TİSS ¹	6-9	<2500	<50	<250	<250		<75	<50	<200	<12	-	
DSTİSS ²	6.5-9.2	<2500	<50	<250	<250		<200	-	<200	-	-	

¹TİSS (TS 266, 2005): Türkiye İçme Suyu Standardı, ²DSTİSS (WHO, 2014): Dünya Sağlık Teşkilatı İçme Suyu Standardı (izin verilebilir sınırın üzerinde çıkan sonuçlar koyu gösterilmiştir). Fr°: Fransız su sertliği.

Suların pH değerleri 5.41 ile 7.48 (n= 18) arasında değişmektedir (Tablo 3). SN-6, SN-7 ve SN-8 örneklerinin pH değerleri >7 olduğundan ‘alkali sular’, diğer örnekler ise (pH<7) ‘asidik sular’ sınıfında yer almaktadır. Örnekler, TS 266 (pH: 6-9) ve WHO (6.5-9.2) içme suyu standartları ile karşılaştırıldığında SN-29 (pH: 5.93) ve SN-30 (pH: 5.41) hariç diğer örneklerin verilen limitler içerisinde yer aldığı görülmektedir. Bununla birlikte, 2012 yılında yayımlanan (URL-2 2012) ve 2016 yılında revize edilen Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (Değişik: RG-10/8/2016-29797) Su Kalite Sınıflarına göre inceleme alanındaki sular yüksek kaliteli ‘I. sınıf (çok iyi)’ su olarak sınıflandırılabilir. Suların ÖEİ değerleri 106.9-141.3 µS/cm (n= 18) aralığında değişim sergilemekte (Tablo 3) ve TS 266 ile WHO içme-kullanma suları standartlarını (<2500 µS/cm) karşılamaktadır. TS 266’da önerilen ÖEİ kriterlerine göre incelenen sular I. sınıf su kalitesini yansıtmaktadır. İnceleme alanındaki suların sertliği 4.72 ile 6.78 F° (n= 18) arasında değişim sergilemektedir. Elde edilen bu değerler, SN-6, SN-9 ve SN-15 (6.22-6.78 F°) örneklerinin ‘orta sert su’, diğer örneklerin ise ‘yumuşak su’ sınıfında yer aldığına işaret etmektedir.

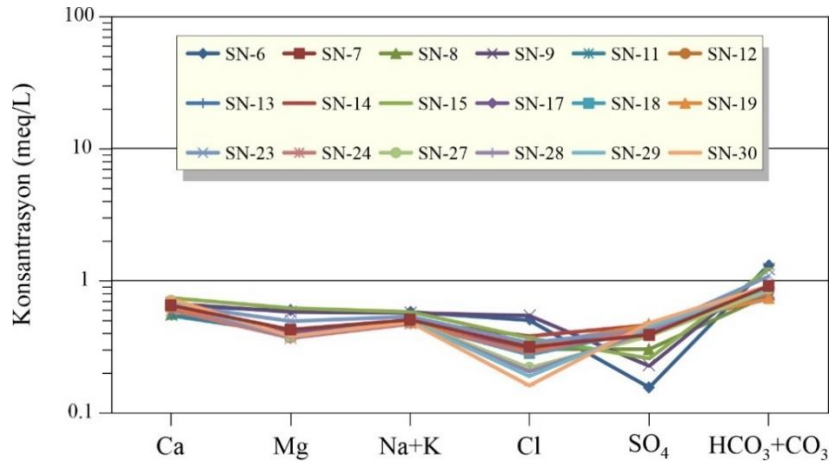
Fizikokimyasal özelliklerin yanı sıra, inceleme alanındaki suların kimyasal yapısı ve su tipleri Piper (1944) ve yarı logaritmik Schoeller (1955) sınıflama diyagramları ile belirlenmiştir. Piper sınıflamasına göre, su örneklerinin düşük SO₄ ve Cl içeren Ca-Mg-HCO₃ tipi sular sınıfında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). Genel olarak karbonatlı (Ca+Mg>Na+K) sular sınıfında olan örneklerde, zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden (HCO₃> SO₄+Cl) daha fazladır. Schoeller (1955) su sınıflamasına göre, tüm örnekler klorür içerikleri bakımından ‘normal klorürlü sular’ sınıfına ve sülfat konsantrasyonları açısından ‘normal sülfatlı sular’ sınıfına girmektedir (Tablo 4). Karbonat miktarı açısından ise ‘hipokarbonatlı sular’ karakteri sergilemektedir (Tablo 4). Örneklerin kasyon-anyon konsantrasyonlarındaki dağılımlarına bakıldığında ise, genel olarak Ca>Na>Mg>K ve HCO₃>SO₄>Cl sıralaması sergilediği ve karbonatlı kayalardan gelen sular dağılımına benzer yönelim gösterdiği belirlenmiştir (Schoeller 1955), (Şekil 4).



Şekil 3: Su örneklerinin Piper diyagramındaki dağılımı. Kapalı alanlar Gümüşhane il merkezi içme sularının değerlerini (Sipahi ve Uslu 2016) göstermektedir (semboller Tablo 3'deki gibidir)

Tablo 4: Klorür, sülfat ve karbonat içeriklerine göre suların sınıflandırılması (Schoeller 1955)

Klorür Sınıflaması		Sülfat Sınıflaması		Karbonat Sınıflaması	
Su Sınıfı	Klorür Miktarı (meq/L)	Su Sınıfı	Sülfat Miktarı (meq/L)	Su Sınıfı	Karbonat Miktarı (meq/L)
Hipoklorürlü sular	>700	Hiposülfatlı sular	>58	Hiperkarbonatlı sular	>7
Klorotalastik sular	420-700	Sülfatlı sular	24-58	Normal karbonatlı sular	2-7
Klorürce zengin sular	140-420	Oligosülfatlı sular	6-24	Hipokarbonatlı sular	<2
Orta klorürlü sular	40-140	Normal sülfatlı sular	<6		
Oligoklorürlü sular	15-40				
Normal klorürlü sular	<15				



Şekil 4: İnceleme alanı örneklerinin yarı logaritmik Schoeller diyagramı

4.2. Hidrojeokimyasal Süreçler

Hidrojeokimyasal süreçler, genellikle iyon değişimi, mineralizasyon, ayrışma ve çözünme gibi süreçleri kapsamakta olup, suların kimyasal analiz sonuçları kullanılmaktadır. Jeolojik oluşumlar, yeraltı suları ve kayalar arasında gelişen reaksiyonlar (iyonların göreceli hareketliliği, su-kayaç etkileşimi vb.) suların kalitesini ve içilebilirliğini önemli ölçüde etkilemektedir (Cederstorm 1946; Yousef vd. 2009). Kristalin kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kalkgranülit gibi karbonat açısından zengin kayalar karbonat ayrışmasının ana kaynaklarıdır. Bu kayalardaki mevcut karbonatlar, sulama, yağış ve yeraltı suyu hareketi gibi olaylar sırasında çözülerek yeraltı suyu sistemine eklenebilir (örneğin, Subramani et al. 2010).

Yeraltı suyu bileşiminin akifer litolojisi ile ilişkisini bilmek ve yeraltı sularındaki yağış, kayaç etkileşimi ve buharlaşma baskınlığı gibi kimyasal bileşenlerin kaynağını temsil etmek için bazı anyon (HCO_3 , Cl gibi) ve katyon (Na , Ca , K gibi) değerleri kullanılmaktadır (Gibbs 1970). İnceleme alanındaki örneklerde $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HCO}_3)$ oranları 0.05-0.21 ($n=18$) arasında, $(\text{Na}+\text{K})/(\text{Na}+\text{K}+\text{Ca})$ oranları ise 0.28-0.51 aralığında değişim sergilemektedir. Bu değerler incelenen suların kimyasının kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması tarafından kontrol edildiğini, dolayısıyla su-kayaç etkileşimini göstermektedir (Gibbs 1970).

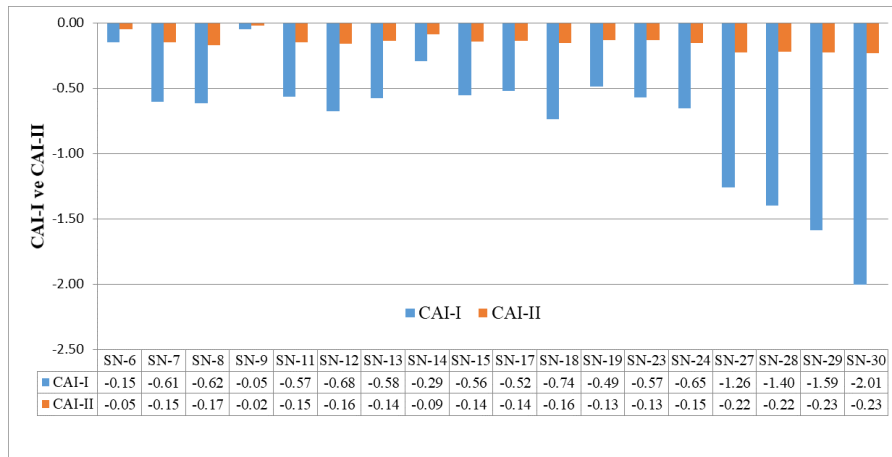
4.2.1. İyon Değişimi

İyon değişimi, yeraltı sularındaki iyonların konsantrasyonundan sorumlu olan önemli süreçlerden biridir. Kaynak sularında iyon değişimleri kloroalkalin indeksleri (CAI) ile belirlenebilmektedir (Schoeller 1965; 1977). Bu kapsamda kullanılan kloroalkalin indeksleri I ve II aşağıda verilen (3) ve (4) no'lu eşitliklerden hesaplanmakta olup, tüm değerler meq/L cinsinden ifade edilmektedir. Örneklenen sular için hesaplanan kloroalkalin indeksleri 1 ve 2 (CAI-I ve CAI-II), iyon değişim sürecinin meydana geldiğini kuvvetle düşündürmektedir.

$$\text{CAI-I} = [\text{Cl}-(\text{Na}+\text{K})]/\text{Cl} \quad (3)$$

$$\text{CAI-II} = [\text{Cl}-(\text{Na}+\text{K})]/(\text{SO}_4+\text{HCO}_3+\text{CO}_3+\text{NO}_3) \quad (4)$$

Bu doğrudan bir baz (katyon-anyon) değişim reaksiyonunu işaret etmekte olup, indekslerin değerleri pozitif veya negatif olabilmektedir. Yeraltı suyunda Na^+ veya K^+ ile Mg^{+2} veya Ca^{+2} arasında bir iyon değişimi söz konusu olduğunda, kloroalkalin indekslerin her ikisi de pozitif, ters iyon değişimi söz konusu olduğunda ise negatif olacaktır (Schoeller 1965; 1977). Bir başka ifade ile, sudaki Na^+ ve K^+ iyonlarının, kayaçtaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları ile yer değiştirmesi pozitif iyon değişimi ile açıklanmaktadır. Ters durumda, eğer indis negatif ise sudaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları ile kayaçtaki Na^+ ve K^+ iyonlarının yer değiştirdiği anlamına gelmektedir. İnceleme alanındaki suların CAI-I değerleri -0.05 ile -2.01 arasında değişmekte iken, CAI-II değerleri -0.02 ile -0.23 aralığında dağılım sergilemektedir (Şekil 5). Hesaplanan tüm değerler negatif olduğundan, örneklerde ters iyon değişiminin gerçekleştiğini ve kayaların Na^+ ve K^+ iyonlarının suların Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonları ile yer değiştirdiğine işaret etmektedir (Şekil 5).



Şekil 5: İncelenen suların kloroalkalin indekslerine (CAI-I ve CAI-II) göre dağılımı

4.2.2. Karbonat Ayrışması

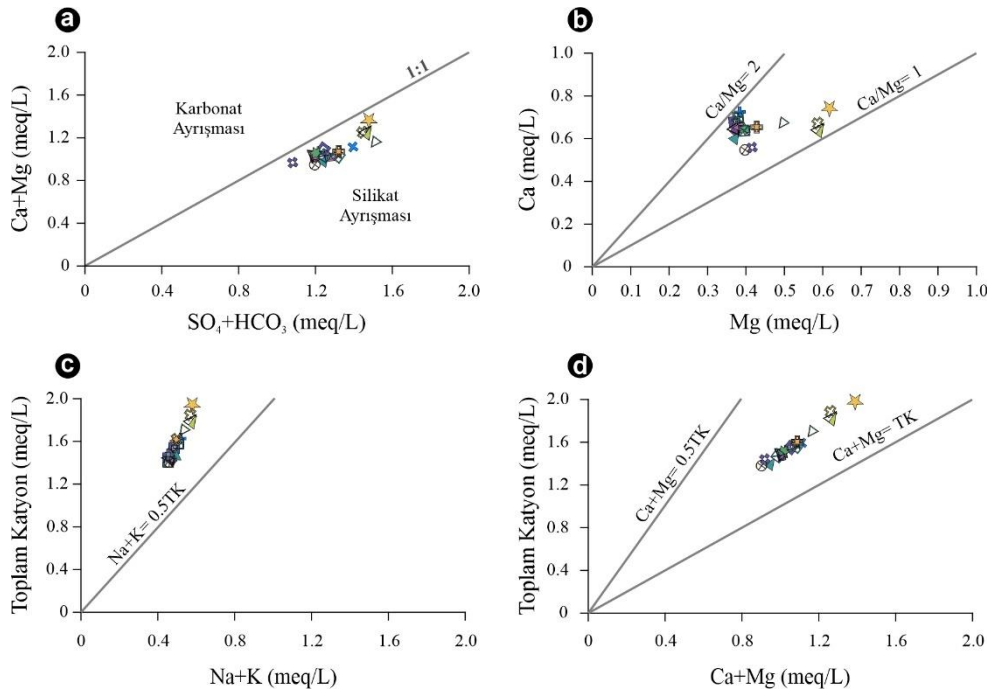
Örneklerin Mg ve Ca konsantrasyonları sırasıyla 4.47 - 29.39 mg/L ($n=18$) ve 10.93 - 100.74 mg/L ($n=18$) arasında değişmektedir. SO_4 ve HCO_3 konsantrasyonları ise sırasıyla 7.45 - 73.90 mg/L ($n=18$) ve 44.90 - 381.62 mg/L ($n=18$) arasındadır. İncelenen sulara Mg ve Ca baskın katyonları, HCO_3 ise baskın anyonu teşkil etmektedir.

İncelenen sular Ca+Mg'a karşı SO_4+HCO_3 grafiğine (Şekil 6a) aktarıldığında, tüm örneklerin 1:1 denge çizgisinin altında yer aldığı ve güçlü bir korelasyon ($R^2 = 0.99$) gösterdiği $[(Ca+Mg) = 0.9807 \times (SO_4+HCO_3) - 0.2021]$ ortaya konmuştur. Elde edilen bu değerler, incelenen sularda silikat ayrışmasının etkisine işaret etmektedir.

Yeraltı sularında kalsit ve dolomitin çözünme süreçleri, Ca/Mg oranı ile de ifade edilebilmekte olup, Ca/Mg = 1 oranı dolomitin çözünmesi süreçlerini, daha yüksek oranlar ise daha fazla kalsit katkısını göstermektedir (Maya ve Loucks 1995). Ca/Mg oranının 2'den daha yüksek çıkması ise yeraltı suyuna Ca ve Mg katkısı olan silikat minerallerinin çözünmesini işaret etmektedir (Katz vd. 1998). Bu yaklaşımlar çalışma alanına uygulandığında, örneklerin Ca/Mg oranlarının 1'in üzerinde ve 1:1 denge çizgisi çevresinde dağılım gösterdiği ve genel olarak sularda kalsit ve dolomit çözünürlüğünün etkisine işaret etmektedir (Şekil 6b). Ancak, SN-7 no'lu örnekte Ca/Mg oranı 2'nin üzerinde (Ca/Mg = 2.08) çıkmış olup, bu örnek için silikat minerali ayrışmasının etkin olduğunu göstermektedir.

4.2.3. Silikat Ayrışması

Silikat minerallerinin kimyasal reaksiyonlara katılımı yeraltı sularının jeokimyasında önemli bir rol oynamaktadır. Silikatların ayrışması genellikle uyumsuz olup, çözünmüş türlerle birlikte çeşitli katı fazlar (çoğunlukla killer) oluşturduğundan, silikatla ayrışma ürünlerinin nicelendirilmesi daha zordur (Das ve Kaur 2001). Bununla birlikte, yeraltı sularında silikat ayrışması Na+K ile toplam katyon (TK) arasındaki oranlara göre tahmin edilebilmektedir. İncelenen sular Na+K'a karşı TK diyagramında, 'Na+K=0.5×TK' çizgisine yakın ve üzerinde yer almıştır (Şekil 6c). Örneklerde gözlenen bu dağılım, hidrojeokimyasal süreçlerde silikat ayrışmasının katkısı ile birlikte, esas olarak Na^+ ve K^+ iyonlarının yeraltı suyuna katkıda bulunduğunu göstermektedir (Stallard ve Edmond 1983; Sarin vd. 1989). Na^+ ve K^+ iyonlarının kaynak sularına katkısında, bu bölgede gözlenen granitik ve volkanik kayalarda yaygın olan plajiyoklas (albit) ve K-feldispat (ortoklas ve mikroklin) minerallerinin ayrışmasının büyük ölçüde etkili olduğunu işaret etmektedir. Benzer şekilde, Ca+Mg'a karşı TK diyagramında, tüm örnekler 'Ca+Mg=TK' ile 'Ca+Mg=0.5×TK' çizgileri arasında pozitif yönde lineer bir dağılım sergilemektedir (Şekil 6d). Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarındaki bu artışın silikat minerallerinin ayrışmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. İncelenen suların Ca-Mg- HCO_3 tipi sular sınıfında olması da silikat minerallerindeki ayrışmanın etkisini desteklemektedir.



Şekil 6: İncelenen suların ayrışma diyagramları. a) Ca+Mg'a karşı SO_4+HCO_3 diyagramı, b) Ca-Mg diyagramı, c) toplam katyon'a karşı Na+K diyagramı ve d) toplam katyon'a karşı Ca+Mg diyagramı (semboller Tablo 3'deki gibidir)

4.3. Potansiyel Toksik Element İçeriklerinin Değerlendirilmesi

Örneklenen sular bazı önemli iz element içerikleri açısından analiz edilerek sonuçlar Tablo 5'de, çözünmüş potansiyel toksik elementlerin (Cu, Co, Ni, Pb, Fe, Zn) dağılımları ise Şekil 7'de verilmiştir. Ayrıca, örneklerdeki metal konsantrasyonlarına ilişkin analiz sonuçları İnsani Tüketim Amaçlı Sular (TS 266 2005) ve Dünya Sağlık Teşkilatı İçme Suyu (WHO 2014) standartları (kabul edilebilir maksimum değerler) ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 5: İncelenen suların iz element analiz sonuçları

Parametre Birimi	Fe µg/L	Zn µg/L	Cu µg/L	Al µg/L	Mn µg/L	Cd µg/L	Co µg/L	Ni µg/L	Pb µg/L	Cr µg/L
Örnek										
SN-6	68.3	249.4	25.7	32.7	tsa	tsa	tsa	10.3	tsa	tsa
SN-7	59.8	262.9	28.1	14.1	tsa	tsa	tsa	tsa	23.5	tsa
SN-8	60.4	267.0	20.4	17.3	tsa	tsa	tsa	tsa	16.1	tsa
SN-9	61.5	272.4	22.0	42.2	tsa	tsa	tsa	12.1	24.6	tsa
SN-11	63.7	264.7	24.9	17.7	tsa	tsa	81.0	tsa	tsa	tsa
SN-12	65.6	256.9	25.5	15.1	tsa	tsa	128.9	tsa	tsa	tsa
SN-13	66.7	263.7	25.8	14.0	tsa	tsa	123.5	tsa	tsa	tsa
SN-14	66.1	259.5	25.8	tsa	tsa	tsa	106.2	tsa	tsa	tsa
SN-15	67.0	260.1	30.1	23.7	tsa	tsa	87.8	tsa	tsa	tsa
SN-17	96.2	249.7	27.1	tsa	tsa	tsa	66.5	tsa	tsa	tsa
SN-18	72.2	240.3	26.6	tsa	tsa	tsa	50.2	tsa	tsa	tsa
SN-19	72.2	233.5	26.3	tsa	tsa	tsa	50.9	tsa	tsa	tsa
SN-23	68.6	227.0	28.0	11.0	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
SN-24	64.8	230.0	53.8	16.1	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa	tsa
SN-27	67.2	182.6	26.0	10.6	tsa	tsa	82.3	tsa	tsa	tsa
SN-28	66.2	166.1	27.3	11.0	tsa	tsa	115.2	tsa	tsa	tsa
SN-29	66.9	168.0	31.7	10.3	tsa	tsa	97.6	tsa	tsa	tsa
SN-30	64.7	134.0	44.0	tsa	tsa	tsa	83.1	tsa	tsa	tsa
TISS ¹	<200	<5000	<2000	<200	<50	<5	≤10	<20	<10	<50
DSTISS ²	<300	<15000	<2000	<200	<100	<3	-	<20	<10	<50

¹TISS (TS 266, 2005): Türkiye İçme Suyu Standardı, ²DSTISS (WHO 2014): Dünya Sağlık Teşkilatı İçme Suyu Standardı (izin verilebilir sınırlar üzerinde çıkan sonuçlar koyu gösterilmiştir). tsa: tayin sınırı altında.

Doğada bulunan sularda majör iyonlar dışında farklı yollarla (asit maden/kaya drenajı, asit yağmurları, endüstriyel atıklar vb.) çözünerek geçen yüksek miktarlarda metal element (Fe, Mn, Cr, Cd, Al, Zn, Cu, Co, Ni, Pb vb.) konsantrasyonları canlı yaşamı ve çevresel etkiler açısından büyük problemlere yol açabilmektedir. Doğal sularda Fe dışındaki ağır metaller 1 ppm'den daha düşük konsantrasyonlarda bulunmakta olup (Freeze ve Cherry 1979), bu elementlerden bazıları sularda istenmeyen metalik bir tad ve bulanıklığa sebep olmakta iken, Cu, Pb gibi toksik elementler sağlık açısından ciddi problemler teşkil etmektedir (Dündar ve Aslan 2005).

Fe ve Mn doğada bulunan ve yer kabuğunda doğal olarak oluşmuş en yaygın metal grubu elementlerdendir. Fe elementi kayalarda özellikle piroksen, amfibol, biyotit, granat, magnetit, pirit gibi minerallerin ayrışması sonucu yaygın olarak Fe⁺² iyonu, asit çözeltilerde ise genellikle Fe⁺³ iyonu şeklinde açığa çıkmaktadır. Bu metaller, canlıların bünyesinde yoğunlaştığında birçok kronik ve dejeneratif hastalıklara neden olabilmektedir (Zaloğlu 2001; Özbolat ve Tuli 2016). İncelenen suların Fe içerikleri 59.84-96.21 µg/L (ortalama: 67.7, n= 18) arasında değişmektedir. TS 266'da içme sularının Fe değerinin 200 µg/L'den az olması gerektiği belirtilmiş olup, incelenen suların suların Fe değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Örneklerin Mn konsantrasyonları ise ölçüm sınırı (<12.5 µg/L) altındadır.

Cu elementi kayalarda pirit, kalkopirit, bornit, malahit, azurit gibi minerallerde yaygın olarak bulunmakla birlikte, doğal sularda ise genellikle eser miktarda (50 µg/L'ye kadar) bulunabilmektedir (McNeely vd. 1979). Bununla birlikte belirli bir seviyede Cu elementi bulunması, canlı yaşamı açısından önem arz etmektedir. Ancak belirli oranların üzerinde olması, gerek canlı yaşamı açısından, gerekse çevresel etkileri bakımından ciddi problemler ortaya çıkaracaktır. İçme sularında Cu miktarının yüksek olması merkezi sinir sistemi bozuklukları nedeniyle mukozal iltihaplanma, damar hastalığı, karaciğer ve böbrek hastalıklarına ve depresyona neden olabilmektedir (Güler ve Çobanoğlu 1994; Baysal 1999; Soylak ve Doğan 2000). İncelenen suların Cu değeri 20.40-53.80 µg/L (ortalama: 28.8, n= 18) aralığında olup, TS 266'da izin verilebilir en üst değerin (<2000 µg/L) oldukça altındadır.

Co, genellikle volkanik kayalarda bulunmakla birlikte, vücutta aşırı birikme sonucu kanser, akciğer ve kalp hasarı ve işlev bozukluğu ile kolesterol, yağ seviyesi ve kan şekeri gibi rahatsızlıklara neden olabilmektedir (Atabey 2005). İnceleme alanı su örneklerinin Co içerikleri SN-6, SN-7, SN-8, SN-9, SN-23 ve SN-24 nolu örneklerde TS 266'da izin verilebilir sınır olan 10 µg/L'nin altında iken, diğer örneklerde bu değerin üzerinde dağılım sergilemiştir. Co içeriğinin, çalışma alanı ve yakın çevresinde yaygın gözlenen volkanik kayaların ve maden yataklarının varlığından etkilenmiş olabileceği düşünülmektedir.

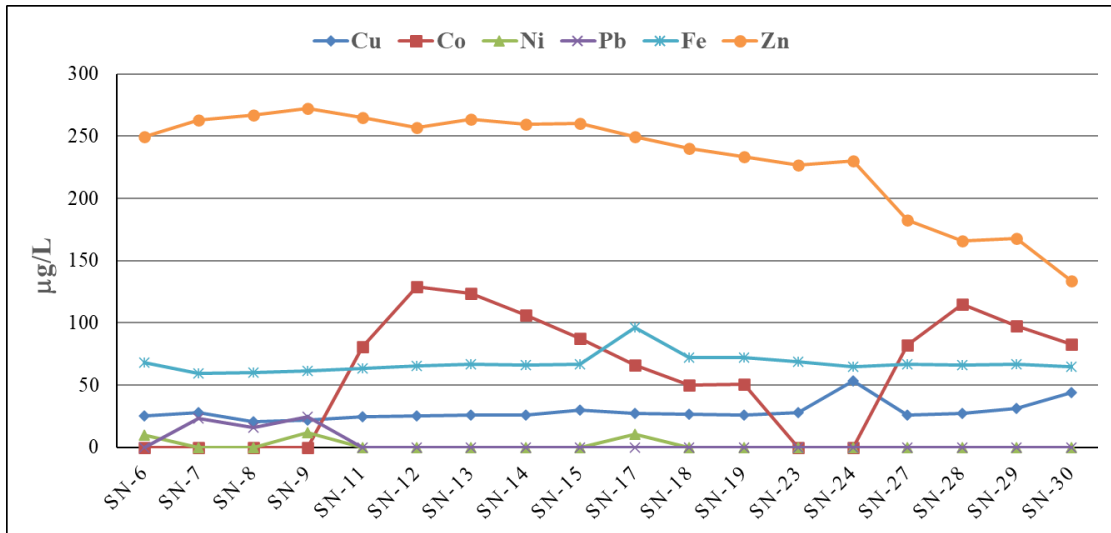
Ni bileşikleri pratik olarak suda çözünmeyip, sulardaki doğal Ni miktarı çok düşüktür. Genellikle bazik ve ultrabazik kayalarda gözlenmektedir. Ni elementi vücuda solunum, içilen su ve/veya beslenme yoluyla alınmaktadır. Ni toksik bir element olmadığından, gıda ve sulara belirli bir miktarda bulunmasının ciddi bir sağlık problemine yol açacağı düşünülmektedir (Güler ve Çobanoğlu 1994). İçme ve kullanma sularında izin verilebilir maksimum Ni değeri <20 µg/L olup, incelenen suların Ni değerleri 20 µg/L'nin altındadır. Dolayısıyla, Ni içeriklerinin TS 266'da izin verilebilir aralıklara uygun olduğu görülmektedir.

Zn, doğada çoğunlukla bazik ve ultrabazik kayalarda ve pek çok mineralde bulunmakta olup, içme suyu ile de vücuda alınabilmektedir. Ancak, insan vücudunda Zn elementi için depo sisteminin olmayışı, bu elementin vücutta artması ile ciddi sağlık problemleri meydana getireceği gibi, suyun tadını ve görünüşünü de değiştirecektir (Baysal 1999). İncelenen suların Zn değeri 134.03-272.35 µg/L (ortalama: 232.7; n= 18) aralığında olup, TS-266'da izin verilebilir maksimum değerin (<5000 µg/L) oldukça altındadır. Bununla birlikte, örneklerin Zn içeriğinin sınır değerin (100 µg/L) üzerinde dağılım sergilediği ve çalışma alanında gözlenen alterasyon alanlarında sülfürlü minerallerin yıkanması sonucu açığa çıkan asit maden sularından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Yüksek oranda toksik bir element olan Cd, doğada genelde Zn, Cu ve Pb elementleri ile birlikte ince partiküller halinde bulunur ve çoğunlukla endüstriyel atıklardan itibaren sulara karışır. Cd ve bileşikleri kanserojenik olup, baş ağrısı, susuzluk hissi, bronşit, sinirlilik, anemi, böbrek taşı gibi rahatsızlıklara neden olabilmektedir (Güler ve Çobanoğlu 1994). İnceleme alanındaki suların Cd değeri cihaz ölçüm sınırı altında olup, TS 266'ya göre izin verilebilir sınırlar (<10 µg/L) içerisinde yer aldığı kabul edilmektedir.

Yerkabuğunun doğal bir bileşeni olan ve doğada en çok PbS, PbZn vb. bileşikler halinde bulunan Pb elementi, Pb içeren bileşiklerin çözünürlüğünün düşük olması ve düşük mobilitesinden dolayı akarsu ve yeraltı suyu gibi doğal sulara birkaç µg/L'den 20 µg/L'ye kadar değişen oranlarda bulunur (Matthes 1982). İnsan vücudunda çok farklı (içme suyu, yiyecek, sigara, toz, toprak, hava, boya, egzoz dumanı vb.) yollardan alınmakta olup, toksik etkisi bulunmaktadır. İncelenen birkaç örneğin (SN-7, SN-8 ve SN-9) Pb konsantrasyonlarının, izin verilebilir değer olan ≤10 µg/L'nin üzerinde oldukları görülmektedir. Diğer örnekler ise ölçüm sınırı altında kalmaktadır.

Bir diğer ağır metal olan Cr elementinin Cr⁺⁶ iyonu kanserojen özellikte olup, içme sularında bulunması ciddi sağlık problemlerine neden olabilmektedir (Özbolat ve Tuli 2016). Sulara Cr elementinin bulunması su kirliliğini işaret etmektedir. İçme sularının kullanılabilmesi için Cr konsantrasyonunun <50 µg/L olması istenmektedir. İncelenen tüm suların Cr değerleri tayin sınırı altında çıkmıştır. Bu dağılımın, Cr elementinin en önemli kaynak kayalarından olan ultramafitlerin inceleme alanı ve yakın civarında gözlenmemesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 7: İnceleme alanındaki suların potansiyel toksik element (Fe, Zn, Cu, Co ve Pb) içeriklerinin karşılaştırılmış dağılımı

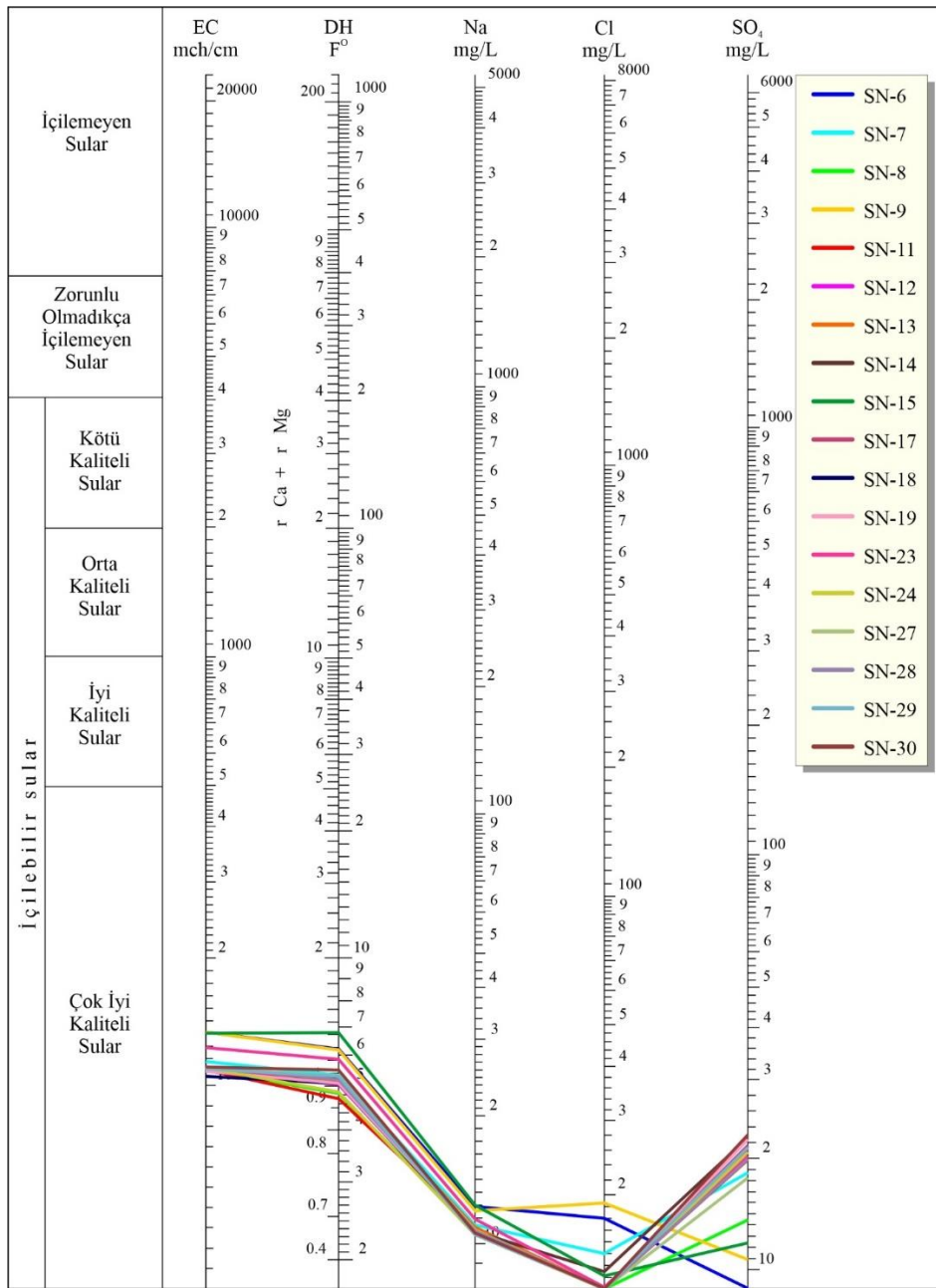
4.4. Suların İçilebilirliği ve Kalitesi

İnceleme alanındaki suların su kalitesinin değerlendirilmesinde TSE (TS 266 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO 2014) standartları kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, inceleme alanındaki kaynak sularının içilebilirliğini belirlemek için Schoeller içilebilirlik diyagramı kullanılmıştır (Şekil 8).

Suların içilebilirliğinin değerlendirilmesinde en önemli parametrelerden biri olan Cl iyonu için izin verilebilir değerler TS 266'e göre 30-250 mg/L ve WHO'ya göre <250 mg/L'dir. İnceleme alanı örneklerinde Cl değerleri 5.72-19.26 mg/L (n= 18) olup, izin verilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır. SO₄ ise genellikle pirit, anhidrit ve jips gibi sülfürlü minerallerin oksidasyonu sonucu oluşmakta ve içme sularına doğal yollarla karışan önemli anyonlardan birini teşkil etmektedir.

Gerek TS 266, gerekse WHO'ya göre izin verilebilir SO_4 miktarı $<250 \text{ mg/L}$ 'dir. Çalışma alanı örneklerinde bu değerler $7.45\text{-}22.82 \text{ mg/L}$ ($n=18$) arasında değişmekte olup, kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Na elementi doğal suların bileşiminde en yaygın olarak bulunan alkali metaldir ve genel olarak plajiyoklas ayrışması ve killeşme gibi süreçlerle sulara karışmaktadır. İncelenen örneklerin Na değeri $10.70\text{-}12.86 \text{ mg/L}$ ($n=18$) arasında değişmektedir. İncelenen sularda Na^+ değerleri 200 mg/L 'den düşük olup, TS 266 ve WHO'ya göre kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

Kaynak sularının içilebilirliğinin tayin edildiği Schoeller diyagramına göre, örneklerin elektriksel iletkenlik, sertlik, Na, Cl ve SO_4 parametreleri açısından 'çok iyi kaliteli sular' sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 8). Bununla birlikte, su kirliliği ve kalitesini ortaya koymak amacıyla, elde edilen sonuçlar kıta içi su kalite standartları (URL-2 2012) ile bazı fizikokimyasal parametreler (pH, ÖEİ) ve iz elementler (Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Pb, Cr) açısından karşılaştırılmıştır (Tablo 6). Örneklerin büyük bir çoğunluğu su kalitesi açısından I. ve II. sınıf kaliteyi yansıtırken, bazı örneklerde (SN-24, SN-27, SN-28, SN-29 ve SN-30) birkaç parametre (pH, Zn, Cu, Co ve Pb) açısından kirlilik belirtisi göstermektedir. Kaynak sularının, özellikle fay zonu ve/veya maden yatağı gibi alanlarda meydana gelen su-kayaç etkileşimi ile bazı metal element konsantrasyonlarında artış gözlenebilmektedir. Nitekim, söz konusu örneklerde kirlileti olarak rol oynayan elementlerin başında Zn, Cu, Co ve Pb gelmekte olup, bu durumun, özellikle bölgede gözlenen maden yatakları, örneğin Gümüşdamla Yayla Pb-Zn±Au±Ag (Akbulut vd. 2014) ve Ünlüpınar Pb-Zn±Au (Akbulut vd. 2015) cevherleşmeleri ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 8: İnceleme alanı su örneklerinin Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları

Tablo 6: İnceleme alanındaki örneklerin bazı fizikokimyasal parametreler ve iz elementler (metaller) açısından su kalite sınıfları

Örnek	Alındığı Yer	Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfı
SN-6	Mertekli Mahallesi Merkez Çeşmesi	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu	II
SN-7	Mertekli Mahallesi Meydan Çeşmesi	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr	I
		Zn, Cu, (Pb)	II, (III)
SN-8	Meydan Çeşmesi	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr	I
		Zn, Cu, Pb	II
SN-9	Çeşme (isimsiz)	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr	I
		Zn, Cu, (Pb)	II, (III)
SN-11	Çeşme (isimsiz)	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-12	Çeşme (isimsiz)	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-13	Merkez Çarşı Camii Şadırvanı	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-14	Tekke Camii Şadırvanı	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-15	Esentepe Camii Şadırvanı	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-17	Şeyhi Şirani Çeşmesi	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-18	Tekke Gözesi	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-19	Osman Keleş Hayratı	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Zn, Cu, (Co)	II, (III)
SN-23	Çeşme (isimsiz)	pH, ÖEİ, Fe, Al, Cd, Co, Cr, Mn, Pb, Ni	I
		Zn, Cu	II
SN-24	Çeşme (isimsiz)	pH, ÖEİ, Fe, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr, Pb	I
		Zn, (Cu)	II, (III)
SN-27	Göze (isimsiz)	ÖEİ, Fe, Zn, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Cu, (pH, Co)	II, (III)
SN-28	Çeşme (isimsiz)	ÖEİ, Fe, Zn, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Cu, (pH, Co)	II, (III)
SN-29	Çeşme (isimsiz)	ÖEİ, Fe, Zn, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Cu, (Co), [pH]	II, (III), [IV]
SN-30	Göze (isimsiz)	ÖEİ, Fe, Zn, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr	I
		Cu, (Co), [pH]	II, (III), [IV]

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, Şiran (Gümüşhane, KD Türkiye) ilçe merkezi su kaynaklarının hidrojeokimyasal karakteristiklerini ortaya koyan ilk çalışma niteliğinde olup, ayrıca suların kirlilik parametreleri, içilebilirliği ve su kalitesi de irdelenmiştir. İnceleme alanında baskın litolojiyi çakıltası, kumtaşı, marn, kumlu kireçtaşı ve şeyl ardışımından oluşan Eosen yaşlı Kelkit Formasyonu ile alüvyon/yamaç molozu oluşturmaktadır. Su örnekleri genel olarak alüvyon üzerinde yer alan kaynaklardan derlenmiştir. Alüvyon ve yamaç molozu çalışma alanındaki taneli gözenekli serbest akifer ortamını temsil etmektedir.

İncelenen sular pH değerlerine göre çoğunlukla (15 örnek) asidik, çok az bir kısmı (3 örnek) ise az alkali özellik göstermektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Su Kalite sınıflandırmasına (URL-2 2012) göre, pH değerleri açısından 14 örnek I. sınıf su kalitesini, 4 örnek ise III. ve IV. sınıf su kalitesini yansıtmaktadır. TS 266 ve WHO içme suyu standartlarına göre 2 örnek dışındaki tüm sular içilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır. Suların OEİ değerleri TS 266 ile WHO içme-kullanma suları standartlarına göre I. sınıf su kalitesini yansıtmaktadır. İnceleme alanındaki suların büyük bir çoğunluğunun (15 örnek) yumuşak su, az bir kısmının ise orta-sert su (3 örnek) olduğu belirlenmiş, sertlik açısından suların içilebilir özellikte olduğu ortaya konmuştur. Sular düşük SO_4 ve Cl içeren $Ca-Mg-HCO_3$ tipli sular sınıfında yer almış ve genel olarak karbonatlı ($Ca+Mg>Na+K$) sular özelliği gösteren tüm örneklerin zayıf asit köklerinin, güçlü asit köklerinden ($HCO_3>SO_4+Cl$) daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. İncelenen örnekler Cl içerikleri bakımından 'normal klorürlü sular', sülfat konsantrasyonları açısından ise 'normal sülfatlı sular' özelliğindedir. Karbonat miktarı açısından ise genellikle 'hipokarbonatlı sular' özelliğindedir. Majör anyon konsantrasyonları bakımından $Ca>Na>Mg>K$ ve $HCO_3>SO_4>Cl$ sıralaması gösteren örnekler, Schoeller içilebilirlik sınıflamasına göre karbonatlı kayalardan gelen sular dağılımına benzer yönelim göstermiştir. Örneklerde $Cl/(Cl+HCO_3)$ ve $(Na+K)/(Na+K+Ca)$ oranları, incelenen su kaynaklarının kimyasının kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması tarafından kontrol edildiğini, dolayısıyla su-kayaç etkileşimine işaret etmiştir. İncelenen sulara ters iyon değişiminin gerçekleştiği, dolayısıyla kayaların Na^+ ve K^+ iyonlarının suların Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonları ile yer değiştirdiği ortaya konmuştur. Mg ve Ca baskın katyonları, HCO_3 ise baskın anyonu teşkil etmiş ve $Ca+Mg$ 'a karşı SO_4+HCO_3 oranları sulara silikat ayrışmasının etkisine işaret etmiştir. Sulara $Na+K$ ve toplam katyon oranları, hidrojeokimyasal süreçlerde silikat ayrışmasının katkısı ile birlikte, esas olarak Na ve K iyonlarının yeraltı suyuna katkıda bulunduğunu göstermiştir. Örneklerin çözünmüş Fe , Al , Mn , Cd , Ni ve Cr element içerikleri bakımından TS 266 ve WHO'ya göre kabul edilebilir sınırlar içerisinde dağılım gösterdiği ve I. sınıf su kalitesini yansıttığı, buna karşılık bazı örneklerde ise birkaç parametre (Zn , Cu , Co ve Pb) açısından kirlilik belirtisi gösterdiği belirlenmiş olup, bu suların insani tüketim amaçlı kullanılmaması önerilmekte ve dönemsel olarak izlenmesi gerekmektedir. Bazı örneklerde gözlenen bu elementlerdeki artışların bölgede gözlenen maden yatakları ile ilişkili olabileceği düşünülmüştür. Schoeller sınıflamasına göre ise suların 'çok iyi kaliteli sular' sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, birinci yazarın Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir. Ayrıca, Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (GÜBAP) Koordinatörlüğü'nce de desteklenmiştir. Proje No: 19.F5114.07.02. Saha çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Nadire YAZICI, Yasin MERDAN ve Mustafa Gürbüz YAZICI'ya, su analizlerinin gerçekleşmesindeki katkılarından dolayı Ali GÜNDOĞDU ve Cemalettin BALTACI'ya ve çalışmanın her aşamasında desteklerini esirgemeyen Ferkan SİPAHİ, Nafiz MADEN ve Enver AKARYALI'ya teşekkür ederiz. Ayrıca, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı Baş Editör Prof. Dr. Halil AKINCI ve hakemlere şükranlarımızı sunarız.

Kaynaklar

- Akbulut K., Akaryalı E., Akpınar İ., Atay U., (2014), *Gümüşdamla Yayla (Kelkit- Gümüşhane) Pb-Zn±Au±Ag Cevherleşmesinin Petrografisi ve Cevher Mikroskobisi*. 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, MTA, Ankara.
- Akbulut K., Akaryalı E., Aydınçakır E., Akpınar, İ., (2015), *Ünlüpinar Kelkit Gümüşhane Pb Zn Au Cevherleşmesinin Jeolojik Jeokimyasal ve Kökensel Olarak İncelenmesi*, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 34-39.
- Akın H., (1979), *Geologie, Magmatismus und Lagerstättenbildung im ostpontischen Gebirge/Türkei aus der Sicht der Plattentektonik*, Geologische Rundschau, 68, 253-283.
- Akinci Ö.T., (1984), *The Eastern Pontide Volcano-sedimentary Belt and Associated Massive Sulphide Deposits*, in: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*: Geological Society, London, Special Publications 17(1), 415-428.
- APHA, AWWA, WEF, (2017), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Edition, Washington DC, USA.
- Appelo C.A.J., Postma D., (2005), *Geochemistry, Groundwater and Pollution (second edition)*, A.A. Balkema Publishers, Leiden, the Netherlands, 598ss.
- Atabey E., (2005), *Tıbbi Jeoloji*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 124-134.
- Balaram V., Vummiti D., Roy P., Taylor C., Kar P., Raju A.K., Abburi K., (2013), *Determination of Precious Metals in Rocks and Ores by Microwave Plasma-Atomic Emission Spectrometry for Geochemical Prospecting Studies*. Current Science, 104 (9), 1207-1215.
- Baysal A., (1999), *Beslenme*, Hatipoğlu Yayınevi, Ankara, ss. 131-147.
- Bergougnan H., (1976), *Structure de la Chaîne Pontique dans le HautKelkit (nord-est de l'Anatolie)*, Bulletin de la Société Géologique de France, 18, 675-686.
- Cederstorm D.J., (1946), *Genesis of groundwater in the coastal plain of Virginia*, Environmental Geology, 41, 218-245.
- Çoğlu E., (1975), *Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrolojik ve Jeokronometrik Etüdü*, Doçentlik Tezi, İÜ Maden Mühendisliği, İstanbul.

- Das B.K., Kaur P., (2001), *Major ion chemistry of Renuka lake and weathering processes, Sirmaur district, Himachal Pradesh, India.* Journal of Environmental Geology, 40, 908-917.
- Dokuz A., (2011), *A Salb Detachment and Delemination Model for the Generation of Carboniferous High Potassium I-Type Magmatism in the Eastern Pontides: The Köse Composite Pluton*, Gondwana Research, 19, 926-944.
- Dündar Y., Aslan R., (2005), *Yaşamı Kuşatan Ağır Metal Kurşunun Etkileri*, Kocatepe Tıp Dergisi, 6, 1-5.
- Freeze R.A., Cherry J.A., (1979), *Groundwater*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, vol. 7632, 604, USA.
- Gibbs R.J., (1970), *Mechanism Controlling World Water Chemistry*. Science 170 (3962), 1088-1090.
- Göncüoğlu M.C., (2010), *Türkiye Jeolojisine Giriş: Alpin ve Alpin Öncesi Tektonik Birliklerin Jeodinamik Evrimi*. MTA Genel Müdürlüğü, Monografi Serisi No: 5. Ankara 69s.
- Güler Ç., Çobanoğlu Z., (1994), *Su Kirliliği. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*. No: 12, Ankara. ISBN 975-7572-60-8.
- Gültekin F., Dilek R., (2005), *Gümüşhane Yöresi Mineralli Su Kaynaklarının İz Element ve Radyoaktivite İçerikleri*. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 29, 36-43.
- Gültekin F., (1998), *Gümüşhane ve Bayburt Yöresi Mineralli Su Kaynaklarının Hidrokimyası ve İzotopik Özellikleri*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Güven İ.H., (1993), *Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 Ölçekli Jeolojisi ve Komplikasyonu*. MTA, Ankara.
- Jankowski K., Yao J., Kasiura K., Jackowska A., Sieradzka A., (2005), *Multielement Determination of Heavy Metals in Water Samples by Continuous Powder Introduction Microwave-Induced Plasma Atomic Emission Spectrometry After Preconcentration on Activated Carbon*. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 60, 369-375.
- Kandemir R., Yılmaz C., (2009), *Lithostratigraphy, Facies and Deposition Environment of the Lower Jurassic Ammonitico Rosso Type Sediments (ARTS) in the Gumushane Area, NE Turkey: Implications for the Opening of the Northern Branch of the Neo-Tethys Ocean*, Journal of Asian Earth Sciences, 34, 586-598.
- Karlı O., Dokuz A., Kandemir R., (2016), *Subduction-related Late Carboniferous to Early Permian Magmatism in the Eastern Pontides, the Camlik and Casurluk Plutons: Insights from Geochemistry, Whole-rock Sr-Nd and In Situ Zircon Lu-Hf Isotopes, and U-Pb Geochronology*. Lithos, 266-267, 98-114.
- Katz B.G., Coplen T.B., Bullen T.D., Davis J.H., (1998). *Use of Chemical and Isotopic Tracers to Characterize the Interaction between Groundwater and Surface Water in Mantled Karst*. Groundwater, 35, 1014-1028.
- Kaygusuz A., Arslan M., Sipahi F., Temizel İ., (2016), *U-Pb Zircon Chronology and Petrogenesis of Carboniferous Plutons in the Northern Part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic Magmatism and Geodynamic Evolution*. Gondwana Research, 39, 327-346.
- Matthess G., (1982), *The Properties of Groundwater*. J.C. Harey, John Wiley and Sons., Inc., Canada, 406ss.
- Maya A.L., Loucks M.D., (1995), *Solute and Isotopic Geochemistry and Groundwater Flow in the Central Wasatch Range, Utah*, Journal of Hydrology, 172 (1-4), 31-59.
- McNeely R.N., Neimanis V.P., Dwyer L., (1979), *Water Quality Sourcebook-A Guide to Water Quality Parameters: Inland Waters Directorate, Water Quality Branch*, Ottawa, Canada, 88ss.
- Okay A.İ., Şahintürk Ö., (1997), *Geology of the Eastern Pontides*, in: Robinson, A.G. (Ed), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*. AAPG Bulletin, 68, 291-311.
- Okay A.İ., Tüysüz O., (1999), *Tethyan Sutures of Northern Turkey. The Mediterranean Basin: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*, Geological Society London Special Publications, 156, 475-515.
- Okay A.İ., (1989), *Tectonic Units and Sutures in the Pontides, Northern Turkey*, in: Şengör, A.M.C. (Ed), *Tectonic Evolution of the Tethyan Region: NATO ASI Series C259*, Kluwer, Dordrecht, 109-116.
- Okay A.İ., (2008), *Geology of Turkey: A Synopsis*. Anschnitt, 21, 19-42.
- Özbolet G., Tuli A., (2016), *Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri*. Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, 25(4), 502-521.
- Pelin S., (1977), *Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelemesi*, KTÜ Yayınları, 87, 103.
- Piper A.M., (1944), *A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses*. Transactions of the American Geophysical Union, 25, 914-923.
- Sarin M.M., Krishnaswamy S., Dilli K., Somayajulu B.L.K., Moore W.S., (1989), *Major ion chemistry of the Ganga-Brahmaputra river system: Weathering process and fluxes to the Bay of Bengal*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 53, 997-1009.
- Schoeller H., (1955), *Géochimie des eaux souterraines*. Rev. Inst. Franç. Pétrole, Paris, 10. No. 3-4.
- Schoeller H., (1965), *Hydrodynamique dans les Lacs (Ecoulement et Emmagasinement)*. Actes Colloques Doubronik, I, AIHS et UNESCO, ss. 3-20.
- Schoeller H., (1977), *Geochemistry of groundwater*. In: *Groundwater studies - An international guide for research and practice*. UNESCO, Paris, Ch. 15, ss.1-18.
- Sipahi F., (2005), *Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) Volkanitlerindeki Hidrotermal Ayırışmaların Mineraloji ve Jeokimyası*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Sipahi F., Sadıklar M.B., (2014), *Geochemistry of Dacitic Volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey)*. Geochemistry International, 4, 329-349.
- Sipahi F., Uslu S., (2016), *Investigation of the Quality and Physical-Geochemical Characteristics of the Drinking Water in Gümüşhane (Turkey) City Central*. Arabian Journal of Geosciences, 9, 600. doi: 10.1007/s12517-016-2620-6.
- Sipahi F., Gücer M.A., Sadıklar M.B., (2019), *Zigana Dağı (Gümüşhane, KD Türkiye) Dayklarının Jeokimyası ve Jeolojik Anlamı*. Yerbilimleri, 40(3), 293-325.
- Sipahi F., Gücer M.A., Sadıklar M.B., (2020), *Nature of clays in Late Cretaceous dacitic rocks in the eastern Sakarya Zone (NE Turkey): A geochemical and isotopic approach*. Turkish Journal of Earth Sciences, 29 (6), 831-852.
- Soylak M., Doğan M., (2000), *Su Kimyası*. Erciyes Üniversitesi Yayınları Yayın No: 120, Kayseri, ss.79-83.
- Stallard R.F., Edmond J.M., (1983), *Geochemistry of the Amazon: 2. The Influence of Geology and Weathering Environment on the Dissolved Load*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 88 (C14), 9671-9688.
- Stumm W., Morgan J.J., (1970), *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*, New York: Wiley-Interscience, 583ss.

- Subramani T., Rajmohan N., Elango L., (2010), *Groundwater geochemistry and identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India*. Environmental Monitoring and Assessment, 162, 123-137.
- Şengör A.M.C., Yılmaz Y., (1981), *Tethyan Evolution of Turkey: a Plate Tectonic Approach*. Tectonophysics, 75, 181-241.
- Tokel S., (1972), *Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region (NE Turkey)*. PhD Thesis, University College, London.
- Topuz G., Altherr R., (2004), *Pervasive Rehydration of Granulites During Exhumation-an Example from the Pulur Complex, Eastern Pontides, Turkey*. Mineralogy and Petrology, 81, 165-185.
- Topuz G., Altherr R., Schwarz W.H., Dokuz A., Meyer H.P., (2007), *Variscan Amphibolite-Facies Rocks from the Kurtoğlu Metamorphic Complex. Gümüşhane Area, Eastern Pontides, Turkey*. International Journal of Earth Sciences, 96, 861-873.
- Topuz G., Altherr R., Wolfgang S., Schwarz W.H., Zack T., Hasanözbek A., Mathias B., Satır M., Şen C., (2010), *Carboniferous high-Potassium I-Type Granitoid Magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane Pluton (NE Turkey)*. Lithos, 116, 92-110.
- TSE, (2005), *TS 266, Türk İçme Suyu Standartları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- URL-1, (2011), *Agilent 4100 Microwave Plasma Atomic Emission Spectrometer*. Agilent Technologies, Inc., <https://www.agilent.com/en/products/mp-aes/mp-aes-systems/4100-mp-aes>. [Erişim 08 Nisan 2019].
- URL-2, (2012), *Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği*, Resmi Gazete 28483 (Değişik: RG-10/8/2016-29797), Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/08/20160810-9.htm>. [Erişim 11 Mart 2019].
- Uslu S., (2014), *Gümüşhane İl Merkezi İçme Sularının Fiziksel ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Vysetti B., Vummiti D., Roy P., Taylor C., Kamala C.T., Satyanarayanan M., Kar P., Subramanyam K.S.V., Raju A.K., Abburi K., (2014), *Analysis of Geochemical Samples by Microwave Plasma-AES*. Atomic Spectroscopy, 35 (2), 65-78.
- WHO, (2014), *Guidelines for Drinking-water Quality (Third Edition)*, Incorporating the First and Second Addenda, https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf. [Erişim 11 Mart 2019].
- Yılmaz Y., (1972), *Petrology and Structure of the Gümüşhane Granite and Surrounding Rock, NE Anatolia*. PhD Thesis, University of London, UK.
- Yılmaz Y., Tüysüz O., Yiğitbaş E., Genç Ş.C., Şengör A.M.C., (1997), *Geology and Tectonics of the Pontides*, in: Robinson, A.G. (Ed), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*. AAPG Memoirs, 68, 183-226.
- Yousef A.F., Saleem A.A., Baraka A.M., Aglan O.S.H., (2009), *The Impact of Geological Setting on the Groundwater Occurrences in some Wadis in Shlatain-Abu Ramad Area, SE Desert, Egypt*. European Water, 25(26), 53-68.
- Zaloğlu N., (2001), *Manganezin Biyolojik Sistemlerdeki Etkileri*. Türk Biyokimya Dergisi, 26 (2), 61-69.

Su İdarelerinin Su Kayıp Yönetim Performansının Analizi ve Temel Performans Gösterge Hesaplama Aracının Geliştirilmesi

Mahmut Fırat^{1,*}, Cansu Orhan², Salih Yılmaz³, Özgür Özdemir⁴

¹İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44210, Malatya.

²Ardahan Üniversitesi, Ardahan Teknik Bilimleri Meslek Yüksekokulu, 75002, Merkez, Ardahan.

³Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Yeşilyurt, Malatya.

⁴Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, 38090, Kocasinan, Kayseri.

Özet

Su kayıp yönetiminde, sistem davranışının izlenmesi ve sistem performansının uygun göstergelere göre analiz edilmesi işletme koşullarının iyileştirilmesi açısından oldukça önemlidir. Ancak bu analizlerin doğru, düzenli, sistematik ve hassas bir şekilde yapılması için uygun hesaplama araçlarının kullanılması gerekir. Bu nedenle, bu çalışmada kentsel su kayıp yönetiminde su kayıpları ile mücadelede süreç performansının analiz edilmesi ve izlenmesi amacıyla literatür esas alınarak en uygun göstergeler belirlenmiştir. Bu göstergelerin belirlenmesinde Uluslararası Su Birliği (IWA) ve diğer kuruluşlar tarafından önerilen göstergeler detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve su kayıp yönetimi açısından en uygun göstergelerin seçilmiştir. Belirlenen bu performans göstergelerinin sistematik bir şekilde hesaplanması ve performansın izlenmesi için web tabanlı "GGS temel performans analizi hesaplama aracı" geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracı temel olarak, hacimsel ve yüzdesel göstergeleri, servis bağlantı ve hat uzunluğu başına göstergeleri, idari ve fiziki kayıp, ekonomik ve maliyet, arıza ve şebeke rehabilitasyon göstergelerini içermektedir. Bu hesaplama aracının detayları paylaşılmış, sağladığı avantajlar tartışılmış ve örnek veriler için analiz yapılmıştır. Geliştirilen bu hesaplama aracının, İdarelerin su kayıp yönetimi ve bileşenleri açısından performansının analiz edilmesi, izlenmesi ve aktif kaçak kontrolü faaliyetleri için süreç performansının değerlendirilmesinde önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler

Su Kayıp Yönetimi, Gelir Getirmeyen Su, Performans Değerlendirme, Performans Göstergeleri

Analysis of Water Loss Management Performance of Water Utilities and Development of Basic Performance Indicator Analysis Tool

Abstract

In water loss management, monitoring system behavior and analyzing system performance according to appropriate indicators is very important for improving operating conditions. However, appropriate calculation tools should be used to make these analyzes accurately, regularly, systematically and precisely. Therefore, in this study, the most appropriate indicators were determined based on the indicators proposed IWA and other organizations in literature in order to analyze and monitor the process performance in water loss management. A web-based "GGS basic performance analysis calculation tool" has been developed to systematically calculate these indicators and monitor performance. This tool basically includes volumetric and percentage indicators, service connection and per line length indicators, administrative and physical loss, economic and cost, failure and network rehabilitation indicators. The details of this tool were detailed, its advantages were discussed by analyzing of sample data set. It is believed that this analysis tool developed in this study will provide significant contributions to the analysis and monitoring of the performance of the Utilities in terms of water loss management and its components, and to evaluate the process performance for active leakage control activities.

Keywords

Water Loss Management, Non-Revenue Water, Performance Evaluation, Performance Indicators

1. Giriş

Kentsel su yönetiminde, teknik, ekonomik, işletme, yönetim ve abone memnuniyeti kapsamında sistem performansının analiz edilmesi, süreç performansının izlenmesi ve kıyaslanması için performans değerlendirme faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Performans analizinin yapılması, sistem için önemli olan bileşenlerin düzenli izlenmesi, zayıf yönlerin belirlenmesi ve iyileştirilmesi için en uygun yöntemin belirlenmesi, sistem işletme maliyetinin düşürülmesi ve abone memnuniyetinin artırılması açısından oldukça önemlidir. Ancak bu değerlendirmelerin ve analizlerin yapılabilmesi için sistem performansının en uygun, uygulanabilir, kıyaslanabilir, anlaşılır ve verisi ölçülebilir göstergelerle izlenmesi gerekir (Lambert vd. 1999; Hamilton vd. 2006; Liemberger vd. 2007; van den Berg ve Danilenko 2010; Alegre vd. 2012; 2016).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (422) 3774881 Faks: +90 (422) 3773041

E-posta: mahmut.firat@inonu.edu.tr (Fırat M), cansuorhan44@gmail.com (Bozkurt C), salihyilmaz@maski.gov.tr (Yılmaz S), ozgurozd@hotmail.com (Özdemir Ö)

Gönderim Tarihi / Received : 24/08/2020

Kabul Tarihi / Accepted : 30/12/2020

[Liemberger vd. \(2007\)](#) gelir getirmeyen su ve bileşenlerinin sistem giriş hacminin yüzdesi alınarak elde edilmesiyle yapılan yanlışlıklar irdelenmiş ve görünür kayıp analizi için etkin operasyonel performans indisleri ihtiyacı vurgulanmıştır. [Alegre vd. \(2006\)](#) su temini sistemleri için performans göstergelerinin seçiminde ve tanımlanmasında sistemin amaç ve kısıtlarının belirlenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bir performans göstergesinin seçiminde göz önünde bulundurulması gereken ilkeler şu şekilde ifade edilmiştir; açık ve net bir biçimde tanımlanmalı, ilgili değişkenler göz önüne alındığında makul bir biçimde ulaşılabilir olmalı, denetlenebilir olmalı, idarenin özel koşullarından bağımsız ve evrensel olmalı, basit ve anlaşılması kolay olmalı, herhangi bir kişisel veya subjektif değerlendirmeden uzak olmalıdır. [Mutikanga vd. \(2010\)](#), gelişmekte olan Ülkelerde su dağıtım sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde, literatürde önerilen performans değerlendirme sistemlerinin uygulanabilirliğinin oldukça zor olduğunu belirtmiştir. Çalışma sonunda, gelişmekte olan ülkelerde performans değerlendirme için mevcut göstergeler arasından uygun olanlarının belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. [Shinde vd. \(2013\)](#), önerilen performans göstergelerinin Japonya’da küçük ölçekli su ve kanal idarelerinde kullanılabilecek göstergelerin belirlenmesini amaçlamıştır. Literatürde başka kuruluşlar tarafından önerilen mevcut performans göstergelerinin oldukça karmaşık yapıya sahip olduğu, teknik ve ekonomik alt yapısı yeterli büyük su dağıtım için uygun olduğu ancak teknik, personel ve ekonomik durumdan imkanları kısıtlı su dağıtım sistemleri için uygulanabilir olmadığı vurgulanmıştır. [Haider \(2015\)](#) Kanada’da küçük ve orta ölçekli su idaresi için beş modülden oluşan çok seviyeli bir performans yönetimi çerçevesi geliştirmiştir. Çalışmada su idaresi için uygun performans göstergeleri tanımlanıp seçilmekte ve bunları mümkün olduğunca en az sayıda veri kullanarak performans kıyaslaması için kullanılmaktadır. Bu çalışma ile geliştirilen model, ekonomi, kaynak yetersizliği ve veri kısıtlamaları sebebiyle kıyaslama yapılamayan su kanal idareleri için oldukça kullanışlıdır. [Chimene \(2013\)](#), su kayıplarının yönetimi için mevcut sistemin durumu göz önüne alınarak bir strateji planı geliştirmek ve bu plan sayesinde gelecekte ne gibi faydalar elde edilebileceğini tahmin etmek, strateji planı için hedefleri tanımlamak ve bu hedeflere nasıl ulaşılacağını belirlemek amacıyla bir dizi olasılıklar incelenmiştir. [Sharma \(2008\)](#) su dağıtım şebekelerinde kayıpları anlama ve yönetmenin temel olarak iki adımdan oluştuğunu ifade etmiştir; i) şebeke özelliklerinin belirlenmesi ve saha uygulamalarının analizi, ii) uygun stratejiler için uygun çözüm araçlarının önerilmesi. Ayrıca, hassas su kaybı azaltma programının geliştirilmesi için farklı bileşenlerin göreceli ağırlıklarının iyi anlaşılmasının önemi vurgulanmıştır ([Kanakoudis vd. 2014](#)). Su idarelerinde, gelir getirmeyen su oranını azaltmada uygulanan yöntemlere karar vermeye yardımcı olmak için kullanıcı dostu bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Karar destek sistemi, su şebekesi performans seviyesini değerlendirmekte ve öncelikli azaltma önlemlerinin listesini önermektedir. [Creaco vd. \(2018\)](#) aktif kaçak kontrolü ve basınç yönetimi faaliyetlerinin ekonomik performansını analiz etmiş ve sızıntı ve arıza oranları üzerindeki etkileri kapsamında değerlendirme yapmıştır. Sistem verimliliğinin sağlanması için, sızıntı ve arıza yönetimi için uygun göstergelerin kullanılması gerektiği, ekonomik göstergeler esas alınarak fayda maliyet analizinin yapılmasının uygun olacağını vurgulamıştır. [Demirci vd. \(2018\)](#) pilot bölgelerde sistem performansının finansal ve üretim parametreleri kapsamında değerlendirilmesini ve analiz edilmesini amaçlamış ve bunun için veri zarfı yöntemini uygulamıştır. [Ganjidoost vd. \(2018\)](#) su ve atıksu yönetimi kapsamında sistem performansının değerlendirilmesi ve kıyaslanması amacıyla sosyo-politik, finansal ve alt yapı ana bileşenleri dikkate almıştır. Çalışmada, performans değerlendirme ve kıyaslama ile sistemin uzun dönemli su yönetiminin oluşturulması ve sistem davranışının tahmin edilmesi kapsamında kullanılabileceğini vurgulanmıştır.

Literatürden de görüldüğü gibi, sistem performansının değerlendirilmesi, teknik ve ekonomik açıdan sistemin izlenmesi için oldukça önemlidir. Ancak bu analizin en uygun göstergelere göre yapılması gerektiği ve su kayıplarının tanımlanmasında uygun göstergelerin kullanılması gerektiği ifade edilmektedir. Performans değerlendirme sisteminde gösterge sayısının çok olmasından ziyade göstergelerin; sistemi temsil eden, uygun, uygulanabilir, verisi toplanabilir ve en önemlisi referans bilgi üretebilir olması önemlidir. Bu nedenle, bu çalışmada kentsel su yönetiminde su kayıpları ile mücadelede süreç performansının analiz edilmesi ve izlenmesi amacıyla literatür esas alınarak en uygun göstergeler (10 ana başlık) belirlenmiştir. Bu göstergelerin belirlenmesinde Uluslararası Su Birliği (IWA), Amerikan Su İşleri Birliği (AWWA) ve diğer kuruluşlar tarafından önerilen göstergeler ve çalışmalar detaylı bir şekilde analiz edilmiş, su kayıplarının değerlendirilmesine, süreç içinde değişimlerin izlenmesine, sistemlerin birbiri ile kıyaslanmasına imkan tanıyan en uygun olanlar seçilmiştir. Ayrıca, bu göstergelerin hesaplanmasında kullanılan değişkenlerin verisinin düzenli bir şekilde ölçülebilir olması da göz önünde bulundurulmuştur. Belirlenen bu göstergelerin sistematik bir şekilde hesaplanması ve performansın izlenmesi için web tabanlı “GGs temel performans analizi hesaplama aracı” geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracı ve alt modülleri temel hedef kitlesi Su ve Kanalizasyon İdareleri ve İl Belediyeleridir. Bu hesaplama aracının detayları paylaşılmış, sağladığı avantajlar tartışılmış ve örnek veriler için analiz yapılmıştır. Literatür incelendiğinde su kayıp yönetimi açısından bu kadar kapsamlı ve sistematik analiz yapabilen, değerlendirme sunan, süreç performansının izlenmesine imkan tanıyan ve bütünsel çalışan herhangi bir hesaplama aracına rastlanılmamıştır. Ülkemizde bu kapsamda İdareler referans oluşturacak bilgi üreten herhangi bir aracın olmadığı göz önüne alındığında, geliştirilen bu hesaplama aracının, İdarelerin su kayıp yönetimi ve bileşenleri açısından performansının analiz edilmesi, izlenmesi ve aktif kaçak kontrolü faaliyetleri için süreç performansının değerlendirilmesinde önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Su kayıpları

İçme suyu dağıtım sistemlerinde çeşitli faktörlere bağlı olarak meydana gelen su kayıpları temel olarak İdari kayıplar ve Fiziki kayıplar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilir (Lambert vd. 1999; Lambert 2002; Farley vd. 2008). Fiziki kayıplar, kaynaktan itibaren sistemin herhangi bir noktasında (iletim hattı, depo, dağıtım sistemi, servis bağlantısı) meydana gelmektedir. Diğer taraftan İdari kayıplar, sayaç hatalarından kaynaklanan kayıplar, kaçak kullanımlar ve muhasebe hataları gibi bileşenleri içermektedir (Lambert vd. 1999; Lambert 2002; Farley vd. 2008). Su kayıpları İdareler için ciddi ekonomik sonuçlar doğurmaktadır. Abonelere ulaştırılmadığı için satılamayan sular, arızalar nedeniyle oluşan bakım-onarım giderleri, su üretimi ve iletimi için gerekli enerji giderleri ile alternatif kaynak arayışları ciddi maliyetler meydana getirmektedir ve gelir getirmeyen su (GGS) hacminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Farley ve Trow 2003; Lambert ve Lalonde 2005; Pearson ve Trow 2005). Ayrıca sistemde, park-bahçe sulaması, ibadethane kullanımları ve yangın hidrantı kullanımı gibi yasal ancak ücreti alınamayan tüketimler de yer almaktadır. Bu tüketimler İdareler için gelir getirmeyen su (GGS) hacminin bir bileşeni olarak ifade edilir. GGS, sisteme verilen ancak ücreti alınamayan su olarak tanımlanır ve su kayıplarına ilave olarak yasal ancak faturalandırılmamış tüketimleri de içermektedir (Lambert vd. 1999; Lambert 2002; Farley vd. 2008). Kentsel su yönetiminde GGS oranının azaltılması ve gelir oranının artırılması esas olmalıdır. Bunun için sistemdeki sızıntıların önlenmesi, kaçak kullanım ve sayaç hatalarından kaynaklanan kayıpların ve yasal ancak faturalandırılmamış tüketimlerin azaltılması gerekir. Bu nedenle sistemin düzenli olarak izlenmesi, sızıntıya sebep olan faktörlerin etkilerinin azaltılması, saha denetimleri ve testleri yaparak doğrudan gelir kaybına sebep olan bileşenlerin kontrol edilmesi ve en önemlisi uygulanan yöntemlerden elde edilen sonuçların temel performans göstergeleri ile analiz edilmesi ve izlenmesi gerekir.

3. Su Kayıpları için Temel Performans Göstergeleri

IWA (2001)'e göre "Performans Kıyaslama, sistematik arama/izleme ve önde gelen (en iyi) uygulamaların uyarlanması yoluyla performansın iyileştirilmesi için bir araçtır". Bir dağıtım sisteminin performansının, açıkça tanımlanmış metodolojiye göre, standart tanımlar kullanarak hesaplanmış ve standart hale getirilmiş performans göstergelerine göre değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Performans analizi için seçilen göstergelerin, karşılaştırılabilir ve anlaşılır olması, denetlenebilir, basit ve uygulanabilir olması, ihtiyaca cevap verebilmesi ve sistemin gerçek performansını ifade etmeye katkıda bulunması, verilerinin ölçülebilir olması ve teknik personel ve karar vericiler için referans oluşturacak bilgi üretebilir olması oldukça önemlidir (Alegre vd. 2006; 2012). Su kayıp yönetiminde temel performans göstergelerinin kullanılması ile beklenen faydalar (Lambert 2002; Alegre vd. 2006; Haider 2015); (i) belirlenen tarihler arasında geçen süreç içinde performans değişiminin izlenmesi, (ii) uygulanan yöntemin başarısının test edilmesi ve fayda maliyet analizinin yapılması, (iii) İdarenin temel bileşenler bazında (su, enerji, gelir, ekonomik durum, personel, ekip) en iyi performansa sahip olması ve verimliliğin artırılması, (iv) karar vericiler için kurumun eksik ve güçlü yanlarının ortaya konulması, (v) Kurumun performansının iyileştirilmesine yönelik yatırım planlamalarının ve yasal düzenlemelerin yapılması, yapılan yatırımların ve alınan kararların etkilerinin izlenmesi ve stratejilerin geliştirilmesi şeklinde verilebilir. Literatürde "Su ve Atıksu Yönetimi" kapsamında "performans göstergelerinin hesaplanması" esas alan ve farklı kuruluşlar tarafından, kendi özel koşullarını ve işletme gereksinimlerini ifade eden ve yansıtan farklı terminolojiler kullanılmıştır. Bu kapsamda, Uluslararası Su Birliği (IWA), Amerikan Su İşleri Birliği (AWWA), Su ve Atıksu İdareleri için Uluslararası Kıyaslama Ağı (IBNET), Su Servisi Düzenleme Otoritesi (OFWAT), Asya Gelişim Bankası (ADB) ve Türkiye Su Enstitüsü (SUEN) tarafından çok fazla sayıda göstergelyi içeren değerlendirme sistemleri önerilmiştir. Bu sistemlerde önerilen temel ana kategoriler, su kaynağı, ölçüm, personel, fiziksel, işletme, service kalitesi, ekonomik ve finansal, GGS, varlıklar ve süreç göstergeleri şeklindedir. Diğer taraftan su kayıp yönetiminde sistem performansının değerlendirilmesi ve izlenmesinde, su dengesi, işletme/arıza yönetimi, abone yönetimi, idari kayıp, fiziki kayıp, ekonomik ve finansal göstergeler kullanılmaktadır. Performans değerlendirme sisteminde gösterge sayısının çok olmasından ziyade göstergelerin; sistemi temsil eden, uygun, uygulanabilir, verisi toplanabilir ve en önemlisi referans bilgi üretebilir olması önemlidir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında kentsel su yönetiminde su kayıpları ile mücadelede süreç performansının analiz edilmesi ve izlenmesi amacıyla literatürde önerilen göstergeler incelenmiş ve toplamda 10 ana başlık belirlenmiştir. Bu göstergelerin belirlenmesinde IWA, AWWA ve diğer kuruluşlar tarafından önerilen göstergeler detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve su kayıp yönetimi açısından en uygun olanlar seçilmiştir. Bir sonraki bölümde bu göstergelerin detayları, hesaplanması, sonuçların yorumlanması ve literatürde verilen sınır değerler tartışılmıştır. Ayrıca belirlenen bu göstergelerin sistematik bir şekilde hesaplanması ve performansın izlenmesi için web tabanlı "GGS temel performans analizi hesaplama aracı" geliştirilmiş, detayları paylaşılmış, sağladığı avantajlar tartışılmış ve örnek veri seti için analiz yapılmıştır.

4. GGS Performans Analizi Hesaplama Aracının Geliştirilmesi

Bir dağıtım sisteminin performansının, açıkça tanımlanmış metodolojiye göre, standart tanımlar kullanarak hesaplanmış ve standart hale getirilmiş performans göstergelerine göre değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Kentsel su yönetiminde Su İdarelerinde ve Belediyelerde çalışan teknik personel ve karar vericiler için sistemin çeşitli parametrelere göre performansının analiz edilmesi ve izlenmesi amacıyla “GGS temel performans analizi hesaplama aracı” geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracı çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen ve sistemde GGS ve alt bileşenlerini çeşitli parametrelere göre değerlendiren göstergeleri hesaplamaktadır. Bu hesaplama aracında yer alan gösterge ana başlıkları; (i) Hacimsel ve Sistem Net Giriş Hacmi (SIV) % si olarak GGS performansı, (ii) Birim Servis Bağlantı sayısına göre Performans Göstergeleri, (iii) Birim ana hat uzunluğuna göre Performans Göstergeleri, (iv) Fiziki Kayıp Göstergeleri, (v) İdari Kayıp Göstergeleri, (vi) Ekonomik Göstergeler, (vii) Su Kaynağı ve Tüketimi Göstergeleri, (viii) Arıza Oranı Göstergeleri, (ix) Şebeke Rehabilitasyon Göstergeleri (x) GGS Maliyet Göstergeleri, şeklindedir. GGS temel performans analizi hesaplama aracı, sistemde ayrıca geliştirilen “su dengesi”, “minimum gece debisi (MNF)” ve “alt yapı kaçak indeksi (ILI)” hesaplama araçları ile bütünleşik çalıştığı gibi bağımsız bir şekilde de analiz yapabilmektedir. Modüllerin bütünleşik çalışması, GGS Performans analizinde gerekli olan ve su dengesi, MNF ve ILI modüllerinde tutulan veriler veya bu modüllere ait analiz sonuçları GGS Performans analiz sayfasına otomatik gelmekte ve tekrar veri girişine gerek kalmadan işleme katılmaktadır (Şekil 1). Ayrıca, sistemde şebeke ana hattı ve servis bağlantıları için ayrı ayrı olmak kaydıyla, rapor edilen ve edilmeyen arıza verileri, suyun üretim maliyeti, satış bedelleri, işletme maliyetleri, sistemin yıllık işletme gelir ve giderler gibi finansal verilerinin girilmesi gerekmektedir. Bu verilerin doğruluğu iyi bir arıza yönetim sistemine ve aktif kaçak kontrolünün uygulanmasına bağlıdır. Unutulmamalıdır ki, yapılan hesaplamaların DOĞRU sonuç vermesi, verilerin sahadan, DOĞRU ve SİSTEMATİK olarak ölçülmesi ve en az tahmin verisinin kullanılması ile mümkündür. Literatürde su kayıplarının ve bileşenlerinin performansının izlenmesi için çeşitli göstergeler tercih edilmektedir. Performans analizi için en uygun göstergelerin seçilmesi ve bu göstergelerin sistematik ve doğru bir şekilde hesaplanması için uygun hesaplama araçlarının kullanılması oldukça önemlidir. Ancak bu göstergelerin bazılarının tek başına kullanılması anlamlı sonuç üretmeyebilir. Bu nedenle sistemi daha iyi temsil etmek ve değerlendirme yapmak için farklı göstergeleri aynı anda dikkate almak gerekir. Bu bölümde seçilen göstergeler, hesaplanması, detayları, sonuçların yorumlanması detaylandırılmıştır. Önceki bölümde verildiği gibi, geliştirilen GGS performans analiz hesaplama aracında veri girildikten sonra 10 ana başlıkta tanımlanan göstergeler otomatik hesaplanmakta, “gelişmiş veya gelişmekte olan ülke” seçimine göre literatürde önerilen sınır değerler ile otomatik olarak kıyaslama yapılmaktadır (Şekil 2).

Form Tipi	Değişken Adı	Değer / (Yüzdelik)	Birim	Verinin Alınacağı Birim
PI Analiz	Toplam Hizmet Edilen Nüfus Bilgi Al	0 kişi	kişi	Abone İşleri D.B.
PI Analiz	Hizmet Edilen Ticari Abone Sayısı	5000 adet	adet	Abone İşleri D.B.
PI Analiz	Hizmet Edilen Konut Abone Sayısı	350000 adet	adet	Abone İşleri D.B.
PI Analiz	Toplam Abone Sayısı (otomatik hesaplanmakta)	355000 adet	adet	Abone İşleri D.B.
PI Analiz	Bölgede Önemli Abonelerin Sayısı	0 adet	adet	Abone İşleri D.B.
PI Analiz	Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	2000 km	km	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Servis Bağlantılarının Toplam Uzunluğu (Lp)	500 km	km	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Toplam Servis Bağlantı Sayısı (Nc)	80000 adet	adet	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Ortalama Servis Bağlantı Uzunluğu (Lpx) Bilgi Al	6.25 m	m	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Şebeke Ortalama Yaşı	20 yıl	yıl	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Hizmet Alanı	12000 km	km	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Maksimum-Minimum kot farkı	80 m	m	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Bilinen Vana Sayısı	8000 adet	adet	İçmesuyu D.B.

a) Şebeke temel verileri

PI Analiz	İzolasyon Vana Sayısı	200 adet	☒ adet	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Giriş Nokta Sayısı	2 adet	☒ adet	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Çıkış Nokta Sayısı	1 adet	☒ adet	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Bağlantı Yoğunluğu (Nc / Lm) (Otomatik Hesaplanmakta)	40.00 sayı/km	☒ sayı/km	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Ortalama Sistem Basıncı (P)	50 m	☒ m	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Sisteme Giriş Hacmi	110000000 m3	☒ m3	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Diğer Sistemlere İletilen Hacim(Çıkış Hacmi)	10000000 m3	☒ m3	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Sistem Net Giriş Hacmi(SIV)	100000000 m3	☒ m3	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Faturalandırılmış Ölçülmüş Yasal Kullanım	60000000 m3	☒ m3 ☐ (% SIV)	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Faturalandırılmış Ölçülmemiş Yasal Kullanım Bilgi Al	1000000 m3	☒ m3 ☐ (% SIV)	Abone İşleri D.B.
PI Analiz	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Yasal Kullanım Bilgi Al	1000000 m3	☒ m3 ☐ (% SIV)	Abone İşleri D.B.
PI Analiz	Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Yasal Kullanım Bilgi Al	1000000 m3	☒ m3 ☐ (% SIV)	Abone İşleri D.B.
PI Analiz	Yasadışı-Kaçak Kullanım Oranı Bilgi Al	2000000 m3 2 (% SIV)	☐ m3 ☒ (% SIV)	Abone İşleri D.B.
PI Analiz	Abone Sayaç Hata Oranı Bilgi Al	5 %	☒ %	Abone İşleri D.B.
PI Analiz	Depolarda Meydana Gelen Kayıp Oranı(Fiziki Kayıp Hacminin % si) Bilgi Al	10 %	☒ %	İçmesuyu D.B.

b) Su bütçesi temel verileri

PI Analiz	Bölgede Kaydedilen Yıllık Şebeke Arıza Sayısı (Rapor Edilen)	4000 adet	☒ adet	Bilgi İşlem D.B.
PI Analiz	Bölgede Kaydedilen Yıllık Servis Bağlantı Arıza Sayısı (Rapor Edilen)	6000 adet	☒ adet	Bilgi İşlem D.B.
PI Analiz	Bölgede Kaydedilen Yıllık Şebeke Arıza Sayısı (Rapor Edilmeyen)	400 adet	☒ adet	Bilgi İşlem D.B.
PI Analiz	Bölgede Kaydedilen Yıllık Servis Bağlantı Arıza Sayısı (Rapor Edilmeyen)	600 adet	☒ adet	Bilgi İşlem D.B.
PI Analiz	Bölgede kaydedilen Yıllık Toplam Rapor Edilen Arıza Sayısı (Hesaplanmakta)	10000 adet	☒ adet	Bilgi İşlem D.B.
PI Analiz	Bölgede kaydedilen Yıllık Toplam Rapor Edilmeyen Arıza Sayısı (Hesaplanmakta)	1000 adet	☒ adet	Bilgi İşlem D.B.
PI Analiz	Tahsilat Yapılan Toplam Hacim	500000000 m3	☒ m3	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Fatura Döneminde Okunan Abone Sayısı	284000 adet 80 % Toplam abone sayısı	☐ adet ☒ % Toplam abone sayısı	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Suyun Üretim Maliyeti	2 TL/m3	☒ TL/m3	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	İşletme Geliri	300000000 TL	☒ TL	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	İşletme Maliyeti	250000000 TL	☒ TL	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Rehabilitasyonu Yapılan Hat Uzunluğu	100 km	☒ km	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Değiştirilen Vana Sayısı	500 adet	☒ adet	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Rehabilitasyon Yapılan Bağlantı Sayısı	1000 adet	☒ adet	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Kaynaklardan Potansiyel Alınabilecek Su Hacmi	1000000000 m3	☒ m3	İçmesuyu D.B.
PI Analiz	Suyun Birim m3 İçin Satış Bedeli	4 TL/m3	☒ TL/m3	İçmesuyu D.B.

c) Arıza ve finansal temel verileri

Şekil 1: GGS performans analizi hesaplama modülleri veri girişi ekranı

☒ Gelişmiş Ülke ☐ Gelişmekte Olan Ülke

Lütfen performans göstergesi ana başlığını seçiniz

Sistem Karakteristikleri

İdari Kayıp Göstergeleri

Şebeke Rehabilitasyon Göstergeleri

Hacimsel ve %'lik GGS ve Alt Bileşenleri

Ekonomik Göstergeler

Gelir Getirmeyen Su Maliyet Göstergeleri (YILLIK)

Birim Servis Bağlantı ve Hat Uzunluğuna Göre Göstergeler

Su Kaynağı ve Su Tüketimi Göstergeleri

Fiziki Kayıp Göstergeleri

Arıza Sayıları Göstergeleri

Şekil 2: GGS performans hesaplama aracı analiz sayfası

4.1. Hacimsel ve Yüzdesel Olarak GGS Performans Analizi Modülü

GGs ve alt bileşenlerinin performansının hesaplanması ve izlenmesi için hacimsel ve sistem giriş hacminin (SIV) % 'si şeklinde ifade edilen göstergeler dikkate alınmış ve geliştirilen hesaplama aracına eklenmiştir. Bu kapsamda Şekil 1'deki veri giriş ekranında girilen değer esas alınarak, Hacimsel olarak 4 gösterge ve giriş hacminin % si olarak ise 6 gösterge hesaplanmaktadır (Şekil 3). Ülkemizde Su İdarelerinin yıllık performansının izlenmesinde GGS oranı kullanılmaktadır. Literatür incelendiğinde hacimsel veya giriş hacminin %'si şeklinde tanımlanan göstergelerin kullanılmasının uygun olmayacağı vurgulanmaktadır. Özellikle sistemin büyüklüğü, giriş hacminin ölçülmesi ve büyüklüğü, tüketilen suyun düzenli ölçülüp ölçülmemesi, abone davranışı, şebeke fiziksel durumu ve park-bahçe sulama yoğunluğu gibi faktörlerin GGS hacmi veya oranını etkilemektedir. Örneğin iki farklı Su İdaresi düşünürsek, sızıntı hacimleri aynı olmasına rağmen giriş hacimlerinin farklılığından dolayı GGS oranları farklı olmaktadır. GGS ve alt bileşenlerinin hacimsel hesaplanması özellikle, su kaynaklarının verimliliğinin ve ekonomik karşılığının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Hesaplanan GGS oranı "değerlendirme sonucu" aracılığıyla literatürde önerilen sınır değerlerle kıyaslama imkanı sunulmaktadır.

Hacim Olarak GGS ve Alt Bileşenleri (Aylık veya Yıllık)			Bilgi AI
Gösterge	Değer	Birim	
Gelir Getirmeyen Su Hacmi	39000000	m3	
Su Kayıp Hacmi	37,000,000.00	m3	
Fiziki Kayıp Hacmi	31,950,000.00	m3	
İdari Kayıp Hacmi	5,050,000.00	m3	
Faturalandırılmamış Yasal Kullanım Hacmi	2,000,000.00	m3	

Yüzdesel (%) Olarak GGS ve Alt Bileşenleri (Aylık veya Yıllık)			Bilgi AI
Gösterge	Değer	Birim	
Gelir Getirmeyen Su Oranı	Değerlendirme Sonucu	39.00	% (SIV % si)
Toplam Su Kayıp Oranı		37.00	% (SIV % si)
İdari Kayıp Oranı		5.05	% (SIV % si)
Fiziki Kayıp Oranı		31.95	% (SIV % si)
İdari Kayıp Hacmi / Faturalandırılmış Yasal Kullanım Hacmi	Değerlendirme Sonucu	8.28	%
Faturalandırılmamış Yasal Kullanım Hacmi / Faturalandırılmış Yasal Kullanım Hacmi		3.28	%

Bileşen	Performans Göstergeleri	Sınır Değerler	Yorum
GGs	GGs Hacmi/Sistem Giriş Hacmi(%)(AWWA)	< 10 10 - 25 > 25	Kabul edilebilir, izleme ve kontrol gerekli Ortalama Seviye, azaltılabilir Azaltılması gereklidir

Şekil 3: Hacimsel ve % olarak GGS performans analizi hesaplama modülü ara yüzü

Bu başlık altında verilen göstergeler, GGS ve alt bileşenlerinde hacimsel olarak meydana gelen kayıpları ifade etmekte ve özellikle mevcut durumda gerek su ve enerji kaynak verimliliğinin değerlendirilmesinde gerekse de bu bileşenlerin ekonomik etkilerinin analizinde referans oluşturmaktadır. Diğer taraftan, GGS ve alt bileşenlerinin yüzdesel değişimleri, Bakanlık tarafından her yıl Su İdarelerinden istenmekte ve sistem performansının izlenmesinde temel veri olarak kullanılmaktadır. Bu göstergelerin yıllık olarak düzenli hesaplanması, su kayıplarının önlenmesi için uygulanan yöntemlerden elde edilen kazanımların analizinde kullanılmaktadır.

Ayrıca idari kayıp hacminin faturalandırılmış hacme oranını veren gösterge, İdarenin abonelere ilettiği ve ücretini alamadığı suyun parasal karşılığının değerlendirilmesinde veya bu oranı azaltarak ne kadar gelir elde edeceğinin değerlendirilmesine imkan tanımaktadır.

4.2. Birim Servis Bağlantı ve Şebeke Uzunluğuna Göre Gösterge Modülü

Su kayıp yönetiminde performans kıyaslama genelde, aktif kaçak kontrolü sürecinin kıyaslanması ve sistemlerin birbiri ile kıyaslanması olmak üzere iki amaç için yapılmaktadır. Süreç performansının kıyaslanmasında genelde şebeke fiziksel parametrelerini (servis bağlantı sayısı ve şebeke uzunluğu) dikkate alan göstergeler kullanılmaktadır. Bu göstergeler kullanılarak GGS ve alt bileşenlerinin sürecin başlangıcı ve sonunda değerleri hesaplanmakta ve süreç içinde performans değişimi izlenmektedir. Bu performans göstergeleri izole bölge bazlı yapılacağı gibi sistemin geneli için de kullanılmaktadır. Bu nedenle İdarelerde süreç performansının sistematik bir şekilde analizi için bu göstergeler hesaplama aracına tanımlanmıştır (Şekil 4).

Bu göstergelerin hesaplanmasında GGS ve alt bileşenlerinin kayıp hacimleri dikkate alındığı için süreç içerisinde aktif kaçak kontrolü yöntemlerinin (basınç yönetimi, MNF, İzole Ölçüm Bölgesi (DMA) vb.) etkileri izlenebilmektedir. Bu göstergelerin düşük değer alması, sistemin iyi bir performansa sahip olduğu göstermektedir. IWA ve Dünya Bankası tarafından bu göstergeler için herhangi bir basınç seviyesi için oranları içeren tablolar önerilmiş ve bu tablolar ilgili göstergenin sonucunun kıyaslanması için “değerlendirme sonucu” butonuna tanımlanmıştır (Fiziki kayıp değerlendirme, Şekil 4). Böylece kullanıcılar sistemde veya süreç içinde göstergenin yer aldığı sınıfı belirleme ve kıyaslama imkanı bulacaktır.

Birim Servis Bağlantı Başına GGS ve Alt Bileşenleri (Aylık veya Yıllık)			Bilgi Al
Gösterge	Değer	Birim	
Gelir Getirmeyen Su Hacmi Değerlendirme Sonucu	1,335.62	litre /servis bağlantı sayısı/gün	
Fiziki Kayıp Hacmi Değerlendirme Sonucu	1,094.18	litre /servis bağlantı sayısı/gün	
İdari Kayıp Hacmi Değerlendirme Sonucu	172.95	litre /servis bağlantı sayısı/gün	
Faturalandırılmamış Yasal Kullanım Hacmi	68.49	litre /servis bağlantı sayısı/gün	
Birim Hat Uzunluğu (km) Başına GGS ve Alt Bileşenleri (Aylık veya Yıllık)			Bilgi Al
Gösterge	Değer	Birim	
Gelir Getirmeyen Su Hacmi Değerlendirme Sonucu	53,424.66	litre /ana hat uzunluğu (km)/gün	
Fiziki Kayıp Hacmi	43,767.12	litre /ana hat uzunluğu (km)/gün	
İdari Kayıp Hacmi	6,917.81	litre /ana hat uzunluğu (km)/gün	
Faturalandırılmamış Yasal Kullanım Hacmi	2,739.73	litre /ana hat uzunluğu (km)/gün	

Yeni Fiziksel Kayıplar İçin Hedef Matrisi (IWA - Dünya Bankası Su Entitüsü)

Teknik Performans Kategorisi		Fiziki kayıplar Litre/bağlantı sayısı/gün ortalama basınç				
		10m	20m	30m	40m	50m
Gelişmiş Ülkeler	A1	< 25	< 40	< 50	< 60	
	A2	25 - 50	40 - 75	50 - 100	60 - 125	
	B	50 - 100	75 - 150	100 - 200	125 - 250	
	C	100 - 200	150 - 300	200 - 400	250 - 500	
	D	> 200	> 300	> 400	> 500	
Düşük ve Orta Gelirli Ülkeler	A1	< 25	< 50	< 75	< 100	< 125
	A2	25 - 50	50 - 100	75 - 100	100 - 125	125 - 250
	B	50 - 100	100 - 200	150 - 300	200 - 400	250 - 500
	C	100 - 200	200 - 400	300 - 600	400 - 800	500 - 1000
	D	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

Şekil 4: Birim servis bağlantı ve şebeke uzunluğuna göre performans analizi hesaplama modülü

Şekil 4'te verilen birim servis bağlantı başına veya şebeke uzunluğu başına verilen kayıp oranları özellikle aktif kaçak kontrolü yöntemlerinin uygulanmasına bağlı olarak sızıntı ve diğer kayıplardaki değişimlerin analizinde referans bilgi üretmektedir. Hesaplanan bu göstergeler, uluslararası literatürde önerilen sınır değerler ile kıyaslanarak sistemin performansının değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Örneğin yapılan hesaplamada 50 m basınç altında sistemde meydana gelen kayıplar 500 litre/servis bağlantı / gün/ ortalama basınç olarak hesaplanmış ve bu değer literatürde önerilen tabloya göre oldukça yüksek seviyede olduğu görülmüştür. Bu sistemde aktif kaçak kontrolü uygulanarak bu değer düşürülmesi için hedef tanımlanması ve zaman içinde bu hedefe ulaşım ulaşılmadığının test edilmesi mümkün olmaktadır.

4.3. Fiziki Kayıp Göstergeleri Modülü

Bilindiği üzere, toplam su kayıplarının önemli bir kısmını fiziki kayıplar oluşturmakta ve bu kayıpların yönetilmesinde uygulanan yöntemler genelde maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu kayıpların izlenmesi ve azaltılması özellikle su ve enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle GGS performans analizi hesaplama aracında fiziki kayıplara ait temel göstergeler tanımlanmıştır. IWA tarafından önerilen ve sistemlerin kıyaslanmasında kullanılan tek gösterge ILI göstergesidir. Boyutsuz bir gösterge olan ILI göstergesinin hesaplanan değerine göre sistem sınıfı belirlenmekte, fiziki kayıpların değerlendirilmesi ve önleme yöntemlerinin performansının izlenmesine imkan sağlamaktadır. Ayrıca sistemin fiziksel özelliklerine göre teknik olarak en düşük sızıntı seviyesini gösteren Yıllık Kaçınılmaz Fiziki Kayıp Hacmi (UARL) hesaplanmaktadır. Son olarak birim basınç altında servis bağlantı başına veya şebeke uzunluğuna göre sızıntı göstergeleri de hesaplanmaktadır. Bu göstergeler özellikle sistem basıncına göre sızıntıdaki değişimi vermesi açısından kullanıcılar için önemli bilgi üretmektedir. Diğer modüllerde olduğu gibi bu modülde de göstergeler için önerilen sınır değerleri içeren tablolar hesaplama aracına eklenmiş ve kullanıcının sistemin mevcut durumunu kıyaslamasına imkan tanınmıştır (Şekil 5).

Fiziki Kayıp Göstergeleri (Aylık veya Yıllık)				Bilgi Al
Gösterge	Değer	Birim		
Birim Basınç Altında Servis Bağlantı Başına Fiziki Kayıp Hacmi	Değerlendirme Sonucu	18.24	litre / servis bağlantı sayısı / gün / basınç(m)	
Birim Basınç Altında Hat Uzunluğu (km) Başına Fiziki Kayıp Hacmi	729.45	litre / şebeke uzunluğu (km) / gün / basınç		
İletim/ Dağıtım Hatlarında ve Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıplar	39,390.41	litre / şebeke uzunluğu (km) / gün		
Depolardaki Sızıntı Hacmi	4,376.71	litre / şebeke uzunluğu (km) / gün		
Kaçınılmaz Fiziki Kayıp Hacmi (UARL)	6,750,000.00	litre / gün		
Altyapı Kaçak İndeksi (ILI)	Değerlendirme Sonucu	12.97		

Fiziksel Kayıplar için Hedef Matrisi (IWA)							
Teknik Performans Kategorisi		ILI	Fiziksel Kayıplar Litre / Bağlantı Sayısı / Gün Ortalama Basınç				
			10m	20m	30m	40m	50m
Gelişmiş Ülkeler	A	1-2		< 50	< 75	< 100	< 125
	B	2-4		100-200	50-100	75-150	125-250
	C	4-8		100-200	150-300	200-400	250-500
	D	>8		> 200	> 300	> 400	> 500
Gelişmekte Olan Ülkeler	A	1-4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4-8	50-100	100-200	150-300	200-400	300-500
	C	8-16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	>16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

Şekil 5: Performans analizi hesaplama modülünde Fiziki kayıp göstergeleri

Bu göstergeler sızıntı miktarının şebeke uzunluğuna ve basınca göre değişimini vermektedir. Bir sistemde sızıntı önleme yöntemlerinin uygulanması veya basınç kontrolünün sağlanması ile sızıntıdaki değişiminin analiz edilmesi ve izlenmesi mümkün olmaktadır. Şekil 5'te verilen sonuçlara göre, sistemde ILI göstergesi 12.97 hesaplanmış ve literatürde verilen tabloya göre sistem D sınıfında (en kötü sınıf) yer almıştır. Buna göre bu sistem için önleme stratejisinin geliştirilmesi ve sistem performansının iyileştirilmesinin zorunlu olduğu görülmektedir. Uygulanacak yöntemlerin ve hedeflerin tanımlanmasında göstergeler esas alınarak daha gerçekçi yaklaşımların tanımlanması mümkün olacaktır.

4.4. İdari Kayıp Göstergeleri Modülü

Dağıtım sistemlerinde idari kayıp oranı her ne kadar fiziki kayıplara göre düşük olsa da, bu kayıplar İdareler için doğrudan gelir kaybına neden olduğu için bunların azaltılması ve kontrol altına alınması önem taşımaktadır. Burada dikkate alınan göstergeler, idari kayıpların alt bileşenlerinin servis bağlantısına ve faturalandırılmış yasal kullanımlara göre değişimini vermektedir (Şekil 6). Bu göstergeler özellikle İdarenin servis bağlantı başına doğrudan kaybettiği gelirin analizinde ve süreç içindeki değişimin izlenmesinde önemlidir. Ayrıca faturalandırılan ve satılan su üzerinden ücreti alınmayan suyun ortaya konulması ve buna göre azaltma yöntemlerini uygulanmasıyla elde edilecek kazanımların hesaplanması mümkün olmaktadır. Bu hesaplama aracının, bu önemli göstergelerin sistematik ve doğru bir şekilde hesaplanması açısından İdareler için önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir.

İdari Kayıp Göstergeleri (Aylık veya Yıllık)			Bilgi Al
Gösterge	Değer	Birim	
Yasadışı-Kaçak Kullanım Hacmi	68.49	litre /servis bağlantı sayısı/gün	
Sayaç Hatalarından Kaynaklanan Kayıp Hacmi	104.45	litre /servis bağlantı sayısı/gün	
Yasadışı-Kaçak Kullanım Hacmi / Faturalandırılmış Yasal Kullanım Hacmi	3.28	%	
Sayaç Hatalarından Kaynaklanan Kayıp Hacmi / Faturalandırılmış Yasal Kullanım Hacmi	5.00	%	

Şekil 6: Performans analizi hesaplama modülünde İdari kayıp göstergeleri

Bu göstergeler, İdarenin doğrudan gelir kaybını göstergen kayıpların analiz edilmesine imkan tanımaktadır. Sistemde kaçak kullanım ve sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp hacimlerinin ve oranlarının hesaplanması ve izlenmesiyle, önleme yöntemlerden elde edilecek kazanımların hacimsel ve gelir olarak analizi mümkün olacaktır. Ayrıca bu bileşenlerin toplam gelir (faturalandırılmış yasal kullanım) içindeki oranı da hesaplanarak azaltılması gereken bileşenler belirlenmektedir.

4.5. Ekonomik ve Maliyet Göstergeleri Modülü

Su kayıplarının idarelere teknik etkisinin yanı sıra önemli ekonomik etkileri de söz konusudur. Ekonomik etki, su üretim aşamasından son kullanıcıya kadar geçen her aşamada, üretim, arıtma, terfi (enerji), arıza bakım onarım, işletme, sızıntılardan dolayı satılamayan suyun maliyeti şeklinde ortaya çıkmaktadır. Her bir bileşenin detaylı bir şekilde analiz edilmesi, gelir ve giderlerin kıyaslanması, su satış bedellerinin belirlenmesi için üretim ve işletme maliyetlerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Ayrıca, su yönetiminde temel prensip sisteme verilen sudan maksimum fayda elde etmek olduğu için, okuma verimliliğinin % 95 seviyelerinde tutulması, benzer şekilde tahsilat tahakkuk oranının da en % 90-95 aralığında olması gerekir. Ancak bu kadar detaylı analizlerin sistematik ve doğru bir şekilde yapılması için uygun araçların kullanılması önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada geliştirilen GGS performans analizi hesaplama aracında kentsel su yönetiminde önemli ekonomik göstergeler yer almakta ve analiz gerçekleştirilmektedir (Şekil 7). Böylece İdarelerde karar vericiler ve teknik personeller için sistem işletme verimliliğinin izlenmesi ve düşük performansla sahip bileşenlerin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Bu hesaplama aracında su kayıplarının ekonomik etkilerinin analiz edilmesi için her bir bileşen bazında maliyetlerin hesaplandığı göstergeleri için GGS maliyet analizi modülü eklenmiştir (Şekil 8). Bilindiği üzere idari kayıpların maliyet hesabında suyun birim m³ satış bedeli üzerinden analiz yapılırken, fiziki kayıpların hesabında ise su üretim maliyeti dikkate alınmaktadır. Bu nedenle geliştirilen bu hesaplama aracında her bir bileşenin maliyet hesabında literatürde önerilen standartlar kullanılmıştır.

Ekonomik Göstergeler (Yıllık)			Bilgi Al
Su Kayıp Ekonomisi	Değer	Açıklama	Birim
Suyun Birim m3 için Satış Bedeli	4.00	Suyun Birim m3 için Satış Bedeli	TL/m3
Sisteme Verilen Suyun Üretim Maliyeti	2.00	Suyun Üretim Maliyeti / Üretilen su hacmi	TL (yıllık toplam)/m3
İşletme Maliyeti	3.60	İşletme Maliyeti / Üretilen Su Hacmi	TL (yıllık toplam)/m3
Toplam Maliyet (Üretim + işletme)	5.60	(Üretim + İşletme Maliyeti) / Sistem net giriş Hacmi	TL (yıllık toplam)/m3
İşletme Geliri	4.00	İşletme Geliri / Sistem net giriş hacmi	TL (yıllık toplam) / m3
Sisteme Verilen Suyun Üretim Maliyeti	3.28	Suyun Üretim Maliyeti / Faturalandırılmış Yasal Kullanım Hacmi	TL/m3
İşletme Maliyeti	5.90	İşletme Maliyeti / Faturalandırılmış Yasal Kullanım Hacmi	TL (yıllık toplam)/m3
Toplam Maliyet (Üretim + işletme)	9.18	(Üretim + İşletme Maliyeti) / Faturalandırılmış Yasal Kullanım Hacmi	TL/m3
İletilen Suyun Birim Geliri	6.56	İşletme Geliri / Faturalandırılmış Yasal Kullanım Hacmi	TL (yıllık toplam) / m3
İşletme Maliyeti	18,000,000.00	İşletme Maliyeti / Şebeke Uzunluğu (km) * 100	TL (yıllık toplam) / 100 (km)
İşletme Maliyeti	4,500,000.00	İşletme Maliyeti / Servis Bağlantı Sayısı * 1000	TL (yıllık toplam) / 1000 Servis Bağlantı
Fatura Okuma Verimliliği	80.00	(Fatura Döneminde Okunan Abone Sayısı) / Toplam Abone Sayısı	%
Tahsilat Tahakkuk Oranı	81.97	Toplam Tahsilat Hacmi / Toplam Tahakkuk Hacmi	%
İşletme Verimliliği	111.11	İşletme Geliri / Toplam İşletme Gideri	%

Şekil 7: Performans analizi hesaplama modülünde ekonomik göstergeler

Su kayıplarının ekonomik ve maliyet açısından değerlendirilmesinde önemli bileşen, idare için yine doğrudan gelir kaybına neden olan faturalandırılmamış yasal kullanım gösterilebilir. Bu bileşene ait göstergeler analiz edilerek İdareye maliyetinin izlenmesi ve azaltma yöntemleri uygulanması durumunda elde edilecek kazanımların belirlenmesi mümkün olmaktadır. Bu kapsamda ayrıca her bir bileşen için sistem işletme maliyeti ve GGS toplam maliyeti ayrı ayrı hesaplanmakta ve karar vericiler için hangi bileşenin iyileştirilmesi gerekliliği noktasında önemli veriler üretilmektedir. Sonuç olarak geliştirilen bu hesaplama aracı, su kayıplarının ekonomik etkilerinin ortaya konulmasında, sistem işletme verimliliğinin analiz edilmesinde ve sistem performansının izlenmesinde İdareler için önemli bilgiler sunmakta ve referans teşkil edecek altlıklar oluşturmaktadır.

Gelir Getirmeyen Su Maliyet Göstergeleri (YILLIK)			Bilgi Al
GGS Maliyet	Değer	Açıklama	Birim
Toplam Şebeke Yönetim Maliyeti	560,000,000.00	Su üretim maliyeti + şebeke işletme maliyeti	TL/yıl
Fiziki Kayıpların Maliyeti	63,900,000.00	Su üretim birim maliyeti * fiziki kayıp hacmi	TL/yıl
İdari Kayıpların Maliyeti	20,200,000.00	Suyun birim m3 için satış bedeli * idari kayıp hacmi	TL/yıl
Faturalandırılmamış Yasal Kullanımların Maliyeti	8,000,000.00	Suyun birim m3 için satış bedeli * faturalandırılmamış yasal kullanım hacmi	TL/yıl
Sayaç Hatalarından Kaynaklanan Su Kayıplarının Maliyeti	12,200,000.00	Suyun birim m3 için satış bedeli * sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp hacmi	TL/yıl
Gelir Getirmeyen Suyun Toplam Maliyeti	92,100,000.00	Fiziki kayıp maliyeti + idari kayıp maliyeti+faturalandırılmamış yasal kullanım maliyeti	TL/yıl
Gelir Getirmeyen Suyun Maliyet Oranı	16.45	Gelir getirmeyen suyun maliyeti / toplam şebeke yönetim maliyeti*100	%
İdari Kayıpların Maliyet Oranı	3.61	İdari kayıpların maliyeti / toplam şebeke yönetim maliyeti*100	%
Fiziki Kayıpların Maliyet Oranı	11.41	Fiziki kayıpların maliyeti / toplam şebeke yönetim maliyeti*100	%
İdari Kayıpların Gelire Oranı	5.05	İdari kayıpların maliyeti / işletme geliri *100	%
Fiziki Kayıpların Gelire Oranı	15.98	Fiziki kayıpların maliyeti / işletme geliri *100	%
İdari Kayıpların GGS Maliyetine Etkisi	21.93	İdari kayıpların maliyeti / gelir getirmeyen suyun maliyeti*100	%
Fiziki Kayıpların GGS Maliyetine Etkisi	69.38	Fiziki kayıpların maliyeti / gelir getirmeyen suyun maliyeti*100	%
Faturalandırılmamış Yasal Kullanımların GGS Maliyetine Etkisi	8.69	Faturalandırılmamış yasal kullanım maliyeti / gelir getirmeyen suyun maliyeti*100	%
Sayaç Hatalarından Kaynaklanan Kayıpların GGS Maliyetine Etkisi	13.25	Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp maliyeti / gelir getirmeyen suyun maliyeti*100	%

Şekil 8: Performans analizi hesaplama aracında GGS maliyet göstergeleri

4.6. Arıza Göstergeleri Modülü

Dağıtım sistemlerinde medyana gelen arızalar rapor edilen ve rapor edilmeyen arızalar şeklinde tanımlanır. Bu arızaların önemli bir kısmı, malzeme kalitesi, işçilik ve çevresel etkilerinden dolayı servis bağlantılarında gözlenmektedir. Arıza sayılarının yüksek olması, sızıntı oranının artmasına, hizmet kalitesinin düşmesine, abone memnuniyetinin azalması, işletme bakım ve onarım maliyetlerinin artmasına ve terfili sistemlerde enerji maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Yıllık arıza verileri şebeke borularının mevcut durumlarının belirlenmesinde temel ölçüt olarak kullanılmakta, İdarelerin sınırlı bütçeleri ile mevcut boruların durumunu değerlendirerek, bakım onarım, yenileme veya değiştirme faaliyetlerini değerlendirmesi ve öncelik belirlemesi gerekmektedir (Loganathan vd. 2002; Wang vd. 2009). Literatürde Lambert (1999) tarafından UARL denklemi geliştirilirken bir dağıtım sisteminde teknik olarak gözlenebilecek en düşük arıza sayıları, şebeke arızaları için 13/100 km şebeke uzunluğu/yıl, servis bağlantıları için 3/1000 servis bağlantı/yıl şeklinde tanımlanmıştır. Bir İdarede iyi çalışan bir arıza yönetim sistemi ile arıza verilerinin tutulması ve analiz edilmesi mümkün olmaktadır. Sistemin arıza oranları yönünden performansının analiz edilmesi için GGS performans analizi hesaplama aracına arıza oranı modülü eklenmiştir (Şekil 9). Bu modülde şebeke hattı ve servis bağlantılarında toplam arıza sayıları rapor edilen ve edilmeyen arıza oranları hesaplanmaktadır. Ayrıca şebeke ve servis bağlantılarında toplam arıza sayıları literatürde önerilen sınır değerlerle kıyaslanmakta ve arıza sıklık indeksi (1'e yakın olması sistemin çok iyi durumda olduğunu temsil eder) hesaplanmaktadır (Şekil 9). Bu şekilde detaylı yapılacak analiz ve hesaplamalar, sistemin işletme koşullarının iyileştirilmesi, işletme maliyetlerinin düşürülmesi ve arıza oranını azaltmak için en uygun stratejinin geliştirilmesi için önemli katkı sunacaktır.

Arıza Oranı Göstergeleri (Yıllık)				Bilgi Al
Arıza Oranı Göstergeleri	Değer	Açıklama	Birim	
Şebeke Arıza Oranı (Rapor Edilen)	200.00	Şebeke Arıza Sayısı (Rapor Edilen) / Şebeke Uzunluğu (km) * 100	Arıza Sayısı / 100 (km) Şebeke Uzunluğu/Yıl	
Şebeke Arıza Oranı (Rapor Edilmeyen)	20.00	Şebeke Arıza Sayısı (Rapor Edilmeyen) / Şebeke Uzunluğu (km) * 100	Arıza Sayısı / 100 (km) Şebeke Uzunluğu/Yıl	
Şebeke Toplam Arıza Oranı (Rapor Edilen + Edilmeyen)	220.00	Toplam Şebeke Arıza Sayısı (Rapor Edilen + Edilmeyen) / Şebeke Uzunluğu (km) * 100	Arıza Sayısı / 100 (km) Şebeke Uzunluğu/Yıl	Bilgi Al
Toplam Arıza (Şebeke + Servis Bağlantı) Sayısı (Rapor Edilen)	500.00	Toplam Arıza (Şebeke+Servis Bağlantı) Arıza Sayısı (Rapor Edilen) / Şebeke Uzunluğu (km) * 100	Arıza Sayısı / 100 (km) Şebeke Uzunluğu/Yıl	
Toplam Arıza (Şebeke + Servis Bağlantı) Oranı (Rapor Edilmeyen)	50.00	Toplam Arıza (Şebeke+Servis Bağlantı) Arıza Sayısı (Rapor Edilmeyen) / Şebeke Uzunluğu (km) * 100	Arıza Sayısı / 100 (km) Şebeke Uzunluğu/Yıl	
Servis Bağlantı Arıza Oranı (Rapor Edilen)	300.00	Servis Bağlantı Arıza Sayısı (Rapor Edilen) / Şebeke Uzunluğu (km) * 100	Arıza Sayısı / 100 (km) Şebeke Uzunluğu/Yıl	
Servis Bağlantı Arıza Oranı (Rapor Edilmeyen)	30.00	Servis Bağlantı Arıza Sayısı (Rapor Edilmeyen) / Şebeke Uzunluğu (km) * 100	Arıza Sayısı / 100 (km) Şebeke Uzunluğu/Yıl	
Servis Bağlantı Arıza Oranı (Rapor Edilen)	75.00	Servis Bağlantı Arıza Sayısı (Rapor Edilen) / Servis Bağlantı Sayısı * 1000	arıza sayısı / 1000 servis bağlantı	
Servis Bağlantı Arıza Oranı (Rapor Edilmeyen)	7.50	Servis Bağlantı Arıza Sayısı (Rapor Edilmeyen) / Servis Bağlantı Sayısı * 1000	arıza sayısı / 1000 servis bağlantı	
Servis Bağlantı Toplam Arıza Oranı (Rapor Edilen + Edilmeyen)	82.50	Toplam Servis Bağlantı Arıza Sayısı (Rapor Edilen + Edilmeyen) / Servis Bağlantı Sayısı * 1000	Arıza Sayısı / 1000 Servis Bağlantı / Yıl	Bilgi Al
Arıza Sıklık İndeksi (Şebeke Hattı)	16.92	Şebeke Arıza Sayısı (Rapor Edilen) / Şebeke Referans Arıza Sayısı		Değerlendirme Sonucu
Arıza Sıklık İndeksi Servis Bağlantıları	27.50	Servis Bağlantı Arıza Sayısı (Rapor Edilmeyen) / Servis Bağlantı Referans Arıza Sayısı		Değerlendirme Sonucu
Arıza Sıklık İndeksi Servis Bağlantıları	27.50	Servis Bağlantı Arıza Sayısı (Rapor Edilmeyen) / Servis Bağlantı Referans Arıza Sayısı		Değerlendirme Sonucu

Bileşen	Hesaplanan Arıza Oranı (Onanım Sıklığı)	BFI(Arıza Frekans İndeksi)	Değerlendirme
Arıza Sıklık İndeksi (Şebeke Hattı)	Şebeke Toplam Arıza Oranı (Rapor Edilen + Edilmeyen) / Şebeke Referans Arıza Sayısı	16.92	Oldukça yüksek seviyede, azaltıcı önlemler alınmalıdır.
Arıza Sıklık İndeksi Servis Bağlantıları	Servis Bağlantı Toplam Arıza (Rapor Edilen + Edilmeyen) / Servis Bağlantı Referans Arıza Sayısı	27.50	Oldukça yüksek seviyede, azaltıcı önlemler alınmalıdır.

Şekil 9: Performans analizi hesaplama aracında arıza göstergeleri

Bu göstergeler özellikle bileşen analizi ile sızıntı hacminin belirlenmesinde, sistemin yıllık işletme, bakım ve onarım maliyetlerinin bölgesel olarak ve sistem geneli için hesaplanmasında kullanılmaktadır. Sistemde uygulanacak aktif kaçak kontrolü ve diğer yöntemlerin arıza oranlarındaki değişimlerin analiz edilmesi, bunların sistem işletme maliyetlerine etkisinin değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca mevcut arıza sayılarına göre şebeke ve servis bağlantılarındaki arıza sıklık indisinin (1'e yakın olması istenen bir durum) analizi gerçekleştirilmektedir. Örnek bölge için yapılan hesaplamada, şebekedeki toplam arıza sayısının 220 arıza/100km/yıl olduğu ve bu değer literatürde önerilen 13 arıza/100km/yıl değerinden oldukça yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Benzer şekilde servis bağlantılarında arıza oranının 82.50 arıza/1000 bağlantı/yıl olduğu ve sınır değerden (3 arıza/1000bağlantı/yıl) oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Şebeke ve servis bağlantılarında arıza sıklık indislerinin sırasıyla 16.92 ve 27.50 çıktığı görülmektedir.

Bu hesaplamalar sistemde arıza oranlarının sınır değerlerden oldukça yüksek olduğu, bu oranın düşürülmesi için etkili faktörlerin detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu yöntemlerin uygulanmasında sonra bu göstergeler tekrar hesaplanarak performans değişimleri analiz edilerek elde edilen kazanımların belirlenmesi mümkün olmaktadır.

4.7. Şebeke Rehabilitasyon Göstergeleri Modülü

Şebeke rehabilitasyonu bir sistemde su yönetiminde en maliyetli araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Şebeke yenileme yaklaşımında, boru malzeme-işçilik-inşaat maliyetlerinin oldukça yüksek seviyelerde olması nedeniyle tercih edilmeden önce detaylı fayda maliyet analizinin yapılması ve alternatif çözümlerin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, mevcut şebekenin yapısal koşulları, hidrolik kapasitesi, zamana bağlı bozulma durumu göz önüne alınarak rehabilitasyon stratejinin belirlenmesi öncelik olmalıdır (Park ve Loganathan 2002; Kim vd. 2005; Tricarico vd. 2006; Francisque vd. 2017). Bu modüle, dağıtım sisteminde yıllık olarak rehabilitasyon yapılan boru oranı, servis bağlantı oranı ve değiştirilen vana oranı gibi göstergeler hesaplanmaktadır (Şekil 10). Özellikle rehabilitasyon oranı ile arıza oranlarının kıyaslanarak analiz edilmesine imkan tanımaktadır. Bu göstergelerin yıllara göre değişiminin izlenmesi, varlık yönetimi için referans teşkil edecek verilerin üretilmesi ve yapılacak yatırımların analiz edilmesi mümkün olmaktadır.

Şebeke Rehabilitasyon Göstergeleri (Yıllık)			Bilgi Al
Şebeke Rehabilitasyon Göstergeleri	Değer	Açıklama	Birim
Şebeke Hattı Rehabilitasyon Oranı	5.00	Rehabilitasyonu Yapılan Hat Uzunluğu (km) / Şebeke Uzunluğu (km) *100 / yıl	% / yıl
Servis Bağlantı Hattı Rehabilitasyon Oranı	6.25	Değiştirilen Vana Sayısı / Toplam Vana Sayısı / yıl	% / yıl
Vana Değiştirme Oranı	1.25	Rehabilitasyonu Yapılan Servis Bağlantı Sayısı / Toplam Servis Bağlantı Sayısı / yıl	% / yıl

Şekil 10: Performans analizi hesaplama aracında şebeke rehabilitasyon göstergeleri

Bu göstergeler özellikle, sistemdeki bakım faaliyetlerinin ve yenileme çalışmalarının izlenmesi noktasında referans bilgi üretmektedir. Şebeke hattı ve servis bağlantılarındaki şebeke yenileme oranlarının hesaplanması yıllık yatırım bedellerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Diğer taraftan vanaların bakım ve onarım performansının hesaplanmasında vana değiştirme oranları dikkate alınmaktadır. Bu göstergeler aynı zamanda sistemdeki ekonomik değerlendirilmesin yapılmasına da imkân tanımaktadır.

4.8. Su Kaynağı ve Tüketim Göstergeleri Modülü

Su kayıplarının teknik ve ekonomik etkilerinin yanı sıra çevresel ve ekolojik etkileri de önemli seviyelere ulaşabilmektedir. Özellikle sızıntı oranının fazla olduğu sistemlerde talebin karşılanması için sisteme daha fazla su verilmekte, yeni kaynaklar bulunmakta ve bunun sonucunda ekolojik denge bozulmaktadır. Bu hesaplama aracında sisteme verilen suyun verimli kullanma seviyesini ifade eden su kaynağı verimliliği göstergesi hesaplanmaktadır. Bu oran izlenerek yıllara göre veya aktif kaçak kontrolü stratejisine göre verimlilikte değişimin analiz edilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca kişi başı yıllık su üretim oranı ve tüketim oranları hesaplanmakta ve kıyaslanmaktadır. Bu göstergeler özellikle sisteme verilen suyun abonelere iletilmeyen (sızıntılar) kısmının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Diğer taraftan, servis bağlantı başına su üretim ve tüketim verileri kıyaslanarak kaynağın verimli kullanılıp kullanılmadığı test edilmektedir. Sonuç olarak hesaplama aracı kapsamında geliştirilen bu modül, özellikle su kaynağının verimlilik analizinin yapılmasında, kişi ve servis bağlantı sayısına göre üretim ve tüketim verileri kıyaslanarak sızıntı miktarı ve faturalandırılan su miktarlarının analiz edilmesi mümkün olmakta ve karar vericiler için önemli katkılar sunmaktadır.

Su Kaynağı ve Su Tüketimi Göstergeleri (Yıllık)			Bilgi Al
Su Kaynağı ve Su Tüketimi Göstergeleri	Değer	Açıklama	Birim
Su Kaynağı Verimliliği	31.95	Fiziki Kayıp Hacmi / Sistem Giriş Hacmi / yıl	%
Kaynak Kapasite Kullanım Durumu	10.00	Sisteme Giriş Hacmi / Kaynaklardan Potansiyel Alınabilecek Su Hacmi / yıl	%
Su Üretim Oranı (Kişi Başı)	421.50	Üretilen Su hacmi (litre)/ kişi / gün	litre / kişi / gün
Su Üretim Oranı (Servis Bağlantı Başına)	1,250,000.00	Üretilen Su hacmi / Servis Bağlantı Sayısı / yıl	litre / servis bağlantı / yıl
Su Tüketimi (Kişi Başı)	0.26	Tüketilen Su hacmi (litre) / kişi / gün	Litre / Kişi / Gün
Su Tüketimi (Servis Bağlantı Başına)	762,500.00	Tüketilen Su hacmi (m3) / Bağlantı Sayısı / Yıl	Litre / Servis Bağlantı / Yıl

Şekil 11: Performans analizi hesaplama aracında su kaynağı ve tüketim göstergeleri

Sonuç olarak, geliştirilen bu hesaplama aracı, bir Su İdaresinde su kayıplarının ve bileşenlerinin, sistem fiziksel özelliklerine (servis bağlantı sayısı ve hat uzunluğu), giriş hacmine (giriş hacminin yüzdesi), işletme verilerine (arıza oranları, şebeke rehabilitasyon), ekonomik verilere (su kayıplarının ekonomik ve maliyet değerleri) göre analiz edilmesi, performans değişiminin izlenmesi ve süreç performansının analiz edilmesi mümkün olmaktadır. Ülkemiz koşullarında bu kadar detaylı analizin doğru ve hassas bir şekilde gerçekleştirilmesine imkan tanıyan hesaplama aracının olmadığı göz önüne alındığında, bu çalışma kapsamında geliştirilen ve uygulanan hesaplama aracının İdarelerde karar vericiler ve teknik personel için önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir. İdarelerde bu hesaplama aracı kullanılarak göstergelerin hesaplanması, su, enerji, personel ve ekonomik verimliliğin analiz edilmesi ve iyileştirilmesi açısından referans teşkil edecek veriler üreteceği düşünülmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada su kayıp yönetimi kapsamında İdarelerin performansının analiz edilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla en uygun göstergeler belirlenmiş ve örnek veri seti için analiz yapılmıştır. Ayrıca belirlenen bu göstergelerin doğru, düzenli, sistematik ve hassas bir şekilde hesaplanması ve performansın izlenmesi için tabanlı “GGS temel performans analizi hesaplama aracı” geliştirilmiştir. Geliştirilen bu hesaplama aracı su kayıp yönetimi performansını toplam 10 başlık altında analiz etmektedir. Bu modüller temel olarak, hacimsel ve yüzdesel olarak, şebeke uzunluğuna ve birim servis bağlantı sayısına göre, idari ve fiziki kayıp, ekonomik ve finansal, arıza ve rehabilitasyon ana başlıklarında İdarenin performansını değerlendirmektedir. Her bir başlık ayrı bir modül olarak tasarlanmış ve hesaplanan her bir gösterge değerinin uluslararası literatürde önerilen sınırlar değerlerle karşılaştırma imkanı sunulmuştur. Böylece sistemin bileşen bazında performansının değerlendirilmesi, süreç içinde değişimin izlenmesi ve öncelikli olarak iyileştirilmesi gereken bileşenin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Bu hesaplama aracı, Su ve Kanalizasyon İdarelerinde ve İl Belediyelerinde su kayıp yönetimi faaliyetlerinin yürütülmesinde uygulanan yöntemlerin performansın hesaplanmasında, belirli bir zaman aralığında performans değişiminin izlenmesinde uygulanma potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca, verisi ölçülebilir, kıyaslanabilir ve uygulanabilir performans göstergelerin kullanılmasına ve bütünlük bir şekilde hesaplanmasına imkan tanımaktadır. Bundan sonraki süreçte yapılacak akademik veya uygulama çalışmaları için referans teşkil edeceği düşünülmektedir. Geliştirilen bu hesaplama aracının, İdarelerin su kayıp yönetimi ve bileşenleri açısından performansının analiz edilmesi, izlenmesi, bu kadar detaylı ve önemli göstergelerin sistematik ve doğru bir şekilde hesaplanması ve aktif kaçak kontrolü faaliyetleri için süreç performansının değerlendirilmesinde önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (İÜ-BAP FOA-2018-626) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Alegre H., Baptista J.M., Cabrera Jr E., Cubillo F., Duarte P., Hirner W., Merkel W., Parena R., (2006), *Performance Indicators for Water Supply Services - Second Edition*, IWA Publishing, London, UK, 312ss.
- Alegre H., Baptista J.M., Cabrera Jr E., Cubillo F., Duarte P., Hirner W., Merkel W., Parena R., (2016), *Performance Indicators for Water Supply Services: Third Edition*, IWA Publishing, London, UK, 404ss.
- Chimene C., (2013), *Strategies and Methods for Apparent Water Loss Management in Developing Countries A Case Study of Mozambique*, MSc Thesis, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, the Netherlands.
- Creaco E., Walski T., (2018), *Economic analysis of pressure control for leakage and pipe burst reduction*, Journal of Water Resources Planning and Management, 143(12):04017074-1.
- Güngör-Demirci G., Lee J., Keck J., (2018), *Assessing the performance of a California water utility using two-stage data envelopment analysis*, Journal of Water Resources Planning and Management, 144(4):05018004-1.
- Farley M., Trow S., (2003), *Losses in water distribution networks : a practitioner's guide to assessment, monitoring and control*, IWA Publishing, London, UK, ss.273.
- Farley M., Wyeth G., Ghazali Z.B.M., Istandar A., Singh S., (2008), *The Manager's Non-Revenue Water Handbook: A Guid to Underst Water Losses*, Ranthill Util Bernhad USAID, Malaysia, 110ss.
- Francisque A., (2017), *Water mains renewal planning framework for small to medium sized water utilities: a life cycle cost analysis approach*, Urban Water Journal, 14(5), 493–501.
- Ganjidoost A., Knight M.A., Unger A.J.A., Haas C.T., (2018), *Benchmark Performance Indicators for Utility Water and Wastewater Pipelines Infrastructure*, Journal of Water Resources Planning and Management, 144(3):04018003-1.
- Haider H., (2015), *Performance management framework for small to medium sized water utilities: conceptualization to development and implementation*, PhD Thesis, The University of British Columbia, Canada.
- Hamilton S., Mckenzie R., Seago C., (2006), *A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems*, Voda i Sanitarna Tehnika, 36(6), 15–24.
- Kanakoudis V., Tsitsifli S., Samaras P., Zouboulis A., (2014), *Water pipe networks performance evaluation*, Department of Civil Engineering, University of The Twentieth Anniversary Volume, ss.211-226.
- Kim E.S., Baek C.W., Kim J.H., (2005), *Estimate of pipe deterioration and optimal scheduling of rehabilitation*, Water Science and Technology: Water Supply, 5(2), 39–46.

- Lambert A.O., Brown T.G., Takizawa M., Weimer D., (1999), *A review of performance indicators for real losses from water supply systems*. J Water Supply Res Technol - AQUA, 48, 227–237.
- Lambert A.O., (2002), *International report: Water losses management and techniques*. Water Science and Technology: Water Supply, 2(4), 1-20.
- Lambert A.O., Lalonde A., (2005), *Using practical predictions of Economic Intervention Frequency to calculate Short-run Economic Leakage Level, with or without Pressure Management*, Proceedings of IWA Specialised Leakage 2005 Conference, Halifax, Nova Scotia, Canada, ss.310-321.
- Liemberger R., Brothers K., Lambert A., Mckenzie R.S., Rizzo A., Waldron T., (2007), *Water loss performance indicators*, Proceedings of IWA Specialised Conference Water Loss 23th-26th September, 2007. Bucharest-Cyprus, London, IWA Publishing, B2(1), ss.148-160.
- Loganathan G.V., Park S., Sherali H.D., (2002), *Threshold break rate for pipeline replacement in water distribution systems*, Journal of Water Resources Planning and Management, 128(4), 271–279.
- Mutikanga H., Sharma S., Vairavamoorthy K., Cabrera Jr E., (2010), *Using performance indicators as a water loss management tool in developing countries*, J Water Supply Res Technol - AQUA, 59(8): 471–481.
- Park S.W., Loganathan G.V., (2002), *Methodology for economically optimal replacement of pipes in water distribution systems: 2. Applications*, KSCE Journal of Civil Engineering, 6(4), 545–550.
- Pearson D., Trow S.W., (2005), *Calculating the Economic Levels of Leakage*, Proceedings of IWA Specialised Leakage 2005 Conference, Halifax, Nova Scotia, Canada, ss.294–309.
- Sharma S., (2008), *Performance Indicators of Water Losses in Distribution Systems*. UNESCO-IHE Inst Water Educ, available at: www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/GEN_PRS_PI_of_Water_Losses_AC_Apr08.pdf, [Erişim 28 Haziran 2016].
- Shinde V.R., Hirayama N., Mugita A., Itoh S., (2013), *Revising the existing Performance Indicator system for small water supply utilities in Japan*, Urban Water Journal, 10(6), 377-393.
- Tricarico C., (2006), *Economic level of reliability for the rehabilitation of hydraulic networks*, Civil Engineering and Environmental Systems, 23(3), 191–207.
- van den Berg C., Danilenko A. (2010), *The IBNET Water Supply and Sanitation Performance Blue Book*, World Bank, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2545>, [Erişim 15 Mart 2020].
- Wang Y., Zayed T., Moselhi O., (2009), *Prediction Models for Annual Break Rates of Water Mains*, Journal of Performance of Constructed Facilities, 23(1), 47–54.

Muğla İlinde 1960-2018 Dönemi Kuraklık Analizi

Kahraman Oğuz^{1,*}, Muhammet Ali Pekin¹, Gülten Çamalan¹

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Özet

Bu çalışmanın amacı, Muğla ilinin 1960-2018 periyodundaki yağış eğilimini ve meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık durumunu incelemektir. Çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen Muğla Meteoroloji İstasyonu'na ait 1960-2018 dönemi aylık toplam yağış verileri kullanılmıştır. Yağış verilerine Run (Swed-Eisenhart) homojenlik testi, Mann-Kendall metodu ve Standart Yağış İndeksi yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca, yaşanan kuraklıkların şiddet ve süresi de incelenmiştir. Sonuç olarak, Muğla ilinin uzun yıllar yağış ve kuraklık eğilimleri ortaya konulmuştur. Muğla ili için yıllık toplam yağışların 1960-2018 dönemi ortalaması 1180.2 mm olarak bulunmuştur. Çalışma döneminde en düşük yağış miktarı 2008 yılında 564.6 mm, en yüksek yağış miktarı ise 1969 yılında 1805 mm olarak görülmüştür. Muğla ilinde hafif nemli ve hafif kurak ay sayıları diğer sınıflara göre daha fazla gerçekleşmiştir. Ayrıca, ekstrem kurak dönem, ekstrem nemli döneme göre daha fazla gerçekleşmiştir. Muğla ilinde nemli ve kurak ay sayılarının, çoğunlukla hafif nemli, orta nemli, hafif kurak ve orta kurak şiddet sınıflarında kümelendiği görülmüştür. Ayrıca analizler, zaman periyodu arttıkça, kuraklığın daha az tekrar ettiği ama daha uzun süreli etkili olduğunu göstermektedir. Muğla istasyonunun ölçekler bazında toplam kuraklık şiddeti ve toplam kuraklık süreleri hemen hemen benzer yıllara denk gelmiştir. Ancak, 3 aylık Standart Yağış İndeksi periyodunda en güçlü toplam kuraklık şiddetinin -13.90 değeri ile 2006 Aralık – 2007 Eylül arasında görülmesine karşılık, yaşanan uzun süreli (12 ay) kuraklığın 2000 Haziran – 2001 Mayıs arasında olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler

Kuraklık Analizi, SPI Yöntemi, Kuraklık Şiddet ve Süresi, Muğla

Drought Analysis of Muğla City for 1960-2018 Period

Abstract

The objective of this study is to investigate the meteorological, agricultural and hydrological drought of Muğla city for the period of 1960-2018 as well as to analyse precipitation trend. Monthly total precipitation data for the period of 1960-2018 belonging to Muğla meteorological station obtained from the Turkish State Meteorological Service were used in this study. Run (Swed-Eisenhart) homogeneity test, Mann-Kendall method and Standardized Precipitation Index method were applied to precipitation data. In addition, the severity and duration of droughts were examined. As a result, long years' precipitation and drought trend were demonstrated for Muğla city. The annual total precipitation for Muğla city in the period 1960-2018 was found to be 1180.2 mm. The lowest amount of precipitation in the study period was 564.6 mm in 2008 and the highest amount of rainfall was 1805 mm in 1969. In the province of Muğla, the number of the humid months was slightly higher than the other classes. In the province of Muğla, the numbers of the mildly humid and moderately dry months were slightly higher than the other classes. It was seen that the numbers of humid and dry months in Muğla province were mostly clustered in mildly humid, moderately humid, mildly dry and moderately dry classes. In addition, analyzes show that drought is less repetitive as the time period increases, but has a longer duration effect. Total drought severity and total drought duration of Muğla station on scales basis coincided with almost similar years. However, in the 3-monthly Standardized Precipitation Index period, the strongest total drought intensity (-13.90) was observed between 2006 December – 2007 September, whereas the long-term (12 months) drought occurred between 2000 June – 2001 May.

Keywords

Drought Analysis, SPI Methodology, Drought Severity and Duration, Muğla

1. Giriş

İklim değişikliği, günümüzün en önemli çevresel problemlerinden birisidir. 20. yüzyılın başından bu yana, sanayi öncesi döneme göre önemli derecede antropojenik sera gazı konsantrasyon artışları gözlemlenmiş ve ortalama olarak 0.9°C'lik küresel ortalama sıcaklıklarda bir artış tespit edilmiştir (IPCC 2014). Bunun sonucu olarak, karasal ekosistemler çevre olaylarına karşı daha savunmasız hale gelmiş ve sel, ısı dalgaları, orman yangınları ve kuraklıklarda bir artış gerçekleşmiştir (Estrela ve Vargas 2010; Kreibich vd. 2017). Özellikle Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) bu yüzyılda kuraklıkların, özellikle Akdeniz havzası gibi iklim değişikliğine hassas bölgelerde yoğunlaşabileceği konusunda uyarı yapmıştır (IPCC 2014).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (312) 3022493 Faks: +90 (312) 3022493

E-posta: koguz@mgm.gov.tr (Oğuz K), mapekin@mgm.gov.tr (Pekin M.A),
gcamalan@mgm.gov.tr (Camalan G)

Gönderim Tarihi / Received : 28/07/2020

Kabul Tarihi / Accepted : 31/08/2020

Bu bağlamda, iklim değişikliğinin doğal sonucu olarak karşımıza çıkan kuraklık olaylarının analizi önem arz etmektedir. Nitekim, son yıllarda Türkiye dahil dünyanın pek çok çeşitli bölgeleri için kuraklık olayları çalışılmış ve analiz edilmiştir (Caloiero vd. 2018).

Türkiye’de çeşitli bölgeler için Standart Yağış İndeksi (SPI) yöntemi ile kuraklık analizleri çalışılmıştır. SPI yöntemi kısaca, yağışa bağlı nemlilik ya da kuraklık durumunu belirlemek için kullanılmaktadır. Yetmen (2013), Van gölü havzasının kuraklık durumunu SPI yöntemi ile çalışmıştır. 1-, 3- ve 12- aylık SPI serilerinden havzada kuraklık olasılığının %45 olduğu, belirli yıllarda ise olağanüstü kurak koşulların gerçekleştiği sonucuna ulaşmıştır. Hınıs (2013), Aksaray için kuraklık durumunu hem normalleştirilmiş yağış indeksi, hem de bütünleşik kuraklık indeksi ile çalışmıştır. Çalışmada, normalleştirilmiş yağış indeksi için 1950-2008 yılları arasındaki yağış verileri kullanmıştır. 2000-2008 yılları arasında kuraklık göstergelerinde artma eğilimi olduğunu, orta derece kuraklıklarda ise diğer zamanlara göre 2,5 kat daha fazla artma olduğunu görmüştür. Dinç vd. (2016), SPI yöntemi ile Antalya ilinin kuraklık durumunu incelemiştir. Uzun süreli yağış verilerini kullanarak 3-, 6-, 12- ve 24- aylık SPI değerlerini hesaplamışlardır. Neticede, SPI değerlerinde bir azalma olmadığı, diğer bir deyişle değerlerin normale yakın olduğu, ancak Antalya bölgesinde orta şiddetin üzerinde bir kuraklık durumunun her zaman olabileceği sonucuna ulaşmıştır. Arslan (2017), çalışmasında SPI yöntemini ve Mann-Kendall testini kullanarak Niğde ilinin 1-, 3-, 6-, 9-, 12-, 24- ve 36-aylık kuraklık durumunu analiz etmiştir. Niğde ilinde SPI değerlerinin bir nemlilik eğiliminde olduğu sonucuna ulaşmıştır. Çelik vd. (2018), Doğu Anadolu Bölgesi’nin mevsimlik kuraklık analizini çalışmıştır. 1967-2017 tarihlerini kapsayan dönemde bölgedeki çeşitli illerin kuraklık eğilimini analiz etmek amacıyla SPI yönteminden yararlanmıştır. Sonuçta, bazı illerde nemlilik eğilimi gözlemlerken, bazılarında ise ciddi kuraklık eğilimleri gözlemlenmiştir. Bunun yanında, kış mevsiminin de kurak geçebileceğini göstermiştir. Dikici (2019), Asi havzasının kuraklık durumunu çalışmıştır. Kuraklık eğiliminin olup olmadığını tespit etmek amacıyla meteoroloji ve akım gözlem istasyon verilerini kullanmıştır. Çalıştığı bölgede bir kuraklık trendinin olduğu, ancak bunun yavaş seyrettiği sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca Pamuk vd. (2004), Ege bölgesinin kuraklık durumunu SPI yöntemi ile çalışmıştır. Elde ettikleri sonuçta, yaz mevsimi dahil olmak üzere Ege bölgesinde kuraklık sınırında bir bulguya rastlamamıştır. Çalışmada ele aldığımız yer olan Muğla ilinin kuraklık analizi daha önce Türkeş ve Altan (2013) tarafından çalışılmıştır. Yazarlar çalışmalarında, Muğla Meteoroloji İstasyonuna ait 1928-2010 dönemi verilerini kullanmıştır. Normalleştirilmiş Yağış İndisi ve bunun yanında Kuraklık İndisi yöntemleri ile gözlenen kuraklıkları ve nemli yılları değerlendirmiştir. Sonuçta, Muğla ilinde en kurak yıllar 1934 ve 2008 yılları, en nemli dönem ise 1937-1940 olarak bulunmuştur. Ayrıca, 1972, 1990, 1992 ve 2008 yılları şiddetli kurak, 1962, 1969, 1979 ve 1981 yılları çok nemli ve aşırı nemli olarak bulunmuştur.

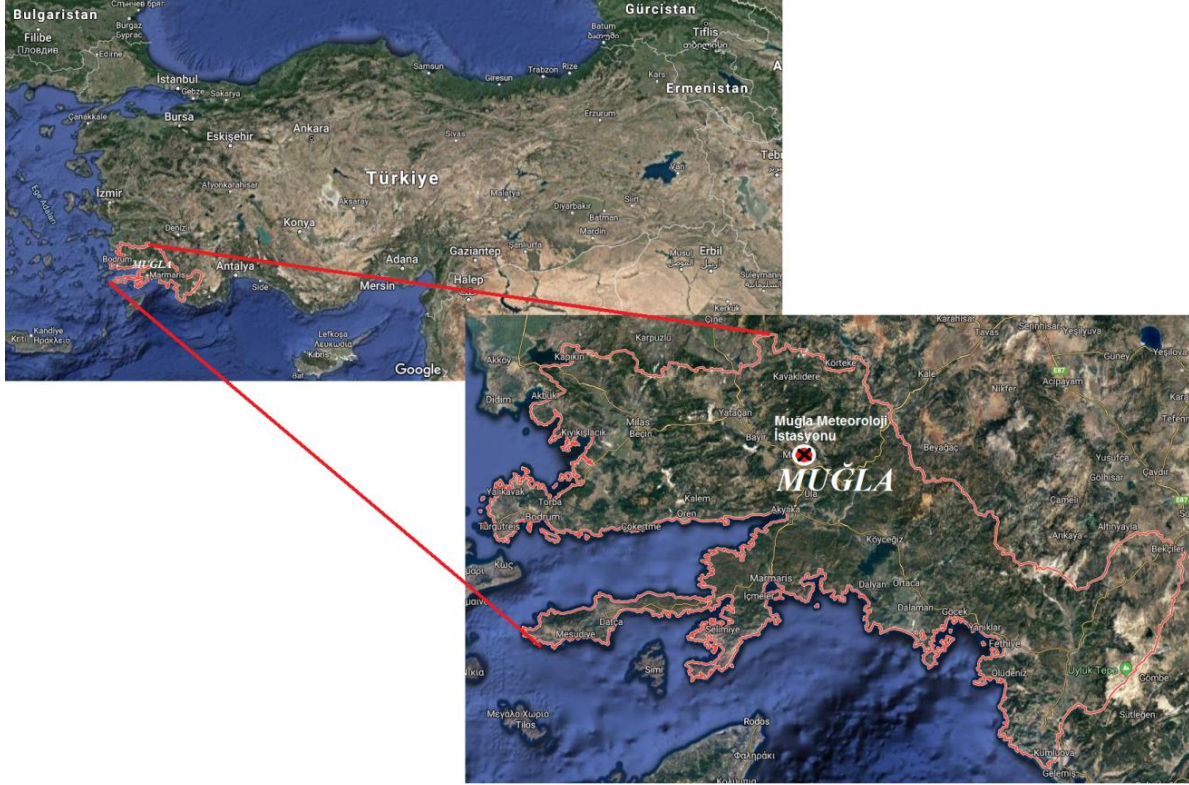
Yapılan çalışmaların çoğunluğu SPI metoduna dayanmaktadır. Tüm dünyada yaygın bir şekilde kullanılan bu metod, olasılık kavramına dayanmaktadır (McKee vd. 1995). Yağış anomalileri, kuraklığın ortaya çıkması için hidrolojik döngünün çeşitli bileşenlerini etkileyen, küresel iklimin doğal olarak tekrar eden bir özelliğidir (Efsthathiou ve Varotsos 2012). Hesaplanması için yağış miktarını dikkate alan bu indeks, anormal sulak ve kurak dönemlerin bir ifadesidir (Guttman 1999). SPI, yağış ile ortalama arasındaki farkın standart sapmaya bölümü ile hesaplanır (McKee vd. 1993). Bu indeksin standart hale getirilmiş olmasından dolayı, dünya genelinde kuraklık etkisini değerlendirmek için kullanılabilir (Manatsa vd. 2010). SPI, belirli bir lokasyon için seçilen zaman ölçeği için olasılık dağılım fonksiyonunu basitçe tahmin ederek kısa, orta veya uzun vadede olmak üzere, herhangi bir zaman ölçeğinde hesaplanabilmektedir (Almedej 2014). Kuraklık olayı, devam ettiği süre göz önüne alındığında, önce meteorolojik kuraklık olarak kendini gösterir ve uzun süre devam etmesiyle hidrolojik kuraklığa dönüşür. Meteorolojik kuraklık, uzun zaman içinde (1-3 ay) yağışın normal değerlerin altına (belirgin bir şekilde) düşmesi olarak tanımlanmaktadır. Meteorolojik kuraklığı, nem azlığının derecesi ve uzunluğu belirlemekte ve bölgeden bölgeye farklılıklar göstermektedir. Bir örnekle, kurak peryotların belirlenmesi, yağışın belirli bir değerden az gerçekleşmesi durumuna dayanır. Hidrolojik kuraklık ise, şu faktörlerin etkisi ile ilişkilidir: yeraltı su kaynakları, yüzey suları veya yağışlı dönemler. Meteorolojik kuraklığın uzaması durumunda, öncesinde tarımsal kuraklıktan (6-9 ay), bunun daha da uzaması durumunda hidrolojik kuraklıktan (12-24 ay) söz edilir. Uzun süreli yağış azlığı, yüzey akışı ve toprak nemi gibi hidrolojik sistemin bileşenlerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Yeraltı suları, nehirler ve göllerin su seviyesinde önemli düşüşe neden olur. Bu durum, özellikle canlı yaşamı için büyük bir tehlike yaratır (Kaplukan 2013; Gürler 2017).

Bu çalışmanın amacı, Muğla ilinin yağış ve kuraklık durumunu SPI yöntemiyle incelemektir. Bu çalışmada diğer çalışmalara ek olarak, 1-, 3-, 6-, 9-, 12-, 24- ve 36-aylık SPI periyodu için kuraklık yüzdesi, şiddeti ve süresi de çalışılmıştır. Çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilen Muğla meteoroloji istasyonuna ait 1960-2018 dönemi aylık yağış verileri kullanılmıştır. Bu veriler ile öncelikle Muğla ilinin yıllık toplam yağış dağılımı ve trendi incelenmiştir. Sonrasında, SPI yöntemi kullanılarak Muğla ilinin kuraklık durumu incelenmiş ve kuraklık trendi analiz edilmiştir. Bunun yanında, toplam kuraklık şiddeti ve süresi ile birlikte, 6 ay ve 2 ay dan daha fazla süreli kurak geçen dönemlerin sıklığı da incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Muğla ilini içermektedir. Muğla ili, coğrafi konumu itibarıyla Türkiye'nin güney batısında, $36^{\circ} 17' - 37^{\circ} 33'$ kuzey enlemleri ve $27^{\circ} 13' - 29^{\circ} 46'$ doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Güneyinde Akdeniz, batısında Ege denizi yer almaktadır. Şehrin büyük çoğunluğu ormanlık alanlarla kaplıdır. Deniz kıyısı itibarıyla Türkiye'nin en uzun sahil kenarına sahiptir. Denizden ortalama yüksekliği 650 metredir. Denize olan konumu bölgenin ikliminin şekillenmesinde önemli bir yere sahiptir.



Şekil 1: Muğla ilinin ve meteoroloji istasyonunun konumu

Denizin ve yükseltilerin yanı sıra yer şekillerinin uzanış durumu da ilin ikliminde önemli bir rol oynamaktadır. Fethiye ilçesini Antalya ve Burdur'a bağlayan Karabel geçidi ile Burdur ve Denizli'ye bağlayan Nif geçitlerinin güneyi ile Muğla'yı Marmaris, Köyceğiz, Ortaca, Dalaman ve Fethiye'ye bağlayan Sakar ve Çiçekli Bel geçitlerinin altında Akdeniz iklimi özellikleri bunun dışında ise İl merkezi dahil Ege iklimi özellikleri görülmektedir. İlin iç kesimlerinde ise karasal iklim özelliklerine de rastlanmaktadır (URL-1 2008). Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçmektedir. Yaz kuraklıklarının belirgin olmasının sebebi, yağışların büyük çoğunluğunun kış mevsiminde düşmesi sebebiyledir. Yerel coğrafi koşullara bağlı olarak sıcaklık, nemlilik ve yağış değişiklik göstermektedir. Kıyılardan iç bölgelere doğru gidildikçe sıcaklıklar düşer, karasal iklim hakim olmaya başlar (Özsalmanlı 2014).

Çalışmada verileri kullanılan Muğla meteoroloji istasyonu, 37.2095° enlem ve 28.3668° boylam koordinatlarında bulunmaktadır. Denize olan yüksekliği 646 metredir. Muğla meteoroloji istasyonunda rüzgar, sıcaklık, nem, yağış, basınç, güneşlenme ve toprak sıcaklıkları ölçümleri yapılmaktadır. Muğla meteoroloji istasyonu verileri, il sınırları içerisinde uzun süreli ve düzenli ölçüm yapan bir istasyon olması sebebiyle bu çalışmada tercih edilmiştir.

2.2. Run (Swed-Eisenhart) Homojenlik Testi

Run (Swed-Eisenhart) testi, verilerin homojenliğini test etmek için kullanılmaktadır. Run testi, analize tabi tutulacak verinin rastgele olup olmadığını, diğer bir deyişle aynı toplumdan gelip gelmediğini analiz eder. Neticede verilerin, birbirinden bağımsız olduğu veya olmadığı durumu şeklinde iki varsayım kontrol edilebilir (Oliver 1981). Analiz edilecek verilerin zaman serisi belirli bir seviyeden kesilip, analizdeki her bir değer bu seviyenin altında veya üstünde olması durumu belirlenir. Kesilmek amacıyla göz önünde bulundurulabilecek seviye; ortalama değer, orta değer veya en sık değer (mod) olabilir. Bu yolla veriler, orta değer üstünde veya altında seyreder. Üstünden ve altından birbirine geçiş sayıları toplamı run sayısı olarak adlandırılır. Run testi;

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

şeklinde hesaplanır. Burada Z: test sonucu, N: veri sayısı; r: run (değişim) sayısı, N_A : orta seviye altında olanlar sayısı; N_U : üstte olan değerler sayısıdır. (1) nolu formülle elde edilen test değeri ± 1.96 arasında ise verilerin, % 95 güven aralığında rastgele (homojen) dağıldığı kabul edilir (Toros 1993).

2.3. Mann-Kendall Metodu

Muğla ilinin yağış ve kuraklık trendinin analizine yönelik olarak Mann-Kendall Metodu kullanılmıştır. Mann-Kendall pek çok çalışmada yaygın olarak kullanılan bir metottur. Bundaki en önemli etken, metodun bir veri dizisindeki eksik veya hatalı verilerden etkilenmeyen parametrik olmayan bir test olmasıdır. Bu testte gerçek veri yerine, verinin seri içinde bulunan mertebesi (yi) kullanılır. Her bir yi, önceki mertebelerden büyük olanları sayarak ni gibi bir sayı ile tanımlanır ve buna göre test değeri t:

$$t = \sum_{i=1}^n n_i \quad (2)$$

olarak hesaplanır. (2) eşitliğinden hesaplanan t test değerinin ortalaması $E(t)$ ve varyansı $var(t)$:

$$E(t) = \mu = \frac{n(n-1)}{4} \quad (3)$$

$$var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (4)$$

Mann-Kendall test değeri u(t) ise:

$$u(t) = (t - E(t)) / \sqrt{var(t)} \quad (5)$$

olarak hesaplanır (Sneyers 1990).

u(t)'nin sıfıra yakın değerleri zamanla bir değişimin olmadığı varsayımını, u(t)'nin büyük değerleri ise bir değişimin olduğu varsayımını ifade eder. Diğer testlerde olduğu gibi (+) zamanla bir artışı, (-) olması ise zamanla bir azalmanın olduğunu gösterir (Toros 1993). Geriye doğru Mann-Kendall test istatistiği u'(t) hesabı da benzer şekilde gerçekleştirilir. Verilerde zamanla anlamlı bir trend olup olmadığı ve trendin yönü, Mann-Kendall test istatistiği u(t) ile belirlemektedir. Grafiksel olarak, u(t) ve u'(t)'nin kesiştikleri ilk nokta, değişimin başladığı yerdir. Bu ikisi daha sonradan birbirlerine yaklaşabilirler veya uzaklaşabilirler. Trendin kuvveti, kesişme olmadan geçen zamanla belirlenir. u(t) ve u'(t) birbirlerine birçok defa yaklaşarak paralel bir şekilde ilerlerse, bu durum trendin olmadığını ifade eder (Chrysoulakis vd. 2002; Yerdelen 2013).

2.4. SPI Yöntemi

Standart Yağış İndeksi (SPI), iklim değişkenliğini değerlendirmek için geliştirilmiş bir yöntemdir (McKee vd. 1993). SPI, öncelikle kuraklığın tanımlanması ve izlenmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Yöntem, herhangi bir yağış istasyonunda ölçülmüş yağış verileri ile belirli bir zaman ölçeğinde kuraklığın belirlenmesini sağlar. Ekstrem nemli dönemleri belirlemek için de kullanılabilir. Amaç, farklı iklimlere sahip bölgeler arasında karşılaştırılabilir olması amacıyla yağışa tek bir sayısal değer atamaktır (Das vd. 2016). Diğer bir deyişle, SPI yöntemi kuraklık veya nemlilik durumunun tespitine yönelik bir standartlaştırma işlemidir. SPI'nın negatif değerleri kuraklığı ifade ederken, pozitif değerleri ise nemliliği ifade etmektedir. SPI değeri:

$$SPI = (X_i - X_{ort}) / \sigma \quad (6)$$

olarak hesaplanır. Burada, X_i ölçülen yağış verisini, X_{ort} yağış ortalamasını ve σ ise standart sapmayı ifade etmektedir. Tablo 1'de SPI indeks değerlerine göre kuraklık ve nemlilik sınıfı görülmektedir.

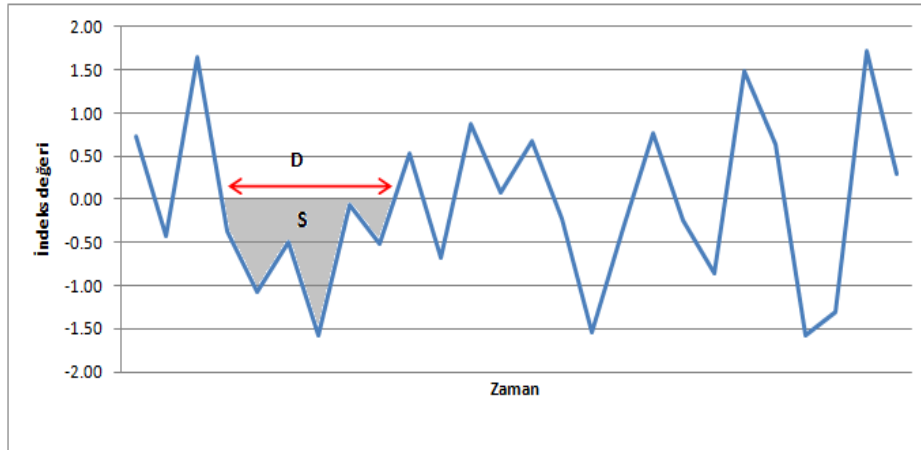
Tablo 1: Standart yağış indeksi sınıfları (Topçu ve Seçkin 2016'dan uyarlanmıştır)

SPI Değerleri	Kuraklık Sınıfı
2.00 veya daha fazla	Ekstrem Nemli
1.50 – 1.99	Şiddetli Nemli
1.00 – 1.49	Orta Nemli
0.0 – 0.99	Hafif Nemli
0.0 – (-0.99)	Hafif Kurak
(-1.00) – (-1.49)	Orta Kurak
(-1.50) – (-1.99)	Şiddetli Kurak
(-2.00) veya daha az	Ekstrem Kurak

SPI'nın 1-3 aylık dönemleri için hesaplanan değerleri meteorolojik kuraklığı, 6-9 aylık dönemleri için hesaplanan değerleri tarımsal kuraklığı, 12-24 aylık dönemleri için hesaplanan değerleri hidrolojik kuraklığı ifade etmektedir (Gürler 2017).

2.5. Kuraklık Şiddet ve Süresi

Kuraklık, SPI değerleri sıfırın altına düştüğünde tanımlandığından, bir kuraklık olayı, negatif SPI değerlerine sahip bir dönem olarak kabul edilir. Kuraklık olayının süresi, başlangıcı (dahil) ve bitiş ayı (dahil değil) arasındaki ay sayısına eşittir. Kuraklık süresi (D), SPI indis değerlerinin negatif olduğu değerlerden başlayarak art arda 0 (sıfır)'a eşit ve SPI değerlerinin pozitif olduğu zaman sona erdiği dönem uzunluğudur. Şiddeti ise, SPI çizgisi ile yatay eksen (SPI = 0) arasındaki integral alanın kuraklığın başlangıç ayına kadar olan mutlak değeridir. Kuraklık şiddeti (S), kuraklık süresi içinde kalan indis değerlerinin toplanmasıyla elde edilen kümülatif SPI değerleri olup toplam kuraklık şiddetini verir ve kuraklığın büyüklüğünü ifade eder (Yevjevich 1967; Spinoni vd. 2014). SPI indeks değerine dayalı kuraklık şiddet (S) ve kuraklık süresi (D) grafiği Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2: SPI indeks değerine dayalı kuraklık şiddet ve kuraklık süresi grafiği

İlgili tanımlara ait hesaplamalar:

$$S = - \sum_{i=1}^D SPI_i \quad (7)$$

$$I = S/D \quad (8)$$

formülleriyle hesaplanır. Burada S: kuraklık şiddetini, D: kuraklık süresini ifade eder.

Kuraklık süresinin uzunluğunu ve kuraklık şiddetinin büyüklüğünü ölçmek için bir eşik değeri tanımlanmalıdır. Hesaplamalar yapılırken eşik değeri olarak, indisin kurak/nemli eşiği olan sıfır değeri kabul edilmiştir. Muğla istasyonu için SPI-3, SPI-6, SPI-12, SPI-24, SPI-36 ve SPI-48 aylık ölçeklerde kuraklık şiddet indis hesapları yapıldıktan sonra, indisin tüm zaman serisi için kurak (indisin sıfırın altında kaldığı) dönemlerin şiddet süre ve yoğunluk değerleri hesaplanmış ve her birinin en ekstrem olduğu olumsuz değerler seçilmiştir. Bu açıklamalar neticesinde, Muğla istasyonunun tüm ölçekler bazında indis hesapları yapıldıktan sonra, indisin tüm zaman serisi için kurak (indisin sıfırın altında kaldığı) dönemlerin şiddet ve süre değerleri hesaplanmış ve her birinin en ekstrem olduğu olumsuz değerler seçilmiştir.

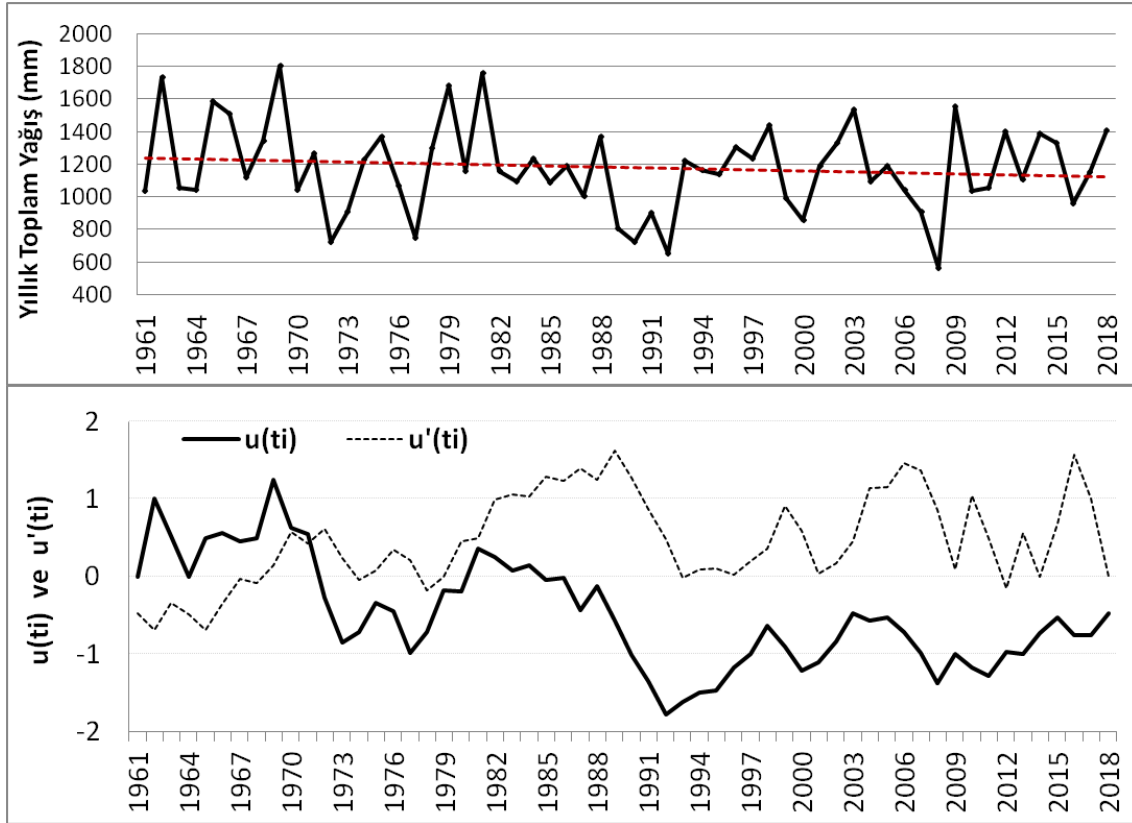
3. Sonuçlar ve Tartışma

Analizde kullandığımız yağış ölçümleri, yıllık toplam yağış verilerini içermektedir. Verilerin homojenliğini test etmek amacıyla uygulanan run testinin sonuçları Tablo 2’de verilmektedir. Sonuçlara göre, ortanca değer 1159.4, run (değişim) sayısı 37, orta seviye altında olanların sayısı 30 olarak bulunmuştur. Z değerinin ise ± 2.23 aralığında olduğu görülmektedir. Bu durumda, yağış verileri zaman serisi %95 güven aralığında homojen olarak bulunmamıştır. Verilerin homojenliğini bozan çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bunlar arasında, ölçüm istasyonunun yerinin değişmesi, istasyon çevresindeki bazı değişiklikler, yanardağ patlaması gibi çeşitli faktörler yer almaktadır (Macana 2014). Veriler, run testine göre %95 güven aralığında homojen olmasa da, çalışmada kullanılmıştır.

Tablo 2: Run testinin istatistiki sonuçları

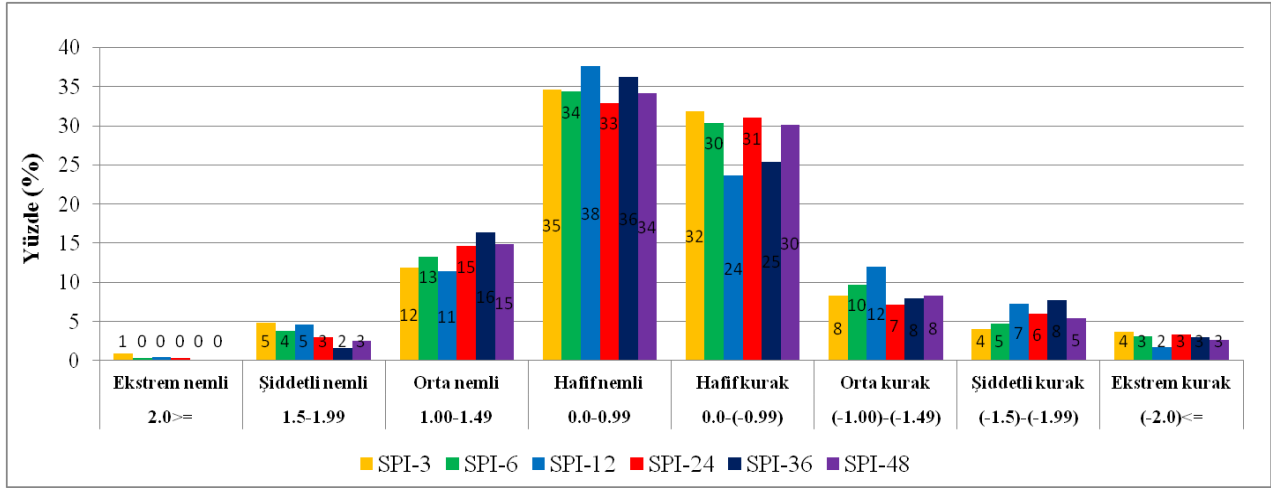
Ortanca	r	N	N _A	N _B	Z
1159.4	37	59	30	29	2.23

Yıllık toplam yağışların 1960-2018 dönemi ortalaması 1178.2 mm olarak bulunmuştur. Yıllık toplam en düşük yağış miktarı 2008 yılında 564.6 mm olarak gerçekleşmiştir. Yıllık toplam en yüksek yağış miktarı ise 1969 yılında 1805 mm olarak gerçekleşmiştir. Yıllık toplam yağışların değişimini gösteren grafiğe göre, yağışlarda bir salınımın, diğer bir deyişle bir düzensizliğin olduğu göze çarpmaktadır. Mann-Kendall testine göre ise, yağış serisinde %95 güven aralığında artış veya azalış trendi yoktur (Şekil 3).



Şekil 3: Muğla ili yıllık toplam yağış değişimi (üstte) ve Mann-Kendall trend testi (altta)

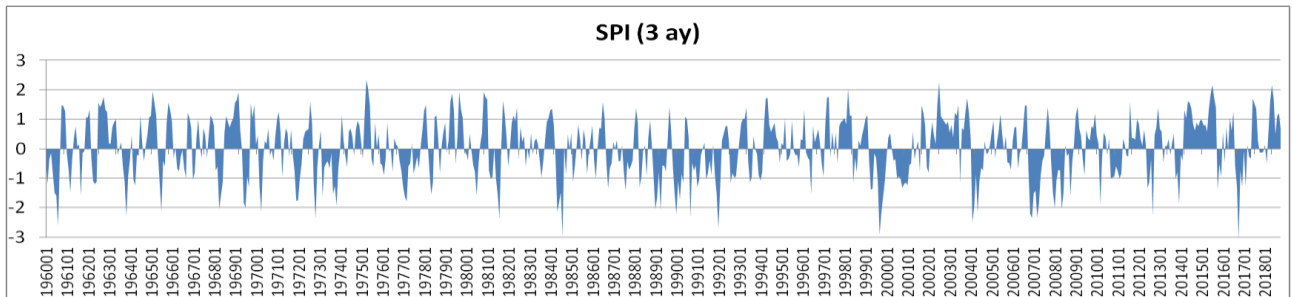
Muğla ilinde 1960-2018 döneminde SPI-3, SPI-6, SPI-12, SPI-24, SPI-36 ve SPI-48 indeksi değerlerine göre nemli ve kurak geçen ay sayılarının yüzde dağılım grafiği Şekil 4’de gösterilmektedir. En yüksek yüzde dağılımlar, hafif kurak ve hafif nemli sınıf dağılımında seyretmiştir. Hafif nemli ve hafif kurak dönemde 3 aylık SPI periyodunda toplamda %67, 6 aylık SPI periyodunda %64, 12 aylık SPI periyodunda %62, 24 aylık SPI periyodunda %64, 36 aylık SPI periyodunda %61, 48 aylık SPI periyodunda %64 olarak yüzde dağılım bulunmuştur. Yüzde dağılımlar, hafif nemli ve hafif kurak sınıf aralıklarında ölçekler bazında çoğunlukla %61-64 arasında seyretmiştir. Orta kurak sınıfta ölçekler bazında %7-12 arasında, şiddetli kurak sınıfında ölçekler bazında %4-8 aralığında, ekstrem kurak sınıfta ölçekler bazında ise %2-4 aralığında olarak bulunmuştur.



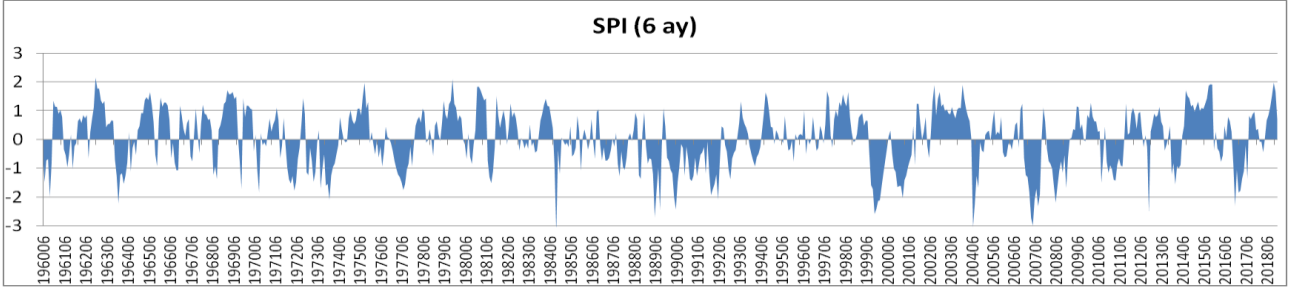
Şekil 4: Muğla ilinde nemli ve kurak geçen ay sayılarının yüzde dağılımları

Muğla ilinin yağış verilerinden elde edilen 3-, 6-, 12-, 24-, 36- ve 48- aylık SPI değerleri ise sırasıyla Şekil 5, 6, 7, 8, 9 ve 10'da verilmiştir. Hesaplama yapılırken tüm SPI periyotlarında tek bir ay baz alınarak değil de her aylarda hesaplama yapılmıştır. Grafiklere göre, tüm SPI periyotlarında bazı dönemlerin kurak, bazı dönemlerin ise nemli geçtiği, yani bir salınımın olduğu görülmektedir. Kuraklık durumunun ani bir şekilde değişiklik gösterebildiği görülmektedir. Ayrıca, grafiklerde belirgin bir eğilimin olmadığı görülmektedir. Meteorolojik kuraklığı ifade eden 3 aylık SPI grafiğine bakıldığında (Şekil 6), ekstrem kurak dönemlerin 1964, 1965, 1968, 1969, 1970, 1973, 1981, 1984, 1989, 1990, 1992, 1999, 2004, 2007, 2008, 2012 ve 2016 yıllarında olduğu, ekstrem nemli dönemlerin ise 1975, 1998, 2002, 2015 ve 2018 yıllarında olduğu görülmektedir. 6 aylık SPI için de kuraklık durumu benzer şekilde gerçekleşmiştir (Şekil 6). Diğer bir deyişle, meteorolojik kuraklığın görüldüğü dönemler, tarımsal kuraklıkta da benzer şekilde gerçekleşmiştir. [Türkeş ve Altan \(2013\)](#) tarafından Muğla ili için yapılan çalışmada, 1990, 1992 ve 2008 yılları benzer şekilde şiddetli kurak olarak bulunmuştur. Tarımsal kuraklığı ifade eden diğer bir sınıf olan 9 aylık SPI değerleri (burada gösterilmemiştir), 6 aylık SPI değerlerine benzer şekilde gerçekleşmiştir. Hidrolojik kuraklığı ifade eden 12 aylık SPI grafiğine (Şekil 7) bakıldığında, ekstrem kurak dönemlerin 1990, 1992, 2000, 2001, 2007 ve 2008 yıllarında olduğu, ekstrem nemli dönemlerin ise 1966, 1969 ve 2004 yıllarında olduğu görülmektedir. Daha uzun dönem hidrolojik kuraklığı ifade eden 24 aylık SPI sonuçlarına bakıldığında, ekstrem kurak dönemlerin 1990, 1991, 1992, 1993, 2001 ve 2008 yıllarında olduğu, ekstrem nemli dönemlerin ise yalnızca 2004 yılında olduğu görülmektedir. 36 ve 48 aylık SPI sonuçları da (Şekil 9 ve Şekil 10), 24 aylık SPI sonuçlarına (Şekil 8) benzer şekildedir.

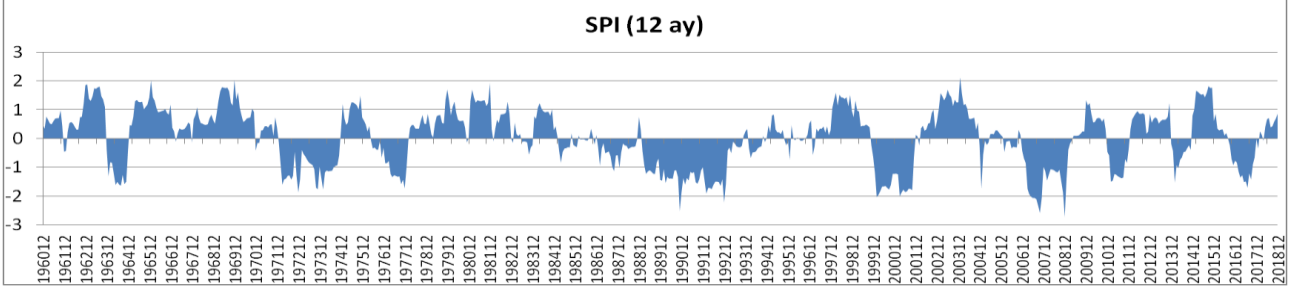
En ekstrem kurak dönemler 3, 6, 12, 24, 36 ve 48 aylık SPI dönemlerinde sırasıyla 2016 yılı Aralık, 1984 Ekim, 2008 Aralık, 2008 Ekim, 1992 Aralık ve yine 1992 Aralık'ta görülmüştür. Bu aylarda SPI değerleri sırasıyla -3.061, -3.301, -2.728, -2.597, -2.821 ve -3.075 olarak hesaplanmıştır. En ekstrem nemli dönemler ise, 3, 6, 12, 24 ve 36 aylık SPI dönemlerinde sırasıyla 1975 Haziran, 1962 Aralık, 2004 Ocak, 2004 Ocak, 1981 Aralık ve yine 1981 Aralık'ta görülmüştür. Bu aylarda SPI değerleri sırasıyla 2.344, 2.145, 2.115, 2.039, 2.001 olarak hesaplanmıştır. 48 aylık SPI döneminde ekstrem nemli dönem görülmemiştir. En yüksek SPI değeri, şiddetli nemli durumu ifade eden 1.920 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3).



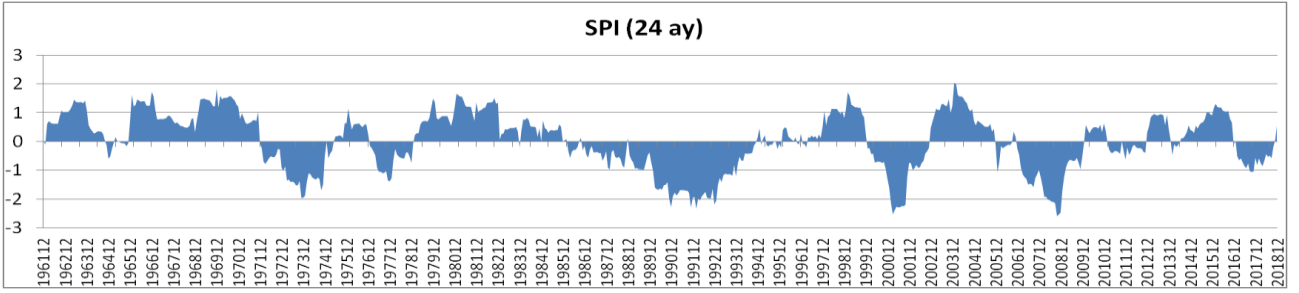
Şekil 5: Muğla ilinin 3 aylık SPI değerleri



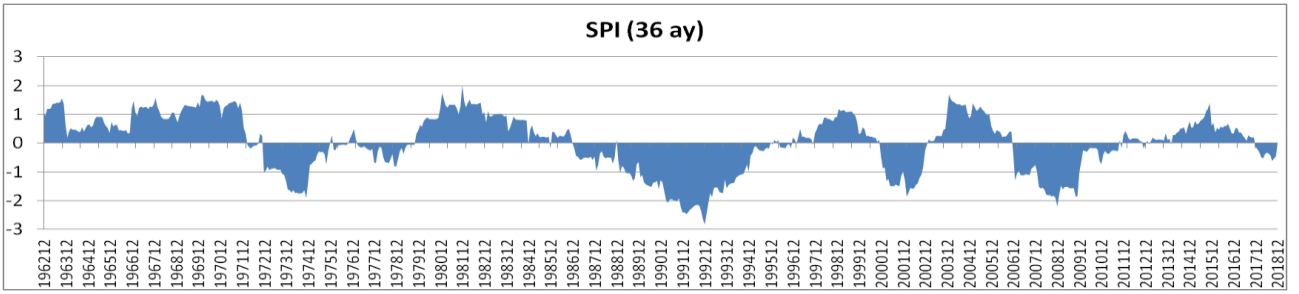
Şekil 6: Muğla ilinin 6 aylık SPI değerleri



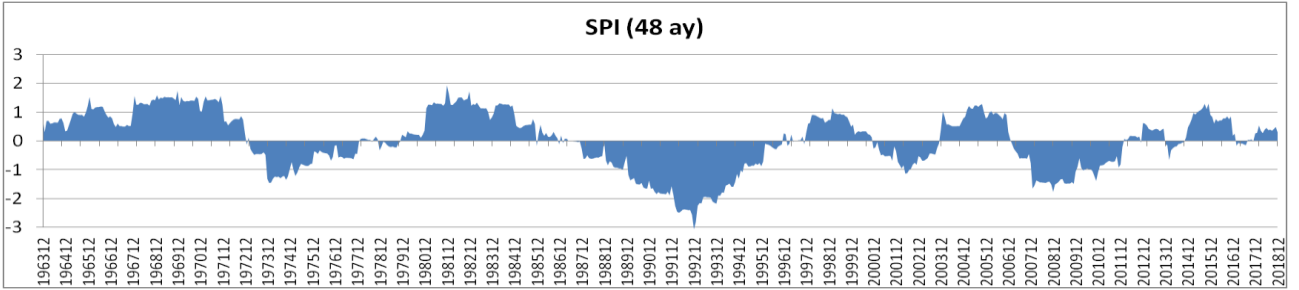
Şekil 7: Muğla ilinin 12 aylık SPI değerleri



Şekil 8: Muğla ilinin 24 aylık SPI değerleri



Şekil 9: Muğla ilinin 36 aylık SPI değerleri



Şekil 10: Muğla ilinin 48 aylık SPI değerleri

Tablo 3: Minimum ve maksimum SPI değerleri

	SPI-3	SPI-6	SPI-12	SPI-24	SPI-36	SPI-48
Minimum	-3.061	-3.301	-2.728	-2.597	-2.821	-3.075
	(2016 Aralık)	(1984 Ekim)	(2008 Aralık)	(2008 Ekim)	(1992 Aralık)	(1992 Aralık)
Maksimum	2.344	2.145	2.115	2.039	2.001	1.92
	(1975 Haziran)	(1962 Aralık)	(2004 Ocak)	(2004 Ocak)	(1981 Aralık)	(1981 Aralık)

Tablo 4’de ise ardışık olarak oluşan en güçlü toplam kuraklık şiddetleri (Total Drought Severity) ve en uzun süren toplam kuraklık süreleri (Total Drought Duration) ile bunların başlama ve bitiş yılları görülmektedir. Burada toplam kuraklık şiddeti, kümülatif olarak hesaplanan SPI değerlerinin en büyüğü alınarak elde edilmiştir. Toplam kuraklık süresi ise, göz önüne alınan zaman süresinde her bir kuraklık süresinin toplanması sonucu elde edilmiştir. Muğla istasyonunun ölçekler bazında toplam kuraklık şiddeti ve toplam kuraklık sürelerinin başlama ve bitiş yıllarına baktığımızda hemen hemen benzer yıllara denk geldiğini görürüz. Ancak 3 aylık SPI periyodunda, en güçlü toplam kuraklık şiddeti -13.90 ile 2006/12-2007/09 yılları arasında görülmesine karşılık etki süresi daha düşüktür. Buna karşılık yaşanan en uzun süren kuraklık (12 ay) 2000/06-2001/05 yılları arasında görülmüştür.

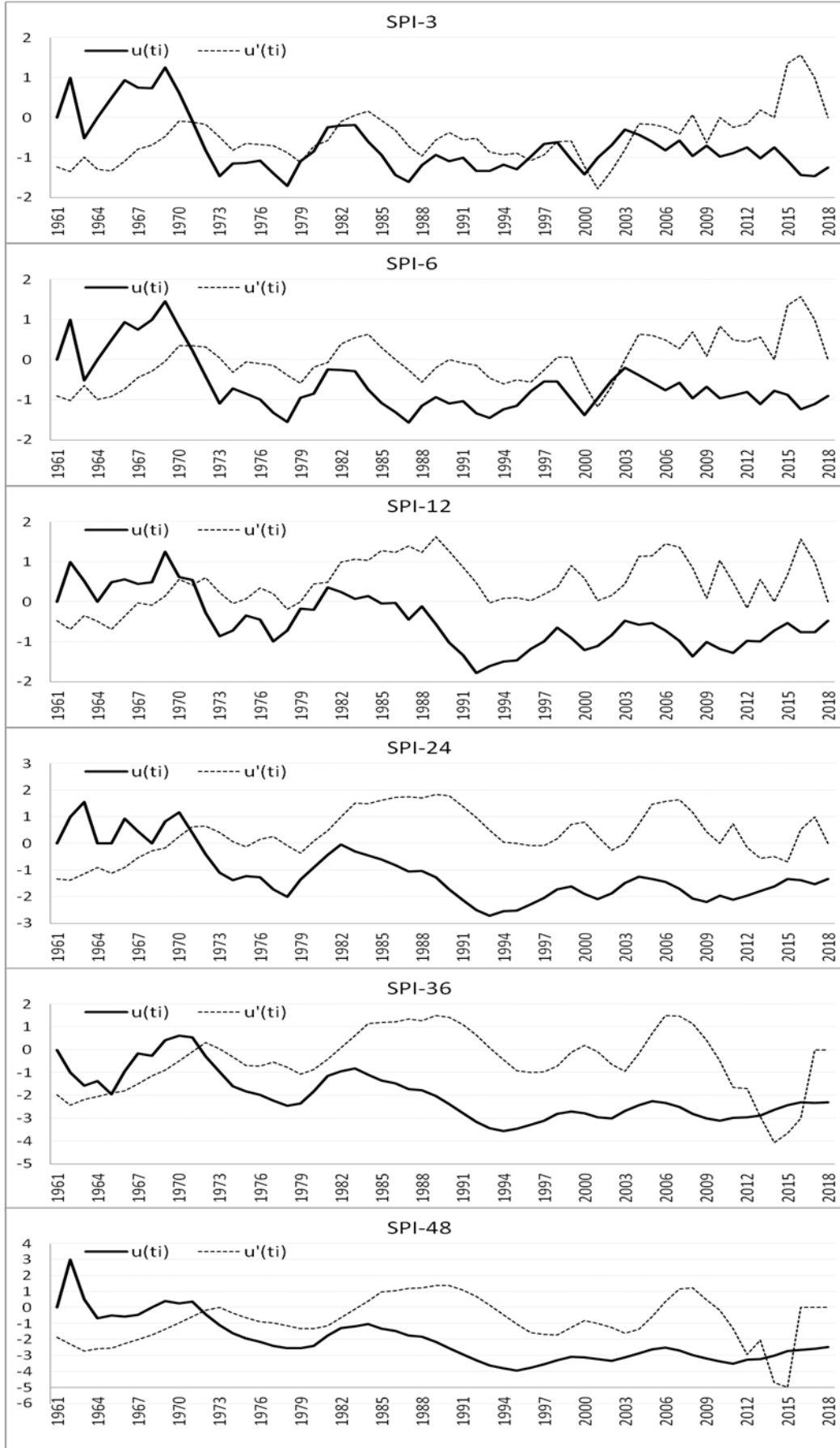
Tablo 4: Oluşan kuraklık özelliklerinin başlama ve bitiş yılları

SPI Aralığı	En güçlü			En uzun		
	S (Şiddet)	Başlama Yıl/Ay	Bitiş Yıl/Ay	D (Süre)	Başlama Yıl/Ay	Bitiş Yıl/Ay
SPI-3	-13.9	2006/12	2007/09	12	2000/06	2001/05
SPI-6	-32.92	1990/01	1992/07	31	1990/01	1992/07
SPI-12	-69.44	1989/02	1993/10	57	1989/02	1993/10
SPI-24	-93.47	1989/01	1994/11	71	1989/01	1994/11
SPI-36	-116.82	1989/01	1995/11	83	1989/01	1995/11
SPI-48	-142.4	1987/05	1996/11	115	1987/05	1996/11

Tablo 5’de SPI değerlerinin Mann-Kendall testi ile elde edilen eğilim sonuçları görülmektedir. Şekil 11’de yer alan grafiklerde ise SPI değerlerinin Mann-Kendall testi sonucu elde edilen $u(t)$ ve $u'(t)$ değerlerinin değişimi görülmektedir. Bu sonuçlara göre, tüm SPI dönemlerinde eğilimin, %95 güven aralığında olmasa bile azalma (negatif) yönünde olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle, eğilim kuraklık yönünde olarak bulunmuştur. SPI-36 ve SPI-48 dönemlerinde istatistiksel olarak anlamlı olmaya yakın büyük bir azalma eğilimi olduğu söylenebilir.

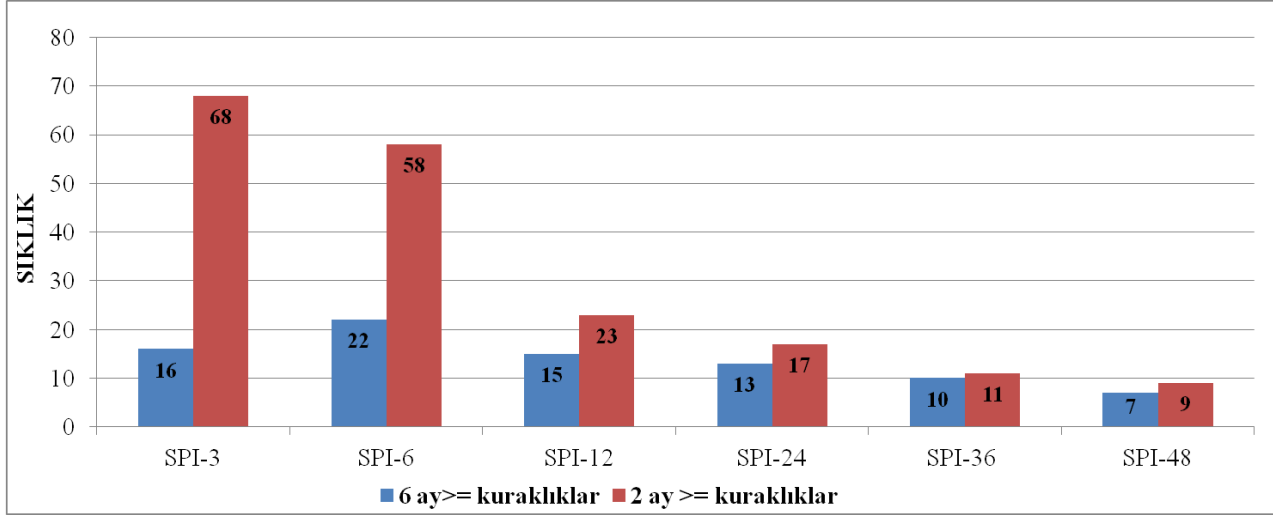
Tablo 5: SPI değerlerinin eğilim sonuçları

SPI aralığı	Eğilim	SPI aralığı	Eğilim
SPI-3	-1.25	SPI-24	-1.33
SPI-6	-0.91	SPI-36	-1.8
SPI-12	-0.48	SPI-48	-1.8



Şekil 11: Muğla ilinde 1-, 3-, 6-, 9-, 12-, 24- ve 36-aylık SPI değerlerinin Mann-Kendall test grafiği

SPI indeksine göre 6 ay ve 2 aydan daha uzun süren kurak dönemlerin sıklığı Şekil 12’de görülmektedir. 2 aydan daha uzun süren kurak dönem, en sık olarak 3 aylık SPI periyodunda gerçekleşmiştir. Bunu 6 aylık SPI periyodu takip etmiştir. 6 aydan daha uzun süren kuraklıklarda ise kurak geçen dönemlerin 6 aylık SPI periyodunda, diğer SPI periyotlarına göre daha fazla gerçekleştiği görülmektedir. Analizler, zaman periyodu arttıkça kuraklığın daha az tekrar ettiği ama daha uzun süreli etkili olduğunu göstermektedir. 3 aylık SPI zaman periyodunda kuraklık daha sık ama daha kısa süreli etkili olmakta, fakat zaman periyodu arttıkça (özellikle 12 ay zaman periyodunda) kuraklığın etki süresi artmakta, oluşum sıklığı azalmaktadır.



Şekil 12: SPI indeksine göre 6 ay ve 2 aydan daha uzun süren kurak dönemlerin sıklığı

4. Değerlendirmeler

Bu çalışmada, Muğla ilinin yağış durumu ile kuraklık durumu, yüzdesi, şiddet ve sıklığı analiz edilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Muğla Meteoroloji İstasyonu’na ait 1960-2018 dönemi yağış verileri kullanılmıştır. Verilerin homojenlik analizi için Run testi, kuraklık analizi için SPI yöntemi, trend analizi için ise Mann-Kendall testi kullanılmıştır. Sonuç olarak, Muğla ili için yıllık toplam yağışların 1960-2018 dönemi ortalaması 1180.2 mm olarak bulunmuştur. Çalışma döneminde en düşük yağış miktarı 2008 yılında 564.6 mm, en yüksek yağış miktarı ise 1969 yılında 1805 mm olarak gerçekleşmiştir. Muğla ilinde bazı dönemlerin kurak, bazı dönemlerin ise nemli geçtiği görülmüştür. Diğer bir deyişle, bölgede kuraklık durumunun seyrinde bir düzensizliğin olduğu görülmüştür. Bunu yanında, hafif nemli ve hafif kurak geçen ay sayılarının diğer sınıflara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, ekstrem kurak dönem, ekstrem nemli döneme göre daha fazla gerçekleşmiştir. Muğla ilinde nemli ve kurak geçen ay sayılarının, çoğunlukla hafif ve orta şiddetlerde olduğu görülmüştür. Ancak yine de, şiddetli ve ekstrem kuraklık görülme riski her zaman bulunmaktadır.

Meteorolojik olarak ekstrem kurak dönemlerin 1964, 1965, 1968, 1969, 1970, 1973, 1981, 1984, 1989, 1990, 1992, 1999, 2004, 2007, 2008, 2012 ve 2016 yıllarında gerçekleştiği, ekstrem nemli dönemlerin ise 1975, 1998, 2002, 2015 ve 2018 yıllarında gerçekleştiği görülmüştür. Tarımsal kuraklığın gerçekleştiği dönemler de meteorolojik kuraklığa benzer şekilde bulunmuştur. Hidrolojik olarak ise ekstrem kurak dönemlerin 1990, 1992, 2000, 2001, 2007 ve 2008 yıllarında gerçekleştiği, ekstrem nemli dönemlerin ise 1966, 1969 ve 2004 yıllarında gerçekleştiği görülmüştür. En ekstrem kurak dönemler 3-, 6-, 12-, 24-, 36- ve 48- aylık SPI dönemlerinde sırasıyla 2016 Aralık, 1984 Ekim, 2008 Aralık, 2008 Ekim, 1992 Aralık ve yine 1992 Aralık’ta görülmüştür. Bununla birlikte çalışma sonuçları, zaman periyodu arttıkça kuraklığın daha az tekrar ettiği ama daha uzun süreli etkili olduğunu göstermiştir. Muğla istasyonunun ölçekler bazında toplam kuraklık şiddeti ve toplam kuraklık süreleri hemen hemen benzer yıllara denk gelmiştir. Ancak, 3 aylık SPI periyodunda en güçlü toplam kuraklık şiddetinin (-13.90 değeri ile) 2006 Aralık – 2007 Eylül arasında görülmesine karşılık, etki süresinin daha düşük olduğu görülmüştür. Buna karşılık yaşanan en uzun süren kuraklık (12 ay), 2000 Haziran – 2001 Mayıs arasında görülmüştür.

Özetle, elde edilen sonuçlar, bölgede kuraklık durumunda bir düzensizliğin olduğunu ve %95 güven aralığında olmasa bile eğilimin kuraklık yönünde olduğunu işaret etmektedir. Küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olarak kuraklık olaylarının sıklığı ve düzensizliği fazla olmaktadır. Temelde küresel iklim değişikliği, kuraklıkla ilişkili faktörleri etkilemektedir. Sıcaklığın artması; beraberinde buharlaşma ve terlemenin artmasına, yağışlarda düzensizliğe, karın erken erimesine, dolayısıyla hidrolojik ve tarımsal kuraklık riskinin artmasına sebep olmaktadır. Gelecek çalışmalarda, küresel iklim değişikliğinin kuraklık üzerindeki etkisini daha iyi görebilmek amacıyla, kuraklık trendinin Mann Kendall testi ile birlikte diğer yenilikçi yöntemler de göz önüne alınarak daha detaylı incelenmesi faydalı olacaktır.

Bunun yanında, kuraklık analizleri özellikle tarım sektörü ve su kaynaklarının planlanması için de önemlidir. Yaşanan kuraklıklar beraberinde gıda ve su kıtlığını getirebilmektedir. Bu nedenle kuraklık kapsamında yapılacak analizler, alınacak önlemlerin de temelini oluşturmaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilecek analiz sonuçları baz alınarak, özellikle şiddetli ve uzun süren kuraklık olaylarının gerçekleştiği dönemi takip eden yıllar için su kaynakları ve gıdanın verimli kullanılması ve tasarrufu konularında planlamalar yapılması faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- Almedej J., (2014), *Drought Analysis for Kuwait Using Standardized Precipitation Index*, The Scientific World Journal, 1(9), 1-10.
- Arslan O., (2017), *Investigation of Trends in Meteorological Droughts in Niğde Province*, Anadolu Univ. J. of Sci. and Technology A – Appl. Sci. and Eng., 8(5), 919-928.
- Caloiero T., Veltri S., Caloiero P., Frustaci F., (2018), *Drought Analysis in Europe and in the Mediterranean Basin Using the Standardized Precipitation Index*, Water, 10(8), 1-13.
- Chrysoulakis N., Proedrou M., Cartalis C., (2002), *Variation and Trends in Annual and Seasonal Means of Precipitable Water in Greece as Decoded from Radiosonde Measurements*, Toxicological and Environmental Chemistry, 84(1-4), 1-6.
- Çelik M.A., Kopar İ., Bayram H., (2018), *Doğu Anadolu Bölgesi'nin Mevsimlik Kuraklık Analizi*, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 22(3), 1741-1761.
- Das V., Choudhury M.R., Gandhi S., Joshi V., (2016), *Application of Earth Observation Data and Standardized Precipitation Index Based Approach for Meteorological Drought Monitoring, Assessment and Prediction Over Kutch, Gujarat, India*, International Journal of Environment and Geoinformatics, 3(2), 24-37.
- Dikici M., (2019), *Asi Havzası'nda (Türkiye) Kuraklık Analizi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1), 22-40.
- Diñç N., Aydınşakir K., Işık M., Büyüktaş D., (2016), *Standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI) yöntemi ile Antalya ili kuraklık analizi*, Derim, 33(2), 279-298.
- Efstathiou M.N., Varotsos C.A., (2012), *Intrinsic properties of Sahel precipitation anomalies and rainfall*, Theoretical and Applied Climatology, 109(3-4), 627–633.
- Estrela T., Vargus E., (2010), *Drought management plans in the European Union*, Water Resour. Manag., 26, 1537–1553.
- Guttman N.B., (1999), *Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm*, Journal of the American Water Resources Association, 35(2), 311–322.
- Gürler Ç., (2017), *Beyşehir ve Konya-Çumra-Karapınar Alt Havzalarında Standartlaştırılmış İndis Yaklaşımı İle Hidrolojik Kuraklık Değerlendirmesi*, Uzmanlık Tezi, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Hınıs M.A., (2013), *Bütünleşik Kuraklık İndeksi ile Aksarayda Hidrometeorolojik Kuraklık Analizi*, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(4), 711-721.
- IPCC, (2014), *Summary for Policymakers: Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kapluhan E., (2013), *Türkiye'de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi*, Marmara Coğrafya Dergisi, 27, 487-510.
- Kreibich H., Baldassarre G. D., Vorogushyn S., Aerts J.C.J.H., Apel H., Aronica G.T., Arnbjerg-Nielsen K., Bouwer L.M., Bubeck P., Caloiero T., (2017), *Adaptation to flood risk: Results of international paired flood event studies*, Earth's Future, 5, 953–965.
- Macana E., (2014), *Büyük Menderes Havzasında Ortalama, Maksimum ve Minimum Sıcaklıklarda 1970 Sonrasında Gözlenen Eğilimler*, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Aydın.
- Manatsa D., Mukwada G., Siziba E., Chinyanganya T., (2010), *Analysis of multidimensional aspects of agricultural droughts in Zimbabwe using the Standardized Precipitation Index (SPI)*, Theoretical and Applied Climatology, 102(3), 287–305.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., (1993), *The relationship of drought frequency and duration to time scales*, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, American Meteorological Society, Boston, Mass, USA.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., (1995), *Drought monitoring with multiple time scales*, 9th AMS Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston, Mass, USA, ss.233-236.
- Oliver R.L., (1981), *Measurement and Evaluation of Satisfaction Processes in Retail Settings*, Journal Retailing, 57(3), 25–48.
- Özsalmanlı A., (2014), *Muğla Kenti ve Muğla Büyükşehir Belediyesi Yönetimi*, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 1(5), 136-159.
- Pamuk G., Özgürel M., Topçuoğlu K., (2004), *Standart Yağış İndisi (SPI) ile Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi*, Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 41(1), 99-106.
- Sneyers R., (1990), *On the statistical analysis of series of observations*, WMO Technical Note 143, Genova, 192ss.
- Spinoni J., Naumann G., Carrao H., Barbosa P., Vogt J., 2(014), *World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010*, International Journal of Climatology, 34(8), 2792–2804.
- Topçu E., Seçkin N., (2016), *Drought Analysis of the Seyhan Basin by Using Standardized Precipitation Index (SPI) and L-moments*, Journal of Agricultural Sciences, 22(2), 196-215.
- Toros H., (1993), *Klimatolojik Serilerden Türkiye İkliminde Trend Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türkeş M., Altan G., 2013, *Muğla Yöresi'nde Gözlenen Kuraklıkların ve Nemli Koşulların Doğal Çevreye Etkileri ve İklim Değişikliği Açısından Analizi*, 3. Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 10-13 Haziran, Antalya, ss.608-618.
- URL-1, (2008), Muğla Coğrafi Yapısı, <http://www.mecv.org.tr/incele.php?id=NjU=>, [Erişim 10 Şubat 2020].
- Yerdelen C., (2013), *Susurluk havzası yıllık akımlarının trend analizi ve değişim noktasının araştırılması*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2), 77-87.
- Yetmen H., (2013), *Van Gölü Havzası'nın Kuraklık Analizi*, 21. Yüzyılda Eğitim ve Toplum, 3(5), 184-198.
- Yevjevich V.M., (1967), *An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts*, Hydrology Papers, No. 23, Colorado State University, Fort Collins.

Trafik Verilerine Göre Afetlerde Bölgesel Hizmet Verebilecek İdeal Havalimanı Önerileri

Emre Demir^{1,*} 

¹Antalya Bilim Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 07190, Antalya.

Özet

Bu çalışma, önceki benzer çalışmalardan üç ana yönden ayrılmaktadır. Birincisi, yöntem olarak diğerlerinden ayrılarak ülke çapında sadece tek bir lokasyondaki havalimanı tesisi değil kümeleme yöntemi uygulanarak bölgesel hizmet verebilecek en uygun tesisler tespit edilmiştir. İkincisi, önceki çalışmalarda İstanbul Havalimanı henüz hizmete girmediğinden dolayı değerlendirmeye alınmamışken, bu çalışmada optimizasyon hesaplarına dahil edilmiştir. Üçüncüsü, yeni durumun önceki çalışmalara nazaran daha güncel verilerle ve daha güncel bir optimizasyon yöntemi olan ağaç tohum algoritması kullanılarak optimum çözümler üretilmiştir. Trafik verileri, trafiğe dayalı ağırlık katsayıları ve ulaşım mesafelerinin elde edildiği konum verilerine dayanarak yapılan analizler sonucunda, toplam on altı havalimanı kendi bölgelerine, özellikle herhangi bir felaket sırasında veya sonrasında acil durumlarda, servis sağlayabilecek ideal havalimanları bu çalışmada ortaya çıkarılarak tavsiye edilmiştir. Bu araştırmanın önerileri doğrultusunda, herhangi bir acil durumda gerekli olan ve havayolu ile sağlanabilecek hizmetler sayesinde zaman ve gider kaybının azaltılması gibi amaçlar gözetilirken daha da önemlisi can kaybının en az düzeye indirilmesi konusunda ilerleme kaydedilmesi beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler

Hava Trafik Verileri, Ulaşım Ağı, Lokasyon Analizi, Kümeleme, Ağaç Tohum Algoritması, Afet

Traffic Data Based Ideal Airport Suggestions Providing Regional Service in Disasters

Abstract

This study differs from previous similar studies in three main directions. Firstly, the location of the most suitable facilities that can provide regional service were determined by applying clustering method. Thus, not only one airport facility in a single location serving across the country was determined, which separates this research from the others. Secondly, in the previous studies, Istanbul Airport was not taken into account because it has not been put into service. Therefore, this study takes that particular airport into consideration. Thirdly, optimum solutions for such new situation were produced with more up-to-date data and using a modern optimization method, the tree seed algorithm. As a result of the analyzes made based on traffic data, traffic-based weight coefficients and location data from which transportation distances were obtained, a total of sixteen ideal airports were recommended that can provide service to their regions, especially during emergencies or after any disaster. In accordance with the suggestions of this research, it is expected that progress will be made in minimizing the loss of time and expense, and especially minimizing the loss of life thanks to the services which can be provided by air transportation in any emergency.

Keywords

Air Traffic Data, Transportation Network, Location Analysis, Clustering, Tree Seed Algorithm, Disaster

1. Giriş

Ulaşımında havacılık sektörü, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de gelişmeye hızla devam etmektedir. Yük ve yolcu taşımacılığında büyük öneme sahip olan havacılığa olan talep her geçen gün artmaktadır. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'ne (SHGM'ye) göre özellikle geçmişe göre daha fazla yolcu taşınması, ülkemizde havacılığa hemen hemen herkesin erişebilir hale geldiği gerçekliğini göstermektedir (SHGM 2020). Artan talep sonucu, havacılık sektöründeki olanaklar da giderek artmaktadır. Ayrıca gün geçtikçe ülkemizdeki havalimanlarını kullanan veya havalimanlarımıza inen ve kalkan uçak sayısı yükselmektedir. Her ne kadar havacılıktaki kurallar çok katı olsa da bir takım aksaklıklarla beraber irili ufaklı kazalar da yaşanabilmektedir (Uslu ve Dönmez 2017). Bu kazaların yanı sıra, bölgelerimizde yaşanabilen deprem, sel, yangın gibi doğal afetler sonucu kazazedelere ve bölgeye acil müdahale gerekliliği doğmaktadır (Günaydın vd. 2017; Usta vd. 2017; Macit 2019; Ekinci vd. 2020). Bu gibi durumlarda acil müdahale, parasal kayıpları en aza indirme amacı bulundurduğu kadar, en önemlisi yaralanmaları ve hatta ölümleri en az seviyeye indirme amacını gütmektedir.

Doğal afetlerde ve havayolu kazalarında kayıpları en aza indirmenin yollarından bir tanesi de doğal afet veya kaza sonrası hızlı müdahalelerdir. Hızlı bir şekilde sağlık, kurtarma veya mühendislik hizmeti sağlandığında kaybedilen zaman en aza indirilecek ve dolayısıyla kayıplar ve giderler düşecektir. Acil müdahale söz konusu olduğunda havayolu ulaşımı ve ülkemizdeki havalimanlarının özellikleri önemli bir yer tutmaktadır.

Kayıpları minimum seviyelere getirmek adına lokasyon analizleri yapılabilir. Örnek olarak, [Demir ve Kockal \(2019\)](#) çalışmasında finansal kayıpları en alt seviyede tutmak amacıyla tüm ulaşım ağına hizmet etmesi planlanan bir tesisin yeri saptanmıştır. Yapılan bir diğer çalışmada ([Demir 2018a](#)), havalimanlarının ihtiyaç oranlarını göz önünde bulundurarak ülke sınırları içinde kullanılabilecek en uygun lokasyonlu havalimanını seçme konusunda analizler yapılmıştır. Çalışmada ülkemizdeki tüm havalimanlarına hizmet sağlayabilecek havalimanı, Weber problemi doğrultusunda Weizsfeld yöntemi kullanılarak İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı olarak önerilmiştir. Ancak, ülkemizin batıdan doğuya uzanan coğrafi şekli ulaşım konusunda zaman kavramını gözler önüne sermektedir. Bu çalışma, [Demir \(2018a\)](#) çalışmasının bir devamı veya alternatifi niteliğinde düşünülebilir. Bu doğrultuda, bu çalışmanın amacı temel olarak üç ana unsura dayanmaktadır: 1) yöntem olarak ülke çapında sadece tek bir havalimanı değil kümeleme yapılarak bölgesel hizmet verecek havalimanlarının tespit edilmesi gerektiği, 2) önceki çalışmada İstanbul Havalimanı henüz hizmete girmemişken, bu çalışmada değerlendirmeye alınması, 3) yeni durumun daha güncel verilerle birlikte daha güncel optimizasyon yöntemiyle çözümlenmesi gerektiği düşünülerek analizler yapılacaktır.

Açıklamak gerekirse, birincisi, [Demir \(2018a\)](#) çalışmasında olduğu gibi ülke çapında bir adet havalimanının acil durumlarda hizmet için atanması ile birlikte, kendisine göreceli olarak uzakta bulunan bir havalimanına hizmet sağlaması epey zaman alabilecektir. Dolayısıyla bölgesel olarak hizmet vermek, bahse konu hizmet ulaştırmada zaman kaybını daha aza indirebileceğinden ve söz konusu ulaştırma zamanını kısaltmak olduğundan dolayı, bölgesel hizmet sağlayabilecek havalimanlarının tespitinin de önem büyüktür. İkinci olarak, hatırlandığı üzere 2019'un Nisan ayında Atatürk Havalimanı'ndan İstanbul Havalimanı'na geçiş yapılarak, İstanbul Havalimanı'nın tam bir şekilde çalışmaya başlaması sağlanmıştı. Kısacası, Türkiye'nin en meşgul havalimanının lokasyonu değişmiş oldu ve kapasitesi daha yüksek olan bir havalimanı kullanılmaya başlandı. Bu yeni durumda sadece İstanbul ili bazında havalimanını kullanıcı sayısı değişmemiş, aynı zamanda da ülkesel boyutta acil durumlarda yardım sağlayabilecek havalimanlarının lokasyon analizi gözden geçirilmesinin önü açılmıştır. Son olarak, ülke ve dünya ulaşımına katkı sağlayacak büyük bir havalimanının kullanılmaya başlanması yanında güncel havalimanı uçak trafiği verileri de toplanmaya başlanmıştır. Uçak trafiği verileri bir havalimanının ne kadar kullanımda olduğunu göstererek analiz içindeki önem katsayısını, bir başka deyişle önem ağırlığını belirtmektedir. Bununla birlikte, ülkemizdeki üniversitelerde geliştirilen optimizasyon modelleri ise akademide ve sektörde kullanıma sunulmuştur. Bu çalışmanın analizinde güncel verilerle birlikte, güncel optimizasyon olanaklarının kullanılması, acil durumlarda ihtiyaç temininin veya ulaşımının daha süratli yapılması yanında güncel resmi göz önüne sererek hem bölgesel hem de ülkesel kalkınmaya katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu metnin devamı şöyle planlanmıştır. İkinci bölümde verilerin toplanması ve özellikleri ile birlikte kullanılacak olan yöntemler tanıtılmıştır. Metnin üçüncü bölümünde, yapılan analizler doğrultusunda karşıma çıkan bulgular sunulmuştur. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar çerçevesinde tartışma yapıp genel bir değerlendirme öne sürülmüştür.

2. Veri ve Yöntem

Bu bölümde veriler iki ana başlık altında incelenecektir. İlki coğrafi verilerin aktarılması ve ikincisi ulaşım verilerinin aktarılmasıdır. Daha sonra bu başlıklar altında ve sunulan veriler doğrultusunda, bu çalışmada kullanılacak olan işlemler ve yöntemler açıklanmıştır.

2.1. Coğrafi Verilerin Aktarılması

Havalimanlarının lokasyon bilgileri bu çalışmanın analizinde büyük bir öneme sahiptir. Konumları bilinen havalimanları arasında bulunan uzaklıklar optimizasyon yönteminde kullanılacak olan ana değişkenler arasındadır. Bu doğrultuda ülkemizde sivil havacılıkta kullanılan toplam elli altı havalimanının coğrafi koordinat bilgileri araştırılmıştır. Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) internet sitesi ülkemizin havalimanları hakkında havalimanlarının birçok bilgiyi paylaşmaktadır. Türkiye'deki bütün sivil havacılığa hizmet veren havalimanlarının derece, dakika, saniye cinsinden konum bilgilerini sunmaktadır ([DHMİ 2020](#)). Bazı havalimanlarının konum bilgileri, mesela Aydın Çıldır Havalimanı ve Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı gibi, için internet arama motoru Google® kullanılmıştır. Tespit edilen havalimanı coğrafi konumları, küresel bir coğrafi konumlandırma sistemi olan enlem ve boylam cinsinden meydana gelmiştir. Ancak, bu makalede kullanılacak olan eniyileme yöntemi düzleme dayalı bir sistemde işlem yapacağından dolayı bir düzlem koordinat sistemi oluşturulması zorunluluk haline gelmiştir. Bundan dolayı, tüm havalimanlarının koordinatları yatay bir düzleme aktarılması amacıyla projeksiyon veya izdüşümü değişikliğine gidilerek, haritaların düzleme dayalı olanlarında dünya çapında genellikle kullanılabilen Mercator projeksiyonu optimizasyon işlemlerinde kullanılmak üzere tercih edilmiştir. Gezegenimizin üstlerden basık ve yanlardan şişkin geoit adı verilen özel şekli nedeniyle, küresel konumlandırmalarda tespit edilen enlem ve boylam koordinatlarını Mercator projeksiyonunda geometrik olarak konumlandırmak tam anlamıyla mümkün olmasa da; [Snyder \(1987\)](#), [Demir \(2018b\)](#), [Demir ve Kockal \(2019\)](#)

çalışmalarında bulunan ve halen kullanımda olan aşağıdaki (1) ve (2) numaralı denklemler vasıtasıyla işlemlerimizi ilerletmemiz olanak dahilindedir.

$$x = \pi R(\Phi^\circ - \Phi_0^\circ)/180^\circ \quad (1)$$

$$y = R \ln \tan(45^\circ + \lambda^\circ/2) \quad (2)$$

burada;

x : Dikdörtgenel düzlem sisteminde yatay doğrultudaki konum,
 y : Dikdörtgenel düzlem sisteminde düşey doğrultudaki konum,
 R : Çizilen harita ölçeğine göre kürenin yarıçapı,
 Φ° : Enlem değeri, derece cinsinden,
 Φ_0° : Sıfır enlem değeri (ekvator), derece cinsinden
 λ° : Boylam değeri, derece cinsinden olarak belirlenmiştir.

(1) ve (2) numaralı bağıntılar ve eşitliklerle birlikte verilen değişkenler doğrultusunda dikdörtgen biçimi olan x ve y koordinatları oluşturulmuştur. Bütün havalimanlarının coğrafi konum verileri bu denklemlere göre düzlem koordinat sistemine çevrilmiş ve analize hazır hale getirilmiştir.

2.2. Ulaşım Verilerinin Aktarılması

Trafik verileri bu çalışmanın en önemli unsurlarındandır. Havalimanlarını kullanan tüm uçak sayı verileri düzenli bir şekilde aylık olarak toplayan ve araştırmalara sunan DHMİ internet sitesi sayesinde trafik verilerine ulaşılmıştır (DHMİ 2020). Çalışmanın giriş kısmında da belirtildiği gibi güncellenen trafik verileri sayesinde en güncel ve en uygun lokasyonların belirlenmesinin daha sağlıklı olması düşünülmektedir. İstanbul Havalimanı'nın tam olarak hizmet verme zamanından, bir başka deyişle 2019 yılının Mayıs ayından, İçişleri Bakanlığı'nın yeni tip koronavirüs (COVID-19) salgını karşısında aldığı tedbirlere kadar olan süre incelenmeye alınmıştır. Kısacası, 2019 yılının Mayıs ayından 2020 yılının Şubat ayına kadar olan on aylık süre değerlendirme kapsamındadır. Bu on aylık sürede değerlendirme kapsamındaki elli altı havalimanında verilen hizmetlerin normal şartlar altında yapıldığı varsayılarak bu süredeki trafik verileri analizlere dahil edilmiştir. Trafik verileri, Visual Basic ve Matlab gibi çeşitli analiz programlarında girdi olarak kullanılabilmesi için çeşitli depolama formatı versiyonlarıyla kaydedilmiştir.

Trafik verileriyle ilgili bu çalışmada önemli olan başka bir özellik ise, havalimanını kullanan tüm uçak sayısı aynı zamanda o havalimanının önemini veya çekiciliğini, diğer bir deyişle önem katsayısını veya önem ağırlığını temsil etmesidir. Her bir aylık uçak sayısı, spesifik bir havalimanının ağırlık katsayısına katkı sağlamaktadır. Belli bir havalimanı için toplamda on aylık olan trafik verileri birbirleriyle toplanarak, o havalimanının kendine özgü ağırlık katsayısını oluşturmaktadır. Böylelikle optimizasyonda kullanılacak olan ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Örnek olarak Tablo 1'de gösterilen bazı havalimanları ve 2019 yılı Mayıs ayı ile 2020 yılı Şubat ayı arasında kalan on aylık süreye dair toplamda on adet havalimanının uçak trafiği verilerini gösterilmektedir. Tablo 1'in son sütununda ise optimizasyon yönteminde kullanılacak olan havalimanlarının ağırlık katsayılarını belirleyen toplam on aylık trafik verileri, örnek on havalimanı için, sunulmuştur.

Tablo 1: On adet havalimanının aylık uçak trafiği verileri (DHMİ 2020)

Havalimanı	Veri Dönemi										On aylık toplam
	05/19	06/19	07/19	08/19	09/19	10/19	11/19	12/19	01/20	02/20	
İstanbul H.	65.666	103.667	143.471	184.106	222.435	260.382	295.163	329.799	35.089	66.649	1.706.427
İst. Atatürk H.	118.241	120.836	123.741	126.694	130.229	132.946	135.637	138.239	2.492	4.769	1.033.824
S. Gökçen H.	91.971	112.715	134.210	156.106	176.787	197.228	216.124	235.072	18.942	36.576	1.375.731
Esenboğa H.	42.533	50.780	59.578	68.292	76.417	84.564	92.134	99.216	7.537	14.579	595.630
Adnan M. H.	31.380	38.979	47.456	56.220	63.918	71.206	77.271	83.192	6.114	11.836	487.572
Antalya H.	57.182	84.006	113.645	144.039	170.694	194.589	204.646	211.936	7.740	14.731	1.203.208
Dalaman H.	11.382	17.243	23.680	30.277	35.831	39.568	41.223	42.521	1.532	2.897	246.154
Bodrum H.	7.111	12.273	18.596	25.198	29.845	32.626	33.959	34.974	1.001	1.909	197.492
Adana H.	16.768	20.222	23.764	27.233	30.677	34.141	37.603	40.680	3.320	6.435	240.843
Trabzon H.	9.101	11.876	14.971	18.120	20.470	22.393	24.165	25.930	1.769	3.275	152.070

2.2.1. Kümeleme İşlemi

Coğrafi verilerin aktarılmasının ardından trafik verileri de hesaplama dahil edilmiştir. Bu çalışmanın amaçlarından bir tanesi de ülke çapına servis verecek sadece bir adet lokasyon bulmak yerine, ilgili ağ noktalarını bir takım kriterlere göre kümeleyerek her kümeye hizmet verecek birer lokasyon tespit etmektir. Bu işlem amacıyla, ülkedeki elli beş havalimanına kümeleme işlemi uygulanmıştır. Her bir havalimanının coğrafi konumları belli olduğundan dolayı ve her bir coğrafi koordinatın dikdörtgen biçimi olan x ve y koordinatlarına dönüştürülmesinin ardından, güncel bir çalışmadaki kümeleme yöntemi kullanıma uygun hale gelmiştir (Marcon 2020). Bunun doğrultusunda çalışmamızda, x ve y koordinatları içeren bir veri takımını mesafe tabanlı kümeleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem birtakım veri girdileri gerektirmektedir. Veri girdilerinden birincisi, x ve y koordinatlarını içeren verilerdir. Bunlar coğrafi lokasyonları temsil etmektedir. Çalışmamızda da tüm havalimanlarının coğrafi konumları, x ve y cinsinden girdiler şeklinde formül (1) ve (2) kullanılarak tespit edilmiştir. Kümeleme işlemimizdeki girdilerden ikincisi, kümeleme sırasındaki ağ noktaları arasındaki maksimum mesafe, bir başka deyişle eşik değeridir. Çalışmamızda bu mesafe 100 birim olarak girilmiştir. Bunun başlıca nedenleri şöyle açıklanabilir: Acil bir durumda hızlı ve etkili bir müdahale için gereken mesafenin -bir küme içerisindeki iki ağ noktası arası- çok uzun olmaması gerektiği düşünülmektedir. Aynı zamanda, ülke çapında çok fazla küme oluşmasını önlemek açısından eşik değerinin çok kısa bir mesafe olmaması gerektiği değerlendirilmektedir. Eşik değerinin çok kısa olduğu bir durum farz edelim. Bu durumda, ülke çapında çok sayıda küme oluşacak ve servis sağlayan havalimanı adedi artacağından maliyetler yükselecektir. Eşik değerinin göreceli kısa veya uzun olmasının etkileri gelecekte yapılması planlanan ayrı bir çalışmada değerlendirilecektir. Veri girdilerinden üçüncüsü, küme başına düşen minimum ağ noktası sayısıdır. Çalışmamızda, her kümede en az iki havalimanı olması öngörülmüştür. Bunun ana sebeplerinden bir tanesi, eğer küme içerisinde sadece bir tane havalimanı olursa sadece kendi bölgesine servis sağlayacağı anlamına gelmesidir. Maliyetleri azaltma doğrultusunda, ideal havalimanı olarak tavsiye edilen havalimanının sadece kendi bölgesine değil, diğer havalimanlarının da bulunduğu alanlara servis sağlaması adına küme içerisinde -ideal havalimanı dahil- en az iki havalimanı bulunması önerilmektedir. Kümeleme fonksiyonunda kullanılan girdilerden dördüncüsü ise metottur. Metot, varolan bir kümeye nokta eklerken mesafe hesaplama yöntemini belirler ve fonksiyonda birkaç şekilde kullanılabilir. Bunlardan bir tanesi 'point' yöntemidir ki eğer bir nokta küme içindeki herhangi bir noktaya eşik değeri kadar veya daha az uzaklıktaysa o nokta kümeye dahil edilir. Yapılan çalışmamızda, 'point' metodu kullanılarak küme içerisinde kalan ağ noktaları tespit edilmiştir. Bu metodun kullanılmasının nedeni şudur. Çalışmamızda toplam ağ noktası sayısı -yani toplam havalimanları- ve bunların lokasyonları sabittir. Ağımıza ağ noktaları eklenmesi -haricî havalimanları kurulması- maliyetleri çok fazla yükselteceğinden dolayı, ağımıza ek noktalar yerleştirmeden kümelemeyi gerçekleştiren 'point' metodu uygulamaya konmuştur. Özetlemek gerekirse bu kümeleme işleminde x ve y koordinatlarında ifade edilen bir dizi coğrafi noktalar değerlendirmeye alınarak, ağ noktaları arasındaki mesafeler ve fonksiyondaki eşik değerine göre, önceden küme sayısının bilinmesi gerekmez, kümeler meydana getirilmektedir.

2.2.2. Problem ve Ağaç Tohum Algoritması Yöntemi

Bu çalışmadaki amaç yöntem genel olarak şu şekilde değerlendirilebilir: En uygun (X, Y) koordinatlarını $m(X, Y)$ değerini en az hale getirecek şekilde, $X < x_k$, $X > x_g$, $Y < y_d$, $Y > y_b$ şartlarını sağlayacak şekilde bul. Daha açık şekilde yansıtmak gerekirse aşağıdaki gibi amacımız gösterilebilir.

$$\text{Minimize } m(X, Y) = \sum_{i=1}^{n_h} a_i \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2} \quad (3)$$

burada;

- m : mesafe değerini,
- i : havalimanı indeksini,
- n_h : havalimanı sayısını,
- x_i : her bir havalimanının x koordinatını,
- y_i : her bir havalimanının y koordinatını,
- X : aday havalimanının x koordinatını,
- Y : aday havalimanının y koordinatını,
- a_i : havalimanı ağırlığını,
- x_k : en kuzeyde bulunan havalimanının x koordinatını,
- x_g : en güneyde bulunan havalimanının x koordinatını,
- y_d : en doğuda bulunan havalimanının y koordinatını,
- y_b : ise en batıda bulunan havalimanının y koordinatını temsil etmektedir.

Bu çalışmada sonuçları değerlendirmek için metasezgisel (üstsezgisel yöntemlerle yapılabilen) bir teknik olan ağaç tohum (AT) algoritması yöntemi dikkate alınmıştır. Bunun temel sebebi ise Tablo 2’de görüldüğü üzere, amacımızın açıklandığı bağıntı (3)’teki problemin AT yönteminin çalışma prensibine uyarlanmasıdır. Problemimizdeki aday havalımanı aynı zamanda AT yönteminin aday çözümü olmakla birlikte, AT yöntemindeki ağaç tohumun konumu havalımanı konumunu yansıtmaktadır (Tablo 2). Aynı zamanda, aday havalımanı yerleşiminin koordinatları ağaç tohum konumlarının koordinatlarıdır ve bunlar tasarım değişkenleridir. AT yönteminin performansı ise problemimizin amacı olan m değerini bulmaktır.

Tablo 2: Çalışmadaki problemin AT yöntemine uyarlanması

Problemdeki konu	AT yönteminde temsil edilen
Aday havalımanı	AT yönteminin aday çözümü
Havalımanı konumu	Ağaç tohumun konumu
Aday havalımanı yerleşiminin koordinatları (X, Y)	Ağaç tohum konumlarının koordinatları (tasarım değişkenleri)
m değeri	AT yönteminin performansı (amaç)

Temel olarak, AT yönteminin çalışma prensibi kısaca şuna dayanmaktadır. Doğadaki ağaçlar tohumlarını dağıtarak bir bölgede üreme veya bir bölgede yayılma eğilimindedir. Bir takım stokastik (olasılıksal) doğa olayları yardımıyla tohumlar, oluştukları ana ağaçlardan daha başka ve geniş bölgelere taşınır. Böylece tohumlar kilometrelerce uzağa iletebilir. Ancak, yolculukları tamamlanan tohumların hepsi çimlenmeye veya büyümeye başlayamaz. Sadece, ideal koşullara sahip olanlar çimlenebilir. İşte AT algoritması bu tür doğa olaylarından esinlenmiştir (Kiran 2015). Birçok mühendislik problemini çözmek için AT yöntemi ve varyasyonları kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Aydoğdu 2017; Yıldırım ve Aydoğdu 2017; Uzun vd. 2019). Belirli parametrelerle modeller düzenlenmiş, optimizasyon teknikleri için kontrol şemaları oluşturulmuştur (Zheng vd. 2016; Chen vd. 2017; Chen vd. 2018; Zhou vd. 2018; Chen vd. 2019). Ek olarak, Muneeswaran ve Rajasekaran (2018) ağ segmentasyonunda bir işlevi ayarlamak için AT yöntemini çalıştırırken, El-Fergany ve Hasanien (2018) AT yöntemini uygulayarak enerji ağı sistemlerindeki optimum elektrik akışını çözmüşlerdir.

Algoritmada ağaç, çözüm vektörü olarak tanımlanırken, tohum aday çözüm olarak adlandırılır. Buna ek olarak, konum ifadesi de tasarım değişkeni olarak tanımlanır. Ayrıca bu yöntem, tohumların stokastik yayılma oranını düzenleyen bir parametre olarak tanımlanan arama eğilimi (ae) parametresini içermeye özelliğine de sahiptir. AT yönteminin temel adımları şöyle sunulabilir.

Adım-1 algoritmanın başlatılmasıdır. Başlangıç olarak, arama parametreleri ve problem parametreleri başlatma sırasında ana hatlarıyla belirtilir. N_{say} ağaç sayısı olarak tanımlanırken, toh_{min} ve toh_{maks} bir ağaçtaki minimum ve maksimum tohum sayıları olarak atanır. Ayrıca, I_{maks} maksimum iterasyon veya hesap yineleme sayısı olarak belirtilir.

$$X_{i,j} = yuvarla(1 + N_{ist} \cdot ras(0,1)) \quad (4)$$

Daha sonra, denklem (4)’ün uygulaması $i = 1, 2, \dots, N_{say}$ ve $j = 1, 2, \dots, N_{ist}$ eşitliklerini sağlayacak şekilde başlangıçtaki çözümler gelişigüzel üretilir. Daha sonra algoritma belleği, değerlendirmelerin bulgularını ve sonuçların uygunluk değerlerini hafızada tutar. Denklem (4)’te X , çözümler tarafından sağlanan tasarım değişkeni değerlerini içeren algoritmanın belleğindeki matrisi temsil eder. $ras(0,1)$, 0 ve 1 aralığında rastgele gerçek sayı üreten bir matematiksel işleve karşılık gelir. Ek olarak $yuvarla$, $i = 1, 2, \dots, N_{say}$ denklemde en yakın tamsayı değerine atanan gerçek değeri yuvarlayan başka bir işlevdir. N_{ist} , ağdaki en uygun çözüm için düşünülen istasyon sayısını temsil eder.

Adım-2, tohumlarla yapılan bir araştırmadır ve problemin aday çözümleri tohumların olduğu varsayılır. Tohumlar, birer çözüm havuzu olarak her ağaçta gelişirler. Ağaçtaki tohum sayısı (N_{toh}), toh_{min} ve toh_{maks} arasındadır. Buna göre, tohumların veya aday çözümlerin ortaya çıkardığı değerler aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_{k,j} = X_{i,j} + ras(-1,1) \cdot (X_{eni,yi,j} - X_{r,j}) \quad (5)$$

$$T_{i,j} = X_{i,j} + ras(-1,1) \cdot (X_{i,j} - X_{r,j}) \quad (6)$$

Eğer $ras < ae$ ise denklem (5) uygulanmaktadır. Bunun yanında eğer $ras \geq ae$ ise denklem (6) uygulanmaktadır. Öyle ki, aşağıda (7), (8) ve (9) bağıntıları her iki (5) ve (6) denklemleri için göz önüne alınır.

$$i, r \in 1, 2, \dots, N_{say}, i \neq r \quad (7)$$

$$k = 1, 2, \dots, N_{toh} \quad (8)$$

$$j = 1, 2, \dots, N_{ist} \quad (9)$$

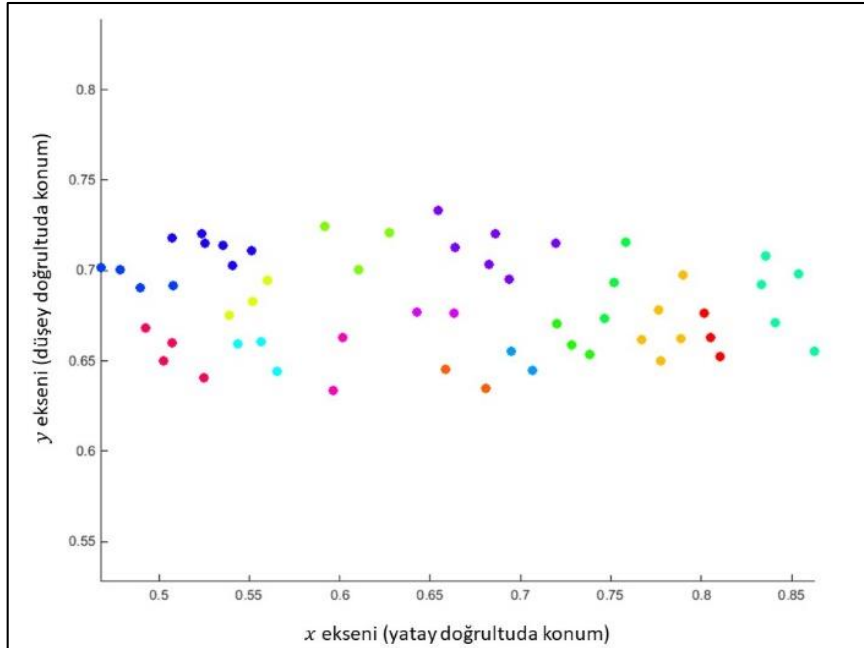
Yukarıdaki denklem ve bağıntılarda, i seçilen mevcut ağacın endeksi iken, r ise rastgele seçilen ağacın endeksidir. T de i 'nci ağacın tohum matrisidir. Bunlara göre, X_{eniye} çözüm havuzunda bulunan en iyi çözümü temsil eder.

Algoritmadaki Adım-3 ise tohumların büyümesi ile ilgilidir. Bu aşamada, ağaçlar tarafından üretilen tohumlar ekime uygunluk açısından analiz edilir (bir diğer tabirle çimlenme için uygun olup olmadıkları değerlendirilir). Daha sonra en iyi tohumlar, bulunan ideal koşullar beraberinde ana ağaçlarının yerini alır. Adım-2 ve Adım-3 arasındaki bu değerlendirmeler, toplam değerlendirme sayısı I_{maks} değerine gelene kadar AT tarafından işlenir.

Ulaşım verileri AT yöntemi sayesinde ağırlık katsayıları da değerlendirmeye katılarak kümeleme işlemi yapıldıktan sonra bulgular elde edilmiştir. Bu bulgular sıradaki bölümde açıklanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Veri toplamaları, veri aktarmaları sonrasında yapılan kümeleme işlemi, Intel® Core™ i5-2410M CPU @ 2.30GHz işlemcili, 6GB yüklü belleği olan, 64 bit işletim sistemi bulunduran bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Kümeleme sonucunda toplam on altı küme otomatik olarak oluşarak Şekil 1 elde edilmiştir ve farklı renkler ayrı kümeleri temsil etmektedir. Her bir havalimanının yalnız bir kümeye dahil edilmesi sağlanmıştır. Böylece hiçbir havalimanı kümesiz bırakılmamıştır. Şekil 1'de görüldüğü üzere aralarındaki ulaşım mesafeleri bakımından birbirine yakın olan havalimanları otomatik olarak gruplandırılarak kümeleme işlemi tamamlanmıştır. En çok sayıda elemanı olan küme altı havalimanını kapsıyorken, en az eleman sayılı küme iki havalimanını kapsamaktadır. Tablo 3'te altı, beş ve dört elemanlı toplam altı küme örnek olarak listelenmiştir. Tablo 3'te görüldüğü üzere, Sinop, Amasya Merzifon, Samsun Çarşamba, Tokat, Sivas Nuri Demirağ, Ordu-Giresun havalimanları aynı kümede yer alarak diğer kümelerden ayrılmışlardır.



Şekil 1: Kümeleme işleminde elde edilen kümeler (Not: Her küme ayrı renk ile belirtilmiştir.)

Tablo 3: Altı, beş ve dört elemanlı havalimanı kümeleri

Küme adı	Havalimanları
a	Sinop, Amasya Merzifon, Samsun Çarşamba, Tokat, Sivas Nuri Demirağ, Ordu-Giresun
b	Tekirdağ Çorlu, İstanbul, İstanbul Atatürk, Sabiha Gökçen, Kocaeli Cengiz Topel, Bursa Yenişehir
c	Erzurum, Bingöl, Diyarbakır, Mardin, Batman
ç	Kars Harakani, Iğdır Şehit Bülent Aydın, Ağrı Ahmed-i Hani, Van Ferit Melen, Hakkari Selahaddin Eyyubi
d	Balıkesir Merkez, Balıkesir Koca Seyit, Çanakkale, Çanakkale Gökçeada
e	İzmir Adnan Menderes, Aydın Çıldır, Muğla Dalaman, Muğla Milas-Bodrum

Ulaşım verileri ve ulaşım ağı noktalarının ağırlık katsayılarına dayanarak yapılan optimizasyon işlemi AT algoritması yöntemi ile hesaplanmıştır. Algoritmanın yansıtıldığı kodlama bilgisayar vasıtasıyla çalıştırılarak Tablo 3'teki "Optimum Lokasyon" başlığı altındaki değerler elde edilmiştir. Bahse konu değerler, optimum lokasyonların enlem ve boylam ölçülerini derece cinsinden yansıtmaktadır. Tablo 4'te gösterilen optimum lokasyon değerlerine göre yapılan incelemede, optimum lokasyonların birçoğunda halihazırda bir havalimanı olsa dahi bazılarında herhangi bir havayolu tesisi veya havalimanı bulunmadığı saptanmıştır. Bunun doğrultusunda, Tablo 4'teki optimum lokasyon koordinatlarına ulaşım mesafesi veya fiziksel mesafe açısından en yakın havalimanlarının kendi içindeki kümelerdeki havalimanlarına bahse konu acil durumlarda servis sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Eldeki trafik verilerine ve coğrafi konum verilere dayanarak, yapılan tüm bu çalışmalar doğrultusunda, her kümenin acil durumlar kapsamında gerekli donanım ve personelini konumlandırması yönünde tavsiye edilen ideal havalimanlarının listesi Tablo 4'ün son sütununda "ideal havalimanları" başlığı altında sunulmuştur. Ayrıca, Şekil 2'deki haritada da acil durumlarda servis sağlama tavsiye edilen havalimanlarının görsel olarak coğrafi konumları ve kümeleri gösterilmiştir. Tablo 4'te yer alan ideal havalimanları, Şekil 2 'de etrafı kırmızı daire ile çevrilmiş halde görsel olarak yansıtılmıştır.

Tablo 4: Analizler sonucunda bulunan optimum lokasyonlar ve kendi kümesine servis sağlama önerilen ideal havalimanları

Küme adı	Optimum Lokasyon		İdeal Havalimanı
	Enlem değeri (Φ°)	Boylam değeri (λ°)	
a	41,2655663	36,5485901	Samsun Çarşamba H.
b	40,9761080	28,8138838	İstanbul Atatürk H.
c	37,9269985	40,2295297	Diyarbakır H.
ç	38,4686155	43,3308264	Van Ferit Melen H.
d	39,5524798	27,0102927	Balıkesir Koca Seyit H.
e	38,2891652	27,1550175	İzmir A. Menderes H.
f	39,2550001	30,0778154	Zafer H.
g	36,9002582	30,7927813	Antalya H.
ğ	40,1280732	32,9949761	Ankara Esenboğa H.
h	37,7769982	38,5008817	Adıyaman H.
ı	40,9958178	39,7852708	Trabzon H.
i	37,3644113	42,0598282	Şırnak Ş. Elçi H.
j	36,2991682	32,3013944	Gazipaşa Alanya H.
k	36,9822484	35,2802963	Adana Şakirpaşa H.
l	38,7702778	35,4952576	Kayseri H.
m	36,9477564	37,4788980	Gaziantep H.



Şekil 2: Havalimanı kümeleri ve AT algoritmasına göre kendi kümesine servis sağlayan havalimanları (Not: Her küme ayrı renk ile belirtilmiştir ve Google Maps ile haritalandırılmıştır)

4. Sonuç

Bu çalışmanın temelleri ve benzer araştırmalardan farkı üç ana unsura dayanmaktadır. Birincisi, yöntem olarak ülke çapında sadece tek bir havalimanının acil durumlarda diğer tüm havalimanlarına hizmet sunması değil; kümeleme yapılarak bölgesel servis sağlayacak havalimanlarının tespit edilmesi çok büyük önem teşkil etmektedir. Zira acil durumlarda ivedilikle müdahale edilmesiyle can kaybının azaltılması ve maliyetlerin düşürülmesi elzemdir. İkincisi, bu kapsamda yapılan önceki analizde İstanbul Havalimanı henüz hizmete girmediği için bu çalışmada değerlendirmeye alınmıştır. Üçüncüsü, İstanbul Havalimanı'nın havayolları ulaşım ağına dahil olmasıyla birlikte yeni durumun daha güncel veriler kullanılarak daha güncel optimizasyon yöntemiyle analiz edilmesi gerektiği düşünülerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Trafik verileri ile birlikte ülkemizde kullanımda olan havalimanları arasındaki mesafeler bu çalışmadaki analizlerde önemli bir yere sahiptir. Trafik verilerine dayanarak oluşturulan havalimanlarının ağırlık katsayıları bu araştırmanın çıktılarını büyük ölçüde etkilemiştir. Eğer bu çalışmada, kümeleme yapıldıktan sonra küme elemanlarının sadece ağırlık merkezi bulunsaydı, araştırmanın sonuçları bulunanlardan çok farklı olmakla kalmayıp yoğun hava trafiği bulunan havalimanlarının spesifik önemi göz ardı edilmiş olacaktı. Havalimanlarının ağırlık katsayıları değerlendirmeye alındığı için analizler gerçeğe hayatta uygulanması en ideal sonuçları vermiştir.

Trafik verileri ve bunların ulaşım karakterleri ile birlikte coğrafi konumlar kullanılarak, bu çalışmada bulunan ve Tablo 4'te sunulan optimum lokasyon değerleri göz önüne alındığında, bu koordinatların bazılarında havalimanı tesisi bulunsun dahi diğerlerinde halihazırda birer havalimanı tesisi bulunmamaktadır. Bundan dolayı, bu koordinatlara ulaşım mesafesi veya fiziksel mesafe açısından en yakın havalimanları analitik geometri kullanılarak iki nokta arasındaki en kısa mesafe bulma tekniği ile tespit edilmiştir. Böylece, optimum lokasyonlara en yakın havalimanlarının kendi kümeleri içindeki havalimanlarına acil durumlarda hizmet verebileceği değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, toplanan trafik verilerine ve konum veri göz önünde tutularak yapılan analizler sonucunda, her kümenin acil durumlarda müdahale için ihtiyaç duyabileceği donanım ve personeli konumlandırması yönünde ideal havalimanları önerilmiştir. Yardım tesislerinin oluşturulabileceği tavsiye edilen bu havalimanları, herhangi bir doğal afet ve kaza gibi felaketler sırasında veya sonrasında can kaybını en aza indirmeye yönelik olduğu değerlendirilmektedir. Bu çalışma neticesinde ve araştırmanın önerileri doğrultusunda, herhangi bir acil durumda gerekli olan ve havayolu ile sağlanabilecek hizmetler vasıtasıyla zaman ve gider kaybının azaltılması gibi hedefler gözetilirken daha da önemlisi can kaybının minimum seviyeye indirilmesi konusunda ilerleme kaydedilmesi beklenmektedir.

Tahmin edileceği gibi kümeleme sırasındaki girdi değerleri oluşacak küme sayısını etkileyebilir. Bunun doğrultusunda da optimum lokasyonlar yer değiştirebilir. Gelecekte yapılması öngörülen ayrı bir çalışmada, kümeleme sırasındaki ağ noktaları arasındaki maksimum mesafenin, yani eşik değerinin, göreceli kısa veya uzun olmasının hassas etkileri değerlendirilecektir. Planlanan çalışmada küme başına düşen minimum ağ noktası sayısı da çeşitli şekillerde atanarak optimum lokasyonların durumları gözlemlenebilecektir. Ayrıca, karayolu ulaşım mesafeleri ve ulaşım sürelerine göre kontrol edilebilir bir havalimanı ağı bir başka çalışmada incelenecektir.

Teşekkür

Akademik analiz amacıyla işlenen trafik verilerini internet adresinden erişime açık bulunduran Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Aydoğdu İ., (2017), *Comparison of metaheuristics on multi objective (cost&CO₂) optimization of RC cantilever retaining walls*, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 23(3), 221-231.
- Chen F., Ye Z., Wang C., Yan L., Wang R., (2018), *A feature selection approach for network intrusion detection based on tree-seed algorithm and K-nearest neighbor*, In 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS), ss.68-72.
- Chen W., Cai M., Tan X., Wei B., (2019), *Parameter identification and state-of-charge estimation for li-ion batteries using an improved tree seed algorithm*, IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, 102(8), 1489-1497.
- Chen W.J., Tan X.J., Cai M., (2017), *Parameter identification of equivalent circuit models for Li-ion batteries based on tree seeds algorithm*, IOP conference series: earth and environmental science, 73(1), 012024, doi: 10.1088/1755-1315/73/1/012024.
- Demir E., (2018a), *Havalimanlarında kalkış öncesi, acil durumlarda, yardım alınabilecek en uygun lokasyonun Weber problemine uyarlanarak belirlenmesi*, Türk Coğrafya Dergisi, 70, 81-85.
- Demir E., (2018b), *Approach for siting a support facility for transporting supplies in emergency cases in the Republic of Bulgaria*, MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, 234, 06001, doi: 10.1051/mateconf/201823406001.
- Demir E., Kockal N.U., (2019), *Iterative methodology on locating a cement plant*, Journal of Inequalities and Applications, 2019(1), 1-8.
- DHMI, (2020), *Havalimanları karşılaştırmalı istatistikleri*, <https://www.dhmi.gov.tr/sayfalar/istatistik.aspx>, [Erişim 18 Nisan 2020].
- 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.
- El-Fergany A.A., Hasanien H.M., (2018), *Tree-seed algorithm for solving optimal power flow problem in large-scale power systems incorporating validations and comparisons*, Applied Soft Computing, 64, 307-316.
- Günaydın M., Tatlı Ö., Genç E.E., (2017), *Arama kurtarma örgütleri ve ulusal medikal kurtarma ekipleri (UMKE)*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3(1), 56-63.
- Kiran M.S., (2015), *TSA: Tree-seed algorithm for continuous optimization*, Expert Systems with Applications, 42(19), 6686-6698.
- Macit İ., (2019), *Bütünleşik afet yönetiminde Sendai çerçeve eylem planının beklenen etkisi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1), 175-186.
- Marcon Y., (2020), *Distance-based clustering of a set of XY coordinates*, MATLAB Central File Exchange, <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/56150-distance-based-clustering-of-a-set-of-xy-coordinates>, [Erişim 28 Nisan 2020].
- Muneeswaran V., Rajasekaran M.P., (2018), *Gallbladder shape estimation using tree-seed optimization tuned radial basis function network for assessment of acute cholecystitis*, Intelligent Engineering Informatics'in İçinde, (Bhateja V., Coello Coello C., Satapathy S., Pattnaik P., Ed.), Springer, Singapore, ss.229-239.
- Uslu S., Dönmez K., (2017), *Hava trafik kontrol kaynaklı uçak kazalarının incelenmesi*, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9(18), 271-287.
- Usta G., Torpuş K., Küçük U., (2017), *Afetlerde START triaj skalası*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3(2), 70-76.
- Uzun B., Cıvlek O., Aydoğdu İ., (2019), *Optimum design of nano-scaled beam using the social spider optimization (SSO) algorithm*, Journal of Applied and Computational Mechanics, doi: 10.22055/jacm.2019.31406.1870.
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM), (2020), *2019 yılı faaliyet raporu*. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. <http://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/4006-faaliyet-raporlarimiz>, [Erişim 15 Nisan 2020].
- Snyder J.P., (1987), *Map Projections - A Working Manual*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1395, United States Government Printing Office, Washington.
- Yıldırım C., Aydoğdu İ., (2017), *Artificial bee colony algorithm for thermohydraulic optimization of flat plate solar air heaters*, Journal of Mechanical Science and Technology, 31(7), 3593-3602.
- Zheng Y., Zhou J., Zhu W., Zhang C., Li C. Fu W., (2016), *Design of a multi-mode intelligent model predictive control strategy for hydroelectric generating unit*, Neurocomputing, 207, 287-299.
- Zhou J., Zheng Y., Xu Y., Liu H., Chen D., (2018), *A heuristic TS fuzzy model for the pumped-storage generator-motor using variable-length tree-seed algorithm-based competitive agglomeration*, Energies, 11(4), 944, doi: 10.3390/en11040944.

Taşkın Farkındalık ve Erken Uyarı Sistemleri Değerlendirmesi: Trabzon Beşikdüzü Örneği

Tuğçe Anılan^{1*}, Hilal Durmuş², Emre Akçali³, Ömer Yüksek¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon.

²Trabzon Hilal Yapı Denetim Limited Şirketi, 61040, Trabzon.

³Devlet Su İşleri, 22. Bölge Müdürlüğü, 61220, Trabzon.

Özet

Bu çalışmada 21 Eylül 2016 tarihinde Trabzon'un Beşikdüzü İlçesinde meydana gelen ve büyük miktarda can ve mal kaybıyla sonuçlanan taşkın, hidrolojik ve sosyal yönden incelenmiştir. Bu amaçla, ilk olarak yaşanan taşkın kaç yıl tekrür süreli taşkın debisine karşılık geldiğini belirlemek için bölgesel taşkın frekans analizi ile $T=2, 5, 10, 25, 50, 100, 500$ ve 1000 yıl tekrür süreli taşkın debileri hesaplanmıştır. İkinci olarak; taşkın riski farkındalığı ve erken uyarı sistemindeki ihtiyaçları belirlemek adına taşkın olayını yaşayan bölge halkıyla anket yapılmıştır. Genel farkındalık kapsamında halkın; taşkın öncesinde, taşkın sırasında veya sonrasında sunulan önlemlerden, stratejilerden ve uygulanan politikalardan ne kadar haberdar olduğu ölçülmüştür. Erken uyarı farkındalığı kapsamında ise, halkın erken uyarı sistemlerinden beklentileri ve bu konudaki bilinç düzeyleri incelenmiştir. Kişinin erken uyarı alması ya da almaması durumunda harekete geçme eğilimi ise bir olay ağacı üzerinde değerlendirilmiş olup, harekete geçmenin bağlı olduğu faktörler incelenmiştir. Çalışmanın sonunda, erken uyarı sistemleri ilgili öneriler sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler

Bölgesel Taşkın Frekans Analizi, L Momentler, Taşkın Farkındalığı, Taşkın Erken Uyarı Sistemleri

Assessment of Flood Awareness and Early Warning Systems: The Case of Beşikdüzü, Trabzon

Abstract

In this study, the flood, occurred in Beşikdüzü District, Trabzon, on 21 September 2016 and resulted in the large amount of life loss and property, was investigated in terms of hydrological and social aspects. For this purpose, firstly, various flood discharges for different return periods were estimated by regional flood frequency analysis in order to determine the flood quantile of the Beşikdüzü flood. Secondly, for determining flood risk awareness and needs in the early warning system, a survey was conducted with the people living in the region. Within the scope of general awareness, the people's knowledge of the measures, strategies and policies implemented before, during or after the flood, was investigated. Within the scope of early warning awareness, the expectations of the people from early warning systems and their awareness on this issue were examined. The tendency to take action upon receiving early warnings or not, was evaluated on an event tree, and the factors depending on taking action were examined. At the end of the study, recommendations about early warning systems were also presented.

Keywords

Regional Flood Frequency Analysis, L-Moments, Flood Awareness, Flood Early Warning Systems

1. Giriş

Taşkınlar tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de her yıl büyük ekonomik zarara ve can kayıplarına sebep olan doğal felaketlerdendir. Türkiye'de depremlerden sonra en büyük can kaybı ve ekonomik zarar taşkın olaylarında yaşanmaktadır (Anılan vd. 2018). Belirli bir yağış olayının taşkın oluşturma riski, drenaj havzasının büyüklüğü, havzanın topoğrafyası, havza içindeki kentsel kullanım miktarı, vb. gibi faktörlerden büyük ölçüde etkilenir (Doswell vd. 1996). Ancak taşkın afetlerinin yalnızca meteorolojik oluşumlara bağlı olarak ifade edilmesi mümkün değildir. Ekonomik gelişme faaliyetlerinin yoğun bir biçimde devam ettiği ülkelerde, sanayileşme ve sektör çeşitliliğinin beraberinde getirdiği kentleşme aktivitesi, akarsu havzalarının muhtelif kesimlerindeki insan faaliyetinin çeşitliliğini ve yoğunluğunu da büyük ölçüde arttırmaktadır. Bu durum ise havza bütünündeki hidrolojik dengeyi bozmakta ve sonuçta büyük miktarda can ve mal kaybına yol açan taşkın afetleri gözlenmektedir.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (462) 3772654 Faks: +90 (462) 3772606

E-posta: tugcekoc@ktu.edu.tr (Anılan T), hilaldurmush92@gmail.com (Durmuş H),
emreakcali@gmail.com (Akçali E), yuksek@ktu.edu.tr (Yüksek Ö)

Gönderim Tarihi / Received : 18/04/2020

Kabul Tarihi / Accepted : 30/06/2020

Akarsu havzaları içinde büyüyen yerleşimler, açılan yeni yollar ve kurulan yeni tesisler ile arazi yapısı değişmekte, elverişsiz tarım yöntemleri ile topraklar daha yoğun bir şekilde kullanılmakta, ormanlar ve meralar tahrip edilmekte, tüm bu koşullarda taşkın afetleri giderek daha büyük ve sık olarak görülmektedir (Uşıkay ve Aksu 2002).

Taşkın sırasında yaşanan can ve mal kayıplarını en aza indirmek için akarsu düzenlemesi, sel kapanları, sediment tutucu tersip bentleri, derivasyonlu geciktirme havuzları gibi yapısal taşkın kontrol tesislerinin yanı sıra; taşkın yönetim planı hazırlamak, taşkın tehlike haritası hazırlamak, taşkın yatağı içinde yapılaşmayı önlemek/sınırlamak, taşkın erken uyarı sistemleri geliştirmek, taşkın farkındalığı konusunda halkı bilgilendirmek, doğaya müdahaleleri engellemek, taşkın esnasındaki tahliye faaliyetlerini planlamak gibi yapısal olmayan taşkın kontrol yöntemleri de mevcuttur (Akçalı 2018).

Taşkın riskine, bu riskle nasıl başa çıkılacağına ve taşkın öncesinde, esnasında ve sonrasında yapılması gerekenlere yönelik farkındalığın artırılması, taşkına karşı direncin artırılmasının en önemli bileşenlerindendir. Bunun yanı sıra, farkındalığın artırılması, riskleri arttıran ve azaltan faaliyetlere ilişkin halkın bilinçlendirilmesini de içermektedir ki bu da taşkına yönelik önlemlerin başarılı olmasında çok önemli bir faktördür (SYGM 2017). Taşkın erken uyarılarına zamanında ve etkili tepki verme eğilimi ülkelerin gelişmişlik düzeyine bağlı olduğu kadar, afete maruz kalan insanların yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi gibi özelliklerine de bağlıdır. Resmi ya da resmi olmayan herhangi bir uyarıya maruz kalan kişiler bu durum karşısında nasıl davranması gerektiğini bilmemesi, uyarıya tam güvenmeyip çevreden onay beklemesi ve uyarının kendisi için geçerli olmadığını düşünmesi gibi nedenlerden dolayı zamanında harekete geçilemeyebilir. Bu da taşkın zararlarının çok daha ciddi boyutlara ulaşmasına sebep olur. Bundan dolayı, taşkın zararlarını önleme planlamalarında mühendislik konularını sosyolojik etkileri ile çalışmak oldukça önemlidir.

Parker vd. (2009), taşkın erken uyarı farkındalık belirlenmesine yönelik yaptıkları anket çalışmasında, bireylerin taşkın uyarılarına yanıt verememesinin ya da yanlış tepkiler vermesinin altında yatan psikolojik, sosyal ve ekonomik faktörleri incelemişlerdir. Çalışmaları neticesinde, kamunun taşkın iletişiminin iyileştirilmesi ve halk eğitim kampanyaları ile insanların zihinlerindeki sorulara basit cevaplar sunarak ek bilgi sağlaması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, kişilerin birbirlerini uyarmaları yerine bireylerin taşkın uyarılarıyla beraber karar alma sürecinde erken uyarı sistemine karşı güvene ihtiyacı olduğunu ve bu güvenin kişinin karar vererek harekete geçme sürecine olumlu yansıtacağını savunmuşlardır. Taşkın erken uyarıda harekete geçme eylemini adına yaptıkları çalışmada Molinari ve Handmer (2011), bu harekete geçme eğiliminin uyarıyı fark etmek, uyarıya güvenmek ya da onay aramak gibi parametrelere bağlı olduğunu ve bu parametrelerin her birinin değişmesiyle beraber uyarıya cevap verebilme yeteneğindeki değişimi gözlemlemişlerdir. Her bir değişkenin nihai taşkın kaybı rakamını etkilemesinin yanı sıra, potansiyel iyileştirmelerin de uyarı sistemine olan katkısını analiz etmişlerdir. Alfieri vd. (2012), çalışmalarında, erken uyarı sistemlerine yönelik farkındalığı arttırmak ve aynı zamanda afet sonrası müdahale ve iyileşmeye dayanmak yerine, risk önleme kültürünün geliştirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamıştır. Bunun için, erken uyarı sisteminin politikalara ve risk yönetimi planlarına dahil edilmesi, kolay erişilebilir ve anlaşılır eğitimlerle bu sistemlerin tüm devlet kademelerine uygun şekilde entegre edilmesi gerektiğini gözlemlemişlerdir. Kamu kuruluşlarının katılımı ve tehlike tespit yöntemleri ve performansları hakkında ek bilgilerin insanların uyarı sistemlerine güvenmelerini ve dolayısıyla bunlardan faydalanmalarını sağladığını vurgulamışlardır. Gautam ve Phaiju (2013), toplum temelli erken uyarı sisteminin uyarıya verilen cevaplar üzerindeki etkisini araştırırken taşkın izleme ve tahmin istasyonlarından alınan verilerin bölge afet yardım komitesi, yerel afet yönetimi, yerel sivil toplum kuruluşları ve yerel medyayı içeren bir ağ kurularak, uyarıların halka iletilmesinde başarıya ulaşıldığını gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte devlet kurumlarının, erken uyarı sistemlerini afet riskini azaltma ve geliştirme planları ve programlarına dahil etmeye başlamasıyla, toplumun donanımlı hale getirilmesi ve altyapıların geliştirilmesinin taşkın riskini azaltmada etkili olduğu gözlemlenmiştir. Karaman (2018), afet yönetimi sürecinde başarının sağlanması için idarenin sadece bilgi alan değil; aynı zamanda bilgi veren konumunda olması ve halka güven vermesi gerektiğini belirtmiş, kurumsal bütünlüğünün, afet yönetimi sürecinde güvene ve iş birliğine dayalı başarının sağlanmasında dikkat edilmesi gereken önemli bir yönetsel tercih olduğunu ortaya koymuştur. Kamu yönetimi teşkilatlanmasında her seviyede idarenin, topluma kapasitesinin yeterliliği hakkında güven vermesi gerektiği sonucuna varmıştır. Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde, toplum temelli taşkın erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi ve var olan sistemlerin iyileştirilmesi önerilmiştir. Halkın uyarılara yanıt verebilmesinde etkili olan faktörler incelenerek, uyarıların zamanında ve güvenilir olmasıyla beraber daha etkili sonuç alınabileceği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada; 21 Eylül 2016 tarihinde büyük bir taşkın felaketinde can ve mal kaybı yaşayan Trabzon İli Beşikdüzü halkının herhangi bir erken uyarı karşısında veya uyarı almadan harekete geçebilme eğilimleri ve sonuçları incelenmiştir. Bu bağlamda, öncelikle yaşanan taşkın kaç yıl tekerrür süreli taşkın debisine karşılık geldiğini belirlemek için bölgesel taşkın frekans analizi ile çeşitli tekerrür süreli taşkın debileri hesaplanmıştır. Hesaplanan debiler yaşanan söz konusu afet anındaki taşkın debisi ile karşılaştırılmış ve ilçenin taşkınlardan zarar görebilirlik riski farklı tekerrür süreli debiler için irdelenmiştir. Daha sonra taşkın riski farkındalık, halkın harekete geçme eğilimleri ve erken uyarı sistemindeki eksiklikleri belirlemek adına bölge halkıyla ‘Taşkın Farkındalık ve Taşkın Erken Uyarı Anında İnsan Davranışları’ üzerine anket yapılmıştır. Genel farkındalık kapsamında halkın; taşkın öncesinde, taşkın sırasında veya sonrasında sunulan önlemlerden, stratejilerden ve uygulanan politikalardan ne kadar haberdar olduğu ölçülmüştür. Erken uyarı farkındalığı kapsamında ise; halkın erken uyarı sistemlerinden beklentileri ve bu konudaki bilinç düzeyleri incelenmiştir. Kişinin erken uyarı alması ya da almaması durumunda harekete geçme eğilimi ise bir olay ağacı üzerinde değerlendirilmiş olup, harekete geçmenin bağlı olduğu faktörler incelenmiştir.

1.1. Taşkın Farkındalığı

Halkın taşkın öncesi farkındalığını ve hazırlı olma seviyesini yükseltmek oldukça önemlidir. Son yıllarda, taşkın riski olan bölgelerde taşkın olaylarına hazırlıklı olma ve taşkın farkındalığını araştıran birçok çalışma yapılmaktadır. Çoğu araştırma, taşkın farkındalığının riskli bölgede yaşayan halkın sosyo-demografik özellikleri ile ilişkili olduğunu belirtmektedir (Lindell ve Perry 2000; Kreibich vd. 2005). Bu özellikler arasında, yaş, medeni durum, evde yaşayan çocukların varlığı, gelir durumu, eğitim gibi konular için önemli korelasyonlar belirlenmiştir. Bu değişkenlerle birlikte, taşkın risk farkındalığı seviyesinin ayrıca bazı kişisel ve psikolojik faktörler, önceki afet deneyimi, kişilik özellikleri, hazırlıklı olma için duyulan sorumluluk ve gelecekteki bir felaket için endişe düzeyi gibi değişkenlerle de ilişkili olduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur (Norris vd. 1999; Zaleskiewicz vd. 2002).

1.2. Taşkın Erken Uyarı Sistemleri

Taşkın anında meydana gelecek olan kayıpların, özellikle de can kayıplarının azaltılması amacıyla yapılması gereken en önemli konu, taşkın tahmin ve erken uyarı sistemlerinin oluşturulmasıdır (Durmuş 2020). Uyarı sistemleri, yaklaşmakta olan taşkını tahmin edip, bu bilgileri risk altındaki kişilere vererek, tehlikede olanların karar vermelerini ve harekete geçmelerini sağlar. Bu tanım, basit gözükse de uyarı sistemleri karmaşıktır. Çünkü mühendislik, teknoloji, haber medyası gibi birçok uzmanlık ve kamu kuruluşunu birbirine bağlar. En etkili uyarı sistemleri ekstrem olayların tespiti, tehlike bilgilerinin yönetimi ve halkın müdahalesinin alt sistemlerini entegre etmektedir. Bu ilişkiler planlama, pratik ve eğitim de dahil olmak üzere hazırlık yoluyla sağlanır (Sorensen 2000). Etkili taşkın tahmini ve erken uyarı sistemleri taşkın olayından önce ek hazırlık süresi sağlaması yönünden taşkın riski yönetiminin önemli bir parçasıdır (Thiemig ve Gadain 2011). Yer gözlem istasyonlarından, uydu sistemlerinden ve radarlardan temin edilen veriler, erken uyarı sisteminin temel bilgi kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu sistemlerin her birinden elde edilecek yağış verileri birbirleri ile karşılaştırılarak daha sağlıklı ve güvenilir verilerle daha kaliteli bir erken uyarı sistemi oluşturulur (Sarican 2013).

1.3. Türkiye’de Taşkın Erken Uyarı Sistemleri ve Sorumlu Kuruluşlar

Türkiye’de taşkın tahmin ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çok sayıda girişimde bulunulmasına rağmen bugüne kadar etkin ve tam fonksiyonel bir taşkın erken uyarı sistemi henüz kurulamamıştır. İlgili kurumlar tarafından yapılan çalışmalar çoğunlukla bölgesel ölçekte kalmıştır. Projeler genellikle büyük taşkın olaylarının ardından felaketin yaşandığı bölgeye yönelik tasarlanmış, ulusal ölçekte bir eylem planı geliştirilememiştir. Mevcut projeler ise, geliştirilen sistemlerin teknik altyapı ve personel eksikliği gibi çeşitli nedenlerden dolayı sürdürülememiştir.

Türkiye’de, yapısal taşkın kontrolü esaslı önlemler almakla sorumlu olan başlıca devlet kuruluşu Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü’dür (DSİ). Bunun yanında Belediyelerin de dere ıslahı görev, yetki ve sorumlulukları vardır. Risk yönetimi ve zarar azaltma planlarını yapmak veya yaptırmak, afet ve acil durum bölgelerini tespit etmek, hasar tespiti yapmak ve önleyici tedbirleri ilan etmek ve çeşitli eğitim ve tatbikatlar düzenlemek Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı’nın (AFAD) görev ve sorumluluğu altındadır. Taşkın Yönetim Planlarını hazırlamak Su Yönetimi Genel Müdürlüğü’nün görevidir. Çeşitli meteorolojik ve hidrolojik verilere dayanarak olası bir taşkın tehlikesine karşı erken uyarılar yapmak ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yapılmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanının yer aldığı Doğu Karadeniz Havzası topoğrafik yapısı nedeniyle taşkınlara sık sık maruz kalmaktadır. Oluşan taşkınlarda, yerleşimlerin genellikle taşkın alanlarında bulunmasından ötürü birçok can kaybı, yaralanma ve maddi zararlar oluşmaktadır. Doğu Karadeniz Havzası’nda yaşanan bu taşkınların gerek ekonomik gerek can kaybı açısından boyutu, fiziki ve iklimsel koşulları nedeniyle Türkiye’deki diğer havzalardan daha fazladır (Yüksek vd. 2013). Son 90 yıllık sürede meydana gelen taşkın ve taşkınların tetiklediği heyelanlar sebebiyle 644 kişi hayatını kaybetmiştir.

Çalışma alanı, Trabzon İlinin 45 km batısında bulunan ve 2019 itibarı ile 23 328 nüfuslu Beşikdüzü İlçesidir. Doğusunda Vakfıkebir, batısında Eynesil, güneyinde Şalpazarı ve Tonya İlçeleriyle birlikte kuzeyinde tamamen Karadeniz bulunmaktadır. İlçenin yüzölçümü 121 km² ve nüfusu 2018 yılı itibarıyla 22.630’dur. Beşikdüzü ilçe merkezi yerleşim olarak dere yatakları üzerine inşa edilmiştir. İlçenin içinden beş adet dere geçmektedir ve bu dereler yerleşim yeri ve tarım arazilerinde taşkın zararlarına sebep olmaktadır (Şekil 1). 2000-2010 yılları arasında oluşan taşkın zararları; Takazlı Deresi, Tümen Deresi, Çavuşlu Deresi, Kurbağalı Deresi ve Çamlık Deresi yağış havzalarındaki nüfusu %59 oranında azaltmıştır (DSİ 2016).



Şekil 1: Trabzon ili Beşikdüzü ilçe merkezindeki derelerin genel vaziyet planı

2.2. Kullanılan Veriler

2.2.1. AGİ Verileri

Çalışma alanında DSI'ye ait en az 15 yıllık veri ölçümü bulunan Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) belirlenmiş ve yıllık maksimum akım ölçümleri (m^3/s) elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait bilgiler ve gözlem süreleri DSI'den alınmış ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait veriler

İstasyon No	İstasyon Adı	Drenaj alanı (km^2)	Kot (m)	Gözlem Süresi (yıl)
DSİ/22-01	Kürtün	2750,00	480	39
DSİ/22-09	Torul	1900,40	925	38
DSİ/22-13	Süttaş	124,85	188	25
DSİ/22-28	Bahadırlı	191,40	17	39
DSİ/22-40	Eymür	3132,80	120	32
DSİ/22-58	Cücenköprü	162,70	300	29
DSİ/22-73	Tuğlacık	397,90	400	25
DSİ/22-80	Gökçebel	296,90	750	25
DSİ/22-83	Gümüşkaya	410,80	1150	16
DSİ/22-84	İkisu	149,60	1375	22
DSİ/22-87	Hasanşih	256,80	355	28

2.2.2. Beşikdüzü Taşkını Verileri

20 Eylül 2016 tarihi gece saatlerinde başlayan ve şiddetini artırarak devam eden sağanak yağışlar sonucunda, 21 Eylül 2016'da kapalı menfezlerin ve geçiş yapılarının, ağaçlar ve gelen sedimentlerle tıkanmasıyla Beşikdüzü ilçe merkezinde ciddi mal kayıplarının olduğu büyük bir taşkın meydana gelmiştir. İlçe merkezinin memba kesiminde ise heyelan kaynaklı 3 can kaybı yaşanmıştır. Taşkın kontrol tesisleri tıkanma nedeniyle dolu kesit akmakta olup, menfezlerin rüsubat, ağaç ve köklerle dolarak taşması sonucunda ilçe merkezinin tamamına yakını sular altında kalmıştır (Şekil 2). Taşkın sahalarına 12 saatte 291 mm yağış düşmüştür.



Şekil 2: Yukarı havzadan mansaba sürüklenen ağaçlar ve sular altında kalan okul bahçesi (DSİ 2016)

Saat 15.00'te Ağasar Deresi 22-120 Ambarlı Akım Gözlem İstasyonundaki debi değeri, cetveldен ölçülen 355 cm su seviyesine göre 303 m³/s olarak hesaplanmıştır. Tablo 2'de derelerde taşkın seviyelerinden elde edilen yaklaşık debi değerleri ve değişik frekanslarda DSİ tarafından hesaplanan taşkın debileri verilmektedir. Tabloda da görüldüğü gibi, taşkın anında saat 15.00'te Ağasar Deresinden geçen debi değeri, Q₁₀₀ değerine yakındır.

Tablo 2: Trabzon Beşikdüzü Ağasar Deresi mansap debi değerleri

Alan(km ²)	Gerçekleşen Taşkın	Farklı Tekerrür Sürelerine Ait Taşkın Debi Değerleri (m ³ /s)							
		Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
130	303,00	52,46	96,72	134,96	194,45	247,35	308,44	428,40	480,19

2.3. Yöntem

Öncelikle yaşanan taşkın kaç yıl tekerrür süreli taşkın debisine karşılık geldiğini belirlemek için L momentler yöntemi ile çeşitli tekerrür süreli taşkın debileri hesaplanmıştır. Hesaplanan debiler yaşanan söz konusu afet anındaki taşkın debisi ile karşılaştırılmış ve ilçenin taşkınlardan zarar görebilirlik riski farklı tekerrür süreli debiler için irdelenmiştir. Daha sonra taşkın riski farkındalık, insanların harekete geçme eğilimleri ve erken uyarı sistemindeki eksiklikleri belirlemek adına bölge halkıyla 'Taşkın Farkındalık ve Taşkın Erken Uyarı Anında İnsan Davranışları' üzerine anket yapılmıştır. Bu doğrultuda, taşkın farkındalığı ve erken uyarı sistemlerinin etkinliği değerlendirilmiştir.

2.3.1. L-Momentler Yöntemi

Beşikdüzü Havzası'nın L-momentler yardımıyla taşkın frekans analizinde; AGİ'lere ait olasılık ağırlıklı moment ve L-moment değerleri hesaplanmıştır. Hosking (1986) tarafından geliştirilen L-momentler; parametre tahmini, bölgeselleştirme ve dağılım tanımlama ile ilgili çeşitli problemleri çözmede yaygın olarak kullanılmaktadır. L-momentler olasılık ağırlıklı momentler yönteminin doğrusal bir fonksiyonu olup olasılık ağırlıklı momentleri cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilirler (Gebeyehu 1989):

$$L_{r+1} = (-1)^r \sum_{k=0}^r (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} M_{1,0,k} \quad (1)$$

L-momentler;

$$r=0 \text{ ise } L_1 = M_{100}$$

$$r=1 \text{ ise } L_2 = M_{100} (2M)_{101} = 2M_{110} - M_{100}$$

$$r=2 \text{ ise } L_3 = M_{100} (6M)_{101} + 6M_{102} = 6M_{120} - 6M_{110} + M_{100}$$

$$r=3 \text{ ise } L_4 = M_{100} - 12M_{101} + 30M_{102} - 20M_{103} = 20M_{130} - 30M_{120} + 12M_{110} - M_{100} \quad (2)$$

Yüksek mertebeden momentlerde ölçümler birbirinden bağımsızlaştırılırsa L-moment oranları aşağıdaki gibidir (Vogel ve Fennessey 1993).

$$r = 3, 4, \dots, \text{ ise } t_r = \frac{L_r}{L_2}, \quad t = \frac{L_2}{L_1} \quad (3)$$

L-momentler (L₁) ve (L₂), L-moment oranları L-cv(t), çarpıklık katsayısı (t₃), basıklık (kurtosis) katsayısı (t₄), olasılık dağılımını özetlemek için en çok kullanılan parametrelerdir. L₁ dağılımı yer parametresini, L₂ dağılımı ise ölçek parametresini temsil etmektedir (Hosking ve Wallis 1988; Hosking 1990).

Bölgesel taşkın frekans analizinde, homojen istasyonların ve dolayısıyla homojen bölgelerin tanımlanması ve havzaya tek bir frekans dağılımının uygulanması gerekmektedir. Bunun yapılabilmesi için çalışma alanının homojen olması ve istasyonların homojenlik koşulunu sağlaması gerekmektedir. Homojenlik şartı; bölgeye aynı frekans dağılımının uygulanabilirliği anlamına gelmektedir. Bölgesel homojenliği test etmek için iki istatistik öne sürülmüştür. Bunlar; uyumsuzluk ve heterojenlik ölçüsüdür. Homojenlik analizinden sonraki aşama bölge için en uygun dağılımı hesaplamaktır. Bölge için tek bir dağılımın kabulü esasına göre yapılan test Z uygunluk testidir. Hesaplanan tekerrür tahminlerinin doğruluğunun kabul edilebilir düzeyde olup olmadığı Monte Carlo benzeşimi ile hesaplanır. Her istasyon için, göreceli taraflılık değerleri (rölatif bias) ve %5-%95 alt ve üst güvenilirlik bant sınırları elde edilir. Bölge bazında bu değerlere ek olarak, ortalama hata değerleri de hesaplanır. Homojenlik analizi, Z testi ve tekerrür debilerinin hesabının detaylı bilgileri (Hosking ve Wallis 1993; Hosking ve Wallis 1997; Şorman ve Okur 2000; Seçkin vd. 2013; Anılan 2014) mevcut literatürde bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Beşikdüzü Havzası'nın L-momentler yardımıyla taşkın frekans analizinde; AGİ'lere ait olasılık ağırlıklı moment ve L-moment değerleri hesaplanmıştır. Yöntemin detaylı bilgileri (Hosking ve Wallis 1993; Hosking ve Wallis 1997; Anılan 2014)'te bulunmaktadır. Bölgenin homojenliği L-momentler yöntemine dayalı iki istatistik olan uyumsuzluk ve heterojenlik ölçüsü ile test edilmiştir. Her bir istasyon için elde edilen D_i değerleri uyumsuzluk ölçüsü değerleri ile karşılaştırılarak istasyonların homojenliği test edilmiştir. Heterojenlik ölçüsü hesabında V_1 , V_2 ve V_3 'e bağlı H_i değerleri belirlenmiştir. Xtest programı kullanılarak Z değerleri hesaplanmıştır. Uygun bulunan dağılımlar içinde 0'a en yakın olan dağılım, en uygun dağılım olarak belirlenmiştir. Bölge için en uygun dağılım belirlendikten sonra çeşitli yineleme aralıklarına karşılık gelen taşkın debilerinin tahmini yapılmıştır. Program içinde yer alan benzeşim sayısı (NSIM) ve her benzeşimde tekrarlanma sayısı (NREP) değeri bu çalışmada 500 alınmıştır. Sabitlerin seçilmesinde literatürde kullanılan değerler dikkate alınmıştır (Hosking ve Wallis 1997). Hesaplanacak karakteristik değer sayısı (NQ) 6 ve bu değere bağlı olarak aşılma olasılıkları (FVAL) 0.5, 0.8, 0.9, 0.96, 0.98, 0.99 olarak girilmiştir. 0.5, 0.8, 0.9, 0.96, 0.98, 0.99 olarak girilen aşılma olasılıkları $T=2, 5, 10, 25, 50$ ve 100 yıl yineleme sürelerine karşılık gelmektedir. Verilerin girilmesinden sonra bölge için uygun bulunan dağılıma göre seçilen yineleme aralıklarına göre karakteristik değerler hesaplanmıştır. Bunun için program içerisinde Elde edilen karakteristik değerler aşılma olasılıkları ile çarpılarak her bir istasyonun seçilen yineleme aralıklarına karşılık gelen taşkın debileri hesaplanmıştır. Bölgesel tek dağılıma karşılık elde edilen karakteristik değerlerin doğrulukları aynı program içerisinde incelenmiştir. Karakteristik değerlerin doğrulukları incelenirken Monte Carlo benzeşimi yapılarak her istasyonun BIAS ve RMSE değerleri elde edilmiştir.

2.3.2. Sosyal Çalışma

Taşkın farkındalığını ve risk bilincini, erken uyarı farkındalığı ve erken uyarı sonrasında insan farkındalığını ölçmek adına 21 Eylül 2016 tarihindeki taşkın felaketini yaşayan 100 kişiyle bir anket çalışması düzenlenmiştir. Yaşanan deneyimin ilerde yaşanması muhtemel taşkınlarda farkındalık yaratıp yaratmayacağı hakkında bilgi sahibi olmak için katılımcıların çoğunun, taşkını bizzat yaşayan, taşkından hasar görmüş kişiler olmasına ayrıca dikkat edilmiştir. Taşkın ilçe merkezinde meydana geldiği göz önünde bulundurduğunda, olaydan en çok hasar gören kesim olan dükkân sahiplerinin katılımı çoğunluğu sağlanmıştır. Dükkân sahiplerinin çoğunun erkek olması ve bazı kadınların ankete katılma çekincesinden dolayı ile katılımcıların çoğunluğunu erkekler oluşturmaktadır. İlçe merkezindeki kahvehaneler, öğretmen evi, taksi durağı, belediyeler ve okullar anket için ziyaret edilen yerler arasındadır. Katılımcılara ait cinsiyet, yaş aralığı ve eğitim düzeyleri parametreleri de toplanarak Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Katılımcıların yaş, cinsiyet ve eğitim düzeyleri dağılımı

Yaş Aralığı	Yüzde (%)	Cinsiyet	Yüzde (%)	Eğitim Düzeyi	Yüzde (%)
15-24	42	Kadın	42	İlkokul	5
25-34	9	Erkek	58	Ortaokul	2
35-49	23			Lise	69
50 ve üzeri	26			Üniversite	23

Anket soruları, taşkın farkındalığını, taşkın erken uyarı farkındalığını ve erken uyarı sonrası insan davranışını ölçmek amaçlarını kapsayacak şekilde 3 kısımdan oluşturulmuştur (Tablo 4). Her bir bölümdeki sorular kişinin bireysel farkındalığı, afetlerle baş etme yeterliliği, bilgi düzeyi ve bireysel yeterliliğinin saptanması hedeflenmiştir (Anılan ve Yüksek 2017).

Anketin birinci bölümündeki sorular, sık sık taşkın felaketiyle karşılaşan halkın taşkın farkındalığını belirlemek amacıyla yöneliktir. Bunun için öncelikle kendilerinin risk altında olduklarını düşünüp düşünmedikleri sorularla bireysel farkındalıkları yorumlanmıştır. Daha sonra, yaşadıkları büyük taşkından sonra olası taşkınlara karşı kendileri veya başkaları tarafından herhangi bir önlem alınıp alınmadığı sorularla risk farkındalığı ve mücadele yeterliliği ölçülmüştür. Yine bu amaçla ve aynı zamanda bilgi düzeyini de ölçmek için taşkın felaketlerinin önlenip önlenemeyeceği ve bu önlemleri almaktan kimin sorumlu olduğu sorulmuştur. Anketin ikinci kısmı, taşkın erken uyarı farkındalığını

belirlemeye yönelik olup; bireylerin erken uyarı anında ne yapılması gerektiğini bilip bilmedikleri sorgulanmıştır. Aynı zamanda uyarı ve planlamalar konusunda eğitim ya da bilgilendirme alma istekleri irdelenmiştir. Kişilerin hangi uyarı kaynağına daha çok güvendikleri ve nasıl uyarılmak istedikleri araştırılmış, bu uyarıyı en az ne kadar süre önce almaları istendiği sorulmuştur (Karaman 2018). Bu soruyla, kişinin ihtiyacı olan minimum hazırlık süresinin ölçülmesi ve bu süre zarfında kurtarılabilecek kayıpların belirlenmesi hedeflenmiştir. Anketin üçüncü kısmı, bölgedeki erken uyarı sistemlerinin kişilerin harekete geçmesi üzerindeki etkisi ve bu uyarılara karşı güven düzeyini ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, katılımcılara yaşadıkları 21 Eylül 2016 Beşikdüzü taşkını felaketinden önce herhangi bir erken uyarı alıp almadıkları sorusu yöneltilmiştir. Bu soruyla mevcut erken uyarı sistemlerine dikkat çekmek hedeflenmiştir. Daha sonrasında erken uyarı aldıklarında kendilerini risk altında görüp görmedikleri sorularak, uyarı kaynağına olan güveni ölçmek adına uyarıya çevreden veya başkasından onay arayıp aramadıkları sorulmuştur. Ardından erken uyarı sonrasında risk altında hisseden bireyin önlem olarak harekete geçme eğilimi incelenmiştir.

Tablo 4: Anket soruları, amaçları ve cevap şekilleri

Soru	Amaç	Cevap şekli
1. Bölüm (taşkın farkındalık)		
1. Taşkın riski altında olduğunuzu düşünüyor musunuz?	bireysel farkındalık	E / H
2. Taşkından sonra önlem aldınız mı veya alındı mı?	baş etme yeterliliği	E / H, AU
3. Sizce taşkınlar önlenebilir mi? Nasıl?	baş etme potansiyeli	E / H, AU
4. Sizce taşkınların önlenmesinden kim sorumludur?	bilgi düzeyi	AU
2. Bölüm (erken uyarı farkındalık)		
5. Taşkın anında harekete geçince ne yaptınız?	ne yapacağını bilme	AU
6. Erken uyarı hakkında bilgi sahibi misiniz?	bilgi düzeyi	E / H
7. Bilgilendirme veya eğitim almak ister misiniz?	bilinç	E / H
8. Erken uyarıyı hangi yolla almayı tercih edersiniz?	etki tespiti	AU
9. Harekete geçmek için ihtiyacınız olan süre nedir?	ihtiyaç tespiti	AU
10. Bu sürede oluşabilecek hangi zararları önlersiniz?	bireysel yeterlilik	AU
3. Bölüm (erken uyarı sonrası insan davranışı)		
11. Erken uyarı oldu mu?	tespit	E / H
12. Erken uyarıyı hangi yolla aldınız?	tespit	AU
13. Risk altında olduğunuzu anladınız mı?	risk algısı	E / H
14. Erken uyarıya güvendiniz mi?	güven düzeyi	E / H
15. Uyarıdan sonra ne yapacağınızı biliyor muydunuz?	bilgi düzeyi	E / H
16. Önlem için harekete geçtiniz mi?	tespit	E / H

*E/H: evet/hayır; AU: açık uçlu

3. Bulgular

3.1. Çeşitli Tekerrür Sürelerine Ait Taşkın Debileri Tahmini

İstasyonların olasılık ağırlıklı momentleri ve L-momentleri Excel yardımıyla hesaplanmıştır. Daha sonra L-momentler vasıtasıyla L-moment oranları ve uyumsuzluk ölçüsü (D_i) değerleri elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Uyumsuzluk ölçüsü hesabında istasyonların D_i değerlerinin kritik değer şartını sağladığı görülmüştür. Heterojenlik ölçüsü için kullanılan Xtest programının sonucunda elde edilen V_1 , V_2 ve V_3 'e göre hesaplanan H_1 , H_2 ve H_3 değerleri dikkate alınarak bölgenin homojen olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 5: İstasyonların L-moment oranları ve D_i değerleri

İst. No	t	t_3	t_4	t_5	D_i
22-01	0,26434	0,238569	0,22409	0,148469	0,39
22-09	0,274083	0,368907	0,368196	0,246082	1,45
22-13	0,234106	0,327695	0,330526	0,176618	0,78
22-28	0,364329	0,377735	0,326734	0,225652	0,98
22-40	0,219673	0,118512	0,039906	-0,04023	1,98
22-58	0,301587	0,382998	0,22699	0,098158	1,48
22-73	0,298109	0,258148	0,182527	0,164783	0,19
22-80	0,357793	0,263123	0,106476	0,047666	1,17
22-83	0,294051	0,348703	0,2585	0,142778	0,25
22-84	0,256387	0,245948	0,255902	0,153802	0,56
22-87	0,420191	0,450675	0,221117	0,087578	1,77

Tablo 6: Havzaların heterojenlik ölçüsü

Heterojenlik Ölçüsü (Benzeşim Sayısı=500)		
H ₁	Gözlenen değerlerin Grup L-Cv'lerinin standart sapması	0,0581
	Grup L-Cv'lerinin standart sapmasının benzeşim ortalamaları	0,0467
	Grup L-Cv'lerinin standart sapmasının benzeşimlerinin standart sapmaları	0,0129
	Standartlaştırılmış H ₁ değerleri	0,89
H ₂	Gözlenmiş ortalamanın L-Cv/L-Cs mesafesi	0,0963
	Ortalama L-Cv/L-Cs mesafesinin benzeşim ortalaması	0,1025
	Ortalama L-Cv/L-Cs mesafesinin benzeşim standart sapması	0,0232
	Standartlaştırılmış H ₂ değerleri	-0,27
H ₃	Gözlenmiş ortalamanın L-Cs/L-Ck mesafesi	0,1183
	Ortalama L-Cs/L-Ck mesafesinin benzeşim ortalaması	0,1291
	Ortalama L-Cs/L-Ck mesafesinin benzeşim standart sapması	0,0291
	Standartlaştırılmış H ₃ değerleri	-0,37

Homojen bölge için kullanılacak en uygun dağılım, Z uygunluk ölçüsü değeri ile hesaplanmıştır. ($|Z| < 1,645$) şartını sağlayan dağılımlar o bölge için uygun olarak kabul edilmiştir. Xtest programı ile hesaplanan Z uygunluk ölçüsü değeri -0,11, Genelleştirilmiş Lojistik Dağılım için koşulu sağlamış ve diğer dağılımlar içinde 0 değerine en yakın sonucu vermiştir. Tablo 7'de görüldüğü üzere Genelleştirilmiş Lojistik Dağılım için Z değeri -0,11 ile bölge için en uygun dağılım olarak kabul edilmiştir.

Tablo 7: Havza uygunluk ölçüsü değerleri

Dağılımlar	T ₄ ^{DIST}	Z ^{DIST}
Log Normal (LN)	0,197	-1,50
Gen. Ekstrem Değer (GEV)	0,220	-0,86
Gen. Lojistik (GLO)	0,246	-0,11
Pearson Tip III (PE3)	0,159	-2,60

Z testine göre bölge için en uygun dağılım olarak belirlenen GLO dağılım için çeşitli yineleme aralıklarına karşılık gelen karakteristik değerler Xtest programından hesaplanıp Xsim programı ile benzeşim yapılarak her bir istasyonun değişim katsayıları programa yazılmıştır. Bu parametreler için T=2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl süreli yineleme aralıklarına karşılık gelen karakteristik değerler Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8: GLO dağılımına göre istasyonlar için çeşitli yineleme aralıklarına karşılık gelen karakteristik değerler

İstasyon Adı	Yineleme Aralıkları					
	2	5	10	25	50	100
Karakteristik Değerler						
22-01	0,859	1,299	1,644	2,137	2,544	2,986
22-09	0,849	1,319	1,687	2,213	2,648	3,119
22-13	0,875	1,265	1,570	2,007	2,368	2,759
22-28	0,805	1,412	1,887	2,567	3,128	3,737
22-40	0,883	1,248	1,535	1,945	2,284	2,650
22-58	0,839	1,341	1,734	2,297	2,762	3,266
22-73	0,841	1,337	1,726	2,282	2,742	3,239
22-80	0,809	1,405	1,871	2,539	3,090	3,688
22-83	0,843	1,333	1,716	2,265	2,718	3,209
22-84	0,863	1,290	1,624	2,103	2,498	2,926
22-87	0,776	1,475	2,023	2,807	3,455	4,157

Her bir istasyon için çeşitli yineleme aralıklarına göre hesaplanan karakteristik değerler ile o istasyonun debilerinin aritmetik ortalaması çarpımıyla debi değerleri elde edilmiş ve Tablo 9'da gösterilmiştir (Durmüş 2020).

Tablo 9: İstasyonların T=2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl yineleme süreli taşkın debileri

İstasyon	Q _{ort}	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀
22-01	257,45	221,15	334,43	423,25	550,18	654,96	768,76
22-09	147,25	125,01	194,22	248,41	325,86	389,91	459,27
22-13	28,18	24,66	35,65	44,25	56,56	66,74	77,76
22-28	81,49	65,60	115,06	153,77	209,18	254,90	304,53
22-40	347,56	306,90	433,76	533,51	676,01	793,83	921,04
22-58	93,07	78,08	124,80	161,38	213,77	257,05	303,95
22-73	71,48	60,11	95,56	123,37	163,11	195,99	231,51
22-80	81,93	66,28	115,11	153,29	208,02	253,17	302,16
22-83	67,50	56,90	89,98	115,83	152,89	183,46	216,60
22-84	21,57	18,61	27,82	35,02	45,35	53,87	63,10
22-87	89,90	69,76	132,60	181,87	252,36	310,62	373,73

3.2. Taşkın Debisi Tahminlerinin Beşikdüzü Taşkınyla İrdelenmesi

Beşikdüzü taşkınında Ağasar Deresi akım gözlem istasyonunda yapılan su seviyesi ölçümlerinde 21 Eylül 2016 günü debi 303 m³/s olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanına en yakın olan AGİ'lerden gözlem süresi en fazla olan 22-28 numaralı Fol Deresi Bahadrlı istasyonudur. Bahadrlı istasyonuna ait 100 yıl yineleme süreli taşkın debisi değeri bu çalışmada 304,53 m³/s olarak hesaplanmıştır (Tablo 9). L-momentlerle yapılan taşkın frekans analizine göre Beşikdüzü'nde meydana gelen bu şiddette bir yağışın görülme ihtimalinin, tüm standart zamanlarda 100 yılın üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. DSİ tarafından yapılan, 22-28 numaralı Fol Deresi Bahadrlı istasyonu için çeşitli tekerrür sürelerine ait taşkın debisi hesabıyla, bu çalışmada hesaplanan taşkın debisi karşılaştırması Tablo 10'da verilmiştir (Durmuş 2020). Hesaplamalarda aynı yıllara ait yıllık maksimum debi verileri kullanılmıştır.

Tablo 10: 22-28 numaralı Bahadrlı istasyonu çeşitli tekerrür süreli debi değerleri

	Uygun dağılım	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀
DSİ	LN	67,90	125,20	171,70	251,70	320,10	399,20
Bu çalışma	GLO	65,60	115,06	153,77	209,18	254,90	304,53

3.3. Taşkın Farkındalık Değerlendirilmesi

Katılımcılara yöneltilen evet/hayır (E/H) sorularına verilen yanıtlar Tablo 11'de gösterilmiştir. 'Taşkınlar önlenbilir mi?' sorusuna evet cevabını verenlerin yüzdesi 69'dur. Bu cevabı verenlerin yaklaşık %54'ü taşkın felaketlerinin önüne ancak gerekli yapısal önlemlerin alınması ile geçilebileceğini belirtmişlerdir. Alınması gereken yapısal önlemler için, barajlar ve setler kurmak, taşkın duvarları inşa etmek, ilçenin alt yapısında iyileştirmeler yapmak gibi cevaplar vermişlerdir. Katılımcıların %8'i ise toplumun gerekli eğitim ve bilgilendirmelerle beraber risk bilincinin artırılmasının zararları önleyebileceği ya da azaltılabileceği görüşündedir. Aynı zamanda taşkınların önlenilebileceğini düşünen katılımcıların %24'ü ise mevcut dere yataklarına yerleşimden kaçınmak ve menfezlerin tıkanmasını önlemek gibi yapısız taşkın tedbirleri alınabileceğini belirtmişlerdir.

Yapısız taşkın kontrolü çözümleri açısından Anılan ve Yüksek (2017) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında, bu çalışmada bilgi düzeyinin ve bu çözüm alternatifi için verilen cevap oranlarının daha düşük çıktığı gözlenmiştir. Anılan ve Yüksek (2017)'te ağaçlandırma için verilen %16'lık cevap bu çalışmada katılımcılardan alınmamıştır. Taşkınların hiç önlenemeyeceği görüşünde olan katılımcılar ise %31 oranındadır ve bunların yaklaşık %6'sı bu durumu "Allah'ın işidir, önlenemez" şeklinde yorumlamıştır. "Taşkından sonra önlem aldınız mı veya alındı mı" sorusuna %59 oranı ile hayır şeklinde cevap veren katılımcıların, DSİ'nin yukarı havzada taşkın sonrası yaptığı rüsubat kontrol tesisleri hakkında bilgisi olmadığını göstermektedir.

Tablo 11: E/H sorularına verilen yanıt oranları

Sorular	Evet (%)	Hayır (%)
1.Taşkın riski altında olduğunuzu düşünüyor musunuz?	60	40
2.Taşkıdan sonra önlem aldınız mı veya alındı mı?	41	59
3.Sizce taşkınlar önenebilir mi? Nasıl?	69	31
6.Erken uyarı hakkında bilgi sahibi misiniz?	19	81
7.Bilgilendirme veya eğitim almak ister misiniz?	46	54
8.Erken uyarı oldu mu?	18	82

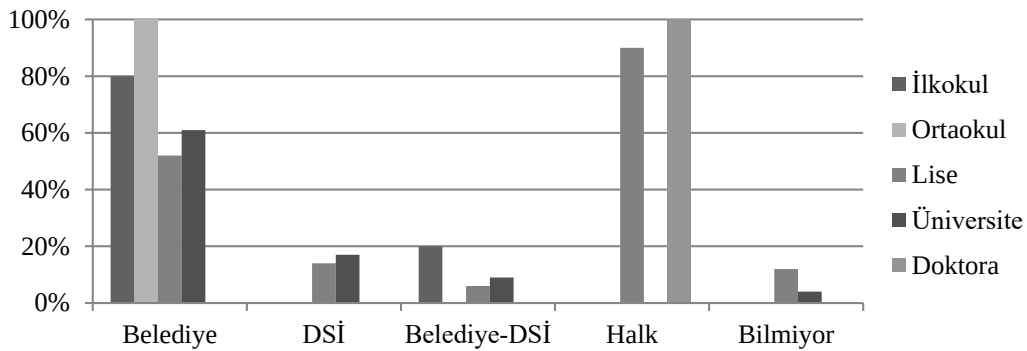
Taşkınların önlenemeyeceği konusu cinsiyete bağlı olarak değerlendirildiğinde, ankete katılan kadın katılımcıların %62'si taşkınların önlenemeyeceği konusunda görüş bildirirken %38'i taşkınların önlenemeyeceğini söylemiştir. Erkek katılımcıların ise %74'ü taşkınların önlenemeyeceği fikrindedir.

Taşkınların önlenemeyeceği konusu yaşa bağlı olarak değerlendirildiğinde, 15-24 yaş aralığındaki katılımcıların %71'i, 25-34 yaş aralığındaki katılımcıların %67'si, 35-49 yaş arası katılımcıların %65'i ve 50 yaş ve üzeri katılımcıların ise %69'u taşkınları önlenemeyeceğini söylemiştir. Verilere göre 35-49 yaş arası nüfusun, genç nüfusa oranla daha bilinçli yanıt verdiği gözlemlenmiştir. 50 yaş ve üzeri katılımcılardan taşkınların önlenemeyeceği yönünde cevap verenlerin çoğu bu duruma karamsar baktıklarını ifade etmiştir.

Taşkınların önlenemeyeceği konusu eğitim düzeyine bağlı olarak değerlendirildiğinde, ilkökul mezunu olanların %80'i, ortaokul mezunu olanların %50'si, lise mezunu olanların %68'i, üniversite mezunu olanların %69'u ve doktora yapmış olanların %100'ü taşkınların önlenemeyeceği görüşündedir. Taşkınların önlenemeyeceği sorusuna verilen yanıtların eğitim düzeyiyle olan ilişkisi incelendiği zaman, üniversite ve lise mezunlarının bu konuya yaklaşımının ortaokul mezunu olanlara göre daha bilinçli olduğu gözlemlenmiştir.

Büyükşehirlerin bulunduğu illerde DSİ ile bir protokol yapılmadığı hallerde taşkın kontrolünden DSİ, dere ıslahlarından ise DSİ ve büyükşehir belediyeleri ortak sorumludur. Trabzon ilinde bu manada bir protokol bulunmamaktadır. Bunun yanında taşkına özellikle sebebiyet veren kapalı kesitlerin, daraltıcı yapıların, hafriyat dökümlerinin önlenmesi ve kaldırılmasından belediyeler ve ilgili mülki idare amirleri sorumludur. İmar izinleri ise Büyükşehir Belediyelerinin sorumluluğunda olup, taşkın yönüyle DSİ'den görüş alınmak zorundadır. Bu bilgiler ışığında, halkın bilgi düzeyini ölçmek adına sorulan taşkınların önlenmesinden kimin sorumlu olduğu sorusuna %50 oranında 'belediyeler' cevabı verilmiştir.

Bu cevabı verenlerin eğitim seviyeleri incelendiğinde %72'sinin lise mezunu, %16'sının üniversite mezunu, kalan %12'lik kısmın ise ortaokul veya ilkökul mezunu olduğu saptanmıştır. DSİ'nin sorumluluğu olduğunu düşünenler ise katılımcıların %14'ünü oluşturmaktadır. Bu yanıtı verenlerin %71'i lise mezunu, %29'si ise üniversite mezunudur. Soruya hem belediye hem DSİ yanıtını verenler ise katılımcıların %7'sini oluşturmaktadır. Bunların %57'si lise mezunu, %29'u üniversite mezunu kalan %14'ü ise ilkökul mezunudur. Taşkınların önlenmesinden sorumlu kurum ve kuruluşlar hakkında bilgi sahibi olmayan katılımcılar ise %8 oranındadır. Bu katılımcıların %13'ü üniversite, %87'si lise mezunudur. Sorunun cevabına kurum ve kuruluşlar haricinde insan faktörünü de ekleyen katılımcılar ise %7 oranındadır. Bunlardan lise mezunu olanlar %86 oranında iken %14'sinin eğitim düzeyi doktora (Şekil 3). Ayrıca taşkınların önlenememesinden sorumlu diğer kurum ve kuruluşlara %14 oranında AFAD, valilik, kaymakamlık gibi cevaplar alınmıştır. Verilen yanıtlar göz önünde bulundurulduğunda, katılımcıların yarısından fazlasının taşkın riskini azaltmada ve zararlarını önlemede sorumluluk sahibi kuruluşların başında DSİ'nin olduğunun bilincinde olmadığını göstermektedir.



Şekil 3: 'Taşkınların önlenmesinden kim sorumludur?' sorusuna verilen yanıtların eğitim düzeyiyle ilişkisi

Yaşadıkları taşkından sonra kendilerine önlem alanlar çoğunlukla iş yeri sahibi olanlardır ve %11 oranındadır. Önlem alanlardan bazıları iş yerlerindeki hasar görecektir eşyalarını üst seviyeye taşımış, mevcut kotunda yükseltmeler yapmıştır. Dükkân sahiplerinden bazıları iş yerini sigortalatarak önlem almıştır. Önceki deneyimlerinden faydalanarak, sahip olduğu aracın park yerini değiştirip daha güvenli bölge tercih ederek maddi hasarı engelleyecek önlemler de alınmıştır. Yine yaşadığı deneyimlerden yola çıkarak ihtiyacı olabileceğini düşünerek iş yerlerine kum torbası taşıyanlar da mevcuttur. Katılımcılardan biri önlem olarak iş yerinin bir cephesini kapatıp tek cepheli hale dönüştürmüştür. Bir diğeri ise iş yerini tek cephesi olan bir yere taşımıştır. Ankete katılan diğer kesimde herhangi bir önlem alma girişime rastlanmamıştır (Durmuş 2020).

3.4. Erken Uyarı Farkındalık Değerlendirilmesi

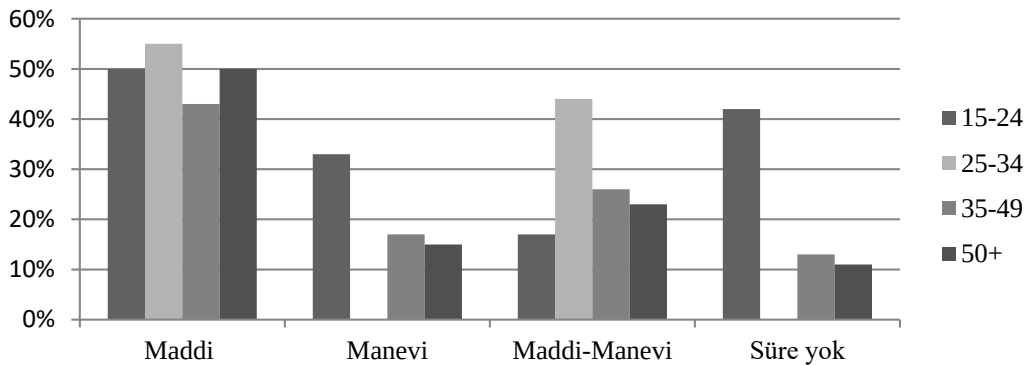
Taşkınla karşı karşıya kalıp harekete geçenlerin sayısı katılımcıların yaklaşık %35'ini oluşturmaktadır. Herhangi bir erken uyarı almayan kişiler taşkın sırasında kendi gözlem ve deneyimlerinden yola çıkarak harekete geçmesi gerektiğini anlamışlardır. Bu kişiler kendini uyarma yoluyla harekete geçmiş sayılmaktadır.

Katılımcıların çoğu ilçe merkezinde esnaf olduğu için taşkın anında su seviyesinin yükseldiğini fark ettikleri anda iş yerlerindeki maddi kayıpları önlemeye çalıştıklarını belirtmişlerdir. Bir kısmı tezgahtaki malları kurtarıırken, bir kısmı değerli evraklarını koruma altına almakla uğraştıklarını belirtmiştir. Buna ek olarak harekete geçenlerin %20'si iş yerlerine kapıların ve pencerelerin önüne çeşitli malzemeler koyarak su seviyesinin yükselmesini engellediklerini söylemiştir. Soruyu cevaplayan katılımcılardan taşkın anında harekete geçenlerin kendi adına aldıkları önlemlerin genellikle kapı ve pencere önlerine tahta veya benzeri malzemeler yerleştirmek olduğu gözlenmiştir. Yakınına arayıp haber almak isteyenler ise katılımcıların yaklaşık %11'ini oluşturmaktadır. Evine veya iş yerine gitmeye çalışanlar ise yaklaşık %6 oranındadır. Harekete geçmediğini belirten katılımcılar (%65) taşkına teslim olduğunu yapacak hiçbir şey olmadığını korku ve panikle beraber felaketin sona ermesini ve kurtarılmayı beklediklerini söylemişlerdir. Anket katılımcılarından %4'ünün görev icabı kurtarma çalışmalarında yer aldığı görülmüştür.

'Erken uyarıyı hangi yolla almak istersiniz?' sorusuna cevap olarak %48 oranında sokaktan hoparlör aracılığıyla sesli duyuru yanıtı alınmıştır. Katılımcıların %19'u erken uyarıyı cep telefonlarına gelen mesaj bildirimiyle almak tercih ettiklerini söylemiştir. Hem mesaj uyarısını hem hoparlör uyarısını tercih edenlerin oranı ise %4'tür. Hoparlörden sesli uyarı veya cep telefonuna gelen mesaj uyarısından farklı olarak katılımcıların %10'u televizyondan, %9'u internet, %6'sı ise yazılı basın aracılığıyla erken uyarı almak istediğini belirtmiş olup, %4'ü hiçbir uyarıya güvenmediklerini belirterek uyarı almak istemediklerini söylemişlerdir. Bölge halkının iletişim tercihinin daha çok sesli uyarı üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Katılımcıların çoğu yaşadıkları taşkın sonrası bölgede fazla sayıda hoparlör aracılığıyla sesli erken uyarı duyduklarını fakat bu uyarıların sonunda herhangi bir etkiye maruz kalmadıklarından dolayı yapılan sesli uyarıları artık dikkate almadıklarını belirtmişlerdir.

Katılımcılara harekete geçmeleri için gerekli olan minimum hazırlık süresi sorularak ihtiyaç olan ortalama hazırlık süresi belirlenmeye çalışılmıştır. Soruyu cevaplayan kişiler %87 oranındadır. Kalan %13'lük kısım ise hazırlık süresinin kendileri için önemli olmadığını belirtmişlerdir. Soruyu cevaplayan katılımcılardan 6 saatten az hazırlık süresine ihtiyaç duyanların oranı yaklaşık %51'tür. 24 saatten fazla hazırlık süresine ihtiyaç duyanların oranı %11, 24 saatle 6 saat arasında hazırlık süresine ihtiyaç duyanların oranı ise %25'tir. Bu verilerden yola çıkarak ortalama hazırlık süresi 13 saat olarak hesaplanmıştır. 6 saatten az hazırlık süresine ihtiyaç duyan kişiler genellikle dükkân sahipleri olup, bu süre içinde iş yerlerindeki malları daha güvenli bir yere veya bir sığınağa taşımak için kendine yeterli olan minimum süreyi söylemişlerdir. Ev ve iş yeri mesafesi biraz daha fazla olan dükkân sahipleri ise 6 saatten daha fazla hazırlık süresine ihtiyaç duyulacağını belirtmişlerdir. 24 saatten daha fazla hazırlık süresine ihtiyacı olacağı görüşünde olan katılımcılar ise değerli eşyaları, araçları ve ailesiyle beraber bulunduğu bölgeyi terk etmek için gerekli olan minimum süreyi referans göstermişlerdir.

Kişilere bu süre zarfında hangi kayıplarını önleyebilecekleri sorulduğunda ise alınan yanıtların yarısından fazlasının maddi kayıplarla ilgili olduğu görülmüştür. İş yerlerinde bulunan malları kurtarmak ve arabalarını yüksek yerlere çıkarmak, soruya verilen yanıtlar arasındadır. Katılımcıların %22'si sadece kendi ve yakınlarının canını kurtarmak istediğini belirtmiştir. Hem maddi hem manevi kayıplarını önleyebileceğini söyleyenlerin yüzdesi %23 iken, hazırlık süresine ihtiyaç duymayan kişiler bu sürede herhangi bir maddi ya da manevi kaybın önlenemeyeceğini düşünmektedir. Yaş aralıklarına göre soruya verilen cevapların dağılımı Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4: 'Hazırlık süresinde önlenebilecek kayıplar nelerdir?' sorusuna verilen cevapların yaş aralığına göre dağılımı

Olası bir taşkın anında ne yapılması gerektiğini bilenlerin yüzdesi 19 oranındadır. Katılımcıların %81'i erken uyarı ve planlamalar hakkında bilgi sahibi olmadıklarını belirtmişlerdir. Ne yapılması gerektiğini bilen katılımcıların tümü erkektir. Ankete katılanların %53'ü bu konuda bilgilendirme ve eğitim almak istemediklerini söylemişlerdir. Ne yapılması gerektiğini bilenlerin %68'i yine de eğitim almak istediğini belirtmiştir. Erken uyarı ya da taşkın anında ne yapılması gerektiğini bilmeyen katılımcılardan eğitim almak isteyenlerin oranı yaklaşık %41'dir. Bu kişilerin %57'si risk altında olduklarını düşündüklerini belirtmişlerdir. Yine herhangi bir uyarı ya da taşkın esnasında ne yapılması gerektiğini bilmeyen %81'lik kısımda kendini risk altında görenlerin oranı %63 olup, bu kişilerin %45'i eğitim almak istememektedir (Durmuş 2020).

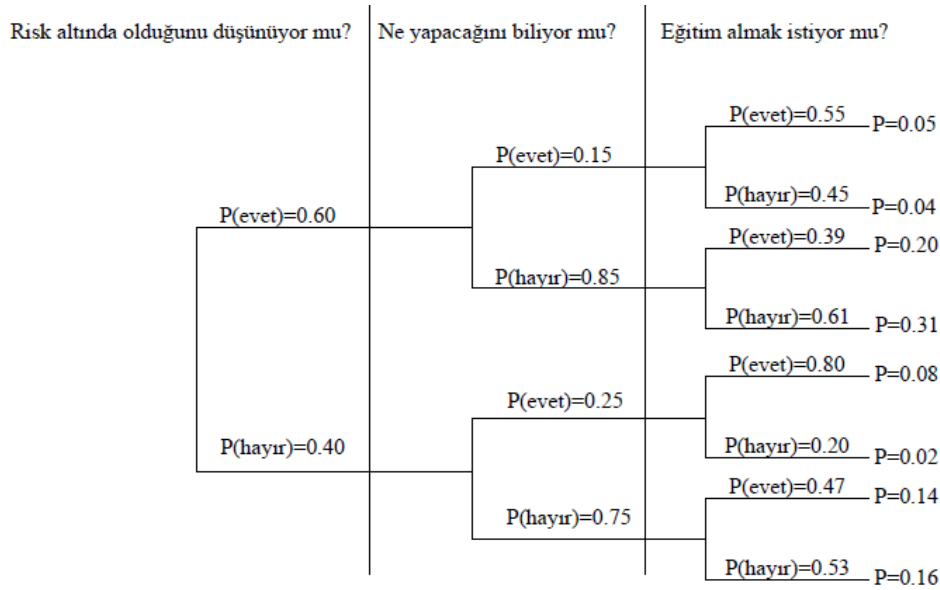
3.5. Olay Ağacı

Katılımcıların %18'i taşkından önce erken uyarı aldıklarını ifade ederken %82'si herhangi bir uyarı almadıklarını belirtmişlerdir. Erken uyarı aldığını söyleyen kişiler bu uyarıları resmi yolla aldıklarını söylemişlerdir. Bu kişilerin %94'ü uyarıya güvendiğini söylese de önlem almak için harekete geçmemişlerdir. Uyarıya güvenmediğini söyleyip önlem amaçlı harekete geçmeyen kişilerin oranı ise %6'dır. Hiçbir şekilde erken uyarı almadığını söyleyen kişilerin çoğu, felakete maruz kaldığını anladığı anda harekete geçmiştir. Sadece erken uyarı aldığını belirten %18 oranındaki katılımcılara yöneltilen sorulara verilen (E/H) oranları Tablo 12'de sunulmuştur.

Tablo 12: Erken uyarı alanların E/H sorularına verdiği yanıt oranları

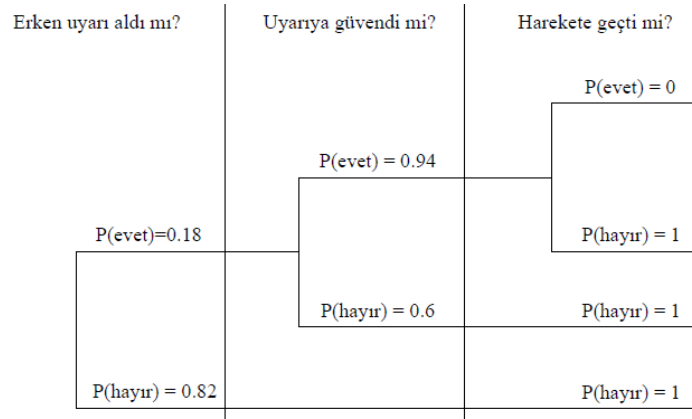
Sorular	Evet (%)	Hayır (%)
13.Risk altında olduğunuzu anladınız mı?	22	78
14.Erken uyarıya güvendiniz mi?	94	6
15.Uyarıdan sonra ne yapacağınızı biliyor muydunuz?	44	56
16.Önlem için harekete geçtiniz mi?	0	100

Bölge halkının bilgi düzeyini, bilinçliliğini ve farkındalığını ölçmek adına bu soruların birbiriyle olan ilişkisi aşağıdaki gibi bir olay ağacında incelenmiştir (Şekil 5). Olay ağacı verilerine göre risk altında olduğunu düşünen kişiler %60 oranındadır ve bunların %51'i ise taşkın anında ne yapılacağını bilmemektedir. Kendini risk altında hissetmesi ve olası bir taşkın anında ne yapılmasını gerektiğini bilmemesine rağmen erken uyarı ve planlamalar konusunda bilgilendirme veya eğitim almak istemeyenler %31 oranındadır ve bu oran toplumun taşkınlarla baş etme konusunda bilinçli olmadığını göstermektedir.



Şekil 5: Olay ağacı farkındalık analizi

Yapılan ankette taşkından önce erken uyarı alanların oranı %18'dir. Bu kişilerin hiçbiri olaydan önce önlem olarak harekete geçmemiştir. Olay ağacında da görüldüğü üzere uyarıya güvenilmesi harekete geçme eğilimini tetiklememiştir (Şekil 6). Kişilerin uyarıya güvense bile herhangi bir erken uyarı anında yapılacaklar hakkında yeterli bilgi ve tecrübe sahibi olmadıkları için harekete geçme durumunda doğru hamleler yapma olasılığının düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca eğitim düzeyi arttıkça veya taşkın anında ne yapacağını bilen yani bilinç düzeyi arttıkça eğitim alma isteğinin de arttığı görülmektedir (Durmuş 2020).



Şekil 6: Olay ağacı erken uyarı analizi

3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada 21 Eylül 2016 tarihinde Trabzon'un Beşikdüzü İlçesinde meydana gelen ve büyük miktarda can ve mal kaybıyla sonuçlanan taşkın, hidrolojik ve sosyal yönden incelenmiştir. Bu amaçla, ilk olarak yaşanan taşkının kaç yıl tekrerrür süreli taşkın debisine karşılık geldiğini belirlemek için bölgesel taşkın frekans analizi ile çeşitli tekrerrür süreli taşkın debileri hesaplanmıştır. L-momentlerle yapılan taşkın frekans analizine göre Beşikdüzü'nde meydana gelen bu şiddette bir yağışın görülme ihtimalinin, tüm standart zamanlarda 100 yılın civarında olduğu gözlemlenmiştir. İkinci olarak; bölge halkının bilgi düzeyini, bilinçliliğini ve farkındalığını ölçmek, aynı zamanda erken uyarı sistemindeki ihtiyaçları belirlemek adına taşkın olayını yaşayan bölge halkıyla anket yapılmıştır ve soruların birbiriyle olan ilişkisi bir olay ağacında incelenmiştir. Taşkın farkındalık kapsamında, kişilerin farkındalıklarının düşük olduğu, taşkınların önlenemeyeceği düşüncesinin daha yaygın olduğu ve taşkınları önlemede sorumlu kuruluşlar hakkında bilgi düzeylerinin yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Kendini risk altında hissetmeyen ve olası bir taşkın anında ne yapılmasını gerektiğini bilmeyen kişilerde bile erken uyarı ve planlamalar konusunda bilgilendirme veya eğitim almak istemeyenler %31 oranındadır ve bu oran toplumun taşkınlarla baş etme konusunda bilinçli ve gönüllü olmadığını göstermektedir. Kişilerin uyarıya güvense bile herhangi bir erken uyarı anında yapılacaklar hakkında yeterli bilgi ve tecrübe sahibi olmadıkları için harekete geçme durumunda doğru hamleler yapma olasılığının düşük olduğu belirlenmiştir. Bu makale çalışmasından elde edilen sonuçlara dayanarak yapılan öneriler şu şekilde özetlenmiştir:

- Taşkın farkındalığını ve risk bilincini ölçmek adına yapılmış olan sosyal çalışma sonucunda havza geneli ve riskli alanlar için taşkın tehlikesinin ve taşkından zarar görülebilirliğin azaltılması, taşkına karşı direncin artırılması ve taşkın tehlikesiyle beraber taşkın riski hakkında bilginin geliştirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Taşkın tahmininde erken uyarının önemi ve anlaşılma eğilimine ait temel durumun tanımlanması için sadece kentsel alanların taşkın riskini tahmin etmek amacıyla değil, aynı zamanda her yapısal olmayan önlemin potansiyel sonuçları nasıl etkileyeceğini analiz etmek için bir temel oluşturmak amacıyla mevcut risk bilincinin analiz edilmesi gerekmektedir.
- Kamuoyu araştırmasının başarısını ve sonuçların daha fazla kullanılmasını garanti altına almak için yerel yönetimlerin de dahil olması gereken toplum temelli önlemler alınması gerekmekte ve bu önlemlerin vatandaş girişimleri, sivil toplum kuruluşları veya bu alanda çalışan diğer kamu kurum ve kuruluşlarla entegre edilmesi gerekmektedir.
- Toplumda güven duygusunu zedelememek adına yapılan uyarıların geçerliliği kontrol edilmeli, alarm seviyesi düşük, yüksek veya çok yüksek olaylar için farklı uyarı yolları tercih edilmelidir.
- Taşkın debisi tahminlerinde kullanılan akarsu gözlem istasyonlarının ölçüm sırasında yatak oyulmaları ve çeşitli malzeme birikintileri yüzünden doğru sonuç verememesi nedeniyle, bunun yerine GSM / GPRS modem aracılığı ile uzaktan veri okuyabilen, yüzey su seviyesi ölçümleri için yüksek doğrulukta temassız ölçüm sistemi içeren radar sensörlü limnigraflar kullanılmalıdır.
- Ölçüm cihazından gelen mikrodalga sinyallerinden malzeme yüzeyine olan uzaklığın saptanması ve bu sayede seviye hesaplanmasıyla seviyeye bağlı debi ve hacim ölçümü yapıp öngörülen tehlike karşısında erken uyarılar yapılmalıdır.
- Uyarılar halk ve diğer kamu kuruluşlarına iletmeli böylece toplum temelli erken uyarı sistemi geliştirilmelidir.
- Sistemin doğruluğu, güvenilirliği, zamanında ve geçerli uyarı yayma potansiyeli incelenmeli, uyarılar ve uyarı sonrası yapılması gerekenlere karşı halk, sivil toplum örgütleri ve diğer kamu kuruluşları bilgilendirilmelidir.
- İnsanların taşkın farkındalık bilincinin ve erken uyarı sistemleri hakkında bilgilerinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Bu kapsamda, Trabzon İli'nde yapılan Taşkın Müzesi, halkın taşkın zararlarına karşı hem önceden hem de taşkın anında alınabilecek önlemler hakkında bilgi sahibi olmalarını sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Akçalı E., (2018), *Taşkın ve rusubat kontrolünde yenilikçi uygulamalar*, 2. Uluslararası Doğal Afetler ve Afet Yönetimi Sempozyumu, 4-6 Mayıs, Sakarya, ss.31-40.
- Alfieri L., Salamon P., Pappenberger F., Wetterhall F., Thielen J., (2012), *Operational early warning systems for water-related hazards in Europe*, Environmental Science and Policy, 21, 35-49.
- Anılan T., (2014), *Doğu Karadeniz Havzası'nın L-momentlere dayalı taşkın frekans analizinde yapay zeka yöntemlerinin uygulanması*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Anılan T., Yüksek Ö., (2017), *Perception of flood risk and mitigation: survey results from the Eastern Black Sea Basin, Turkey*, Natural Hazards Review, 18(2), 05016006, doi: 10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000232.
- Anılan T., Uzlu E., Kankal M., Yüksek Ö., (2018), *The estimation of flood quantiles in ungauged sites using teaching- learning based optimization and artificial bee colony algorithms*, Scientia Iranica, 25(2), 632-645.
- Doswell C.A., Brooks H.E., Maddox R.A., (1996), *Flash flood forecasting: an ingredients based methodology*, Weather and Forecasting, 11(4), 560-581.
- DSİ, (2016), *Beşikdüzü Taşkın Raporu*, DSİ 22. Bölge Müdürlüğü, Trabzon.
- Durmuş H., (2020), *Taşkın farkındalık ve erken uyarı sistemleri değerlendirilmesi: Trabzon Beşikdüzü örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gautam D.K., Phaiju A.G., (2013), *Community based approach to flood early warning in West Rapti River Basin of Nepal*, IDRIM Journal, 3(1), 155-169.
- Gebeyehu A., (1989), *Regional flood frequency analysis*, The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, Bulletin No. TRIVA-VBI-148, 169ss.
- Hosking J.R.M., (1986), *The theory of probability weighted moments*. Research Rep. RC 12210, IBM Research Division, Yorktown Heights, New York, USA. 160ss.
- Hosking J.R.M., (1990), *L moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics*, Journal of the Royal Statistical Society Series B, 52, 105-24.
- Hosking J.R.M., Wallis J.R., (1988), *The effect of intersite dependence on regional flood frequency analysis*, Water Resources Research, 24, 4, 588-600.
- Hosking J.R. M., Wallis J.R., (1993), *Some statistics useful in regional frequency analysis*, Water Resources Research, 29, 2, 271-281.
- Hosking J.R.M., Wallis J.R., (1997), *Regional frequency analysis: an approach based on l-moments*, IBM Research Division, Yorktown Heights, New York, USA. 224ss.
- Karaman Z.T., (2018), *Afetlerde erken uyarı ve toplumsal farkındalık yaratmada etkili kamu politikaları*, Bitlis Eren Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 7(2), 493-517.
- Kreibich H., Thieken A.H., Petrow T., Muller M., Merz B., (2005), *Flood loss reduction of private households due to building precautionary measures—lessons learned from the Elbe Flood in August 2002*. Natural Hazards and Earth Systems Sciences, 5(1), 117-126.
- Lindell M.K., Perry R.W., (2000), *Household adjustment to earthquake hazard*, Environmental Behavior, 32(4), 461-501.
- Molinari D. ve Handmer J., (2011), *A behavioural model for quantifying flood warning effectiveness*, Journal of Flood Risk Management, 4(1), 23-32.
- Norris F.H., Smith T., Kaniasty K., (1999), *Revisiting the experiencebehavior hypothesis: the effects of hurricane hugo on hazard preparedness and other self-protective acts*, Basic Applied Social Psychology, 21(1), 37-47.
- Parker D.J., Priest S.J., Tapsell S.M., (2009), *Understanding and enhancing the public's behavioural response to flood warning information*, Meteorological Applications: A Journal of Forecasting, Practical Applications, Training Techniques and Modelling, 16(1), 103-114.
- Sarıcan Y., (2013), *Taşkın tehlikesinin belirlenmesi amacı ile otomatik yağış miktarı ölçüm sisteminin geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Seçkin N., Cobaner M., Yurtal R., Haktanir T., (2013), *Comparison of artificial neural network methods with l-moments for estimating flood flow at ungauged sites: the case of East Mediterranean River Basin, Turkey*, Water Resources Management, 27, 2103-2124.
- Sorensen J.H., (2000), *Hazard warning systems: review of 20 years of progress*, Natural Hazards Review, 1(2), 119-125.
- SYGM, (2017), *Taşkın Yönetimi*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, 248ss.
- Şorman Ü., Okur A., (2000), *L-momentler tekniği kullanılarak noktasal ve bölgesel frekans analizinin uygulanması*, İMO Teknik Dergi, 2199-2216.
- Thiemig V., de Roo A., Gadain H., (2011), *Current status on flood forecasting and early warning in Africa*, International Journal of River Basin Management, 9(1), 63-78.
- Uşşay S., Aksu S., (2002), *Ülkemizde taşkınlar, nedenleri, zararları ve alınması gereken önlemler*, Türkiye Mühendislik Haberleri, 47(4-6), 133-136.
- Vogel R.M., Fennessey N.M., (1993), *L moment diagrams should replace product moment diagrams*, Water Resources Research, 29,6, 1745-1752.
- Yüksek Ö., Serencam U., Üçüncü O., Anılan T., (2013), *Afet ve taşkın yönetimi ve Değirmendere örneği*, Taşkın ve Heyelan Sempozyumu, 24-26 Ekim, Trabzon, ss.33-44.
- Zaleskiewicz T., Piskorz Z., Borkowska A., (2002), *Fear or money? Decisions on insuring oneself against flood*, Risk Decision Policy, 7(3), 221-233.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi İllerinin CBS Kullanarak Hava Kalitesinin Mekânsal Değişiminin İncelenmesi (2007-2019)

Ercan Vural^{1,*} 

¹Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 63100, Haliliye, Şanlıurfa.

Özet

Sanayi devrimiyle birlikte çevre sorunları çeşitlenmiş ve önemli ölçüde artış göstererek hem doğal hem de beşerî çevreyi etkilemiştir. Bu çevre sorunlarının en önemlileri arasında yer alan hava kirliliği geçmişte olduğu gibi günümüzde de ciddi bir sorun olmuştur. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinde 2007-2019 yılları arasında hava kalitesi ve kirliliğine etki eden beşerî unsurların incelendiği bu çalışmada, kirlilik özellikle belirli illerde süreklilik göstermektedir. Bu sürekliliğe bağlı olarak amacımız bölge illerindeki hava kirliliğini tespit etmek ve bunlara çözüm önerisi sunabilmektir. Hava kirliliğinin mekânsal değişimini tespit etmek için Coğrafi Bilgi Sistemleri aracılığıyla IDW (Inverse Distance Weighting) analizi kullanılmıştır. Bu analiz yöntemiyle ölçümler arasında enterpolasyon sağlanmıştır. SO₂ konsantrasyonun en fazla olduğu iller 2007'de Şanlıurfa ve Siirt, 2012'de Şırnak, 2017'de Şanlıurfa ve Siirt ve 2019'da da Şanlıurfa'dır. PM₁₀'de ise 2007'de Batman, 2012'de Gaziantep, Batman ve Siirt, 2017'de Şanlıurfa ve 2019'da da Şırnak'ta yıllık ortalama konsantrasyon fazladır. Kirliliğin artmasında en önemli beşerî unsurlar; şehirde yaşayan nüfus miktarı, konutlarda ve sanayide kullanılan yakıt türü ve kalitesi, sanayiye bağlı işletme sayısı ve araç sayısıdır. Bu manada insan sağlığının bozulmasına hatta ölümlere neden olan hava kirliliğinde yerel ve ulusal yönetimlerin ciddi önlem alması gerekmektedir.

Anahtar Sözcükler

Hava Kalitesi, Hava Kirliliği, Kükürt Dioksit, Partikül Madde, CBS

Investigation of Spatial Change of Air Quality of Southeast Anatolia Region Provinces Using GIS (2007-2019)

Abstract

With the industrial revolution, environmental problems have diversified and have increased significantly, affecting both the natural and the human environment. Air pollution, which is among the most important of these environmental problems, has been a serious problem today as it was in the past. In this study, which examines the human factors affecting air quality and pollution between 2007-2019 in the provinces of Southeast Anatolia Region, pollution shows continuity especially in certain provinces. Depending on this continuity, our aim is to detect air pollution in the provinces of the region and offer solutions to them. IDW (Inverse Distance Weighting) analysis was used through Geographic Information Systems to detect the spatial change of air pollution. With this analysis method, interpolation was provided between the measurements. The provinces with the highest SO₂ concentration are Şanlıurfa and Siirt in 2007, Şırnak in 2012, Şanlıurfa and Siirt in 2017 and Şanlıurfa in 2019. PM₁₀ annual average concentration is high in Batman in 2007, Gaziantep, Batman and Siirt in 2012, Şanlıurfa in 2017 and Şırnak in 2019. The number of population living in the city, the type and quality of fuel used in residences and industry, the number of industrial enterprises and the number of vehicles are among the important human factors affecting pollution. In this sense, local and national administrations should take serious measures in the air pollution that causes human health to deteriorate or even die.

Keywords

Air Quality, Air Pollution, Sulfur Dioxide, Particulate Matter, GIS

1. Giriş

Sanayi devrimi ile kol gücü ortadan kaldırılmış ve bu gücün yerini makineler almıştır. Böylece endüstri toplumları ortaya çıkmıştır. Endüstri toplumunun gelişmesiyle insanlar şehirlere göç etmeye başlamış, kalkınma ve yaşam standartlarını yükseltmek için de sürekli üretim yapma zorunluluğu içerisinde girmiştir. Bu bakımdan çevresini yoğun olarak kullanmış ve çağımızın en büyük sorunlarından olan çevre ve insan sağlığı sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. (İbret ve Aydınözü 2009). Temel de katı, sıvı ve gaz atıklarının sebep olduğu su, hava ve toprak kirliliği sorunları, modern dünyanın en önemli çevre sorunlarının temel taşlarını oluşturmaktadır (Batan 2013).

Çevre sorunlarına, nüfus miktarı ve yoğunluğu (şehir-kır), sanayileşme, kentleşme (gecekondulaşma, plansız kentleşme vb.), yoğun olarak yapılan göçler vb. gibi faktörler etki etmektedir. Bu ve benzeri faktörlerin etkili olduğu çevre sorunları insan sağlığını, bitkileri, hayvanları, beşerî yapıları vb. birçok unsuru olumsuz düzeyde etkilemektedir.

Günümüzde, artan çevre sorunlarının başında gelen hava kirliliği, geleceğin çevre yapısını önemli ölçüde tehdit etmekte, ekolojik ve biyolojik tehlikelerle karşı karşıya bırakmaktadır. Hızla artan dünya nüfusuna paralel olarak, artan miktarda enerji kullanımı, sanayinin gelişimi ve kentleşmeyle başlayan hava kalitesinin düşmesi insan sağlığı başta olmak üzere diğer canlılar ve beşerî yapılar üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır (Çiftçi vd. 2013). Hava kirliliği, toprak kirliliği gibi yerel veya su kirliliği gibi bölgesel sınırlarla kalmamaktadır (İbret ve Aydınözü 2009). Hava kirliliği global ölçekte hemen her ülkeyi tehdit eden bir sorundur. Araştırmacılar, insan yaşamı için en konforlu yerin temiz atmosferik çevre olduğunu belirtmişlerdir (Adıgüzel vd. 2019). Dünyada özellikle son 30-35 yılda hava kirliliği verilerinin düzenli olarak izlenmesine ve kirliliği azaltabilmek için ciddi anlamda mücadele edilmesine rağmen, özellikle büyük ve kalabalık şehirlerde kirlilik düzeyleri halen güvenli kabul edilmeyen seviyelerdedir. 1980’li yıllara kadar dünyada 1.3 milyar kişinin hava kalitesi standartlarının üstünde kirlilik içeren şehirlerde yaşadığı tespit edilmiştir (Cuci ve Polat 2015). 1980’lerde dünyada durum böyleyken günümüzde de küresel ölçekte hava kalitesi standart değerlerinin çok üstünde kirliliğe sahip olan ülkelerin sayısı ile bu kirlilikten etkilenen insan sayısı oldukça fazladır. Dünya Sağlık Örgütü’nün 2019 verilerinde her 10 kişiden 9’unun kirli hava soluduğu özellikle belirtilmiştir (ESRI 2020). Kirli hava solunmak insanlarda kalıcı hasarlarla hatta ölümlerle sonuçlanabilmektedir. Geçmişteki hava kirliliği nedeniyle, binlerce insan hayatını kaybetmiş, günümüzde de devam edecek şekilde hastalıklar artmış ve yaşam standartları önemli ölçüde düşmüştür (Alkan 2018). Kirli hava, basit göz burun rahatsızlıklarından zatürre ve verem gibi önemli akciğer hastalıklarına kadar pek çok hastalığa neden olabilmektedir (Tağıl 2007). Hava kirliliğinde özellikle kükürt oksitler (SO_2) ve partikül maddeler (PM_{10}) önemlidir. Havadaki kükürt oksitlerin en önemlisi kükürt dioksittir. SO_2 suda çabuk çözünen bir gaz olduğundan kolay bir şekilde kan dolaşımına girebilmektedir (Çiçek vd. 2004). Hem kükürt oksitler hem de partikül maddeler kan dolaşımına girmelerinin yanı sıra akciğere yerleşerek önemli hastalıklara neden olmaktadır.

Türkiye’deki hava kirliliği olayları, 1950’li yıllardan itibaren başlayan sanayileşme trendleriyle, hızlı ve plansız kentleşmeye bağlı olarak ortaya çıkmış ve önüne geçilemez bir sorun haline gelmiştir. Son yıllarda gelişmekte olan ülkelerden biri olan Türkiye’de hava kirliliği değerleri ciddi boyutlara ulaşmıştır. Hava kirliliğinin resmi ölçüm sonuçları, ülke genelinde solunan havanın sağlığa zararlı olduğunu göstermektedir (Özşahin vd. 2016). Ülkemizdeki hava kirliliğinin başlıca kaynakları evsel ısınma, endüstriyel kullanım, karayolu trafiği, termik santraller ve diğer kaynaklar şeklindedir (Özbey vd. 2017). Özellikle büyük şehirlerde evsel ısınma ve karayolu trafiğine bağlı hava kirliliği görülürken, fonksiyonel olarak endüstriyel faaliyetlerin baskın olduğu şehirlerde ise endüstriyel kaynaklı hava kirliliği görülmektedir. Türkiye’de özellikle büyük şehirler başta olmak üzere şehirlerin büyük çoğunluğunda hava kirliliği problemi önemli bir konu olarak hem yerel hem de ulusal yöneticilerin sürekli gündeminde olan bir konudur (Atayeter 2005).

Türkiye’nin hemen her bölgesinde hava kirliliği sınır değerlerinin aşıldığı görülmektedir. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır, Siirt ve Batman hava kirliliğinin en yüksek seviyede olduğu iller arasında yer almaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi, konumu nedeniyle Suriye ve Arabistan çöllerine yakın olması ve çöl bölgelerinin etkisini önleyecek topografik engellerin bulunmaması nedeniyle çöl kaynaklı tozlardan yılın belirli dönemlerinde etkilenmektedir. Fakat bölgenin kuzeyinde sıra halinde uzanan Güneydoğu Torosların varlığı çöl tozlarının etki alanını sınırlamıştır (Şengün ve Kıranşan 2012). Bu kapsamda, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde endüstriyel, evsel, trafik kaynaklı hava kirliliğinin görülmesinin yanı sıra bölgenin yakın çevresinde bulunan çöllerden gelen tozlar da bölgede hava kirliliğine ve çamur yağışlarına neden olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi özelinde hava kirliliğinin 2007-2019 yılları arasında mekânsal değişimini ortaya koymak ve ortaya çıkan sonuçlara çözüm önerileri sunmaktır. Hava kalitesi yaşam ilişkisi çerçevesinde konu irdelenirken, hava kirliliğine kaynak olabilecek belli başlı etkenlere ki bunlar; yıllara göre nüfus miktarı (şehir-kır) ve yoğunluğu, araç sayısı, sanayi gelişimi, konut sayısı, konutlarda ve endüstriyel tesislerde kullanılan yakıt türü ve miktarı ve bunlara bağlı sonuç olarak da ortaya çıkan solunum hastalıklarının periyodik seyri göz önünde bulundurulmuştur.

2. Materyal ve Metot

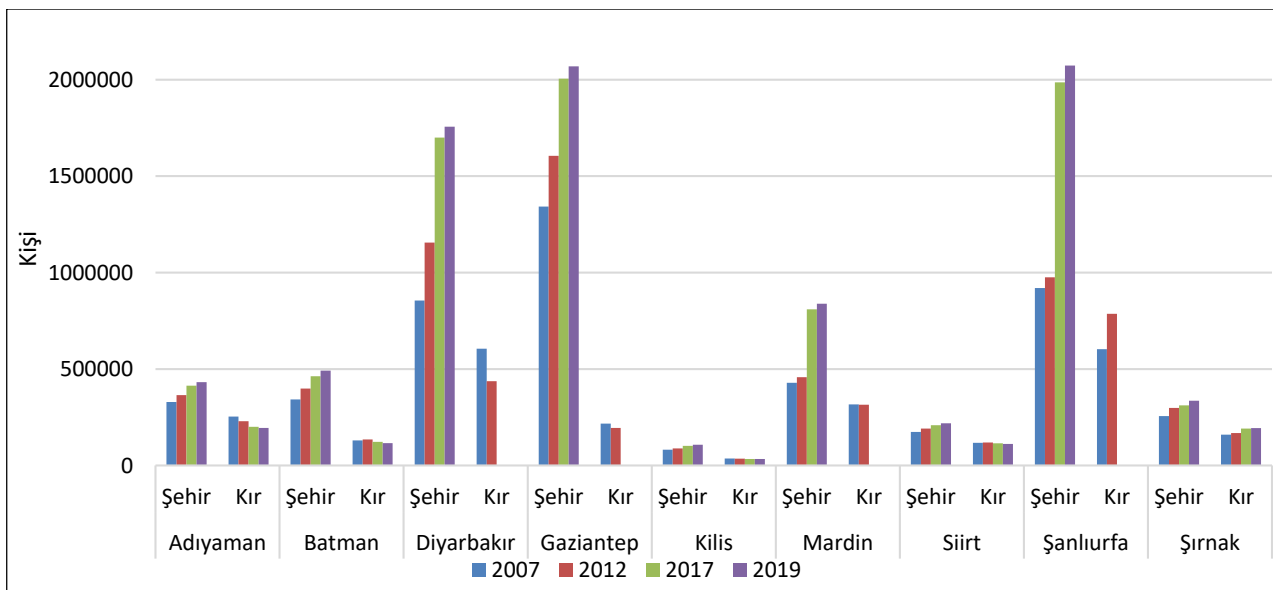
Hava kirliliğinde kaynağa bağlı olarak değişiklik gösteren birçok kirliletiçi unsur bulunmaktadır. Bu çalışmada Çevre Şehircilik Bakanlığı ve TÜİK’in 2007-2019 yılları arasında Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerine (Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt, Şanlıurfa, Şırnak) ait SO_2 ve PM_{10} değerleri incelenmiştir. 9 ile ait istasyon verileri otomatik olarak ölçüm yapmaktadır ve anlık olarak “Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı”ndan (<http://index.havaizleme.gov.tr/Report/Station>) takibi sağlanabilmektedir. İlgili bakanlık ve kurumlardan elde edilen verilerin yıllık ortalaması göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca kükürt dioksit ve partikül madde miktarlarında 2019 yılından itibaren geçerli olan sınır değerlere göre değerlendirme yapılmıştır. Hesaplanan yıllık ortalamalar ArcGIS 10.4 programında IDW (Inverse Distance Weighting - Ters Mesafe Ağırlıklı) enterpolasyon yöntemiyle haritalandırılmıştır. Verilerin ağırlıklı ortalamasını temel alan bir enterpolasyon yöntemidir. Yumuşatılmış ve hızlı sonuç alınması gereken durumlarda kullanılan bir yöntem olan IDW matematiksel işlemler ile sonuç üretmektedir (Toros vd. 2018).

Ters Mesafe Ağırlıklı enterpolasyon yöntemi, bir dizi numune noktasının doğrusal ağırlıklı bir kombinasyonunu kullanarak hücre değerlerini belirler. Ağırlık, ters mesafenin bir fonksiyonudur. Enterpolasyon yapılan yüzey, konuma bağlı bir değişken olmalıdır. Bu yöntem, eşlenen değişkenin, örneklenen konumundan olan mesafe ile etki olarak azaldığını varsayar. Örnek vermek gerekirse, bir perakende satış alanı analizi için tüketici satın alma gücünün bir yüzeyini enterpole ederken, daha uzak bir konumun satın alma gücünün daha az etkisi olacaktır, çünkü insanların eve daha yakın alışveriş yapma olasılığı daha yüksektir” (ÇMO 2019).

3.Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Hava Kirliliğini Etkileyen Bazı Beşerî Faktörler

3.1. Nüfus Artış Hızı ve Yoğunluğu

Hava kirliliği, sosyal olaylar, ekonomik etkinlikler ve doğal olaylar sonucunda oluşan is, duman, toz, gaz, buhar vb. kirlenici unsurların havanın doğal bileşimi (Şengün ve Kıranşan 2012) içinde aşırı miktarda barınan ve tepkimeye girerek yapıyı bozan ve sonucunda da insana ve doğal ortama zarar veren atmosfer içinde bulunması gerekenden fazla bulunan ve atmosfere yabancı olan gazların tümünün oluşturduğu olaya denmektedir. Bu manada özellikle sosyal ve ekonomik yapı içinde demografik miktar çok önemlidir. Nüfus miktarı fazla olan şehirlerde hava kirliliği daha fazla görülmektedir. Hava kirliliği günümüz kentsel bir olgudur. Büyük doğal felaketler gerçekleşmediği takdirde kırsal alanlarda hava kirliliğinden söz edilmesi çok olası değildir (Demirarslan ve Akıncı 2018). Bu nedenle özellikle şehirdeki nüfusun yıllara göre azalıp artması hava kirliliğinin de oranını belirlemektedir. Nüfusu fazla olan şehirlerde konut sayısı artacak, daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulacak ve böylece atmosfere salınan kirlenici unsurlarda artış meydana gelecektir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin hava kalitesini ve kirliliğini etkileyen en önemli faktörlerin başında hızlı nüfuslanma gelmektedir (Şengün ve Kıranşan 2012). Bir bölgede doğal nüfus artışın yanı sıra işsizlik, düşük maaş, zorlu çalışma koşulları, ekonomik beklentilerin ihtiyacı karşılamaması, yaşam koşullarındaki zorluğa bağlı olarak oluşan (Sertkaya Doğan 2015) göç alış-verişi de hava kirliliğinin artmasına veya azalmasına neden olabilmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin 2007-2019 yılları arası şehir ve kırsal nüfuslarına bakıldığında; tüm illerin şehir nüfus miktarlarında artış görülmektedir. Kırsal nüfuslarında ise dalgalanmalar görülmektedir. Fakat hava kirliliğinin yaşanması için özellikle şehirde yaşayan nüfusun önemli etkisi bulunmaktadır. Şekil 1'de belirtildiği gibi 2007'de Adıyaman şehir nüfusu 329.060 iken 2019'da %31,21 artarak 431.758'e, Batman şehir nüfusu 342.452 iken, 2019'da %43.76 oranında artarak 492.312'ye, Diyarbakır ilinin toplam nüfusu 2007'de 1.460.717 iken 2019'da %20.24 artarak 1.756.353'e, Gaziantep ilinin toplam nüfusu 2007'de 1.560.023 iken, 2019'da %32.65 artarak 2.069.364'e, Kilis şehir nüfusu 2007'de 82.419 iken, 2019'da %31.25 artarak 108.172'ye, Mardin ilinin toplam nüfusu 2007'de 745.778 iken, 2019'da %12.47 artarak 838.778'e, Siirt şehir nüfusu 2007'de 173.770 iken 2019'da % 25.77 artarak 218.5563'e, Şanlıurfa ilinin toplam nüfusu 2007'de 1.523.099 iken, 2019'da %36.14 artarak 2.073.614'e ve son olarak da Şırnak şehir nüfusu 2007'de 256.352 iken, 2019'da %30.93 artarak 335.652'ye ulaşmıştır. Bu çerçevede 2007 yılından 2019 yılına kadar olan süreçte en fazla nüfuslanan yer 550.515 kişi ile Şanlıurfa olmuştur. En az nüfuslanan yer ise 25.753 ile Kilis olmuştur. 2007'den 2019'a kadar olan sürede Kilis, Şırnak ve Siirt dışında Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep ve Mardin'de 100.000'in üzerinde nüfus artışı meydana gelmiştir.



Şekil 1: Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin şehir ve kırsal nüfusu miktarı (2007-2019) (TÜİK 2020a)

Hızlı nüfus artışının hava kirliliği üzerindeki bir başka etkisi de nüfusun alansal yoğunluğu sayesinde gerçekleşmektedir (Özşahin vd. 2016). Bu bakımdan tablo 1’de görüldüğü gibi bölgede yer alan tüm illerin 2007’den 2019’a kadar olan süreçte nüfus yoğunluklarında artış meydana gelmiştir. Nüfus yoğunluğu en fazla Gaziantep’te görülmektedir. En az nüfus yoğunluğu artışı ise Adıyaman’da görülmektedir.

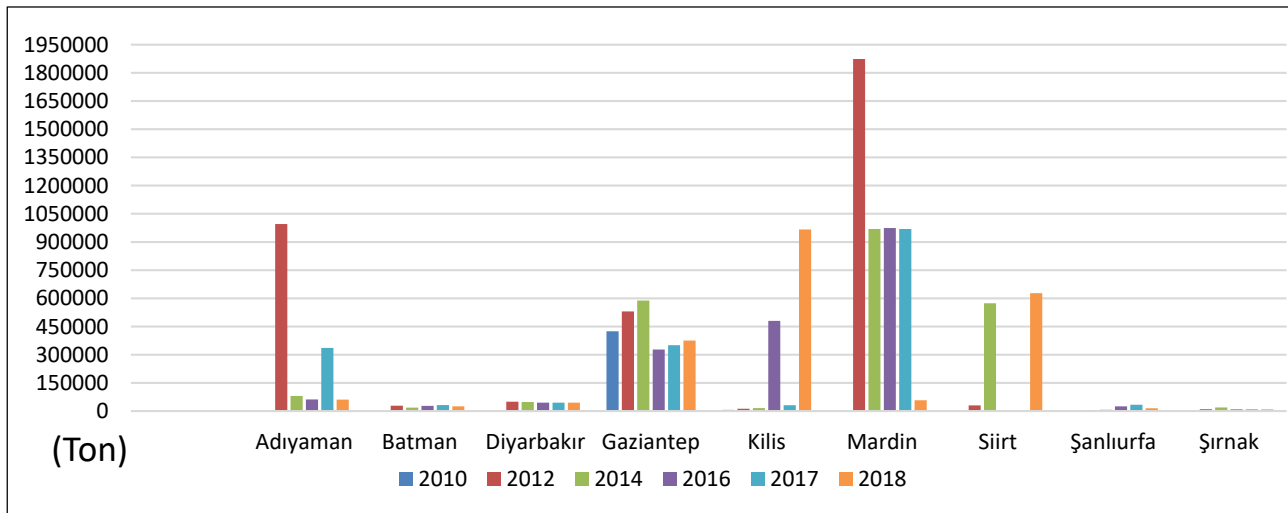
Tablo 1: Güneydoğu Bölgesi illeri aritmetik nüfus yoğunluğu (km²/kişi) (2007-2019)

İller	2007	2012	2017	2019
Adıyaman	74	75	78	79
Batman	101	114	125	130
Diyarbakır	95	103	110	114
Gaziantep	204	235	262	270
Kilis	72	75	83	86
Mardin	83	86	91	94
Siirt	53	57	60	61
Şanlıurfa	81	94	106	111
Şırnak	58	65	70	73

Özellikle Batman, Diyarbakır, Gaziantep ve Şanlıurfa’da nüfus yoğunluğu 100’ün üzerindedir. Bu bakımdan hava kirliliği bu illerde etkisini daha fazla göstermektedir. Doğal ve göç yoluyla artan nüfus miktarı ve yoğunluğun artması mevcut konut sayısının artmasına veya boş konutların dolmasına ve daha fazla yakıt ve araç kullanımına neden olabilmektedir.

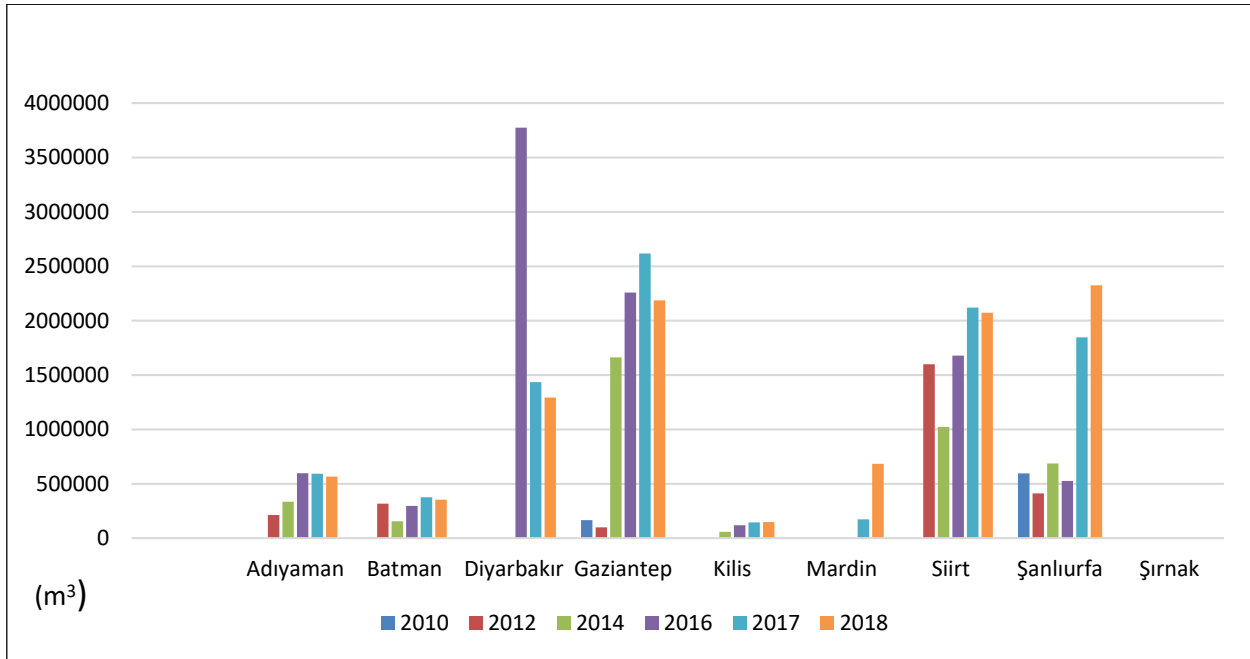
3.2.Konutlarda Kullanılan Yakıt Türü ve Miktarı

Hava kirliliği aşırı kullanılan fosil yakıtlar nedeniyle gelişen dünyanın en büyük problemlerinden biridir (Tağıl 2007). Bu problemlerin en fazla görüldüğü yerler şehirlerdir. Fosil yakıtlar hem konutlarda ısınma amacıyla hem de sanayi de enerji olarak kullanılmaktadır. Sanayi de fosil yakıtların kullanımı yıl boyunca devam ederken, konutlarda sadece özellikle hava sıcaklığının düşmesiyle birlikte kullanılmaktadır. Fosil yakıtların kalitesinin ve miktarının Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde hava kirliliğinin yaşanmasında önemli bir yeri vardır. Bu çerçevede İl Çevre Durum Raporlarından elde edilen 2010-2018 yılları arası konut ve sanayide kullanılan yakıt türü ve miktarı hava kirliliğinin yaşanmasındaki etkiyi açıklar niteliktedir.



Şekil 2: Güneydoğu Anadolu Bölgesi illeri konutlarda kömür kullanımı (ton) (ÇŞB 2020)

Şekil 2’de görüldüğü gibi bölgede konutlarda ısınma için özellikle yerli ve ithal kömür kullanımı oldukça yaygındır. Konutların ısıtılmasında kömür kullanımı havada hem kükürt dioksit kirliliğine hem de is, kurum gibi partikül madde kirliliğine neden olmaktadır. Konutların ısınmasında Gaziantep, Mardin, Siirt, Şanlıurfa, Adıyaman ve Kilis illerinde kömür kullanımı oldukça fazladır. Konutlarda en fazla kömür kullanımı Mardin’de görülürken, en az kömür ise Şırnak’ta kullanılmaktadır.



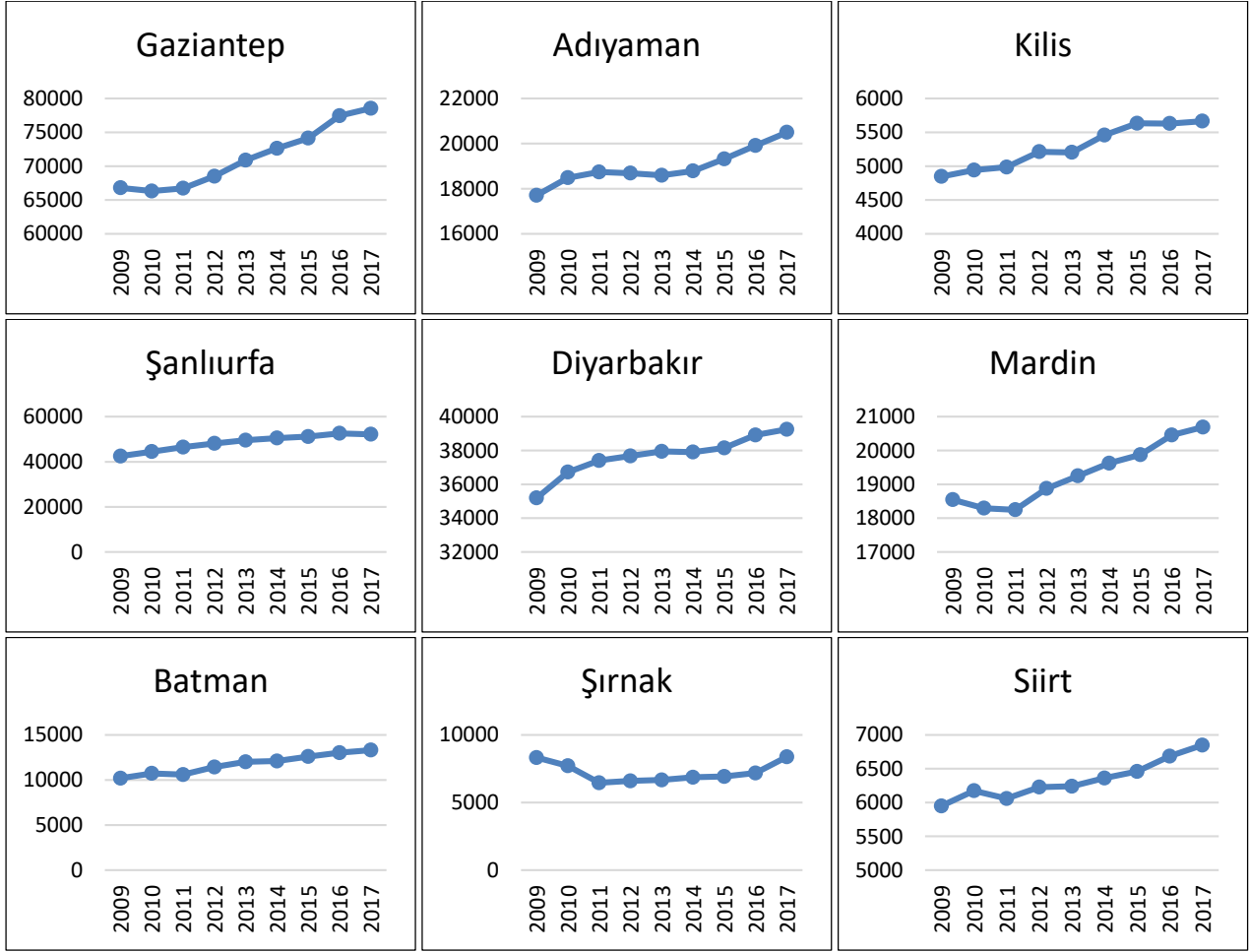
*Şırnak iline 2018 yılında doğalgaz verilmeye başlanmıştır. (GAZBİR 2018 Yılı Sektör Raporu)

Şekil 3: Güneydoğu Anadolu Bölgesi illeri konutlarda doğalgaz kullanımı (m³) (ÇŞB 2020)

Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinde yer alan konutlarda ısıtma amaçlı olarak doğalgaz kullanımı oldukça yaygındır. Şekil 3’te Şırnak dışındaki tüm illerde doğalgaz kullanıldığı görülmektedir. En fazla doğalgaz kullanımı olan iller Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Siirt ve Şanlıurfa’dır. Kilis ve Mardin’de ise nispeten fazladır.

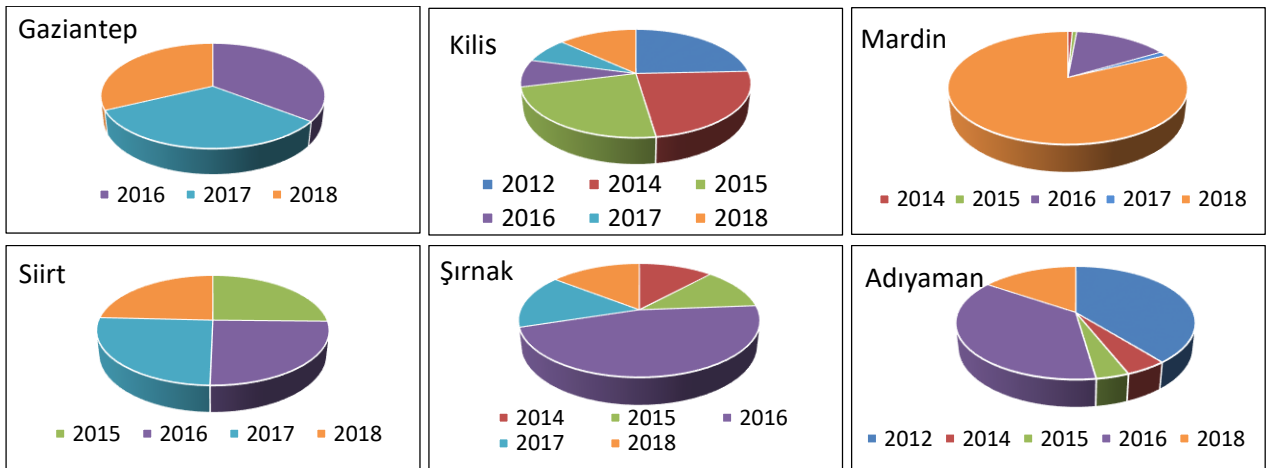
3.3.Sanayi Gelişimi, Kullanılan Yakıt Türü ve Miktarı

Türkiye’de hava kalitesini düşüren önemli sebepler arasında kentleşme ve sanayileşme yer almaktadır. Çünkü ülkemizde kentleşme düzeyindeki artış ve sanayileşme girişimlerinin yoğunlaştığı dönemde hava kirliliğinde önemli düzeyde artışların olduğu görülmüştür (Sümer Çakır 2014). Sanayide enerji üretme kapsamında kullanılan yakıtlar fiziki ve beşerî ortamın kirlenmesine neden olmaktadır. Enerji insan yaşamında her zaman yarar sağlamaktadır. Ancak bunun yanı sıra enerji ve enerjiye bağlı olarak ortaya çıkan çevre sorunları da artış göstermektedir (Doğan 2011). Özellikle sanayi merkezlerinde bu kaynaklara endüstri emisyonlarından kaynaklanan kirlleticiler de eklenmektedir (Garipağaoğlu 2003). Sanayileşme, hava kalitesini düşüren önemli kirleticilerden olan SO₂ ve PM ‘nin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. (Şengün ve Kıranşan 2012). Yayılan bu gazlar ve tozlar özellikle şehirlerin üzerinde katman şeklinde kirlilik oluşturmaktadır.



Şekil 4: Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin sanayi işletmeleri sayısı (2009-2017) (STB 2020)

Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinde de sanayi bakımından önde gelen iller başta olmak üzere ciddi ölçekte kirlilik görülmektedir. 2009'dan 2017 yılına kadar olan süreçte tüm illerde sanayiye bağlı işletme sayısında artışın olduğu görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde en fazla Gaziantep'te görülen artış en az ise Kilis'te görülmektedir. Bu artışa bağlı olarak da hava kirliliği özellikle sanayisi gelişmiş illerde yoğun şekilde görülmektedir. Bu kirlilik Gaziantep başta olmak üzere, Şanlıurfa, Diyarbakır ve Adıyaman'da konutlarda ısıtma ve motorlu taşıtlara ek olarak sanayiye bağlı da görülebilmektedir.



*Bazı illere ve yıllara ait veriler kayıt olmadığı için bulunamamıştır.

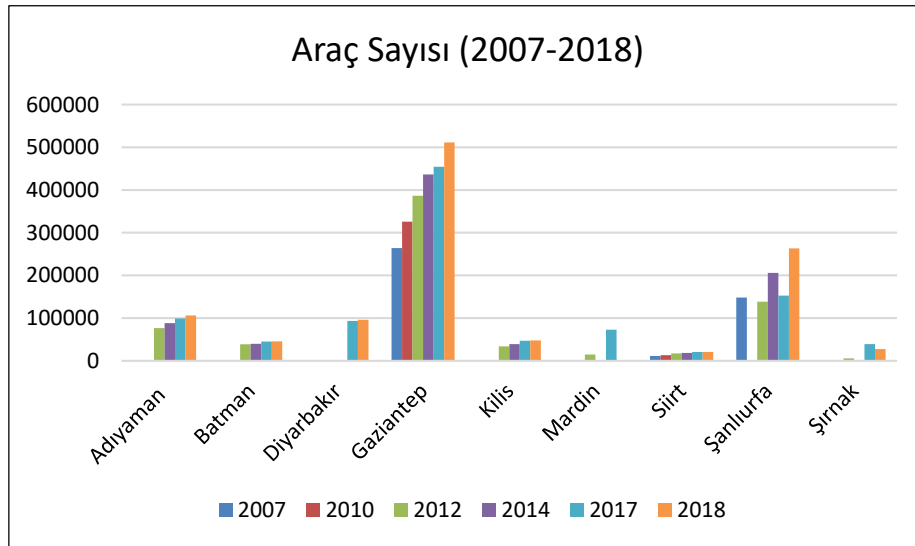
Şekil 5: Güneydoğu Anadolu Bölgesi illeri sanayisinde kullanılan kömürün yıllara göre değişimi (ÇŞB 2020)

Hava kirliliğinin artmasında ve etkilemesinde yakıt türünün çok büyük etkisi bulunmaktadır. Bu bakımdan özellikle sürekli üretim halinde olan sanayilerin kömür veya doğalgaz kullanımları hava kirliliğini büyük ölçüde etkilemektedir. 2012-2018 yılları arası sanayide kullanılan yakıt türlerini gösteren şekil 5'e bakıldığında kömürün en fazla 2018'de Mardin'de ve 2016'da da Şırnak'ta kullanıldığı görülmektedir. Diğer illerde ise kömür kullanımının oldukça düşük seviyede olduğu görülmektedir. Sanayide doğalgaz ise en fazla Gaziantep'te kullanılırken, sonrasında da Şanlıurfa'da kullanılmaktadır. Batman, Adıyaman ve Siirt'te de düşük miktarlarda doğalgaz kullanılmakta iken Diyarbakır ile ilgili veriye ulaşılamamıştır.

3.4. Araç Sayısı

Bir bölgedeki hava kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden bir diğeri de araç sayısı veya trafik yoğunluğudur. Araç sayısının yanı sıra araçların dizel, benzinli veya LPG'li olması da hava kalitesini etkileyen unsurlar arasında yer alır. Ayrıca bir bölgedeki toz yoğunluğu olarak ifade edilen PM_{10} 'a neden olan kaynaklar arasında maden ve kömür ocaklarını, inşaat sahalarının yanı sıra trafikteki araçlarda yer almaktadır (Özbeyaz vd. 2016). Trafikteki motorlu taşıtların hareket etmelerini sağlayan fosil yakıtlar petrol ve gazların yanması sırasında çıkan gazlar hava kirlenmesinin önemli nedenlerinden biridir (Çiftçi vd. 2013).

Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin 2007'den 2018'e kadar olan süredeki yıllık araç değişim miktarı hava kirlilik seviyesinin düşmesine veya yükselmesine neden olabilecek önemli faktörler arasında yer almaktadır. Şekil 6 incelendiğinde bölgede en fazla araç Gaziantep'te, en az araç ise Şırnak'ta bulunmaktadır. Nüfus miktarı ile araç miktarında paralel olarak artış görülmektedir (Vural, 2019). Bu artış da Gaziantep'ten sonra Şanlıurfa, Adıyaman ve Diyarbakır gelmektedir. Araç sayısının fazla olması egzozlarından çıkan gazların insana, hayvanlara, bitkilere ve beşerî yapıya önemli ölçüde zarar vermesine neden olmaktadır.

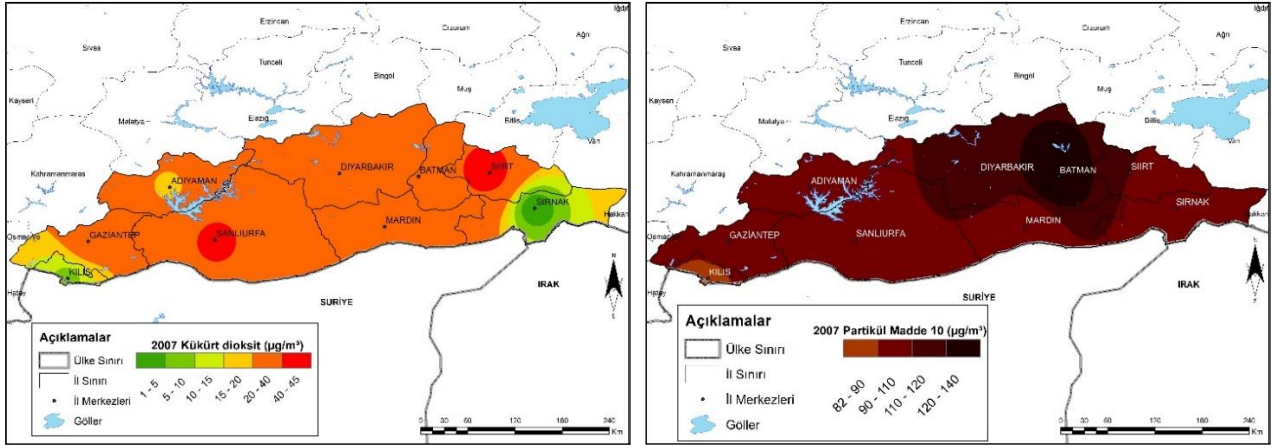


Şekil 6: Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinde araç sayısı (2007-2018) (ÇŞB 2020)

4. Bulgular

Hava, tıpkı su ve toprak gibi kirlenebilen bir ortamdır (Bayat 2011). Bu nedenle atmosfer temizliği ülke, bölge ve yerel ölçekte oldukça önemlidir. 2007-2019 yılları arasında Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin SO_2 ve PM_{10} yıllık değişimlerinin incelendiği bu çalışmada yıllara göre kirli havanın yer değiştirdiği görülmektedir. SO_2 ve PM_{10} 'nın hava kirliliği oluşturma eşiği ülkemizde SO_2 için $20 \mu g/m^3$ (mikrogram/metreküp), PM_{10} için de $40 \mu g/m^3$ (mikrogram/metreküp)'dür. Özellikle endüstri de üretim, konutlarda ısıtma, motorlu taşıtlarda da yanma sonucu ortaya çıkan kirliliğe ek olarak "ülkemizde ölçülen kum ve toz fırtınalarının büyük bölümünün Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ölçülmesi" (Dündar vd. 2013), sahada toz ve kum fırtınalarının belirli dönemlerde arttığını ve çevre çöl alanlarından gelen toz parçacıklarının da atmosferi kirlüten bir diğer kaynağı oluşturduğu görülmektedir.

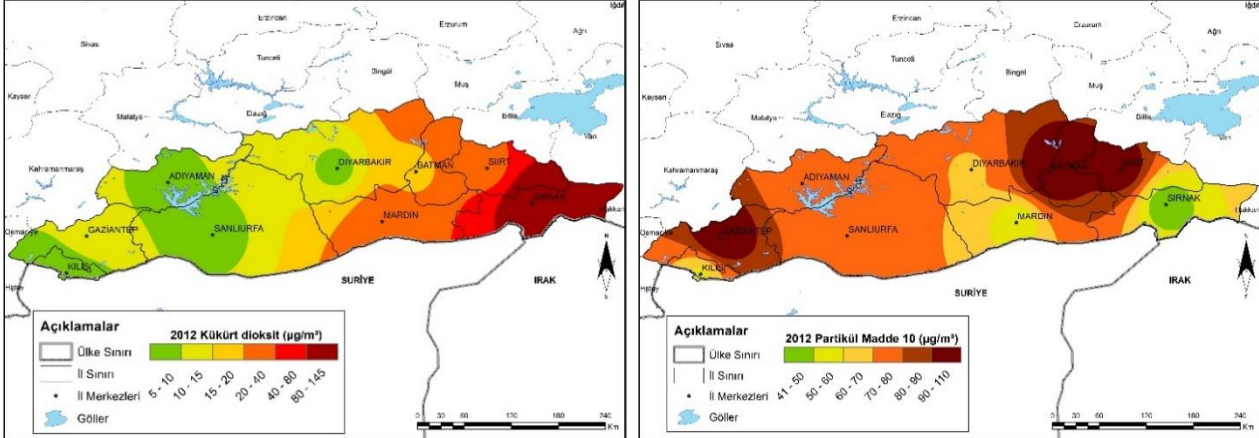
Şekil 7'de gösterildiği gibi 2007'de yıllık SO_2 miktarının iki katına çıktığı yerler Şanlıurfa ve Siirt'tir. Özellikle her iki alanda da kirliliğin bu denli fazla olması; kullanılan yakıt, endüstriyel kullanım ve trafikteki araç sayısı ile açıklanabilmektedir. Şanlıurfa'da hava kirliliğinin fazla olmasının nedenleri arasında, kalitesiz ve yoğun kömür kullanımı ve trafikteki araç sayısının fazla olması yer almaktadır. SO_2 miktar bakımından en az kirli olan yer ise Şırnak'tır. 2007 yılında Şırnak'ın SO_2 bakımından atmosferinin temiz olması araç sayısının azlığına, sanayi üretiminin nispeten diğer illere göre az olması ile yakından ilgilidir.



Şekil 7: (a) Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin yıllık SO₂ değeri (µg/m³) ve (b) PM₁₀ değeri (µg/m³) (2007)

Bölgede PM₁₀'nun yıllık değerlerinde ise ciddi ölçüde kirlilik görülmektedir. Şekil 7'de de gösterildiği gibi PM₁₀ bakımından havası en kirli olan yer Batman'dır. Batman'da PM₁₀ miktarı yaklaşık olarak 140 µg/m³'e çıkmıştır ki sınır değer 40 µg/m³'dür. Batman'da konutlar da ve sanayi de kömür kullanımının yaygın olması ve araç sayısının nispeten fazla olması gibi beşerî nedenlerin yanı sıra özellikle yakın çevrede bulunan çöllerden gelen toz parçacıkları da başta insan sağlığı olmak üzere hem beşerî hem de fiziki çevreyi etkilemektedir. Hemen tüm illerde PM₁₀ miktarında sınır değerin aşıldığı görülmektedir.

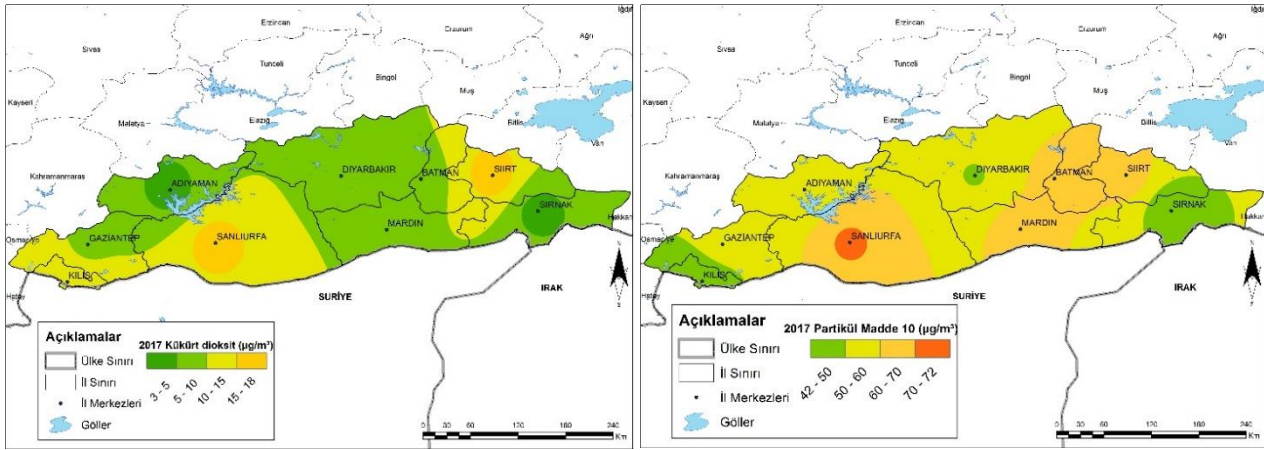
Şekil 8'de gösterildiği gibi 2012'de en fazla SO₂ kirleticisinin görüldüğü yer Şırnak olmuştur. Şırnak'ta bu tür kirlenici unsurun görülmesindeki başlıca etmenler, 2012 yılında nüfus yoğunluğunda, şehir nüfusunda ve sanayiye bağlı işletmede bir önceki yıla göre büyük oranda artış gibi nedenlerle özellikle kış aylarında SO₂ kirleticisinin yaygın görülmesi yıllık miktarı arttırmıştır. Bu nedenle Şırnak ve yakın çevresinde SO₂ 'ye bağlı kirlilik görülmüştür. Ayrıca bu dönemde hemen tüm illerde SO₂ miktarında artışın olduğu görülmektedir. Bölgede 2012'deki SO₂ değeri 2007'deki değerden yaklaşık olarak 4 kat artmıştır.



Şekil 8: (a) Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin yıllık SO₂ değeri (µg/m³) ve (b) PM₁₀ değeri (µg/m³) (2012)

2012'de PM₁₀ yıllık değerlerinde ise bölgede tüm illerde sınır değerin aşıldığı görülmektedir. Özellikle Batman, Gaziantep, Siirt ve yakın çevrelerinde yoğun bir şekilde PM₁₀ kirliliği görülmektedir (Şekil 8). Bu kirlilik de konutlarda ısınma amacıyla kömür kullanımı, sanayi de kömür veya fuel-oil kullanımı ve ayrıca çöl tozları büyük rol oynamaktadır. Ayrıca bölgedeki en fazla aracın Gaziantep'te olması hem ilin hem de bölgenin hava kalitesinin düşmesine neden olmaktadır.

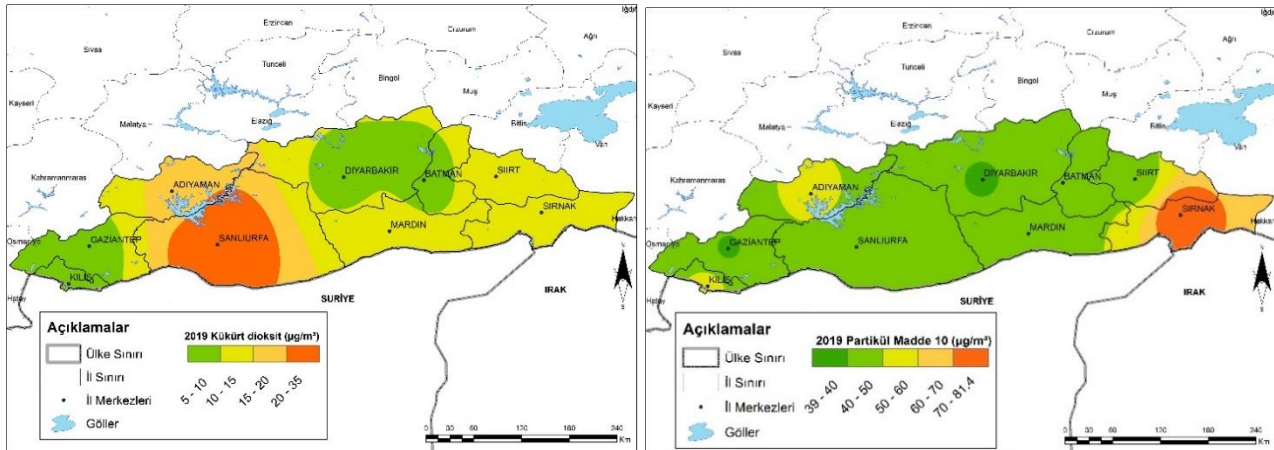
Şekil 9 incelendiğinde 2017'de, bölgede SO₂ miktarı sınır değer olan 20 µg/m³'e yaklaşmış fakat aşmamıştır. Sınır değere en yakın iller Siirt ve Şanlıurfa'dır. Şanlıurfa'da 2017 yılında araç sayısında azalış söz konusudur. Diğer yıllara göre aracın az olması SO₂ değerinin de azalmasına fayda sağlamıştır. SO₂ miktarının en az ölçüldüğü sahalar ise Şırnak ve Adıyaman'dır. Şırnak'ta SO₂ değerinin az olması sanayide kullanılan yakıtın azaltılması ile yakından ilgilidir. Adıyaman'da ise önceki yıllarda olduğu gibi topografik etkilere bağlı olarak kirliliğin yoğunluğu ve şiddeti az görülmektedir. Bu manada Adıyaman ili 2017 yılında yıllık SO₂ miktarı bakımından bölgede en temiz iller arasında yer almaktadır (Şekil 9).



Şekil 9: (a) Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin yıllık SO₂ değeri (µg/m³) ve (b) PM₁₀ değeri (µg/m³) (2017)

Şekil 9 incelendiğinde, 2017’de PM₁₀ miktarında sınır değerini aştığı görülmekle birlikte Şanlıurfa ve Siirt’te partikül madde miktarının arttığı görülmektedir. Özellikle Şanlıurfa’da sınır değerinin 2 katı şeklinde kirlenme görülmektedir. Yaklaşık olarak 80 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Siirt’te ise yaklaşık olarak 70 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda özellikle kirliliğin oluşmasında; yakın çevrede bulunan çöllerden gelen toz parçacıkları ile yakıt tüketiminin artması en temel etken olarak görülmektedir.

Şekil 10 incelendiğinde, 2019’da SO₂ miktarında Şanlıurfa’da en yüksek seviye görülmektedir. Bu seviye yaklaşık olarak 35 µg/m³’dür. Kirliliğin en az olduğu sahalara ise Diyarbakır, Batman ve Gaziantep’in bir bölümü ile Kilis ilidir. PM₁₀ kirleticisinde ise, bu dönemde Şırnak’ta sınır değerinin 2 katı seviyede olduğu görülmüştür. Sınır değeri Kilis, Gaziantep’in güneybatısı, Adıyaman, Şanlıurfa’nın batısı ve kuzeybatısı ile Batman’ın büyük bölümünde aşılmıştır.



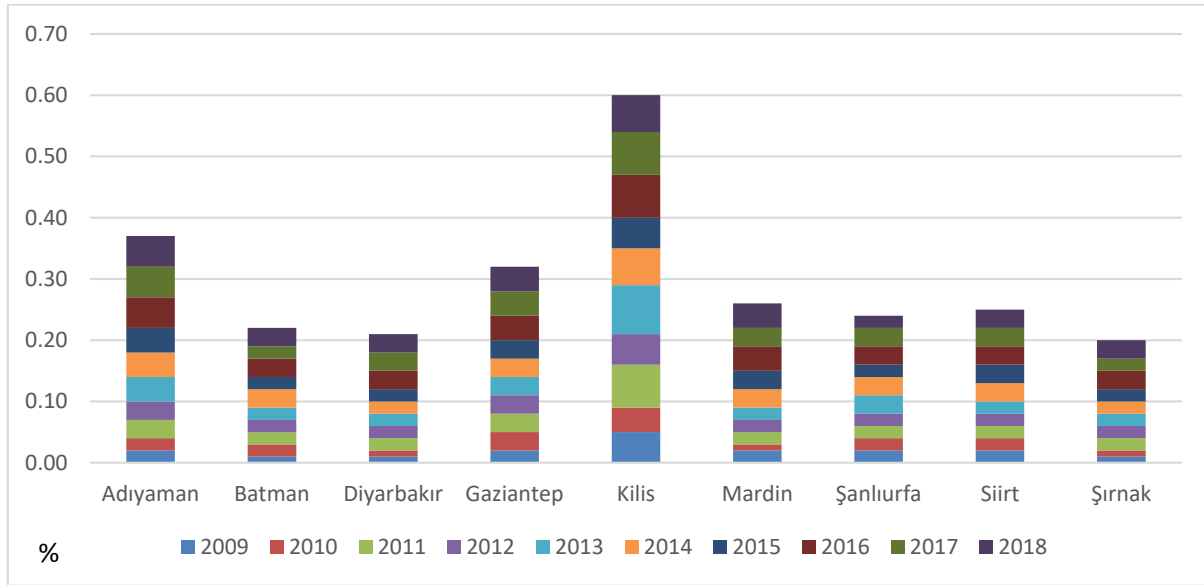
Şekil 10: (a) Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin yıllık SO₂ değeri (µg/m³) ve (b) PM₁₀ değeri (µg/m³) (2019)

İnsanlar, farklı hava kirleticileri ile olumsuz etkilere daha çok solunum ve besin yoluyla maruz kalırken, deri yolu ile bu etkilere maruz kalma daha azdır (Kaya ve Öztürk 2013). Bu nedenle SO₂, PM₁₀-PM_{2,5}, Karbon monoksit gibi kirleticilere uzun süre ve yoğun bir şekilde maruz kalma, insan sağlığına olumsuz etkiler bırakmakta hatta ölümlere bile yol açmaktadır. Bu bakımdan tablo 2 incelendiğinde, Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin 2009’dan 2018’a kadar olan süreçteki solunum hastalıklarına bağlı ölümlerin miktarında tüm illerde artış görülmüştür. Miktar bakımından solunum hastalıklarına bağlı ölümlerin en fazla görüldüğü yer Gaziantep’tir.

Onu sırasıyla Şanlıurfa, Diyarbakır ve Adıyaman takip etmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinde 2009-2018 yılları arasında solunum hastalıklarına bağlı 21.791 ölüm meydana gelmiştir. Solunuma bağlı ölümlerin nüfusa oranlanması sonucunda Kilis başta olmak üzere Adıyaman ve Gaziantep’te ölüm oranlarının fazla olduğu görülmektedir. Bölgede 2009’dan 2018’e kadar olan süreçte solunum hastalıklarına bağlı ölüm oranları Kilis’te % 0,60, Adıyaman’da % 0,38 ve Gaziantep’te de % 0,32’dir (Şekil 11).

Tablo 2: Güneydoğu Bölgesi illerinde solunum hastalığına bağlı ölümler (TÜİK 2020b)

Yıllar	Gaziantep	Adıyaman	Kilis	Şanlıurfa	Diyarbakır	Mardin	Batman	Şırnak	Siirt
2009	353	112	61	272	221	115	68	59	59
2010	440	131	54	257	218	103	78	63	58
2011	570	167	81	350	269	165	98	82	65
2012	526	161	66	325	271	129	118	74	60
2013	639	235	100	507	324	177	129	83	63
2014	604	236	82	512	367	265	158	98	80
2015	646	242	65	452	365	229	137	102	92
2016	750	332	91	594	496	330	188	147	108
2017	709	317	92	519	478	242	133	102	102
2018	720	324	84	464	495	296	151	141	98
Toplam	5.957	2.257	776	4.252	3.504	2.051	1.258	951	785
G.Toplam	21.791								



Şekil 11: Güneydoğu Bölgesi illerinde solunum hastalığına bağlı ölümlerin oransal dağılımı (2009-2018)

5. Tartışma ve Sonuç

Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin 2007-2019 yılları arasındaki hava kirliliği ve önemli etkenleri incelendiğinde, özellikle Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır, Siirt ve Batman'da kirlilik seviyesinin yüksek olduğu görülmektedir. Görülen bu kirliliğin ısınma kaynaklı olduğu ve ayrıca kullanılan yakıtın kalitesi, türü ve miktarıyla da yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Ayrıca illerin bulunduğu topografik yapı da kirliliğin yoğunluk ve şiddetinin artmasına veya azalmasına etki etmektedir.

Bölgede incelenen yıllarda SO₂ ve PM₁₀ konsantrasyonlarında sınır değerlerin aşıldığı görülmektedir. Sadece 2017'de bölgedeki SO₂ konsantrasyonunun sınır değeri aşmadığı görülmüştür. Fakat bu değer yıllık ortalama baz alınarak hesaplanmıştır. SO₂ konsantrasyonunda 2007'de Siirt ve Şanlıurfa, 2012'de Şırnak, 2017'de Siirt ve Şanlıurfa ve 2019'da da Şanlıurfa kirlilik seviyesinin yüksek olduğu illerdir. PM₁₀ konsantrasyonunda da 2007'de Batman, 2012'de Gaziantep, Batman ve Siirt, 2017'de Şanlıurfa, Siirt ve Mardin çevresinde, 2019'da da Şırnak ve çevresinde kirlilik seviyesinin yüksek olduğu görülmektedir.

Bölgedeki illerde şehir nüfusunun kırsal nüfusuna göre fazla olması ve her yıl nüfus yoğunluğunun artması, konutlarda ısınma amacıyla daha fazla yakıt kullanımına neden olmaktadır. Konutlarda yakıt türünün büyük ölçüde kömür olması, kömürün kalitesinin düşük olması, sanayide üretim için kömürün ve fuel oilin kullanılması, sanayiye bağlı işletme sayılarının artması ve araç sayısının artması sonucunda bölgedeki illerde hava kirliliği yoğun olarak görülmektedir. Ayrıca bölgede hava kirliliğinin yaşanmasına etki eden beşerî unsurların yanı sıra bölgeye yakın olan çöllerden toz parçacıkları da gelmektedir. Bu da belli dönemlerde ciddi hava kirliliğine neden olmaktadır. Hava kirliliği insanlarda önemli solunum hastalıklarına yol açan en temel etkenlerin başında gelmektedir. Bölgede 2008'den 2019'a kadar olan sürede yaklaşık olarak 22.000 kişi solunum rahatsızlığına bağlı olarak hayatını kaybetmiştir. Bu hastalıklara ve ölümlere hava kirliliği de önemli miktarda etki etmiş/etmektedir. Bu nedenle hem insanların hem bitki ve hayvanların hem de beşerî yapıların olumsuz etkilenmemesi için yerel ve ulusal yönetimlerin bu konu hakkında büyük oranda önlem ve yaptırımların uygulanması hayati önem taşımaktadır.

İllerin hava kalitesi verilerinin toplanmasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bağlı otomatik ölçüm istasyonları kullanılmaktadır. Bu ölçüm istasyonlarında ciddi ve büyük oranda veri kayıpları görülebilmektedir. Bu veri kayıplarının minimum seviyeye indirilmesi gerekmektedir. Ayrıca Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki illerde ilgili bakanlığa bağlı tek ölçüm istasyonu bulunmaktadır. İllerde tek ölçüm istasyonunun bulunması o sahanın hava kirliliğinin daha doğru ve sağlıklı okunması ve haritalandırılabilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle illerde farklı lokasyonlar da çoklu ölçüm yapılması gerekmektedir. Ayrıca gezici hava kirliliği ölçen araçların yanı sıra illerdeki mevcut ölçüm istasyon sayılarının artırılarak ilin geneline dağıtılması kirliliğin şiddetinin ve yoğunluğunun ölçülmesinde daha doğru kararların alınmasını sağlayacaktır.

Bölgede çölden gelen toz parçacıkları önemli akciğer sorunlarına neden olabilmektedir. Bu nedenle Suriye, Irak ve İran üzerinden gelen çöl tozlarının insan sağlığını daha az etkilenmesi için yerel yönetimlerin bölge insanına maske gibi koruyucu malzeme vermesi insanların sağlığının daha az etkilenmesine fayda sağlayacaktır. Toz parçacıkları çamur yağışlarına da neden olmaktadır. Çamur yağışları da beşerî unsurlara (araç, tarihi ve kültürel yapı, bina dış yüzeyi vb.), bitki örtüsüne ve tarım ürünlerine zarar verebilmektedir.

Kaynaklar

- Adıgüzel F., Çetin M., Kaya E., Şimşek M., Güngör Ş., Sert Bozdoğan E., (2019), *Defining suitable areas for bioclimatic comfort for landscape planning and landscape management in Hatay, Turkey*, Theoretical and Applied Climatology, 139, 1493-1503.
- Alkan A., (2018), *Hava kirliliğinin ciddi boyutlara ulaştığı kentlere bir örnek: Siirt*, Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 7, 641-666.
- Atayeter Y., (2005), *Burdur şehrinde hava kirliliği üzerine bir değerlendirme*, I. Burdur Sempozyumu, 16-19 Kasım, ss.635-644.
- Batan M., (2013), *Batman ilinde kirlitici emisyonlardan kaynaklanan hava kirliliğinin küresel ısınmaya etkisi*, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 3(2), 90-104.
- Bayat B., (2011), *Hava kirliliği ve kontrolü*, Bilim ve Akın Aydınlığında Eğitim, 135, 55-59.
- Cuci Y., Polat E.E., (2015), *Gaziantep'in trafik kaynaklı hava kirliliğinin belirlenmesi*, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2), 1-11.
- Çiçek İ., Türkoğlu N., Gürgen G., (2004), *Ankara'da hava kirliliğinin istatistiksel analizi*, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14(2), 1-18.
- Çiftçi Ç., Dursun Ş., Levend S., Kunt F., (2013), *Topoğrafik yapı, iklim şartları ve kentleşmenin Konya'da hava kirliliğine etkisi*, European Journal of Science and Technology, 1(1), 19-24.
- ÇMO, (2019), *Dünya çevre günü basın metni*, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, http://www.cmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=99799&tipi=67&sube=16 [Erişim 28 Mart 2020].
- ÇŞB, (2020), *İl çevre durum raporları*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, <https://ced.csb.gov.tr/il-cevre-durum-raporlari-i-82671>, [Erişim 28 Mart 2020].
- Demirarslan K.O., Akıncı H., (2018), *CBS ve hava kalitesi verileri kullanılarak Marmara Bölgesi'nin kış sezonunda hava kalitesinin değerlendirilmesi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4(1), 11-27.
- Doğan M., (2011), *Enerji kullanımının coğrafi çevre üzerindeki etkileri*, Marmara Coğrafya Dergisi, 23, 36-52.
- Dündar C., Oğuz K., Güllü G., (2013), *Doğu Akdeniz Havzasında Kum ve Toz Fırtınalarının (SDS) İncelenmesi*, 10. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 12-14 Eylül, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- ESRI, (2020), *How IDW Works*, <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-idw-works.htm> [Erişim 28 Mart 2020].
- Garipağaoğlu N., (2003), *Türkiye'de hava kirliliği sorununun coğrafi bölgelere göre dağılımı*, Doğu Coğrafya Dergisi, 8(9), 55-77.
- İbret B.Ü., Aydınöz D., (2009), *Şehirleşmede yanlış yer seçiminin hava kirliliği üzerine olan etkisine bir örnek: Kastamonu şehri*, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi, 18, 71-88.
- Kaya D., Öztürk H.H., (2013), *Hava Kalitesi ve Yönetimi*, Umutepe Yayınları, Kocaeli, 334ss.
- Özbey B.G., Geven F., Güney K., Bölükbaşı A., Günday B., (2017), *Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin hava kalitesi analizi (Mayıs 2016-2017)*, Ankara üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 5(2), 50-64.
- Özbeyaz A., Tufaner F., Demirci Y., (2016), *Partikül madde ile ilişkili görüntüleri kullanarak hava kirliliği tahminine ait bir model tasarımı*, 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, October 26-28, Adana, Turkey, ss.969-975.
- Özşahin E., Eroğlu İ., Pektezel H., (2016), *Keşan'da (Edirne) hava kirliliği*, Selçuk üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 36, 83-100.
- Sertkaya Doğan Ö., (2015), *Population movements in Turkey: international migrations*, International Journal of Liberal Arts and Social Science 3, 102-110.
- STB, (2020), *81 İl Sanayi Durum Raporları (2009-2017)*, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, <https://www.sanayi.gov.tr/plan-program-raporlar-ve-yayinlar/81-il-sanayi-durum-raporlari>, [Erişim 28 Mart 2020].
- Sümer Çakır G., (2014), *Hava Kirliliği Kontrolü: Türkiye'de Hava Kirliliğini Önlemeye Yönelik Yasal Düzenlemelerin ve Örgütlenmelerin İncelenmesi*, Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 13, 37-56.
- Şengün M.T., Kıranşan K., (2012), *Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde çöl tozlarının hava kalitesi üzerine etkisi*, Türk Coğrafya Dergisi, 59, 59-68.
- Tağl Ş., (2007), *Balıkesir'de hava kirliliğinin çözüm yolu hastalıklarının mekânsal dağılışı üzerine etkisini anlamada jeo-istatistik teknikler*, Coğrafi Bilimler Dergisi, 5(1), 37-56.
- Toros H., Bağış S., Gemici Z., (2018), *Ankara'da hava kirliliği mekânsal dağılımının modellenmesi*, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 1(1), 20-53.
- TÜİK, (2020a), *Genel Nüfus Sayımları*, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>, [Erişim 28 Mart 2020].

- TÜİK, (2020b), *Ölüm ve ölüm nedenleri istatistikleri (2009-2018)*, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Olum-ve-Olum-Nedeni-Istatistikleri-2019-33710>, [Erişim 28 Mart 2020].
- Vural E., (2019), *Viranşehir (Şanlıurfa) şehir merkezindeki trafik kazalarının coğrafi analizi (2013-2017)*, Kent Akademisi, 12(38), 340-363.

EraInterim Re-analiz Verileri Kullanılarak İstatistiksel Ölçek İndirgeme Yöntemi ile Doğu Karadeniz Havzası Aylık Ortalama Sıcaklık Değerlerinin Tahmin Edilmesi

Sinan Nacar^{1,*} , Murat Kankal² , Umut Okkan³

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon.

²Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16120, Bursa.

³Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 10145, Balıkesir.

Özet

İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri düşük çözünürlüğe sahip atmosferik değişkenler ile istasyonlardan ölçülmüş meteorolojik parametreler arasında istatistiksel ilişkiler kurulmasına dayanan yöntemlerdir. Bu çalışmada (0,75° x 0,75°) sayısal ağ çözünürlüğüne sahip EraInterim re-analiz veri setinde yer alan atmosferik değişkenler kullanılarak Doğu Karadeniz Havzası'nda ve çevresinde yer alan 12 meteoroloji istasyonundan ölçülmüş olan aylık ortalama sıcaklık parametresinin her bir istasyon için tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla EraInterim re-analiz veri setinde yer alan yüzeysel parametrelerden yağış, sıcaklık, deniz yüzeyi basıncı ve yüzeysel hava basıncı ile 850, 500 ve 200 hPa basınç seviyelerindeki hava sıcaklığı, jeopotansiyel yükseklik ve rölatif nem atmosferik değişkenleri bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Meteoroloji istasyonlarından (1981-2010) döneminde ölçülmüş olan aylık ortalama sıcaklık değerleri ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Ölçek indirgeme yöntemi olarak çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) yöntemi seçilmiştir. İstasyon temelinde kurulmuş olan ÇDURE model performanslarının değerlendirilmesi için ortalama karesel hatanın karekökü, saçılım indeksi, ortalama mutlak hata ve Nash-Sutcliffe (NS) etkinlik katsayısı istatistikleri kullanılmıştır. Hesaplanan NS değerinin tüm istasyonlar için 0.9-1.0 aralığında olduğu görülmüştür. Ayrıca EraInterim veri setinden seçilmiş olan küresel ölçekli değişkenlerin yerel ölçekteki sıcaklık değerleri tahmininde başarılı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar ÇDURE istatistiksel ölçek indirgeme yönteminin kaba ölçekli atmosferik değişkenlerin bölgesel ölçeğe indirgenmesinde kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Anahtar Sözcükler

EraInterim, ÇDURE, Doğu Karadeniz Havzası, İklim Değişikliği, İstatistiksel Ölçek İndirgeme, Sıcaklık

Estimation of the Monthly Mean Temperature Values of the Eastern Black Sea Basin with Statistical Downscaling Method Using EraInterim Re-analysis Data

Abstract

Statistical downscaling methods are based on determination of statistical relationships between low resolution atmospheric variables and measured climate parameters from meteorological stations. In this study, it was aimed to estimate the monthly mean temperature measured from 12 meteorological stations in and around the Eastern Black Sea Basin using atmospheric variables in the EraInterim re-analysis data set with grid resolution (0.75° x 0.75°). For this purpose, the variables of precipitation, temperature, sea surface pressure, surface air pressure and air temperature, geopotential height and relative humidity at 850, 500 and 200 hPa pressure levels in the EraInterim re-analysis data set were used as independent variables. Monthly mean temperature values measured from meteorological stations (1981-2010) were used as dependent variables. Multivariate adaptive regression splines (MARS) method selected as downscaling method. The root mean square error, scattering index, mean absolute error and Nash Sutcliffe (NS) efficiency coefficient statistics were used to evaluate the performance of the MARS model based on the station. The NS value calculated for all stations was in the range of 0.9-1.0. In addition, the global scale variables selected from the EraInterim data set were found to be quite successful in estimating local temperature values. The results obtained from the study showed that MARS statistical downscaling method can be used to downscale the coarse scale atmospheric variables to the regional scale.

Keywords

EraInterim, MARS, Eastern Black Sea Basin, Climate Change, Statistical Downscaling, Temperature

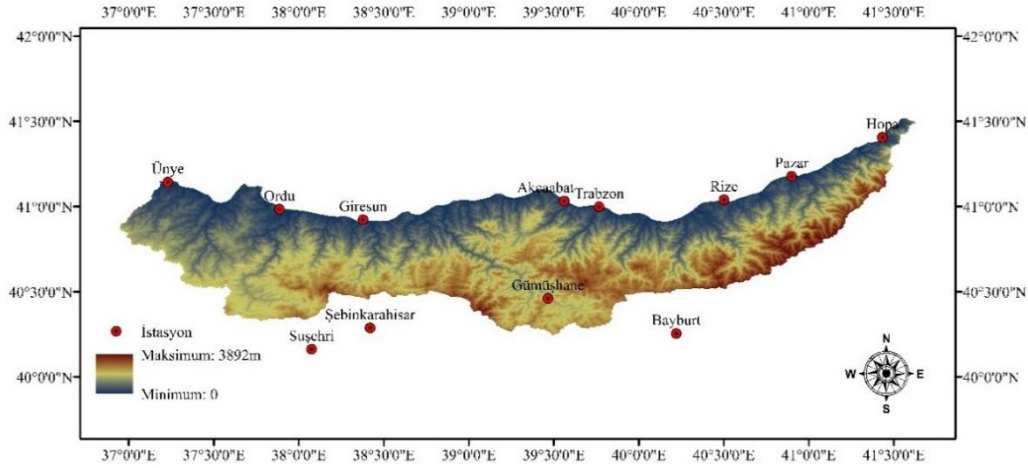
1. Giriş

Küresel ısınma ve buna bağlı olarak meydana gelen iklim değişikliği, etkileri ve sonuçları açısından dünyanın bütün ülkelerini yakından ilgilendiren önemli bir sorun niteliğindedir (Bayraç ve Doğan 2016). Bu sebeple iklim değişikliği etkisiyle meydana gelecek problemlerin ortaya konması ve iklim değişikliği etkilerine karşı gerekli tedbirlerin belirlenmesi bilim dünyasının son yıllarda üzerinde çalıştığı en güncel konular arsında yerini almıştır. İklim değişikliği etkilerine karşı alınacak tedbirlerin siyasi, politik ve çevresel yönlerinin olması iklim değişikliği konusunun Birleşmiş Milletler öncülüğünde dünya gündemine taşınmasını sağlamıştır. Küresel ısınma sonucu meydana gelen iklim değişikliği etkilerini belirlemek, bu konuda yapılmış olan çalışmaları değerlendirerek hükümetlere iklim değişikliği hakkında raporlar hazırlamak amacıyla Birleşmiş Milletlerin iki örgütü olan Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı aracılığıyla 1988 yılında Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur (MGM 2015). IPCC kurulduğu tarihten itibaren birçok panel gerçekleştirmiştir. Bu panellerden birincisi 1990 (FAR), ikincisi 1996 (SAR), üçüncüsü 2001 (TAR), dördüncüsü 2007 (AR4) beşincisi 2013 (AR5) yılında yapılmıştır. Bunların dışında hükümetlere iklim değişikliği hakkında güncel bilgileri aktarabilmek amacıyla farklı tarihlerde toplantılar düzenlenmiştir. IPCC'nin AR5'te, mevcut küresel ortalama yüzey sıcaklığının 1880'den 2012'ye kadar 0.85 C° arttığı ve 21. Yüzyıl ilk dönemindeki yılların ortalama sıcaklıklarının bugüne kadar ölçülmüş en sıcak yıllar olarak kayda geçtiği ifade edilmiştir (IPCC 2013). Daha sonra 6.000'in üzerinde bilimsel çalışma incelenerek hazırlanan IPCC 1,5°C Küresel Isınma Özel Raporu'nda insanların, dünyanın, sanayi öncesi döneme göre yaklaşık 1,0°C ısınmasına sebep olduğu ifade edilmiştir. İnsan etkisiyle meydana gelen bu küresel ısınmanın şimdiden, kuraklık ve taşkınlar gibi aşırı hava olaylarına, deniz seviyesinde yükselmeye ve buzulların erimesi gibi aşırı hava olaylarına sebep olduğu ifade edilmektedir (IPCC 2018).

İklim değişikliği etkileriyle meydana gelen aşırı hava olaylarına karşı gereken tedbirlerin alınması, küresel olarak meydana gelen ısınmanın yerel ölçekteki etkilerinin belirlenmesi ile mümkündür. Yerel ölçekte meydana gelecek iklim değişikliği etkilerini ortaya koymak için ise iklim parametrelerinin önceden belirlenmesi gerekmektedir. Gelecek dönemlerde yaşanabilecek iklimin önceden belirlenmesine yönelik en kapsamlı çalışmalar iklim modelleme çalışmaları olarak görülmektedir (Demir vd. 2013; Demircan vd. 2014). Bu kapsamda en çok kullanılan yaklaşım ise genel dolaşım modelleri (GDM) çıktıların kullanılması yaklaşımıdır. GDM çıktıları kullanılarak üretilen senaryo verileri diğer yaklaşımlara göre çok daha güvenilir olduğundan iklim bilimciler tarafından tercih sebebi olmuştur (Wilby ve Harris 2006). Ancak GDM veri takımlarının çözünürlüklerinin çok düşük olması sebebi ile bu veriler kullanılarak yerel ölçek için tahminde bulunmak mümkün değildir. Bu sebeple GDM'lerin büyük ölçekli hazırlanmış olan tahminlerinin bölgesel ölçeğe indirgenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda dinamik ve istatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri olarak adlandırılmış iki temel ölçek indirgeme yöntemi geliştirilmiştir (Tripathi vd. 2006). Bu yöntemlerden dinamik ölçek indirgeme yöntemi fiziksel iklim modellerine dayalı çalışmaları kapsamaktadır. Bu modeller, başlangıç ve sınır koşullarını küresel ölçekli model çıktılarından almakta ve topografya özelliklerinin de hesaba katılmasıyla daha yüksek çözünürlüklerde çalıştırılabilmektedir. Böylece orografik yağışlar, aşırı hava olayları ve bölgesel ölçekteki iklimsel anomaliler, bölgesel iklim modelleri ile dikkate alınabilmektedir (Crane ve Hewitson 1998; Mearns vd. 1999; Frei vd. 2003; Fowler vd. 2005; Okkan ve Karakan 2016). Bu yöntemde başlangıç koşulları, ölçeği indirgenecek olan küresel dolaşım modelinden alınmaktadır. Dinamik ölçek indirgeme yöntemlerinde küresel modellere benzer fiziksel ve kimyasal süreçler yer almaktadır (Atay 2015). Dinamik ölçek indirgeme yönteminden elde edilen sonuçlar bir anlamda GDM ve yerel özelliklerin birlikte belirlendiği yerel tahminler olarak nitelendirilebilir. Buradaki en büyük zorluk ise, alan küçülmesine rağmen çözünürlüğün artması ve yerel şartların hesaplamalara dâhil olması nedeniyle önemli bir bilgisayar kapasitesine ihtiyaç duyulmasıdır (MGM 2015; Nacar vd. 2019). İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri ise kaba çözünürlüklü atmosferik değişkenler ile gözlem verileri arasında bir takım bağıntılar kurma temeline dayanan yöntemlerdir. Çok değişkenli doğrusal-doğrusal olmayan regresyon tipleri, yapay sinir ağları (YSA) algoritmaları, destek vektör makineleri, asal bileşen analizi, kanonik korelasyon analizi gibi birçok yöntem bu kapsamda ele alınmaktadır (Fistikoglu ve Okkan 2010; Okkan ve Fıstıkoğlu 2014). İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri kullanımları, uygulama ve performanslarını test etme kolaylığı, ihtiyaç duyulan bilgisayar gücü kapasitesinin ve modellemede kullanılan değişken sayısının az olması avantajları sebebiyle iklim değişikliği etkilerini inceleyen araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılmaktadır (Chen vd. 2012; Wagesho vd. 2012; Okkan ve Karakan 2016; Hamlet vd. 2019; Akhter vd. 2019).

Kaba çözünürlüklü tahminlere sahip iklim modeli sonuçlarının bölgesel ölçekteki iklim parametrelerine indirgenmesinde kullanılan istatistiksel ölçek indirgeme yönteminin uygulanabilmesi için birçok ülkenin ulusal arşivleri, meteoroloji gözlem istasyonları, gemi ve uçak gözlemleri, uydu verileri ve hava tahmin modelleri kullanılarak farklı kurumlar tarafından üretilen re-analiz verilerinden yararlanıldığı görülmektedir. NCEP/NCAR, Era40, EraInterim ve JRA25 son yıllarda en sık kullanılan re-analiz veri takımlarıdır (Murakami 2014). İstatistiksel ölçek indirgeme çalışmalarında Re-analiz veri takımları arasından EraInterim re-analiz veri seti yüksek çözünürlüklü verilere sahip olması sebebi ile ölçek indirgeme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Vu vd. 2016; Okkan ve Kirdemir 2016; Horton vd. 2018).

Doğu Karadeniz Havza'sı Türkiye'nin en fazla yağış alan hidrolojik havzasıdır. Yıllık ortalama toplam yağışı 1019 mm'dir. Bu değer Rize ili civarında 2300 mm'lere ulaşmaktadır (Nacar ve Satılmış 2017). Havzanın almış olduğu yağış miktarı ve sahip olduğu engebeli coğrafi yapısı sebebiyle sık sık taşkınlarla gündeme gelmektedir. Doğu Karadeniz Havza'sında 1955-2005 yılları arasında meydana gelen 51 büyük taşkın olayında 258 kişi yaşamını kaybetmiş ve 500 milyon dolarlık ekonomik kayıp yaşanmıştır (Yüksek vd. 2013; Çınaklı 2008). Havzanın yıllık ortalama sıcaklık değeri, 1970-2016 yılları arasında 249 istasyon verisi kullanılarak belirlenen Türkiye yıllık ortalama sıcaklık değeri olan 13,1 °C değerinden yaklaşık 1 °C fazladır. Doğu Karadeniz Havzası hakkında daha detaylı bilgilere OSİB (2013)'nin hazırlamış olduğu havza koruma eylem planından ulaşılabilir. Çalışma kapsamında Doğu Karadeniz Havzası sınırları içerisinde ve çevresinde yer alan ve bir bölgenin iklimini tayin etmede gerekli olan 30 yıllık (1981-2010) kesintisiz gözlem verisine sahip 12 adet istasyon verisi kullanılmıştır. Bu istasyonların havzadaki konumları Şekil 3'te sayısal yükseklik haritası üzerine işlenerek verilmiştir.



Şekil 3: Çalışma kapsamında verileri kullanılan meteoroloji istasyonları

1.2. EraInterim re-analiz veri seti

EraInterim re-analiz veri seti birçok ülkenin uydu ölçümleri, meteoroloji gözlem istasyonu verileri, radiosonde vb. gibi birçok veri tabanında yer alan verilerin asimilasyonu ile oluşturulmaktadır. Tüm bu gözlem verileri, küresel atmosferik model ile üretilen ürünler ile istatistiki açıdan en uygun yöntemle birleştirilmektedir. Gerçekleştirilen asimilasyon işlemleri sonucunda ise, atmosferin kaotik davranışına çok daha yakın ve tutarlı ürünler elde edilmektedir. EraInterim re-analiz veri seti 1 Ocak 1979 tarihinden günümüze kadar olan dönem için hazırlanmış atmosferik değişkenlere ait verileri içermekte ve sürekli güncellenmektedir. 0,75°x0,75° yatay çözünürlüğe sahip olan bu veri seti düşeyde yüzeyden 0,1 hPa basınç seviyesine kadar 60 seviyede veri içermektedir. EraInterim veri seti hakkında daha detaylı bilgilere Berrisford vd. (2009), Berrisford vd. (2011) ve Dee vd. (2011) çalışmalarından ulaşılabilir.

1.3. Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE)

ÇDURE Friedman (1991) tarafından geliştirilen parametrik olmayan bir regresyon analizi formudur. Bu yöntemin en önemli avantajı, arasında lineer ilişki bulunmayan bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki karmaşık ilişkiyi basit eşitliklerle açıklayabilmesidir (Kisi ve Parmar 2016). ÇDURE yöntemi bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında herhangi bir ilişki varsayımı yapmamaktadır. Bunun yerine regresyon verisinden kendisinin çıkardığı temel fonksiyonlara dayanarak kendisi bir ilişki oluşturmaktadır. Bağımsız değişkenlerin farklı aralıklarına karşılık gelen temel fonksiyonları kullanarak esnek bir regresyon modeli kurar (Toprak 2011). Genel bir ÇDURE modeli (1) numaralı eşitlikteki gibi tanımlanabilir (Özbalcı 2008; Nacar vd. 2018).

$$Y = \beta_0 + \sum_{k=1}^K a_k \beta_k(X_t) + \varepsilon_i \quad (1)$$

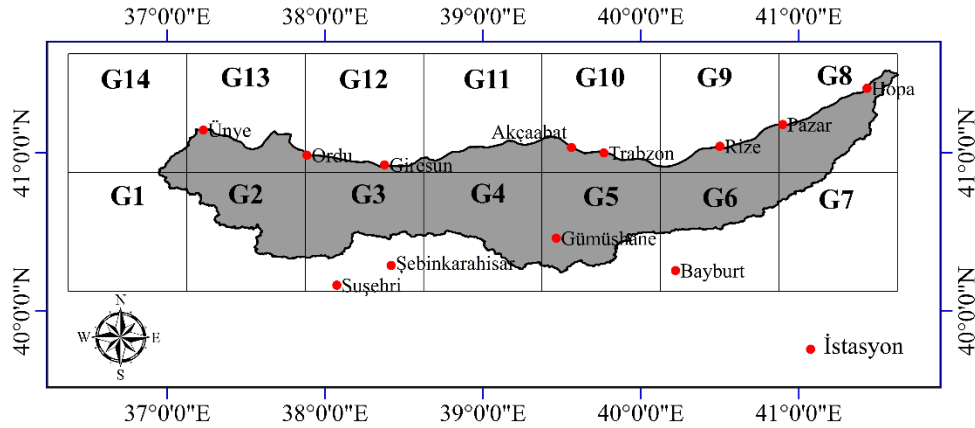
Burada; k: düğüm sayısını, K: temel fonksiyon sayısını, X: bağımsız değişkeni, a_k : k. temel fonksiyonun kat sayısı, β_0 : modeldeki sabit terim, $\beta_k(x_t)$: t. Bağımsız değişken için k. temel fonksiyonu ifade etmektedir. Temel fonksiyon ise aşağıdaki (2) gibi tanımlanır.

$$B_m(x) = \prod_{l=1}^{L_m} [S_{1,m}(x_{v(1,m)} - k_{1,m})] \quad (2)$$

Burada; L_m : etkileşim derecesini, $S_{1,m}$: $\in [\pm 1]$, $k_{1,m}$: düğüm değerini, $x_{v(1,m)}$: bağımsız değişken değerini göstermektedir. ÇDURE yönteminde istenen model elde edilene kadar tekrarlanan iki adımlı bir süreç vardır. Bu adımların ilkinde mümkün olan tüm temel fonksiyonlar oluşturulur. Çok büyük bir model bulununcaya kadar yani modelin karmaşıklığı maksimum seviyeye ulaşınca kadar eklenen temel fonksiyonlarla model geliştirilir. İkinci adımda oluşturulan maksimum model budanarak, yani önemli bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin karşılıklı etkileşimleri belirlenerek, hata kareler toplamı minimum olan en uygun model oluşturulur (Ünal 2009; Nacar vd. 2018).

3. Yapılan Çalışmalar

Çalışma kapsamında ilk olarak Doğu Karadeniz Havzasını temsil eden EraInterim sayısal ağ merkezleri belirlenmiştir. Havzayı temsil ettiği düşünülen EraInterim sayısal ağ merkezleri ve koordinatları Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te görüldüğü üzere havzayı temsil eden 14 adet sayısal ağ merkezi (G) belirlenmiştir. EraInterim re-analiz veri setinde yer alan 12 atmosferik değişkene ait NetCDF formatında hazırlanmış olan veriler, havzayı temsil ettiği düşünülen her bir sayısal ağ için ArcGIS yazılımı kullanılarak düzenlenmiştir.



Şekil 4: Doğu Karadeniz Havzasını temsil eden EraInterim sayısal ağ merkezleri

Çalışma kapsamında kullanılmış olan atmosferik değişkenler Tablo 1'de verilmiştir. Bu atmosferik değişkenler daha önce istatistiksel ölçek indirgeme çalışmalarında kullanılan değişkenler arasından seçilmiştir (Okkan ve Kırdemir 2016; Okkan ve Kırdemir 2018).

Tablo 1: EraInterim re-analiz veri setinden seçilmiş olan atmosferik değişkenler

Basınç Seviyesi	200 hPa		500 hPa			850 hPa			Yüzey			
Atmosferik	air	hgt	air	hgt	rhüm	air	hgt	rhüm	air	press	slp	prate
Değişkenler	(°C)	(m)	(°C)	(m)	(%)	(°C)	(m)	(%)	(°C)	(mb)	(mb)	(kg/m ²)

Tablo 1'de listelenen değişkenler sütununda air: hava sıcaklığını, hgt: jeopotansiyel yüksekliği, rhüm: rölatif nemi, press: yüzey basıncını, slp: deniz seviyesi basıncını, prate: yağışı temsil etmektedir. EraInterim veri setinden havzayı temsil eden 14 sayısal ağ merkezi için düzenlenmiş olan atmosferik değişkenlere ait veriler iki gruba ayrılmıştır. Bu sayısal ağlardan havzanın güney bölgesini temsil ettiği düşünülen yedi sayısal ağ verisinin ortalamaları alınarak güneyde yer alan dört istasyonun, havzanın kuzey bölgesini temsil ettiği düşünülen yedi sayısal ağ verisinin ortalamaları alınarak kuzeyde kalan sekiz istasyonun aylık ortalama sıcaklık değerleri tahmininde kullanılmıştır. EraInterim veri takımından alınan atmosferik değişkenler ve her bir istasyondan ölçülmüş olan sıcaklık verileri %80 eğitim (1981-2004) ve %20 test (2005-2010) veri takımı olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Her bir istasyon için hazırlanan veriler ölçek indirgeme modellerinde kullanılmadan önce standardize edilmiştir. Wilby vd. (2004) yapmış oldukları çalışmalarında standardizasyon işleminin uygulanmasının model sonuçları ile gözlem değerleri arasında meydana gelecek farkları azalttığını ifade etmişlerdir. Standardizasyon işlemi Eşitlik (3) yardımıyla yapılmıştır.

$$x_s = \frac{x - x_{ort}}{s_x} \quad (3)$$

Bu eşitlik yardımıyla ortalaması 0 standart sapması 1 olan bir veri takımı oluşturulmaktadır. Ölçek indirgeme işlemi sonucunda verilere ters standardizasyon işlemi uygulanarak verilerin eski ölçeğine gelmesi sağlanmıştır. İstasyon özelinde ÇDURE tabanlı kurulmuş olan istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin performansları ortalama karesel hatanın karekökü (OKHK), saçılım indeksi (SI), ortalama mutlak hata (OMH), ve Nash-Sutcliffe (NS) istatistikleri kullanılarak belirlenmiştir. OKHK, SI, OMH ve NS istatistiklerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{g,t} - Q_{m,t})^2} \quad (4)$$

$$SI = \frac{OKHK}{Q_{g,t}} \quad (5)$$

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Q_{g,t} - Q_{m,t}| \quad (6)$$

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_{t=1}^n (Q_{g,t} - Q_{m,t})^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{g,t} - \overline{Q_{g,t}})^2} \right] \quad (7)$$

Burada $Q_{g,t}$ gözlem değerini, $Q_{m,t}$ model çıktısını, $\overline{Q_{g,t}}$ gözlem değerlerinin ortalamasını, n veri sayısını temsil etmektedir. [Moriasi vd. \(2007\)](#) yapmış oldukları çalışmada NS istatistiği için model performansının yeterlilik düzeyini belirleyen bir tablo vermişlerdir. Bu aralıklar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı için belirlenen performans aralıkları

Performans	Çok İyi	İyi	Yeterli	Yetersiz
NS	0.75<NS<1	0.65<NS<0.75	0.50<NS<0.65	NS<0.50

4. Bulgular ve İrdeleme

ÇDURE tabanlı kurulmuş olan istatistiksel ölçek indirgeme modellerinde kullanılan atmosferik değişkenler ve bu değişkenlerin modellerdeki önemi Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3: Atmosferik değişkenlerin modellerdeki önemi

Akçaabat			Bayburt			Giresun		
air	100		air	100		air	100	
air200	6,8		air850	8,71		hgt500	5,72	
air500	5,77		prate	8,17		air200	5,37	
hgt500	4,37		press	6,95		air500	5,04	
press	1,58		hgt500	6,62		hgt850	4,24	
			air500	6,6		rhum850	2,11	
Gümüşhane			Hopa			Ordu		
air	100		air	100		air	100	
hgt200	6,17		hgt850	8,86		hgt850	20,2	
hgt850	4,31		prate	2,95		air200	19,23	
			air200	2,33		air500	15,6	
			hgt500	2,33		hgt200	12,79	
			slp	1,79		slp	6,57	
						air850	4,85	
Pazar			Rize			Süşehri		
air	100		air	100		air	100	
rhum850	58,63		hgt850	18,36		hgt500	7,85	
air850	54,57		prate	17		rhum500	7,43	
air200	25,77		rhum850	13,85		air850	4,68	
prate	21,88		press	12,38		rhum850	1,66	
hgt500	21,86		slp	7,09				

Tablo 3'ün devamı

Şebinkarahisar			Trabzon			Ünye		
air	100		air	100		air	100	
hgt200	14,64		hgt500	31,7		hgt850	26,37	
rhüm850	9,31		air500	31,53		hgt500	24,7	
rhüm500	6,22		slp	27,43		air500	21,46	
air850	3,22		hgt850	25,23		air200	18,7	
			air850	17,1		air850	11,52	
			air200	17,06		rhüm850	6,89	
			prate	6,32				

Tablo 3 incelendiğinde tüm istasyonlarda en önemli parametrenin yüzey sıcaklığını temsil eden air atmosferik değişkeni olduğu görülmektedir. Pazar istasyonu dışındaki istasyonların tamamında diğer parametrelerin modellerdeki önemi oldukça düşüktür. Her bir istasyon için ÇDURE tabanlı modellere ait temel fonksiyonları ve bu fonksiyonların birleştirilmesi ile elde edilmiş olan denklemler belirlenmiş, Tablo 4, 5 ve 6'te verilmiştir.

Tablo 4: Akçaabat, Bayburt, Giresun ve Gümüşhane istasyonları modellerine ait temel fonksiyonlar ve denklemler

Akçaabat	Bayburt	Giresun	Gümüşhane
BF1= air + 0.220823)	BF1 = air + 0.181845);	BF1 = air - 0.212753);	BF2 = -0.0533958 - air);
BF2= -0.220823 - air)	BF2 = -0.181845 - air);	BF2 = 0.212753 - air);	BF4 = 0.341023 - hgt200);
BF3= air + 0.414886)	BF4 = -0.104402 - air850);	BF3 = air + 0.369679);	BF7 = hgt850 + 0.30986);
BF6= -0.316273 - air 500)	BF5 = prate + 2.14282) * BF2;	BF4 = -0.369679 - air);	BF22 = air + 0.121545);
BF8= -0.267771 - hgt500)	BF9 = 0.629293 - air);	BF5 = air 500 + 0.316273);	
BF9= air - 0.160863)	BF10 = hgt500 + 1.11026) * BF9;	BF7 = hgt500 + 0.157539);	
BF20= press + 1.49635)	BF11 = -1.11026 - hgt500) * BF9;	BF11 = rhüm850 + 3.19402);	
	BF16 = press + 3.16037) * BF9;	BF16 = hgt850 + 3.32872);	
	BF21 = air 500 + 1.24267) * BF16;		
Y = -0.290939 + 1.10115 * BF1 - 0.949368 * BF2 + 0.0611297 * BF3 + 0.32177 * BF6 - 0.208836 * BF8 - 0.129847 * BF9 - 0.0185548 * BF20;			
Y = -0.120991 + 0.925049 * BF1 - 1.5061 * BF2 + 0.492702 * BF4 + 0.0609665 * BF5 + 0.541015 * BF10 - 0.136796 * BF11 - 0.0462681 * BF16 - 0.100077 * BF21;			
Y = 0.04125 + 0.888481 * BF - 0.868384 * BF2 + 0.0537573 * BF3 + 0.0745313 * BF4 + 0.199173 * BF5 - 0.0575301 * BF7 - 0.0135383 * BF11 + 0.0126392 * BF16;			
Y = -0.0717882 - 1.11214 * BF2 + 0.100938 * BF4 - 0.0307462 * BF7 + 0.96065 * BF22;			

Tablo 5: Hopa, Ordu, Pazar ve Rize istasyonları modellerine ait temel fonksiyonlar ve denklemler

Hopa	Ordu	Pazar	Rize
BF1 = AIR - 0.668729);	BF1 = AIR + 0.220823);	BF1 = AIR - 0.569654);	BF1 = AIR + 0.23187);
BF2 = 0.668729 - AIR);	BF3 = HGT850 + 0.615597);	BF2 = 0.569654 - AIR);	BF2 = -0.23187 - AIR);
BF3 = HGT850 + 1.34689);	BF4 = -0.615597 - HGT850);	BF6 = 1.06339 - HGT500);	BF3 = HGT850 - 0.542235);
BF4 = -1.34689 - HGT850);	BF5 = AIR200 + 0.532032);	BF7 = RHUM850 + 1.2437);	BF4 = 0.542235 - HGT850);
BF6 = 0.196096 - PRATE) * BF4;	BF6 = -0.532032 - AIR200);	BF8 = -1.2437 - RHUM850);	BF5 = PRESS - 1.07415);
BF8 = -0.936517 - SLP) * BF2;	BF7 = AIR + 0.080075);	BF9 = PRATE + 1.87631);	BF6 = 1.07415 - PRESS);
BF9 = HGT500 - 1.06339);	BF10 = -0.357283 - AIR);	BF10 = AIR200 + 0.442195);	BF7 = RHUM850 + 3.19402);
BF15 = AIR200 + 1.78804) * BF9;	BF12 = 1.42902 - SLP);	BF12 = AIR850 + 2.22087);	BF8 = PRATE + 1.65054);
	BF13 = AIR500 - 0.245249);		BF10 = AIR - 0.129691);
	BF14 = 0.245249 - AIR500);		BF12 = SLP + 1.82499);
	BF15 = HGT200 - 0.16138);		
	BF18 = -0.210371 - AIR850);		
	BF20 = -0.687139 - AIR200);		
Y = 0.775982 + 0.909679 * BF1 - 0.990033 * BF2 - 0.0851237 * BF3 - 0.1337 * BF4 + 0.624176 * BF6 + 0.913771 * BF8 + 0.113822 * BF15;			
Y = -0.60189 + 2.1682 * BF1 + 0.0243268 * BF3 - 0.10758 * BF4 + 0.0944 * BF5 + 0.242958 * BF6 - 1.24495 * BF7 - 0.775413 * BF10 + 0.0666013 * BF12 + 0.348568 * BF13 + 0.0926918 * BF14 - 0.310086 * BF15 - 0.0949545 * BF18 - 0.209756 * BF20;			
Y = -0.399945 + 0.651113 * BF1 - 0.756357 * BF2 + 0.0972645 * BF6 + 0.0518919 * BF7 - 0.120516 * BF8 - 0.0242326 * BF9 + 0.0563613 * BF10 + 0.309506 * BF12;			
Y = -1.99146 + 1.09465 * BF1 - 0.944975 * BF2 + 0.081166 * BF3 - 0.150298 * BF4 - 0.6368 * BF5 + 0.69032 * BF6 + 0.026467 * BF7 - 0.0254998 * BF8 - 0.18781 * BF10 + 0.578925 * BF12;			

Tablo 6: Suşehri, Şebinkarahisar, Trabzon ve Ünye istasyonları modellerine ait temel fonksiyonlar ve denklemler

Suşehri	Şebinkarahisar	Trabzon	Ünye
BF1 =AIR + 0.386891);	BF1 =AIR + 0.386891);	BF1 =AIR - 0.370563);	BF1 =AIR - 0.212753);
BF2 =-0.386891 - AIR);	BF2 =-0.386891 - AIR);	BF2 =0.370563 - AIR);	BF2 =0.212753 - AIR);
BF3 =RHUM850 + 1.5216);	BF3 =RHUM850 + 2.97473);	BF3 =HGT850 - 0.452566);	BF3 =AIR200 + 0.399846);
BF5 =AIR850 + 0.303416);	BF5 =0.624226 - HGT200);	BF4 =0.452566 - HGT850);	BF4 =-0.399846 - AIR200);
BF7 =AIR + 1.5757);	BF6 =RHUM500 + 1.61316);	BF6 =-0.414886 - AIR200);	BF6 =-1.01931 - AIR850);
BF9 =RHUM500 - 1.43223);	BF9 =0.569285 - AIR850);	BF7 =AIR500 + 0.316273);	BF7 =RHUM850 + 3.19402);
BF10 =1.43223 - RHUM500);		BF9 =SLP + 1.09635);	BF8 =AIR500 + 0.316273);
BF11 =HGT500 + 0.4259);		BF10 =-1.09635 - SLP);	BF10 =HGT500 + 0.0598177);
BF12 =-0.4259 - HGT500);		BF12 =-0.95774 - AIR500);	BF11 =-0.0598177 - HGT500);
		BF14 =1.00155 - HGT500);	BF13 =1.97998 - HGT850);
		BF15 =PRATE + 1.09342);	
		BF17 =AIR850 - 1.07878);	
Y = 0.195695 + 1.23309 * BF1 - 1.59755 * BF2 - 0.0159648 * BF3 + 0.244622 * BF5 - 0.448228 * BF7 + 0.219205 * BF9 + 0.0547446 * BF10 - 0.129466 * BF11 + 0.0577889 * BF12;			
Y =-0.337254 + 1.02489 * BF1 - 1.05933 * BF2 - 0.0263131 * BF3 + 0.196369 * BF5 - 0.0391668 * BF6 - 0.103764 * BF9;			
Y = 0.122824 + 0.871136 * BF1 - 0.978768 * BF2 + 0.121621 * BF3 - 0.190524 * BF4 + 0.0637173 * BF6 + 0.286813 * BF7-0.165632 * BF9 + 0.419767 * BF10 - 0.16704 * BF12 + 0.369366 * BF14 - 0.0130943 * BF15 - 0.286167 * BF17;			
Y = 0.239138 + 1.13366 * BF1 - 1.04099 * BF2 + 0.0566214 * BF3 + 0.0986179 * BF4 - 0.142514 * BF6 - 0.0162192 * BF7 + 0.402722 * BF8 - 0.525411 * BF10 + 0.31314 * BF11 - 0.0879745 * BF13;			

Bu eşitliklerde BF: her bir parametre için oluşturulmuş temel fonksiyonları, Y: ÇDURE model çıktısı olan sıcaklık değerini ifade etmektedir. Eraİnterim veri setinde yer alan atmosferik değişkenlerin bağımsız değişkenler olarak ve meteoroloji istasyonlarından ölçülmüş olan aylık ortalama sıcaklık değerlerinin bağımlı değişken olarak kullanıldığı ÇDURE tabanlı ve istasyon özelinde kurulmuş olan istatistiksel ölçek indirgeme model performans istatistikleri eğitim ve test veri takımları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Eğitim veri takımı için hesaplanmış olan model performans istatistikleri Tablo 7’de, test veri takımı için ise Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 7: Eraİnterim re-analiz verileri kullanılarak kurulan ÇDURE modellerinin eğitim veri takımı model performans istatistikleri

Sıcaklık	Eğitim veri takımı											
İstasyon	Akç.	Bay.	Gir.	Güm.	Hopa	Ordu	Pazar	Rize	Suş.	Şeb.	Trab.	Ünye
OKHK	0,440	0,723	0,474	0,503	0,768	0,384	0,446	0,389	0,518	0,555	0,426	0,427
SI	0,031	0,108	0,033	0,054	0,054	0,027	0,034	0,028	0,053	0,062	0,029	0,030
OMH	0,345	0,538	0,367	0,407	0,565	0,307	0,346	0,308	0,391	0,433	0,334	0,335
NS	0,995	0,994	0,994	0,996	0,983	0,996	0,994	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995

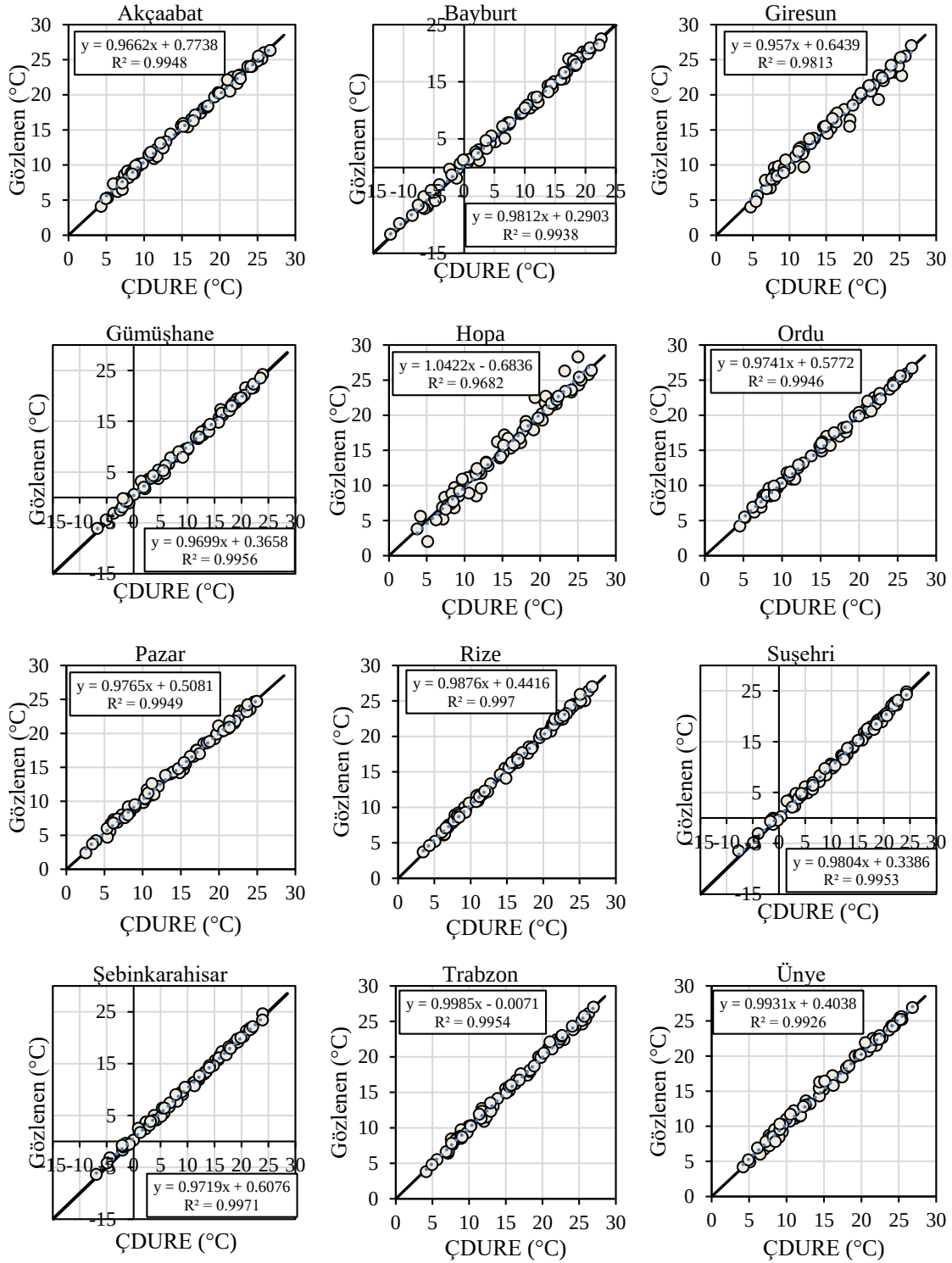
Tablo 8: Eraİnterim re-analiz verileri kullanılarak kurulan ÇDURE modellerinin test veri takımı model performans istatistikleri

Sıcaklık	Test veri takımı											
İstasyon	Akç.	Bay.	Gir.	Güm.	Hopa	Ordu	Pazar	Rize	Suş.	Şeb.	Trab.	Ünye
OKHK	0,571	0,760	0,877	0,591	1,210	0,533	0,498	0,452	0,602	0,591	0,436	0,630
SI	0,037	0,099	0,058	0,058	0,080	0,035	0,035	0,030	0,056	0,058	0,028	0,042
OMH	0,470	0,600	0,628	0,461	0,894	0,443	0,400	0,371	0,476	0,456	0,350	0,495
NS	0,992	0,993	0,979	0,995	0,967	0,993	0,993	0,995	0,995	0,995	0,995	0,990

Eğitim ve test veri takımları için hesaplanan NS değerleri tüm istasyonlarda 0,9 değerinden büyüktür. Bu değerler Tablo 2’ye göre değerlendirilecek olduğunda ÇDURE tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme modeli performanslarının tüm istasyonlar için çok iyi sınıfta yer aldığı görülmektedir. Ayrıca eğitim veri takımına ait hata değerlerinin test veri takımına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Eğitim ve test veri takımlarında en yüksek hata değerleri Hopa istasyonu için elde edilmiştir. Model sonuçları ve gözlem değerlerine ait bazı temel istatistikler arasındaki uyumun belirlenebilmesi için eğitim ve test gruplarına ait ortalama (Ort), maksimum (Mak), minimum (Min), standart sapma (Stn), çarpıklık (Çar) ve basıklık (Bas) temel istatistikleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır (Tablo 9). Tablo incelenecek olduğunda tüm istasyonlar için gözlem verilerinin eğitim ve test veri takımları için hesaplanan temel istatistiklerin model çıktıları ile çok yakın olduğu görülmektedir. Test veri takımı için çalışma kapsamında belirlenmiş olan tüm istasyonlara ait test veri takımı saçılım grafikleri Şekil 5’te verilmiştir.

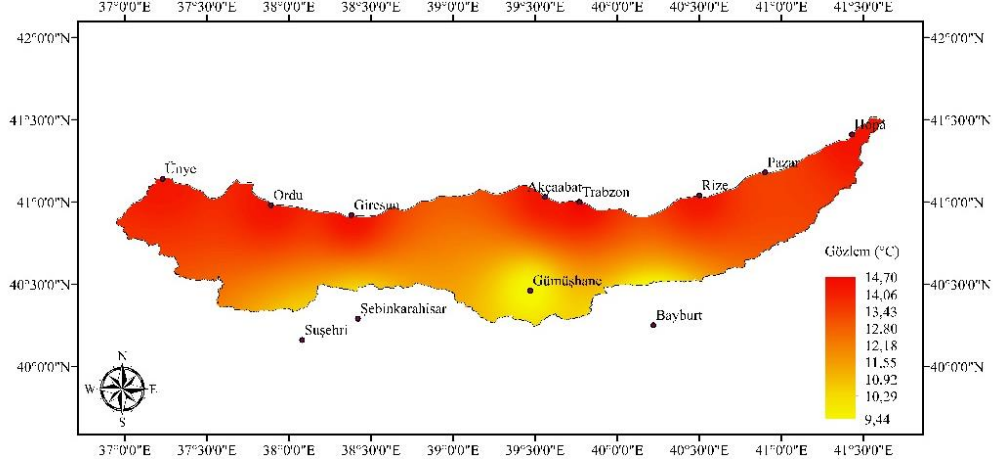
Tablo 9: Gözlem verileri ve model çıktılarına ait temel istatistikler

Veri Takımı		Eğitim						Test					
İstasyon	İstatistik	Ort.	Mak.	Min.	Stn.	Çar.	Bas.	Ort.	Mak.	Min.	Stn.	Çar.	Bas.
Akçaabat	Gözlem	14,14	25,30	3,10	6,16	0,13	-1,33	15,24	26,30	4,10	6,31	0,15	-1,29
	Model	14,14	25,34	3,47	6,14	0,13	-1,34	14,97	26,69	4,33	6,52	0,18	-1,34
Bayburt	Gözlem	6,69	22,50	-11,00	8,98	-0,22	-1,23	7,65	22,50	-11,70	9,21	-0,24	-1,04
	Model	6,69	21,20	-10,96	8,95	-0,21	-1,27	7,50	22,61	-12,11	9,35	-0,23	-1,07
Giresun	Gözlem	14,39	25,50	3,50	6,02	0,11	-1,30	15,11	27,00	4,00	6,10	0,16	-1,21
	Model	14,39	25,13	3,70	5,97	0,13	-1,32	15,12	26,63	4,72	6,32	0,20	-1,31
Gümüşhane	Gözlem	9,39	22,80	-6,20	7,96	-0,15	-1,28	10,18	24,20	-6,10	8,06	-0,08	-1,16
	Model	9,39	22,59	-5,64	7,94	-0,14	-1,30	10,12	23,95	-6,72	8,30	-0,13	-1,17
Hopa	Gözlem	14,25	26,00	2,70	5,89	0,06	-1,18	15,09	28,30	2,00	6,62	0,10	-1,10
	Model	14,25	25,06	2,45	5,84	0,06	-1,21	15,13	26,79	3,73	6,25	0,13	-1,14
Ordu	Gözlem	14,20	25,50	3,00	6,20	0,14	-1,32	15,23	26,70	4,20	6,41	0,18	-1,29
	Model	14,20	25,36	2,84	6,19	0,14	-1,32	15,04	26,88	4,55	6,56	0,21	-1,32
Pazar	Gözlem	13,19	24,10	2,10	5,96	0,04	-1,29	14,10	24,70	2,40	6,17	0,07	-1,25
	Model	13,19	23,67	2,54	5,95	0,04	-1,31	13,92	24,95	2,56	6,30	0,09	-1,28
Rize	Gözlem	14,13	25,60	3,10	6,26	0,09	-1,33	15,23	27,00	3,70	6,58	0,12	-1,32
	Model	14,13	25,58	3,28	6,25	0,09	-1,34	14,97	26,76	3,48	6,65	0,13	-1,34
Suşehri	Gözlem	9,83	23,00	-7,80	8,08	-0,20	-1,23	10,77	24,80	-6,50	8,20	-0,12	-1,10
	Model	9,83	23,64	-6,76	8,07	-0,19	-1,23	10,64	24,35	-7,68	8,35	-0,18	-1,09
Şebinkarahisar	Gözlem	8,98	22,90	-7,20	8,08	-0,15	-1,25	10,16	24,60	-6,40	8,06	-0,07	-1,15
	Model	8,98	23,10	-6,39	8,06	-0,15	-1,27	9,83	23,94	-6,92	8,29	-0,09	-1,16
Trabzon	Gözlem	14,55	26,00	3,80	6,04	0,10	-1,28	15,34	27,00	3,80	6,37	0,14	-1,27
	Model	14,55	25,55	3,58	6,02	0,11	-1,28	15,37	26,97	4,17	6,37	0,18	-1,25
Ünye	Gözlem	14,10	25,40	3,20	6,09	0,15	-1,28	15,16	26,90	4,20	6,42	0,16	-1,30
	Model	14,10	25,33	3,15	6,07	0,15	-1,30	14,86	26,85	4,21	6,44	0,23	-1,30

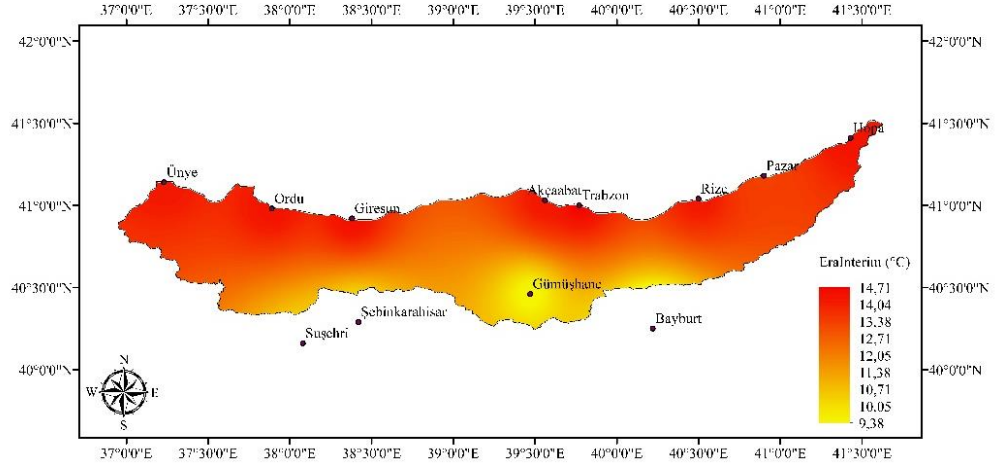


Şekil 5: Trabzon ve Bayburt istasyonları test veri takımına ait saçılım grafikleri

Saçılım grafiklerinde verilerin köşegen üzerine sıralanması model performansının yüksek olduğunu ve köşegen üzerindeki verilerin nispi hatalarının sıfır olduğunu ifade etmektedir (Bayram vd. 2015). Şekil 5 incelendiğinde verilerin birçoğunun köşegen üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum model performanslarının yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca verilerin dağılımına uygun çizilen eğrinin hesaplanan R^2 değerleri 1'e oldukça yakındır. Ölçek indirgeme model sonuçları ile gözlem değerlerinin havza genelindeki dağılımının görülebilmesi için test veri takımına ait yıllık ortalama yağış değerlerinin bölgesel ölçekte hazırlanan haritaları Şekil 6'da verilmiştir. Ayrıca yıllık ortalama tahmin değerleri ile gözlem değerleri arasındaki farkın net bir şekilde görülebilmesi için farkları alınmış, % olarak haritalandırılmış ve Şekil 7'de verilmiştir.

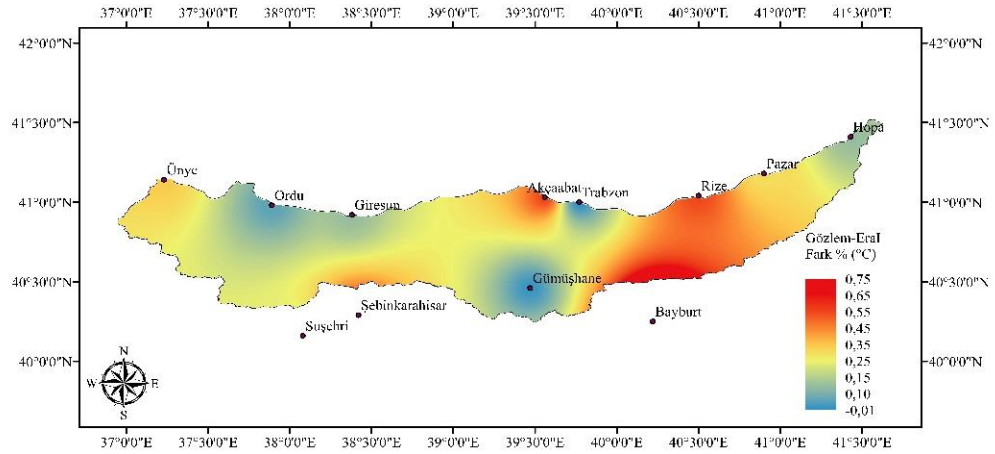


(a)



(b)

Şekil 6: Test veri takımına ait yıllık ortalama sıcaklık haritaları (a) Gözlem (b) ÇDURE



Şekil 7: Test veri takımına yıllık ortalama sıcaklık gözlem ve tahmin değerleri % farkı

Hazırlanmış olan haritalar incelendiğinde havza genelinde gözlem değerleri ile ölçek indirgeme model çıktıların birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Gözlem değerleri ile model çıktıları arasındaki farkın en yüksek değerinin %0,75 ile Bayburt istasyonunda olduğu görülmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada EraInterim re-analiz veri takımında yer alan küresel ölçekli atmosferik değişkenler kullanılarak Doğu Karadeniz Havzası meteoroloji istasyonlarından ölçülmüş olan aylık ortalama sıcaklık değerleri ÇDURE tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi yardımıyla tahmin edilmiştir. Bu amaçla EraInterim re-analiz veri takımında yer alan 12 adet atmosferik değişken ve Doğu Karadeniz Havzası ve çevresinde yer alan, en az 30 yıllık (1981-2010) kesintisiz gözlem verisine sahip 12 adet meteoroloji istasyonundan ölçülmüş aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Bu çalışma iklim değişikliği etki çalışmalarında küresel ölçekli verilerin yerel ölçekteki karşılıklarının belirlenmesinde kullanılan istatistiksel ölçek indirgeme yönteminin Doğu Karadeniz Havzası için uygulandığı ilk çalışma olma özelliğini taşımaktadır. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda gözlem değerleri ile model çıktıları çeşitli performans istatistikleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Hesaplanan performans istatistiklerine göre ÇDURE istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi aylık ortalama sıcaklık parametresi için küresel ölçekli atmosferik değişkenleri istasyon ölçeğine havzadaki tüm istasyonlarda başarılı bir şekilde indirgediği görülmüştür. Havza genelinde en yüksek farklılığın Bayburt istasyonu için olduğu, diğer istasyonlarda ise gözlem değerleri ile model çıktıların birbirine oldukça yakın olduğu hesaplanan temel istatistikler yardımıyla belirlenmiştir. EraInterim re-analiz veri takımından seçilen 12 adet atmosferik değişken arasından yüzey sıcaklığını temsil eden *air* parametresinin tüm istasyonlar için kurulan modellerdeki öneminin %100 olduğu görülmüştür. Diğer parametrelerin ise modellerde çok düşük önem seviyelerinde yer aldığı görülmüştür. Bu durum sıcaklık parametresinin modellenmesinde sadece *air* değişkeni kullanılarak da başarılı sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında EraInterim re-analiz verileri kullanılmıştır. Doğu Karadeniz Havzası için farklı re-analiz veri takımları ile bu çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir. Ayrıca farklı istatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri uygulanarak havza için en uygun ölçek indirgeme yöntemi farklı iklim parametreleri için belirlenerek GDM çıktılarının gelecek dönem verileri havza ölçeğinde değerlendirilebilir. Yazarların bu konudaki çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların iklim değişikliğinin gelecek dönemlerde Doğu Karadeniz Havzası üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik yapılacak olan çalışmalarda araştırmacılara bir altlık sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Sinan Nacar tarafından, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, doktora programında hazırlanmış olan tez çalışmasının bir kısmını kapsamaktadır.

Kaynaklar

- Akhter M.S., Shamseldin A.Y., Melville B.W., (2019), *Comparison of dynamical and statistical rainfall downscaling of CMIP5 ensembles at a small urban catchment scale*, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 33(4-6), 989-1012.
- Atay H., (2015), *Kızılırmak Havzasının 2013-2040 Periyodunda İklim İndisleri Projeksiyonları*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Bayraç H.N., Doğan E., (2016), *Türkiye’de iklim değişikliğinin tarım sektörü üzerine etkileri*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi, 11(1), 23-48.
- Bayram A., Uzlu E., Kankal M., Dede T., (2015), *Modeling stream dissolved oxygen concentration using teaching-learning based optimization algorithm*, Environmental Earth Sciences, 73, 6565-6576.
- Berrisford P., Dee D., Fielding K., Fuentes M., Kallberg P., Kobayashi S., Uppala S., (2009), *The ERA-interim archive*, ERA report series no.1, Shinfield Park, Reading, Berkshire RG2 9AX, United Kingdom, 16ss.
- Berrisford P., Kallberg P., Kobayashi S., Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Poli P., Sato H., (2011), *Atmospheric conservation properties in ERA-Interim*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 137(659), 1381-1399.
- Chen H., Xu C.Y., Guo S., (2012), *Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff*, Journal of Hydrology, 434, 36-45.
- Crane R.G., Hewitson B.C., (1998), *Doubled CO2 precipitation changes for the Susquehanna Basin: Down-scaling from the Genesis general circulation model*, International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 18(1), 65-76.
- Çınaklı M., (2008), *Doğu Karadeniz bölümü’nde meydana gelen taşkınlar*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., et al., (2011), *The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 137(656), 553-597.
- Demir Ö., Atay H., Eskiöğlu O., Tuvan A., Demircan M., Akçakaya A., (2013), *RCP4.5 Senaryosuna göre Türkiye’de sıcaklık ve yağış projeksiyonları*, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi (TİKDEK 2013), 3-5 Haziran, İstanbul.
- Demircan M., Demir Ö., Atay H., Eskiöğlu O., Yazıcı B., Gürkan H., Tuvan A., Akçakaya A., (2014), *Türkiye’de yeni senaryolara göre iklim değişikliği projeksiyonları*, TÜCAUM VIII. Coğrafya Sempozyumu, 23-24 Ekim, Ankara.
- Fistikoglu O., Okkan U., (2010), *Statistical downscaling of monthly precipitation using NCEP/NCAR reanalysis data for Tahtali River Basin in Turkey*, Journal of Hydrologic Engineering, 16(2), 157-164.

- Fowler H.J., Ekström M., Kilsby C.G., Jones P.D., (2005), *New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 1. Assessment of control climate*, Journal of Hydrology, 300(1-4), 212-233.
- Frei C., Christensen J.H., Deque M., Jacob D., Jones R.G., Vidale P.L., (2003), *Daily precipitation statistics in regional climate models: Evaluation and intercomparison for the European Alps*, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 108(D3), 4124, doi:10.1029/2002JD002287.
- Friedman J.H., (1991), *Multivariate adaptive regression splines*, The Annals of Statistics, 19(1), 1-67.
- Hamlet A.F., Byun K., Robeson S.M., Widhalm M., Baldwin M., (2019), *Impacts of climate change on the state of Indiana: ensemble future projections based on statistical downscaling*, Climatic Change, 1-15.
- Horton P., Brönnimann S., Weingartner R., (2018), *Impact of the choice of a reanalysis dataset on statistical downscaling of precipitation*, EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts, Vol. 20, EGU2018-14297, ss.14297.
- IPCC, (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. 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, 1535ss.
- IPCC, (2018), *Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C*, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf, [Erişim 1 Mart 2020].
- Kisi O., Parmar K.S., (2016), *Application of least square support vector machine and multivariate adaptive regression spline models in long term prediction of river water pollution*, Journal of Hydrology, 534, 104-112.
- Mearns L.O., Bogardi I., Giorgi F., Matyasovszky I., Palecki M., (1999), *Comparison of climate change scenarios generated from regional climate model experiments and statistical downscaling*, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 104(D6), 6603-6621.
- MGM, (2015), *Yeni senaryolar ile Türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği*, Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L., (2007), *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*, Transactions of the ASABE, 50(3): 885-900.
- Murakami H., (2014), *Tropical cyclones in reanalysis data sets*, Geophysical Research Letters, 41(6), 2133-2141.
- 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.
- Nacar S., Kankal M., Okkan U., Dede T., (2019), *İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemi ile NCEP/NCAR re-analiz verilerinin Doğu Karadeniz havzası aylık yağış ve sıcaklık değerlerine indirgenmesi*, International Conference on Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering (İSTE-CE'2019), 13-15 June, Iskenderun Technical University, Iskenderun – Hatay, Turkey, ss.470-483.
- Nacar S., Kankal M., Hınıs M.A., (2018), *Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) ile Günlük Akarsu Akımlarının Tahmini-Haldizen Deresi Örneği*, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(1), 38-47.
- Okkan U., Karakan E., (2016), *İklim değişikliğinin ikizcetepeler barajı akımlarına etkilerinin modellenmesi: 2015-2030 projeksiyonu*, Teknik Dergi, 27(2), 7379-7401.
- Okkan U., Kirdemir U., (2016), *Downscaling of monthly precipitation using CMIP5 climate models operated under RCPs*, Meteorological Applications, 23(3), 514-528.
- Okkan U., Kirdemir U., (2018), *Investigation of the behavior of an agricultural-operated dam reservoir under RCP scenarios of AR5-IPCC*, Water resources management, 32(8), 2847-2866.
- Okkan U., Fistikoglu O., (2014), *Evaluating climate change effects on runoff by statistical downscaling and hydrological model GR2M*, Theoretical and applied climatology, 117(1-2), 343-361.
- OSİB, (2013), *Havza koruma eylem planlarının hazırlanması projesi Doğu Karadeniz Havzası*, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Ankara.
- Özçalıcı Y., (2008), *Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon kesitleri: Mars*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- SYGM, (2016), *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi*, Proje Nihai Raporu, Ek 24 - Doğu Karadeniz Havzası, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 135ss.
- Toprak S., (2011), *Çok değişkenli uyarlamalı regresyon eğrileri ve konik programlama ile zaman serilerinin modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Tripathi S., Srinivas V.V., Nanjundiah R.S., (2006), *Downscaling of precipitation for climate change scenarios: a support vector machine approach*, Journal of Hydrology, 330(3-4), 621-640.
- Ünal B., (2009), *Çok değişkenli uyarlamalı regresyon uzanımları*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Vu M.T., Aribarg T., Supratid S., Raghavan S.V., Liong S.Y., (2016), *Statistical downscaling rainfall using artificial neural network: significantly wetter Bangkok?*, Theoretical and Applied Climatology, 126(3-4), 453-467.
- Wagesho N., Jain M.K., Goel N.K., (2012), *Effect of climate change on runoff generation: Application to Rift Valley Lakes basin of Ethiopia*, Journal of Hydrologic Engineering, 18(8), 1048-1063.
- Wilby R.L., Charles S.P., Zorita E., Timbal B., Whetton P., Mearns L.O., (2004), *Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods*, https://www.ipcc-data.org/guidelines/dgm_no2_v1_09_2004.pdf, [Erişim 1 Mart 2020].
- Wilby R.L., Harris I., (2006), *A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low-flow scenarios for the River Thames, UK*, Water Resources Research, 42(2), W02419, doi: doi.org/10.1029/2005WR004065.
- Yüksek Ö., Kankal M., Üçüncü O., (2013), *Assessment of big floods in the Eastern Black Sea Basin of Turkey*, Environmental Monitoring and Assessment, 185(1), 797-814.

Siirt İli Deprem Tehlike Analizi

Murat Doğruyol^{1,*}

¹Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 56100, Siirt.

Özet

Siirt Güneydoğu Anadolu Bölgesinin önemli şehirlerinden biridir. Güneydoğu Anadolu ve çevresindeki diri faylar geçmişte ciddi depremler oluşturmuştur. Bu çalışmada Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Güneydoğu Anadolu Bindirmesi (GAB)'ne bağlı diri fay hatlarının etkilediği bölgede yer alan Şehir merkezi 37.55 kuzey ve 41.56 doğu koordinatlarına sahip Siirt ili merkezinin 200 km yarıçapındaki dairesel alanı çalışma alanı olarak seçilmiştir. Gutenberg-Richter bağıntısı dikkate alınarak bölgenin deprem riski istatistiksel olarak ortaya konulmuştur. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü deprem kataloğundan Gutenberg-Richter bağıntısına en uygun olanı moment magnitüdü (M_w) seçilerek depremlerin aletsel olarak kaydedilmeye başlandığı 1900 yılından 2020 yılına kadar $M_w \geq 4$ gerçekleşen deprem verileri kullanılmıştır. Çalışmada bölgenin magnitüd-frekans ilişkisi, sismik risk ve dönüş periyotları hesaplanmıştır. Buna göre $R^2 = 0.99$, a sabiti 7.0994, b sabiti ise 1.0257 hesaplanmıştır. Yapılan deprem risk analizine göre bölgede 50 yıl içerisinde 6.0 ve 6.5 magnitüdde deprem görülme riski sırası ile %79 ve %38 olarak; tekrarlanma periyotları ise sırası ile 32 ile 105 yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın amacı Siirt ilindeki deprem gerçeğini hatırlatmak, mühendislik yapılarının yeri ve tasarımı yapılırken deprem gerçeğinin unutulmamasıdır.

Anahtar Sözcükler

Siirt Depremselliği, Gutenberg-Richter Metodu, a ve b Sabiti

Siirt Province Earthquake Hazard Analysis

Abstract

Siirt Province is one of the important cities of the Southeastern Anatolia Region. The fault lines around the Southeast Anatolia and surrounding region has caused serious earthquakes on the area. In this study, the study region has been decided as the circular area that is surrounding the 200 km radius of the city center of Siirt Province. The city center of Siirt stands at 37.55 North and 41.56 East coordinates and is effected by active fault lines connected to the East Anatolian Fault Zone and Southeast Anatolian Thrust. The statistical earthquake risk of the study region has been presented considering Gutenberg and Richter equation. In this study the moment magnitude (M_w) that is most suitable for Gutenberg-Richter Equation has been chosen from Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute's earthquake catalogue. From the catalogue the earthquake data of $M_w \geq 4$ and between the years 1900-2020 was used. In the study magnitude frequency relation, seismic risk and return periods of the study region have been calculated. According to this $R^2 = 0.99$, a constant has been calculated as 7.0994, b constant has been calculated as 1.0257. According to earthquake risk analysis of the study area the possibility of an earthquake in the next 50 years at the magnitude of 6.0 and 6.5 has been calculated as %79 and %38 respectively. While the return periods have been calculated as 32 and 105 years respectively. The purpose of the study is to remind the earthquake risk of the Siirt Province and to make sure earthquake truth of the area won't be forgotten when deciding engineering structures and their location.

Keywords

Siirt Seismicity, Gutenberg-Richter, Constant a and b

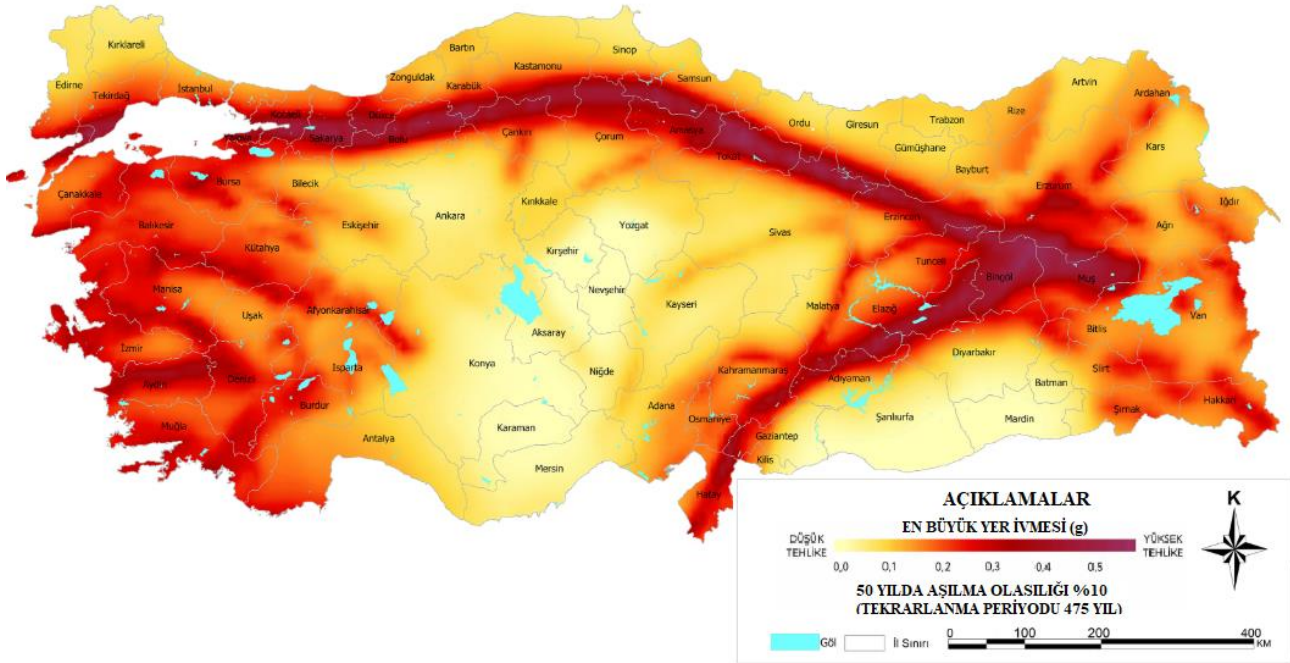
1. Giriş

Depremler sismografların çıkması ile dünyada ilk kez 1880 yılında aletsel olarak kayıt altına alınmaya başlanmıştır. Türkiye'de ise Kandilli Rasathanesinin kurulması ile başlayan süreç 1934 yılında sismografların düzenli olarak kayıt etmesi ile başlamıştır (BDTİM 2018). 1935 yılında Charles Richter, deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanan Magnitüd (aletsel büyüklük) depremlerin ölçümünde ve değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerin başında gelen kendi adını taşıdığı Richter ölçeği olarak adlandırılan logaritmik bir ölçek geliştirmiştir. Richter ölçeği logaritmik olduğu için hesaplamalarda magnitüdü (M) 4 olan bir depremin yer hareketi 3 M'teki depreminkinden 10 kat daha fazladır. Ancak enerji açısından kıyaslandığında 4 şiddetindeki deprem 3 şiddetindeki depremden 30 kat daha fazla olmaktadır (Gülkan ve Canbay 2008).

Depremsellik kavramı depremlerin zaman ve uzaydaki dağılımı için kullanılmaktadır. Depremsellik ile ilgili ilk çalışmalara 1911 yılında Olham ve Ballore tarafından başlandığı bilinmektedir (Purcaru 1975). Ancak Richter Magnitüd Ölçeğinin (Richter 1958) ortaya çıkmasıyla birlikte depremsellik çalışmalarında büyük bir artış sağlanmıştır.

Depremlerin yeri, zamanı ve magnitüd büyüklüğü belirsizlik içermektedir. Bunun tespiti için fay hatlarında biriken enerji ve sismik hareketleri saptanarak ya da geçmişte olan depremlerin tarih, yer ve büyüklüğü istatistiksel yöntemler kullanılarak tespit edilebilmektedir. İnşa edilmiş veya edilecek olan mühendislik yapıları için bu belirsizliği ortadan kaldıracak istatistiksel modeller geliştirilmiştir (Celep ve Kumbasar 1996). Bu çalışmada deprem risk analizi istatistiksel modellerden Gutenberg-Richter bağıntısı kullanılmıştır. Bu modele göre Siirt ili merkezinden 200 km yarıçapındaki alanı kapsayan bölgede 1900-2020 yılları arasında gözlenen ve kaydedilen sağlıklı depremlerin magnitüd değerleri ile gelecek on yıllık periyotlarda depremlerin oluşma olasılıkları ve tekrarlanma süreleri tahmin edilebilmektedir.

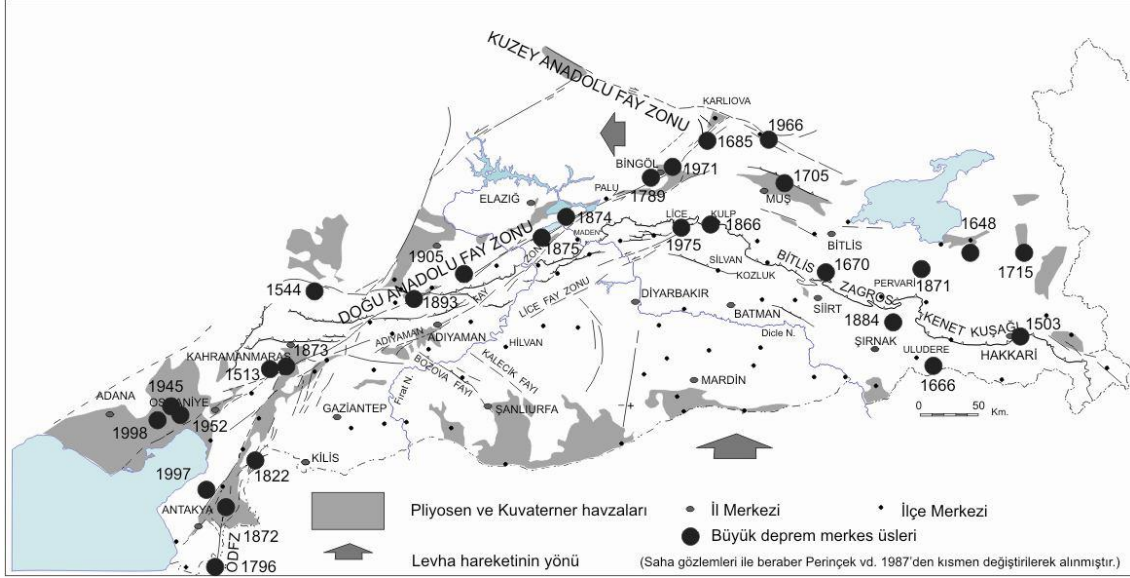
Türkiye, dünyadaki depremlerin beşte birine kaynaklık eden Akdeniz'den Alpler'e oradan Himalaya'lara kadar uzanan dünyanın en sismik kuşağına köprü vaziyettedir (McKenzie 1972). Bu sismik kuşak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ni etkisi altına almaktadır. En son 1996 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (TDBH), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yenilenmiş, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı (mükerrer) Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Yeni harita 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Yeni harita en güncel deprem kaynak parametreleri, deprem katalogları ve yeni nesil matematiksel modeller dikkate alınarak çok daha fazla ve ayrıntılı veriyle hazırlanmıştır. Yeni haritada, bir önceki haritadan farklı olarak deprem bölgeleri yerine en büyük yer ivmesi değerleri gösterilmiş ve "deprem bölgesi" kavramı ortadan kaldırılmıştır. Güncellenen TDBH'na göre Siirt ilinin deprem yer ivmesi 0.245 g'dir. Şekil 1'de Türkiye'nin yeni deprem haritası gösterilmiştir.



Şekil 1: Türkiye yeni deprem haritası (AFAD 2018)

Siirt ili, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 41° – 42° doğu boylamları ile 37.45° - 38.15° kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Siirt ilinin haritadaki yeri Şekil 2'de gösterilmiştir.

ÖDFZ Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ni batıdan çevrelemektedir ve geçmişte ağır yıkıcı depremlere kaynaklık etmiştir. GAB Hakkari'den başlayarak Siirt'in kuzeyinden güneybatıya doğru iç bükey bir yay çizerek Kahramanmaraş'ın batısına kadar uzanmaktadır (Şengör 1977). Ayrıca kıtalar çarpışması sınırında gelişen bir yapı olan Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin kuzey kenarı boyunca uzanan Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı (BZKK), İran'daki Zagros Bindirme Kuşağı'nın devamı şeklinde olup, doğudan batıya doğru Hakkari, Beytüşşebap, Narlı, Pervari güneyi, Kozluk, Kulp, Lice kuzeyi, Ergani kuzeyi, Çüngüş ve Çelikhan'dan geçer ve bu kuşak bölgedeki önemli depremlere kaynaklık etmiştir (Şekil 3) (Akbaş 1999; İmamoğlu ve Çetin 2007).



Şekil 4: Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki tarihteki büyük depremlerin yeri ve fay haritası

Şekil 4'de gösterildiği gibi Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve etrafı, Türkiye'nin en büyük tektonik yapılarından Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Bitlis Zagros Kenet Kuşağı (BZKK), Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) gibi diri fay zonlarının etkisindedir. Bu fayların üzerinde yoğun bir deprem etkinliği bulunmasına rağmen, üzerinde yer alan sismik boşluklardan dolayı bölgenin, özellikle kuzeyde yer alan DAFZ, BZKK ve batıdaki ÖDFZ boyunca, önümüzdeki yüzyıl içinde, tarihi dönemlerde meydana gelen depremlere benzer ve son dönemlerde meydana gelen depremlerden daha büyük depremler olabileceği belirtilmektedir (İmamoğlu ve Çetin 2007; Anadolu ve Kalyoncuoğlu 2010).

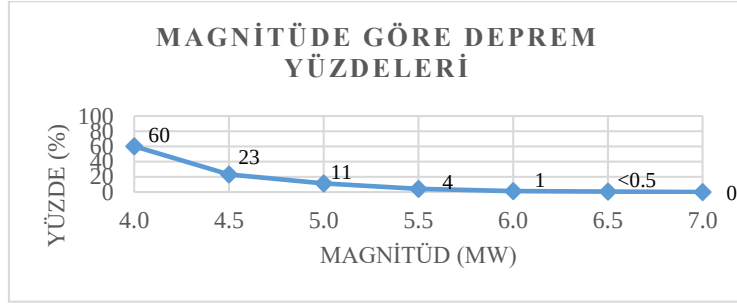
Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde tarihin her döneminde sismik hareketlilik yoğun olmuştur. Bölgeyi etkileyen 20. yüzyıl öncesi oluşan bazı büyük depremler Tablo 1'de gösterilmiştir (Sümer 1986; Guidoboni ve Traina 1995; İmamoğlu ve Çetin 2007; Tan vd. 2008; İççi 2008; Gündoğdu 2009).

Tablo 1: Güneydoğu Anadolu Bölgesini etkileyen 20. yüzyıl öncesi oluşan bazı büyük depremler

No	Tarih	Enlem	Boylam	Bölge	I	M
1	718	37.00	39.00	Şanlıurfa	VIII	
2	802			Fırat Havzası, Mezopotamya	IX	
3	1111	38.50	42.70	Ahlat-Van	IX	
4	1246	38.90	42.90	Van Gölü	IX	
5	1276	38.90	42.50	Bitlis - Erciş - Van	IX	
6	1441	38.35	42.10	Nemrut	IX	
7	1647	39.15	44.00	Van, Muş, Bitlis	IX	
8	1666			Halep, Musul, Doğu Anadolu	IX	
9	1582	38.35	42.10	Bitlis	IX	
10	1670	38.00	42.00	Hizan-Siirt		6.6
11	1705	38.40	42.10	Bitlis		6.7
12	1866	38.50	40.10	Kulp - Diyarbakır		6.8
13	1874			Diyarbakır, Keban, Malatya	VII	
14	1881	39.00	43.00	Van, Bitlis, Muş	IX	
15	1884	37.50	42.50	Siirt - Pervari	VIII	6.9

1.2. Siirt İlinin Depremsellliği

Siirt ili, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 41.0° - 42.0° doğu boylamları, 37.45° - 38.15° kuzey enlemleri arasında yer alan, 6186 km² yüz ölçümüne 2018 yılı nüfus verilerine göre 332 bin nüfusa sahiptir. Siirt ili sınırları içerisinde sismik hareketlerin birçoğuna GAB kaynaklık etmiştir. Siirt ili ve çevresindeki depremler kuzeyde Lice, Kozluk, Şirvan ve Hakkari segmentleri, güneyde Görümlü Fayı etkisindedir. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (BDTİM) verilerine göre 1900-2020 yılları arasında 120 yılda meydana gelen, Siirt ili merkezinden 200 km yarıçap alan içerisinde kalan alanda derinliği 1-172 km arasında değişen büyüklüğü 4.0- 6.5 magnitüd olan 457 deprem kaydı vardır. Bunların 77'si $M_w \geq 5.0$, 7'si $M_w \geq 6.0$, 2'si de $M_w \geq 6.5$ depremleri oluşturmaktadır. Deprem sayılarını Magnitüd değerlerine göre oranlandığında depremlerin %60'nı 4.0 M, %11'ni 5.0 M, %1'ni de 6.0 M depremler oluşturmaktadır. Magnitüd değerlerine göre oluşma yüzdeleri aşağıda Şekil 5'te verilmiştir.



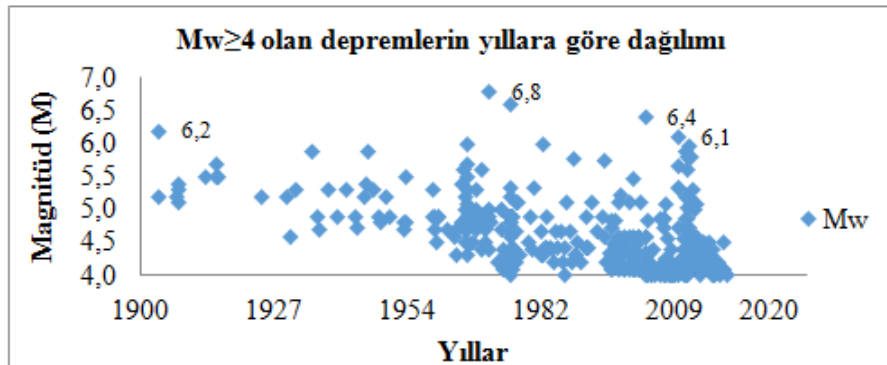
Şekil 5: 1900-2020 yılları arasında Siirt'i etkisi altına alan depremlerin magnitüdlere göre sıklık dağılım grafiği

Siirt ilinin çevresi diri fay hatları çevrili olmasına rağmen şehir sınırları içerisinde etkili deprem odak noktası bulunmamaktadır (Işık 2012). Siirt ili etkin DAF ve GAB hatlarına komşu vaziyette bulunduğundan sismik hareketlerin sıklıkla yaşandığı kaydedilmiştir. 1900- 2020 yılları arasında Siirt ili sınırları içerisinde $M_w \geq 4$ olan depremlerin yeri ve derinliği Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: 1900-2019 Yılları Siirt ili sınırları içerisinde oluşan bazı büyük depremler

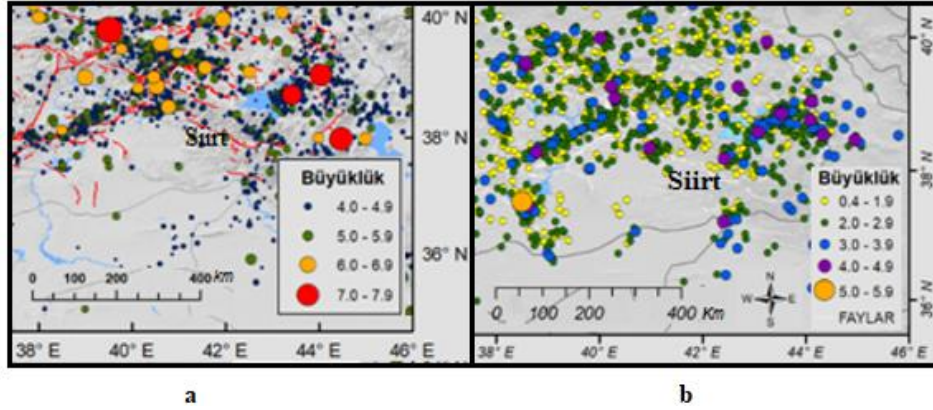
No	Oluş tarihi	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Mw	Yer
1	26.10.2003	37.79	42.51	11	4.1	Okcular-Pervarı (Siirt) [8.4 km Kuzeydoğu]
2	26.10.2003	37.78	42.66	5	4	Dugunculer-Pervarı (Siirt) [11.1 km Kuzeybatı]
3	23.10.2003	37.72	42.49	5	4.8	Okcular-Pervarı (Siirt) [5.0 km Güneydoğu]
4	12.09.2001	37.87	42.73	5	4.2	Dugunculer-Pervarı (Siirt) [1.7 km Kuzeybatı]
5	14.02.1995	37.75	42.96	0	5.7	Sarıyaprak-Pervarı (Siirt) [11.2 km Kuzeydoğu]
6	02.04.1984	37.62	42.88	43	4.5	Sarıyaprak-Pervarı (Siirt) [11.7 km Güneydoğu]
7	30.08.1973	37.96	42.75	45	5.0	Bentkoy-Pervarı (Siirt) [2.7 km Kuzey]
8	15.10.1929	38	42	30	5.2	Dereyamac-Aydınlar (Siirt) [2.6 km Kuzeybatı]

Türkiye'de deprem kayıtları modern olarak 1950'li yıllardan sonra kayıt edildiği için 50'li yıllardan sonra çalışma bölgesinde sismik hareketlerin daha sık olduğu Şekil 5'de görülmektedir (BDTİM 2019). BDTİM'den alınan verilere göre Siirt ili ve çevresi için $M_w \geq 4.0$ olan depremlerin yıllara göre dağılımı Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: Siirt ili ve çevresi için $M_w \geq 4$ olan depremlerin yıllara göre dağılımı

Buna göre $M_w \geq 6.0$ 'dan depremlerin yaklaşık 25 yılda 1 tekrarlandığı görülmektedir. Çalışma bölgesinde 1900-2020 yılları arasında depremler ve büyüklükleri Şekil 7a'da, 2018 yılı içerisinde ki depremler ve büyüklükleri Şekil 7b'de gösterilmiştir.



Şekil 7: Siirt ili merkezinden 200 km yarıçapındaki alan sismik hareketlerin yeri ve büyüklükleri

Tablo 3: 1900-2020 yılları arası Siirt Merkezden 200 km yarıçap alanda oluşan büyük depremler

No	Oluş tarihi	Enlem	Boylam	Der (km)	Mw	Yer
1	05.08.2012	37.41	42.95	8.1	5.8	Ortabag-Uludere (Şırnak)
2	14.06.2012	37.25	42.43	9.6	5.3	Yeniköy-Silopi (Şırnak)
3	09.11.2011	38.42	43.21	6	5.6	Edremit (Van)
4	23.10.2011	38.63	43.08	5	5.9	Van Gölü
5	08.03.2010	38.83	40.13	5	6.1	Kovancılar (Elazığ)
6	10.12.2005	39.36	40.86	5	5.3	Kızılçubuk-Karlıova (Bingöl)
7	06.06.2005	39.36	40.92	5	5.7	Ilıpınar-Karlıova (Bingöl)
8	23.03.2005	39.39	40.80	5	5.7	Sarıkuşak-Karlıova (Bingöl)
9	14.03.2005	39.35	40.88	5	5.8	Kazanlı-Karlıova (Bingöl)
10	25.03.2004	39.92	40.82	10	5.9	Kandilli-Aşkale (Erzurum)
11	01.05.2003	39.01	40.46	10	6.4	Kurtuluş (Bingöl)
12	03.05.2002	36.99	43.35	6	5.1	Irak
13	15.11.2000	38.28	42.94	8	5.5	Kurultu-Gevaş (Van)
14	03.12.1999	40.23	42.21	10	5.9	Yukarı horum-Horasan (Erzurum)
15	14.02.1995	37.75	42.96	0	5.7	Sarıyaprak-Pervari (Siirt)
16	25.06.1988	38.5	43.07	49	5.7	Van Gölü
17	06.09.1975	38.55	40.58	47	6.1	Üçdamlar-Lice (Diyarbakır)
18	22.05.1971	38.85	40.52	3	7.1	Guveçli- (Bingöl)
19	23.09.1968	36.49	40.68	49	4.7	Suriye
20	10.08.1968	37.00	43.13	42	5.3	Irak
21	20.08.1966	39.42	40.98	14	5.6	Kaşıkçı-Karlıova (Bingöl)
22	19.08.1966	39.17	41.56	26	6.0	Çayırıolu-Varto (Muş)
23	03.01.1952	39.95	41.67	40	5.8	Pasinler (Erzurum)
24	17.08.1949	39.57	40.62	40	6.5	Yaylım-Tercan (Erzincan)
25	31.05.1946	39.29	41.21	60	5.9	Kartaldere-Varto (Muş)
26	12.11.1934	38.54	41.00	50	5.9	Dolun-Kulp (Diyarbakır)
27	13.09.1924	39.96	41.94	10	6.5	Emre-Köprükoy (Erzurum)
28	14.02.1915	38.8	42.50	30	5.7	Cemalettin-Ahlat (Bitlis)

Çalışma bölgesinin 1900-2020 yılları arasında gerçekleşen büyük depremler Tablo 3'te verilmiştir (BDTİM 2019). Tablo 3'e göre Siirt ili merkezinde 200 km yarıçapını kapsayan alandaki sismik hareketler; Siirt'in güneyinde 2012 yılında Görümlü Fayı etkisinde Şırnak ili Yeniköy-Silopi'de yerden 9.6 km derinlikte 5.3 M, 2010 yılında DAFZ'a bağlı Palu segmenti kaynaklı Elazığ-Kovancılar'da yerin 5 km derinliğinde 6.1 M, 1975'te GAB'a bağlı Lice Segmentinde Diyarbakır-Lice'de yerin 47 metre derinliğindeki 6.1 M, 1971 yılında Bingöl ili Güveçli'de yerden 3 km derinlikte 6.1 M, 1924 ve 1949 yıllarında ise Erzurum- Köprükoy ve Erzincan- Tercan'da 6.5 M gibi büyük depremler çalışma alanının sismisitesinin ne kadar aktif olduğunu göstermektedir.

Haziran 2012’de Silopi Yeniköy’de gerçekleşen 5.3 M depremde merkezde can kaybı yaşanmadığı, hastane ve kamu binalarının hasar almadığı ancak merkez caminin minaresinin yıkıldığı kırsalda bazı ev ve ahırların hasar aldığı rapor edilmiştir (MTA 2012). AFAD kaynaklarına göre 1971 yılında Bingöl Güveçli’de 6.1 M depremin yüzey çatlaklarına neden olduğu kayıtlara geçmiştir. Deprem Bingöl’de ağır hasara sebep olmuş birçok kişinin hayatını kaybetmesine; yığma, kerpiç, betonarme yapıların ağır hasar almasına neden olmuştur.

2. Materyal ve Metot

Çalışma bölgesinde son 120 yıldaki $M \geq 4$ olan 457 düğüm noktası için deprem verileri Magnitüd-Frekans dağılımı için en yaygın olarak bilinen eşitlik Gutenberg ve Richter bağıntısı dikkate alınarak bölgenin deprem riski istatistiksel olarak ortaya konulmuştur. Gutenberg ve Richter (1944) bağıntısına göre;

$$\log N = a - bM \quad (1)$$

Denklem (1)’de ki gibi ifade edilmektedir. Burada N verilen bir bölge ve periyot için magnitüdü M’e eşit veya daha büyük olan depremlerin sayısını, a ve b ise regresyon katsayılarını göstermektedir (Dowrick 2003). a parametresi inceleme alanına genişliğine ve deprem düzeyine bağlı iken b değeri ise bölgenin depremselliğine bağlı değişen parametredir. b değeri bölgeden bölgeye kabaca ± 0.3 arasında değişim gösterir. b-değerindeki değişimlerin küçük ve büyük depremlerin rölatif oranı kırıklı ortamın heterojenite derecesi jeolojik yapı yamulma ve gerilme gibi bölgesel koşullara bağlı olduğu ve ayrıca ortalama b-değerinin bölgesel olarak 1.0’e eşit olduğu ifade edilmiştir (Frohlich ve Davis 1993). b değeri arttıkça bölgenin sismisitesinin yüksek olduğunu göstermektedir (Hatzidimitriou vd. 1985; Wiemer ve Wyss 1997; Kijko 1988; Wiemer vd. 1998; Papazachos 1974; Papazachos 1999). Gutenberg ve Richter (1954) dünya ölçüsünde istatistik sonuçlara dayanarak sığ depremler için $b=0.9 \pm 0.02$, orta ve derin depremler için $b=1.2 \pm 0.2$ değerlerini bulmuşlardır. Türkiye için $b=0.9 \pm 0.2$ değerini, Güneydoğu Anadolu Bölgesi için b değeri $b=1.0 \pm 0.2$ vermektedir (Anadolu ve Kalyoncuoğlu 2010).

Gutenberg-Richter metodunda öncü ve artçı depremler ayıklanmadan Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından alınmış deprem verileri kullanılmıştır. Deprem kayıtlarında moment magnitüdü (M_w), yerel magnitüd (M_L), süre magnitüdü (M_d), yüzey dalga magnitüdü (M_s), cisim dalga magnitüdü (M_b) gibi 5 farklı magnitüd büyüklüğü yer almaktadır. Katalogda yer alan magnitüd verileri tek bir magnitüd ölçeğine çevrilmesi önemlidir. Gutenberg-Richter metodu uygulanması üzere M_w verileri kullanılması uygun olacaktır. M_w verilerinin kayıt edilmediği verilerde diğer magnitüd verilerinin aşağıdaki dönüşüm metotları uygulanarak çevrilmiştir (Boore ve Joyner 1982; Ulusay vd. 2004).

$$M_w = 2.25 * M_b - 6.14 \quad (2)$$

$$M_w = 1.27 * M_d - 1.12 \quad (3)$$

$$M_w = 0.54 * M_s + 2.81 \quad (4)$$

$$M_w = 1.57 * M_L - 2.66 \quad (5)$$

M_w deprem verileri magnitüd sayılarına göre frekansları belirlenmiştir. Daha sonra yığınsal frekanslar hesaplanarak Log N değerleri hesaplanmıştır. Doğrusal regresyon ile magnitüd - Log N ilişkisinin en küçük kareler yöntemi ile a ve b parametreleri hesaplanmıştır. Doğrusal regresyon ile daha emniyetli değerler elde edilmiştir.

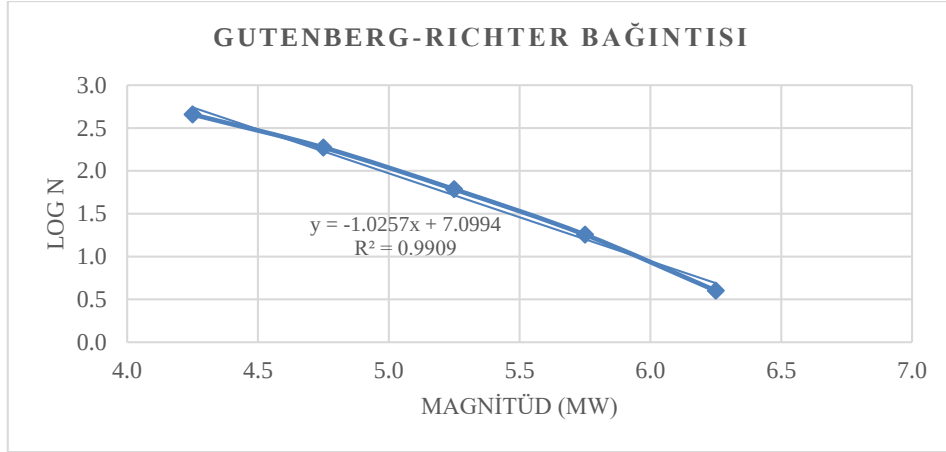
3.Bulgular

Siirt ili merkezden 200 km yarıçap alınarak oluşturulan alanda $M \geq 4$ olan depremler dikkate alınarak Tablo 4’te Gutenberg-Richter bağıntısındaki Log N hesaplanmıştır.

Tablo 4: Deprem magnitüd değerlerinin logaritmik değerleri

M	Ort.Aralık	Frekans	Log N	Yığınsal Frekans	Log N
4.0-4.5	4.25	268	2.43	455	2.66
4.5-5.0	4.75	126	2.10	187	2.27
5.0-5.5	5.25	43	1.63	61	1.79
5.5-6.0	5.75	14	1.15	18	1.26
6.0-6.5	6.25	3	0.48	4	0.60
6.5-7.0	6.75	1	0.00	1	0.00

Tablo 4'te yer alan yığmsal frekans ile sismolojide verilen bir M magnitüdüne eşit veya daha büyük olan depremlerin sayısı anlaşılabilir. Yığmsal frekans ile Log N değeri ile Gutenberg-Richter bağıntısı Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8: Gutenberg-Richter bağıntısı en küçük kareler metodu

Şekil 8'de Gutenberg- Richter bağıntısında a ve b parametrelerinin bulunması için en küçük kareler metodu uygulanarak $R^2 = 0.99$ düzeyinde korelasyon katsayısı ile değişkenler arasındaki kuvvetli ilişki belirlenmiştir. Gutenberg-Richter bağıntısı:

$$\text{Log}N = 7.0994 - 1.0257M \quad (6)$$

olarak bulunmuştur. Denklem (6)'ya göre Regrasyon analizinde a parametresi 7.0994, b parametresi 1.0257 olarak hesaplanmıştır. a ve b parametreleri kullanılarak incelen bölgenin depremselliğini belirten parametreler şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$a' = a - \log(b \ln 10) \quad (7)$$

$$a_1 = a - \log T \quad (8)$$

$$a'_1 = a' - \log T \quad (9)$$

Bulunan katsayıları,

$$n(M) = 10^{(a'_1 - bM)} \quad (10)$$

Denklem (10)'da kullanarak depremlerin yıllık oluş sayıları hesaplanmaktadır. Belirli bir magnitüd değerinin T yıl içinde oluşma riski denklem (11)'de hesaplanmıştır;

$$R(M) = 1 - e^{-n(M)T} \quad (11)$$

Oluşan depremin tekrarlanma periyodu ise;

$$Q = \frac{1}{n(M)} \quad (12)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre deprem tehlikesini belirlemede kullanılan parametre değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5: Deprem tehlikesini belirlemede kullanılan parametreler

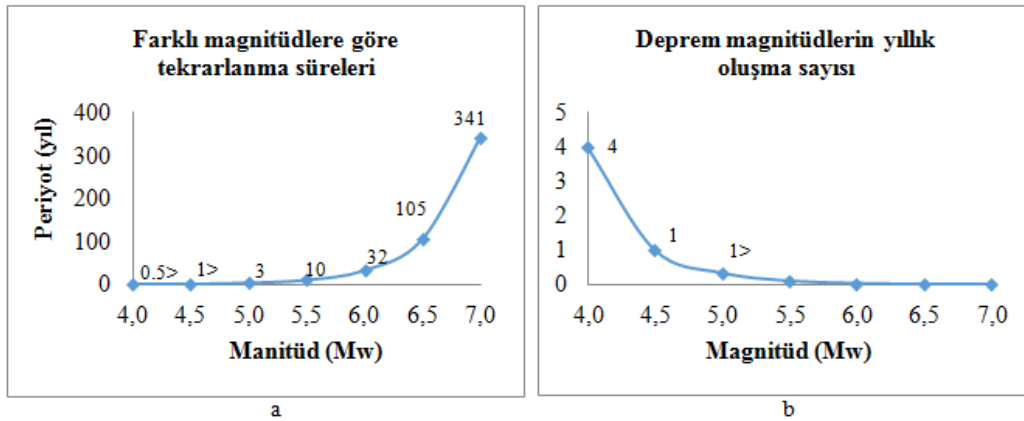
a	b	a ₁	a'	a' ₁
7.0994	1.0257	5.02022	6.72616	4.64698

Tablo 5'te elde edilen parametreler çalışma bölgesinin sismik risk analizinde kullanılmıştır. Buna göre çalışma alanının 10 yıllara göre farklı magnitüd (M) büyüklüğündeki depremlerin oluşma olasılıkları (%) ve tekrarlanma periyotları (Q) Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6: Yıllara göre sismik risk

M	n(M)	SİSMİK RİSK										Q
		YILLAR										
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
						%						
4.0	3.5009	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.3
4.5	1.0748	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.9
5.0	0.3300	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	3.0
5.5	0.1013	64	87	95	98	99	100	100	100	100	100	9.9
6.0	0.0311	27	46	61	71	79	85	89	92	94	96	32.2
6.5	0.0095	9	17	25	32	38	44	49	53	58	62	104.7
7.0	0.0029	3	6	8	11	14	16	19	21	23	25	341.1

Tablo 6'da elde edilen sismik risk analizine göre çalışma bölgesinde farklı magnitüd seviyelerinin tekrarlanma zamanları Şekil 9a'da, yıl içinde oluşma olasılıkları Şekil 9b'de gösterilmiştir.



Şekil 9: Farklı magnitüd değerlerine göre a) tekrarlanma zamanları b) yıllık oluşma olasılıkları

4. Sonuç

Bu çalışmada Siirt ili ve çevresinin (37.55 kuzey ve 41.56 doğu koordinatlarının 200 km çevresi) depremselliği ve deprem riski incelenmiştir.

BDTİM tarafından alınmış katalogdan çalışma bölgesinde 120 yıllık geçmiş deprem magnitüd değerleri ile M_w magnitüd skalası kullanılarak Gutenberg- Richter bağıntısı ile magnitüd-frekans ilişkisi ve yüzyıl boyunca onar yıllık sismik riski hesaplanmıştır. Buna göre $R^2 = 0.99$ korelasyon a sabiti 7.09. b sabiti ise 1.02 hesaplanmıştır. b sabitine göre bölgenin depremselliğinin fazla olduğunu söyleyebiliriz. Yapılan deprem risk analizine göre Bölgede 50 yıl içerisinde 6 ve 6.5 büyüklüklerinde deprem görülme riski sırası ile %79 ve %38 olarak, tekrarlanma periyotları ise sırası ile 32 yıl ile 105 yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 4 M depremin yıl içinde tekrerrür periyodu 4 iken 4.5 M deprem yıl içinde tekrerrür periyodu 1 olarak hesaplanmıştır.

$M_w > 6$ 'dan depremlerin yaklaşık 25 yılda 1 tekrarlandığı, bu büyüklükteki en depremin en son 1971 ve 1975'te yıllarında Bingöl Güveçli ve Lice Diyarbakır'da kaydedilmiştir. Ancak bölgede 20. yüzyıl öncesi sismik kayıtlar incelendiğinde $6.5 < M_w < 7.0$ depremlerin yaklaşık 100 yılda 1 tekrerrür ettiği kaydedilmiştir. Deprem kayıtlarından en son 1884 yılında Siirt-Pervari'de 6.9 büyüklüğündedir.

Siirt'in depremselliğini belirlemek için sadece istatistiksel yöntemler değil arazide yerinde gözlem ve araştırma yapmak gereklidir. Amaç bilimsel veriler doğrultusunda can ve mal güvenliğini en üst seviyeye taşımak olmalıdır.

Siirt kuzeyinde aktif GAB fayı güneyinde aktif Cizre fayının etkisi ile sismik hareketlerin sık olduğu Siirt merkezde özellikle alüvyon zemine sahip Kezer çayı etrafının deprem etkisinin fazla hissedileceği bölgedeki yapılarda yapı zemin ilişkisinin iyi tasarlanması gerektiği mevcut yapı stokunun yorgun, eski ve bitişik nizam yapıların risk altında olabileceği unutulmamalıdır.

Kaynaklar

- AFAD, (2018), *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*, <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> [Erişim 06 Ocak 2020].
- AFAD, (2020), *AFAD son depremler*, <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/Default.aspx> [Erişim 11 Şubat 2020].
- Akbaş Ö., (1999), *27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depremi fay mekanizması*, Deprem Araştırma Bülteni, 26(80), 5-108.
- Anadolu N., Kalyoncuoğlu Ü., (2010), *Güneydoğu Anadolu bölgesinin depremselliği ve deprem tehlike analizi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14(1), 84-94.
- BDTİM, (2018), *Geçmişten günümüze Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü*, <http://www.koeri.boun.edu.tr/new/tr/tarihce>, [Erişim 06 Ocak 2020].
- BDTİM, (2019), *Kandilli Rasathanesi BDTİM Deprem Sorgulama Sistemi*, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/default.asp> [Erişim 03 Şubat 2020].
- Boore D.M., Joyner W.B., (1982), *The empirical prediction of ground motion*, Bulletin of the Seismological Society of America, 72(6), 43-60.
- Celep Z., Kumbasar N., (1996), *Yapı dinamiği ve deprem mühendisliğine giriş*, Sema Matbaacılık, İstanbul.
- Dowrick D.J., (2003), *Earthquake risk reduction*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 520ss.
- Frohlich C., Davis S., (1993), *Teleseismic b-values: or. much about 1.0.*, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 98(B1), 631-644.
- Guidoboni E., Traina G., (1995), *A new catalogue of earthquakes in the historical Armenian area from antiquity to the 12th century*, Analı DiGeofisica, 38(1), 85-111.
- Gutenberg B., Richter C.F., (1944), *Frequency of earthquakes in California*, Bulletin of the Seismological Society of America, 34(4), 185-188.
- Gutenberg B., Richter C.F., (1954), *Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration*, Bulletin of the Seismological Society of America, 63, 501-516.
- Gülkan P., Canbay E., (2008), *Binalar için deprem mühendisliği temel ilkeler*, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, 1. Baskı, 1-15, Ankara.
- Gündoğdu O., (2009), *Van ve çevresinin deprem tehlikesi*, Van Kent Sempozyumu, TMMOB Van İl Koordinasyon Kurulu, 01-03 Ekim, Van. ss. 97-116.
- Hatzidimitriou P.M., Papadimitriou E.E., Mountrakis D.M., Papazachos B.C., (1985), *The seismic parameter b of the frequency-magnitude relation and its association with the geological zones in the area of Greece*, Tectonophysics, 120(1-2), 141-151.
- Işık E., (2012), *Siirt İli'nin Deprem Tehlikesi*, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(1), 29-38.
- İmamoğlu M.Ş., Çetin E., (2007), *Güneydoğu Anadolu bölgesi ve yakın yöresinin depremselliği*, Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, 9(2007), 93-103.
- İşçi Ç., (2008), *Deprem nedir ve nasıl korunuruz?* Journal of Yasar University, 3(9), 959-983.
- Kijko A., (1988), *Maximum likelihood estimation of Gutenberg-Richter b parameter for uncertain magnitudes values*, Pure Appl. Geophys, 127(4), 573-579.
- Mckenzie D., (1972), *Active tectonics of the Mediterranean region*, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 30(2), 109-185.
- MTA (2012), *14 Haziran 2012 Silopi (Şırnak) Depremi Değerlendirme Notu*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı Yer Dinamikleri Araştırma ve Değerlendirme Koordinatörlüğü, Ankara, 5ss.
- Papazachos B.C., (1974), *Dependence of the seismic parameter b on the magnitude range*, Pure and Applied Geophysics, 112(6), 1059-1065.
- Papazachos B.C., (1999), *An alternative method for a reliable estimation of seismicity with an application in Greece and the surrounding area*, Bulletin of the seismological society of America, 89(1), 111-119.
- Purcaru G., (1975), *A new quantitative measure of seismicity and some related problems*, Veröff. Zentralinst. Physikd. Erde Nr. 31. Teil. 1, 185-204.
- Richter C.F., (1958), *Elementary seismology*, WH Freemanand Co., San Francisco.
- Sümer F., (1986), *Ahlat Şehri ve Ahlatşahlar*, Belleten, Türk Tarih Kurumu, 50, 197. Ankara.
- Şengör A.M.C., (1977), *New Historical Data on Crustal Subduction*, The Journal of Geology, 85(5), 631-634.
- Tan O., Tapırdamaz M.C., Yörük A., (2008), *The Earthquake Catalogues For Turkey*, Turkish Journal of Earth Sciences, 17(2), 405-418.
- Ulusay R., Tuncay E., Sonmez H., Gokceoglu C., (2004), *An Attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey*, Engineering Geology, 74(3-4), 265-291.
- Wiemer S., McNutt S.R., Wyss M., (1998), *Temporal and Three-Dimensional Spatial Analysis of the Frequency-Magnitude Distributions Near Long Valley Caldera*, Geophysical Journal International, 134(2), 409-421.
- Wiemer S., Wyss M., (1997), *Mapping The Frequency-Magnitude Distributions in Asperities: An Improved Technique to Calculate Recurrence Times*, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 102(B7), 15115-15128.

Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Ankara İli İçin Olası Afet Sonrası Geçici Barınma Alanlarının Seçimi

Mine Ömürgönülşen^{1*}, Cem Menten¹

¹Hacettepe Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, 06800, Ankara.

Özet

Her yıl birçok insan çeşitli afet türleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Afet lojistiği çerçevesinde, afetzedelerin barınma sorununu çözmek adına geçici barınma alanlarının yerlerinin afet öncesinde belirlenmesi gerekmektedir. Afet sonrası geçici barınma alanlarının seçimi ele alınan problemin ana amacını oluştururken, bu problem gerek Türkiye'nin başkenti, gerekse 2. büyük kenti olmasından ötürü Ankara ili üzerinde Bulanık TOPSIS tekniği ile test edilmektedir. Bu kapsamda, uzman görüşleri alınarak, ulusal ve uluslararası standartlara uygun olarak belirlenen on adet kritere göre beş adet alternatif değerlendirilmiştir. Analiz kapsamında değerlendirilen beş farklı alternatif lokasyon arasında, Ankara ili için Etimesgut en uygun geçici barınma alanı olarak belirlenmiştir. Mamak sıralamada son sırada yer almıştır. Ayrıca, alternatiflerin sıralanması sonucu Yenimahalle ikinci, Çankaya üçüncü ve Keçiören dördüncü sırada çıkmıştır. Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, bir afet türüne odaklanılmamış; ele alınan potansiyel afetlerin tümüne odaklanılmıştır. Bilinebildiği kadarıyla, bu çalışma ile Ankara ili için afet sonrası geçici barınma alanları ilk kez tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler

Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık TOPSIS Yöntemi, Afet Lojistiği, Geçici Barınma Alanları Seçimi

The Selection of Temporary Shelter Areas with Fuzzy TOPSIS Method for the Ankara Province

Abstract

Many people face various types of disasters every year. Within the framework of disaster logistics, temporary shelter areas should be identified before any disaster occurs. The main purpose of this study is to determine the temporary shelter areas in case of a disaster. Fuzzy TOPSIS method was used to fulfill this aim in Ankara due to its being capital and second biggest city of Turkey. In this context, five alternatives were evaluated according to ten criteria determined in accordance with national and international standards by taking expert opinions. Among the five different alternative locations, Etimesgut has been identified as the most suitable temporary shelter area for Ankara. Mamak takes the last place in the ranking. In addition, as a result of the order of alternatives, Yenimahalle was in the second, Çankaya was in the third and Keçiören was in the fourth place in the ranking. Different from the previous studies in the literature, this study focuses on all of the potential disasters. No study has been known on location selection problem of temporary shelter areas after the disaster for Ankara Province.

Keywords

Multi Criteria Decision Making, Fuzzy TOPSIS Method, Disaster Logistics, Selection of Temporary Shelter Areas

1. Giriş

Dünyadaki birçok insan, doğal afetlerden dolayı her yıl evlerini kaybetmekte veya evinde oturamaz hale gelmektedir. Doğal bir afetin ardından, afetzedelerin geçici barınma alanlarına taşınmaları gerekmekte ve en uygun yeri seçme yetenekleri bulunmamaktadır. Afet lojistiği yönetim sistemi çerçevesinde, afetzedelerin barınma sorununu çözmek adına geçici barınma alanlarının yerlerinin afet öncesinde belirlenmesi gerekmektedir. Afet lojistiği, afetten etkilenen insanlara yiyecek, barınak, ısınma ihtiyaçlarını karşılamak üzere afetten sonra inşa edilen geçici barınaklara yardım malzemesi sağlamaya ve sonrasında afet bölgesinden tahliye etmeye ve geçici barınma alanlarını seçmeye odaklanan bir lojistik yönetimi konusudur. Başka bir ifade ile geçici barınma alanlarının seçimi ve yardım malzemelerinin tedarik zincirinin optimize edilmesidir. İl veya bölge düzeyinde önceden oluşturulan Afet Müdahale Planlarında afet sonrası geçici barınma alanlarının belirlenmesi gerekmektedir. Afet lojistiği kapsamında belirsiz ortamlarda belirli kriter ve alternatifleri göz önünde bulundurarak en uygun geçici barınma yeri seçimi problemini çözmek adına en çok tercih edilen Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Çalışma kapsamındaki analizler, MS Excel'in bir uzantısı olan SolverStudio'da Python programlama dilinde kodlanarak yapılmıştır. Bu yöntem ile geçici barınma alanı seçim problemi için alternatif lokasyonlar değerlendirilmiş ve bu alternatifler arasında sıralama yapılmıştır. Bu çalışmada, Ankara ilinde olası bir afet durumunda, afet mağdurlarının afet sonrası doğacak barınma ihtiyacını karşılamak adına Afet Müdahale Planı çerçevesinde kurulması gereken en uygun geçici barınma yerlerinin seçilmesi hedeflenmektedir. Uzman görüşleri ve müdahale planları doğrultusunda, geçici barınma alanlarının seçiminde karar vericiler tarafından birden fazla kriter ve lokasyon belirlenerek afet sonrası potansiyel barınma alanlarının seçimi yapılmıştır.

Çalışma şu şekilde organize edilmiştir. İlk bölümde, afet lojistiği yönetimi ile ilgili temel kavramlar üzerinde durulmuş ve afet yönetim sistemi hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, afet yönetiminde yer seçimi problemi üzerine bir literatür çalışması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, uygulama metodolojisi açıklanmıştır. Dördüncü bölümünde ise, Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak Ankara ilinde olası bir afet durumunda afet sonrası potansiyel geçici barınma yerlerinin seçimine ilişkin yapılan araştırma sonuçları sunulmaktadır. Çalışma, tartışma ve genel değerlendirme ile sona ermektedir.

2. Afet Lojistiği Yönetimi

Bu bölümde, afet kavramı ve türleri açıklanarak, afet lojistiği ve yönetimi kavramları ele alınmaktadır.

2.1. Afet Kavramı ve Türleri

Sözlük tanımına göre afet kelimesi, “yaygın tahribata ve büyük sıkıntılara neden olan büyük bir talihsizlik” olarak ifade edilmektedir. Afet yardımı çalışmalarına katılan yardım kuruluşları ve örgütlerin başında gelen Birleşmiş Milletler'e göre afet; “insan, malzeme, ekonomik veya çevresel kayıplara neden olan bir felaketten etkilenen toplumun işleyişinin ciddi bir şekilde bozulması” şeklinde tanımlanmıştır (UN/ISDR 2007). Dünya Sağlık Örgütü (WHO), bir olayın afet olarak değerlendirilebilmesi için aşağıdaki kriterlerden birinin sağlanması gerektiğini belirtmiştir (EM-DAT 2007):

- Afet nedeniyle 10 ya da daha fazla kişinin (ölü olarak teyit edilenler, kayıp ve ölü olarak kabul edilenler dahil) öldüğünün bildirilmesi.
- Afetten etkilenen asgari 100 kişi (yaralı, evsiz veya yardıma muhtaç) rapor edilmesi.
- Yerel makamlarca olağanüstü hal ilan edilmesi.
- Uluslararası yardım çağırısı.

Öte yandan, Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu (IFRC) afeti “bir toplumun veya toplumun işleyişini ciddi şekilde bozan ve insani, maddi ve ekonomik veya çevresel kayıplara neden olan, toplumun kendi kaynaklarını kullanarak başa çıkma yeteneğinin bulunmadığı, ani felaket bir olay” olarak tanımlamıştır (IFRC 2019). Bu tanımlamalar göz önüne alındığında, çeşitli afet türleri olduğu görülmektedir.

Afet türlerini, doğal afetler ve teknolojik afetler olmak üzere iki ana kategori altında toplamak mümkündür. Doğal afetler kategorisi; jeofiziksel, meteorolojik, hidrolojik, klimatolojik, biyolojik ve dünya dışı afetler olmak üzere altı alt grupta sınıflandırılmaktadır. Jeofiziksel afetler, toprak hareketlerinden; meteorolojik afetler, atmosferik koşullardan; hidrolojik afetler, yüzey ve yeraltında tatlı ve tuzlu suyun oluşumu, hareketleri ve dağılımlarından; biyolojik afetler, canlı organizmaların toksik maddelerine ve taşıdığı hastalıklara maruz kalmaktan; klimatolojik afetler, iklimsel olaylardan ve dünya dışı afetler ise dünyayı etkileyen gezegenler arası koşullardaki değişimlerden kaynaklanmaktadır. Teknolojik afetler kategorisi ise, endüstriyel, ulaşım ve karışık kazalar olmak üzere üç alt grupta sınıflandırılmaktadır (EM-DAT 2020). Bu tanımlanan afet türleri ve sınıflandırmaları, Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1: Afet türleri (EM-DAT 2020)

Doğal Afetler					
Jeofiziksel	Meteorolojik	Hidrolojik	Klimatolojik	Biyolojik	Dünya Dışı
Deprem Kütle Hareketleri (Kuru) Volkanik Aktiviteler	Çok Yüksek Sıcaklıklar Sis Fırtına	Sel Heyelan Dalga Hareketleri	Kuraklık Buzul Gölü Taşkını Kontrol Edilemeyen Yangınlar	Salgınlar Böcek İstilasası Kitleli Hayvan Ölümleri	Çarpışmalar Uzay İklimi
Teknolojik Afetler					
Endüstriyel Kazalar	Ulaşım Kazaları		Karışık Kazalar		
Kimyasal Sızıntılar Çökme Patlama Yangın Gaz Sızıntısı	Zehirlenme Radyasyon Petrol Sızıntısı Diğerleri	Havayolu Karayolu Demiryolu Denizyolu	Çökme Patlama Yangın Diğer		

2.2. Afet Lojistiği

Afet lojistiği, felaket zamanlarında tedarikçiden son kullanıcıya kadar tüm mal, malzeme, personel, bilgi ve sermaye kaynaklarının akışının planlanması, uygulanması ve kontrolü olarak tanımlanmaktadır. Asıl amaç, afetten etkilenen bölgelerdeki zayıf ve savunmasız insanların acılarını en kısa sürede azaltarak süreci mümkün olduğu kadar verimli ve en az maliyetle yönetmektir (Van Wassenhove 2006).

Afet lojistiği, afetlere hazırlık, afetlerle ilgili riskleri azaltma, afetlere yeterince cevap verme ve afet sonrası müdahaleyi içeren geniş kapsamlı afet yönetimi kavramının bir parçasıdır (IFRC 2019). Afet ve acil durum lojistiği, afetten etkilenenlere yardım etmek amacıyla insanların, kaynakların, yetenek ve bilginin etkin bir biçimde kullanıldığı sistem ve süreçlerden oluşmaktadır (Kadioğlu 2011). Bu süreç belirsiz ve geçici bir ortamda gerçekleştirilmekte ve asıl amaç, afetten etkilenen bölgelerdeki zayıf ve savunmasız insanların acılarını en kısa sürede azaltmak için mümkün olduğu kadar etkin ve uygun maliyetli yapmaktır.

Afet lojistiği, mal ve malzemelerin verimli, uygun maliyetli akışını, depolanmasını ve ilgili bilgileri, kaynak noktasından tüketim noktasına kadar afetten etkilenmiş kişilerin acı çekmesini hafifletmek için planlama, uygulama ve kontrol etme sürecidir. Bu işlev, satın alma, üretim, depolama, envanter ve ulaştırma dahil olmak üzere çeşitli faaliyetleri kapsamaktadır (Thomas ve Kopczak 2005).

Pektaş (2012)'de, afet lojistiği üç ana aşamada değerlendirilmiştir. Bunlar,

- Hazırlık süreci,
- Müdahale süreci,
- Müdahale sonrası lojistik faaliyetler.

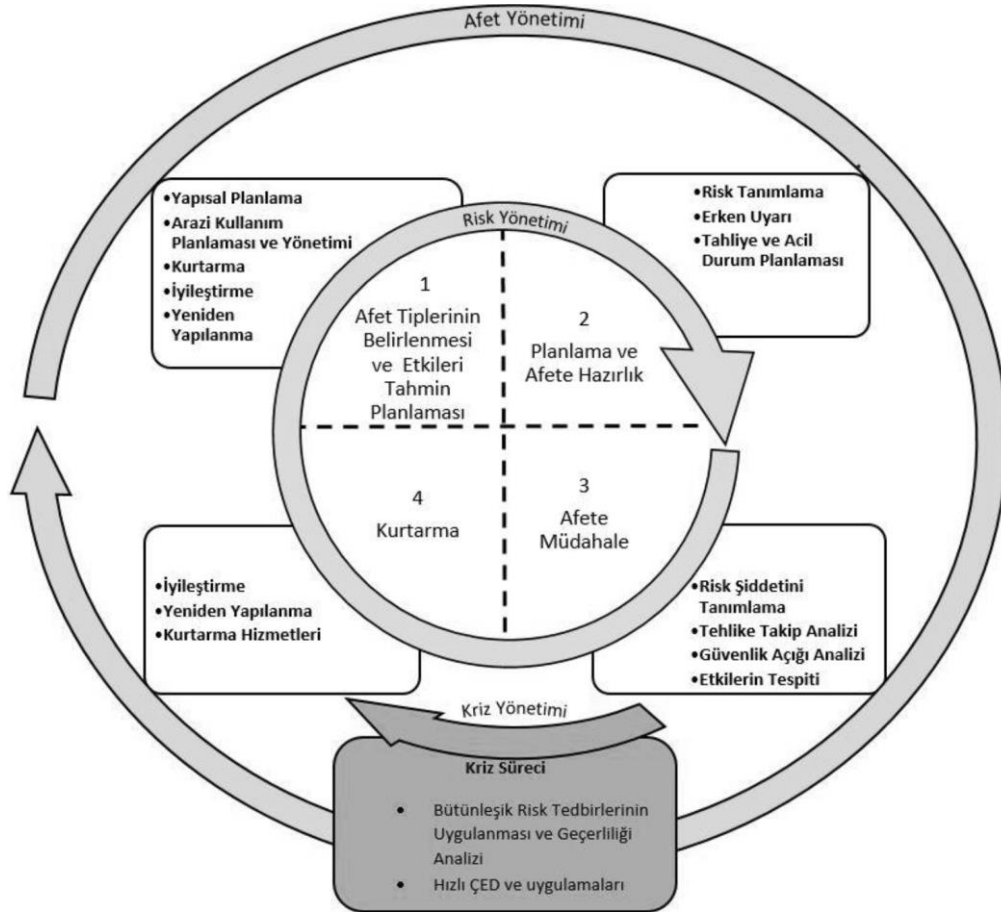
2.3. Afet Yönetimi

Afet öncesinde ve sonrasında, etkin bir planlama yapmak adına geçmiş bilgilerin analizi, karar alabilme yetenekleri ve değerlendirmelerdeki ileri görüşlülük oldukça önem taşımaktadır. Afet yönetimi, afetleri önlemek ve zararlarını azaltmak adına, hazırlık, zarar azaltma, müdahale ve iyileştirme aşamalarındaki yapılması gerekli faaliyetleri planlamak, yönlendirmek, desteklemek, koordine etmek ve uygulamak için kaynakların bu amaç çerçevesinde kullanılmasını gerektirmektedir. Toplumdaki tüm kurum ve kuruluşları ilgilendiren, çok disiplinli, kapsamı geniş ve karmaşık bir yönetim yaklaşımıdır (T.C. Başbakanlık 1997).

Afet yönetimi, insanlar tarafından çevrelerinde gerçekleşen doğal afetler hakkında bilgi sahibi olmaları, bu olayların meydana geliş nedenlerini ayrıntıları ile birlikte tanımaları ve bu afetlerin tekrarlanması durumunda ise insanların bu olaylardan hiç etkilenmemesi veya minimum düzeyde etkilenmelerine imkân sağlayan çalışmalar bütünüdür (Erkal ve Değerliyurt 2009).

Modern afet yönetimi kapsamında, "Risk Yönetimi", zarar ve kayıpların azaltılmasına yönelik hazırlıklar, erken uyarı sistemleri, tahminler gibi afet gerçekleşmeden önceki afetten korunmaya yönelik çalışmalardan; "Kriz Yönetimi" ise etki analizi, afet sonrası iyileştirme, afete müdahale, yeniden yapılanma ve kurtarma gibi afet sonrası çalışmalardan oluşmaktadır (Kadioğlu 2008). Bu doğrultuda, etkin bir afet yönetimi afetten önce, afet sırasında ve afet sonrasında yapılması gereken tüm faaliyetleri içermektedir (Demirci ve Karakuyu 2004).

Afet yönetimi, bir felaketten kaçınmak, etkisini azaltmak veya zararlarından kurtulmak amacıyla bir afetten önce, sırasında ve sonrasında alınabilecek tüm faaliyet, program ve önlemlerin toplamını içerir. Afet yönetiminde birbiri ile bütünlük dört aşama bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, **risk ve zararı azaltma** aşamasıdır. Bu aşama, bir felaket gerçekleşmeden önce gerçekleştirilmekte ve afetlerin insanlara zarar vermesini önleyen tüm eylemleri içermektedir. Buna örnek olarak, tsunamilere yatkın bölgelerde kıyı şeridinde ev inşasından kaçınmak verilebilir. Bu aşamada, afet öncesi ve afet sonrası yürürlükteki mevzuatın geliştirilmesi ile Ar-Ge hedefleri ve bu hedefe ulaşmak için yapılması gereken işler tümüyle belirlenerek uygulamaya konulmaktadır (Kadioğlu 2011). İkincisi, herhangi bir afet öncesi olabildiğince iyi hazırlanılmasını dikkate alan **hazırlık** aşamasıdır. İlk yardım eğitimi veya erken uyarı sisteminin uygulanması ve malzemelerin afet eğilimli alanlara yakın depolarda önceden konumlandırılması, bu aşamanın örnekleri arasındadır (Van Wassenhove 2006). Malzemeler hazırlık aşamasında önceden konumlandırıldığında, bunun üçüncü aşama olan **müdahale** aşaması için büyük avantajları bulunmaktadır. Bu aşama, doğal veya insan kaynaklı bir felaketin hemen ardından sunulan yeme-içme, barınakları ve hizmetleri kapsamaktadır. Afet yönetiminin son aşaması, afete maruz kalan bir bölgenin ekonomik ve sosyal hayatını yeniden inşa etmenin yanı sıra, yıkılan altyapı ve konutların yeniden inşasını da içeren **iyileştirme** aşamasıdır. Bu aşamada, yardım kuruluşları, bir toplumun kendi kendine yeterliliği ve sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik daha uzun vadeli yardım sağlamaya çalışmaktadır (Thomas ve Kopczak 2005). Bu dört aşamadan oluşan afet yönetimi döngüsü, Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Afet yönetimi döngüsü (Karaman ve Altay 2016)

2.4. Afet Sonrası Geçici Barınma Alanlarının Seçimi

Barınma, afet sonrasında uzun veya kısa zaman aralığında barınma gereksiniminin yerine getirilmesi olarak ifade edilmektedir. Geçici barınma, yaşam alanları afet ve acil durum kaynaklı kullanılamaz hale gelen ya da kullanıldığında risk taşımasından ötürü konutsuz kalan afetten etkilenenler ile tahliye edilecekleri alanda veya diğer alanlarda bir arada ya da ayrı ayrı halde geçici barınma ihtiyaçlarının sağlanmasıdır (AFAD 2014). Acil toplanma alanları, afet sonrasında insanların çok hızlı bir şekilde ulaştırılmasının gerektiği, afet riskinin olmadığı güvenli alanlar olarak tanımlanmaktadır. Acil toplanma alanlarında afetzedeler bilgilendirilmekte ve yardım ekipleri ile koordineli bir şekilde hareket edilmektedir. Geçici barınma alanlarına tahliyeler bu merkezlerden yapılmaktadır.

Geçici barınma alanların seçimi konusunda hem uluslararası ve hem de ulusal standartlar mevcuttur. AFAD'ın geçici barınma alanlarını kurmak, yönetmek ve işletmek hakkındaki yönergesince geçici barınma merkezlerinin aşağıdaki standartları sağlaması gerekmektedir (AFAD 2015):

- Geçici barınma alanlarının, dışarıdan gelecek tehlike ve tehditlere karşı korunabileceği, koordinasyon ve kontrolün basit bir şekilde sağlanabildiği yerleşim yerlerine uygun yakınlıkta olmalıdır.
- Geçici barınma alanlarının kurulacağı yerler; su, elektrik ve kanalizasyonun şehir şebekesine bağlanabilmesine olanak sağlamalıdır.
- Geçici barınma merkezlerinde; okul, pazar, ibadet alanları, kreş, market, sağlık ve psiko-sosyal destek hizmet merkezleri, spor alanları, çamaşırhane, su arıtma tesisleri, oyun ve kurs alanları gibi tesisleri kurmak adına ilgili merkezin hizmet ölçeği ve kapasitesi temel alınarak yer planlaması yapılmalıdır.
- Geçici barınma merkezlerinin kurulacağı alan seçilirken nüfusun artması halinde yeni konteynerlerin veya çadırların yerleştirilebilmesi amacıyla kapasite genişletmeye uygun planlama yapılmalıdır.
- Geçici barınma merkezi kurulacak alanlarda ivedi bir şekilde zemin etüdü yapılmalıdır.
- Geçici barınma merkezinin kurulacağı alan seçilirken tarıma elverişli olmayan alanların seçilmesi ve yağmur mevsiminde birikmesi beklenen yağmur suyu havzasından minimum 3 metre yüksekliğinde, % 2 ila % 6 oranında arazi eğiminin olması esastır.
- Çadırkent yer seçiminde hâkim rüzgar unsuru dikkate alınmalıdır.
- Geçici barınma merkezi kurulacak alanların yer seçimine ilişkin iş ve işlemler İl Müdürlüğü tarafından yerine getirilir.

Bu standartlara ilaveten, uluslararası “Sphere Projesi: Afetle Mücadelede Asgari Standartlar ve İnsani Yardım Sözleşmesi” standartlarına göre barınak ve yerleşim alanlarının planlanmasında öngörülen asgari standartların sağlanması oldukça önem taşımaktadır. Projenin felsefesi, afetten etkilenen nüfusun onurlu bir şekilde yaşama ve gerekli yardımı alma hakkına sahip olduğu ve afet kaynaklı yaşanan mağduriyetleri azaltmak için gerekli her türlü önlem alınmasının gereği ile ilgili iki ilkeye dayanmaktadır (URL-1 2011).

Bu iki ilke göz önüne alındığında, su temini, sağlığın korunması ve hijyen teşviki; gıda güvenliği ve beslenme; barınak, yerleşme ve gıda dışı maddeler ve sağlık eylemi olmak üzere dört alanda bir dizi asgari standart belirlenmiştir. Bu standartlar, çeşitli insani yardım kuruluşları ve Uluslararası Kızılay ve Kızılhaç Federasyonu’nun geçmiş deneyimlerine ve ilgili kuruluşlar arasında fikir birliğine dayanmaktadır. Söz konusu standartlar, “The Sphere Handbook” adlı kitapta düzenlenmiştir ve periyodik olarak güncellenmektedir. Bu el kitabı, insani yardım faaliyetlerinin standartlarını tanımlayan ve bölgedeki kuruluşların en deneyimlileri tarafından derlenen en kapsamlı belge olduğundan, insani yardım sektöründe çok önemli bir bilgi kaynağı olarak kabul edilmektedir (URL-1 2011).

3. Afet Lojistiğinde Yer Seçimine ilişkin Literatür Çalışmaları

Afet sonrası evlerini kaybeden veya evleri kullanılamayacak durumda olan afetzedeler için geçici barınma alanlarının nerelere kurulacağı, afet yaşanmadan önce planlanmak durumundadır. Afet lojistiği kapsamında yapılan çalışmalarda, barınma alanlarının yerini belirlemek için “barınma alanı yer seçim problemi” kullanılmaktadır. Literatürdeki birçok araştırmada, farklı kavram ve ölçme yaklaşımlarına sahip çeşitli yöntemler kullanılarak afet sonrası geçici barınma merkezlerinin yerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalarda temel amaç, barınma alanlarını mümkün olduğunca nüfusa yakın konumlandırmak ve tüm afetzedelerin yaşayabileceği kapasitede barınma alanları oluşturmaktır. Barınma alanlarının ideal konumunun belirlenmesinde birçok farklı kriter bulunmaktadır. İlgili literatür incelendiğinde, afet sonrası barınma alanlarının seçimi problemlerinde çok çeşitli kriterlerin kullanıldığı görülmüştür. Barınma alanlarının seçiminin yapıldığı araştırmalarda en çok kullanılan kriterler, Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2: Literatürde barınma alanlarının seçiminde kullanılan kriterler (Soltani vd. 2015)

• Ulaşılabilirlik	• Tıp merkezlerine uzaklık
• Uygun boyut	• Yardım hizmetlerine yakınlık
• Afetzedelerin evlerine yakınlık	• İletişim servisleri
• Altyapı koşulları	• Güvenlik ve koruma
• Arazi drenajı	• Ekonomik hususlar
• Toprak geçirgenliği	• Arazi mülkiyeti
• Çevre konfigürasyonu	• Önceki arazi kullanımı
• Barınma için öngörülen süre	• Yerel malzemelerin mevcudiyeti
• Tehlikeli alanlara olan uzaklık	• Çevresel düşünce
• Jeolojik tehlikeler	• Ekolojik iyileşme
• Arazi eğimi	• Bitki örtüsü
• Yükseklik	• Tarım alanları
• Bina koruma standartları	• Kültür ve gelenek
• Erken uyarı sistemleri	• Kamuoyu
• Su tedarigi	• Yol ağlarına yakınlık
• Hayvancılık alanları	• Barınak tipi ve modeli
• İkincil tehlikelere uzaklık	• Hakim rüzgar yönü
• Kirlenici endüstrilerden uzaklık	• Etkilenen sayısı
• Kültürel miras konuları	• Mevsimler
• Yağışlar	

Tablo 3 ile farklı ülkelerdeki geçici barınma alanlarının seçiminde kullanılan farklı yöntemler ile analiz edilen problemlerin yer aldığı çeşitli çalışmalar verilmektedir.

Tablo 3: Geçici barınma alanlarının seçimi ile ilgili yapılan literatür çalışmaları

Yazar	Yıl	Ülke	Problem	Uygulanan Metodoloji
Tarabanis ve Tsionas	1999	Yunanistan	Deprem sonrası geçici barınma alanlarının belirlenmesi	CBS tabanlı model
Kongsomsaksakul vd.	2005	ABD	Baraj kaynaklı sel riski	Genetik algoritma
Yiğitcanlar vd.	2005	Türkiye	Olası afet durumunda geçici barınma alanlarının belirlenmesi	Karar destek modeli
Dalal vd.	2007	Hindistan	Afet sonrası siklon sığınak alanlarının belirlenmesi	Sezgisel metodlar / Elzinga-Hearn
Kar ve Hodgson	2008	ABD	Olası afet durumunda geçici barınma alanlarının belirlenmesi	CBS tabanlı model
Ablanedo-Rosas vd.	2009	Meksika	Olası afet durumunda geçici barınma alanlarının belirlenmesi	Matematiksel model
El-Anwar vd.	2009	ABD	Kasırğa sonrası geçici barınma alanlarının belirlenmesi	Matematiksel model
Li ve Jin	2010	ABD	Kasırğa sonrası geçici barınma alanlarının belirlenmesi	Matematiksel model
Pan	2010	Çin	Tayfun sonrası geçici barınma alanlarının belirlenmesi	Maksimum kapsama modeli
Chu ve Su	2011	Çin	Deprem sonrası geçici barınma alanlarının belirlenmesi	AHP & Bulanık ÇKKV metodları
Youssef vd.	2011	Mısır	Olası afet durumunda geçici barınma alanlarının belirlenmesi	CBS tabanlı model
Chen	2012	ABD	Olası afet durumunda geçici barınma alanlarının belirlenmesi	Web tabanlı sistem
Li vd.	2012	ABD	Kasırğa sonrası geçici barınma alanlarının belirlenmesi	İki aşamalı programlama modeli
Tong vd.	2012	Çin	Sel sonrası geçici barınma alanlarının belirlenmesi	AHP & CBS tabanlı model
Omidvar vd.	2013	İran	Olası afet durumunda geçici barınma alanlarının belirlenmesi	Topsis & AHP & Electre & SAW
Hu vd.	2014	Çin	Olası afet durumunda geçici barınma alanlarının belirlenmesi	Lineer programlama modeli
Wex vd.	2014	Almanya	Olası afet durumunda geçici barınma alanlarının belirlenmesi	Karar destek modeli
Bayram vd.	2015	Türkiye	Olası afet durumunda geçici barınma alanlarının belirlenmesi	Matematiksel model
Roh vd.	2015	İngiltere	İnsani yardım kuruluşları için barınma alanlarının belirlenmesi	AHP & Bulanık Topsis
Shen vd.	2015	Çin	Olası kimyasal endüstri kazaları sonrası geçici barınma alanlarının belirlenmesi	Hiyerarşi tabanlı HVM modeli
Fan vd.	2017	Çin	Olası afet durumunda geçici barınma alanlarının belirlenmesi	Matematiksel model
Şentürk ve Erener	2017	Türkiye	Deprem sonrası geçici barınma alanlarının belirlenmesi	AHP & CBS tabanlı model
Junian ve Azizifar	2018	İran	Deprem sonrası geçici barınma alanlarının belirlenmesi	AHP & CBS tabanlı model

Tablo 3 incelendiğinde, dünyanın farklı ülkelerinde yapılan barınma alanlarının yer seçimi araştırmalarının büyük çoğunluğunda tanımlanan problemlerin olası afet durumunda geçici barınma alanlarının belirlenmesi üzerine odaklandığı tespit edilmiştir. Literatürde, tek afet türüne odaklanan çalışmalara da rastlanmaktadır. Geçici barınma alanları için yer seçimi problemlerinin ele alındığı çalışmalarda odaklanılan afet türleri arasında, deprem (Tarabanis ve Tsionas 1999; Chu ve Su 2011; Şentürk ve Erener 2017; Junian ve Azizifar 2018), sel (Kongsomsaksakul vd. 2005; Tong vd. 2012), kasırğa (El-Anwar vd. 2009; Li ve Jin 2010; Li vd. 2012), tayfun (Pan 2010) ve endüstriyel kazalar (Shen vd. 2015) bulunmaktadır.

Tablo 3’de görüldüğü üzere, geçici barınma alanlarının seçiminde ele alınan problemlerin çözümü kapsamında uygulanan metodolojiler farklılaşmaktadır. Bunların bazılarında, tek bir çözüm yaklaşımı kullanılırken, bazı çalışmalarda ise birden fazla yaklaşımın kullanıldığı görülmektedir.

Tek bir çözüm yönteminin uygulandığı çalışmalarda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı modeller (Tarabanis ve Tsionas 1999; Kar ve Hodgson 2008; Youssef vd. 2011), matematiksel modeller (Ablanedo-Rosas vd. 2009; El-Anwar vd. 2009; Li ve Jin 2010; Bayram vd. 2015; Fan vd. 2017), sezgisel metodolojiler (Dalal vd. 2007), karar destek modelleri (Yiğitcanlar vd. 2005; Wex vd. 2014) ve ÇKKV yöntemlerinden DEMATEL (Trivedi 2018) kullanılmıştır.

Birden fazla metodolojinin uygulandığı çalışmalarda ise, AHP ve CBS modelleri (Tong vd. 2012; Şentürk ve Erener 2017; Junian ve Azizifar 2018), AHP ve bulanık modeller (Chu ve Su 2011; Roh vd. 2015) ve Topsis, AHP, Electre ve SAW yöntemleri (Omidvar vd. 2013) geçici barınma alanlarını belirlemek adına birlikte kullanılmıştır.

Literatür araştırmalarında, yer seçimi problemlerin çözümünde geçmiş yıllarda çoğunlukla CBS tabanlı modeller ve matematiksel model geliştirilirken, son yıllardaki çalışmalarda ise ÇKKV yaklaşımlarının uygulandığı görülmüştür. Bu çalışma ile incelenen literatür ve uzman görüşleri çerçevesinde, Ankara ili için olası afet sonrası geçici barınma alanlarının seçim problemi, Ankara İli Afet Müdahale Planı doğrultusunda ilk kez belirlenmiştir.

4. Metodoloji

Gerçek dünya problemlerinde, eksik veya elde edilemeyen bilgilerden dolayı, veriler genellikle bulanık ya da belirsizdir. Karar verme sürecindeki belirsizlik durumlarının önemli boyutlara ulaşması, bulanık mantık tabanlı yaklaşımların ÇKKV problemleri üzerinde uygulanmasını gerekli kılmıştır (Zadeh 1965). Bu doğrultuda, karar alma sürecinde, alternatiflerin kriterlere ve önem ağırlıklarına göre değerlendirilmesi için sayısal değerler yerine dilsel değişkenlerin kullanılmasına literatürde sıklıkla başvurulduğu görülmektedir (Chen 2000). Bu noktada, alternatif metodolojiler geliştirilmiş ve/veya mevcut karar verme problemleri bulanık mantık varsayımı altında değerlendirilerek yeni teknikler ortaya çıkmıştır. İlgili literatür incelendiğinde, geliştirilmiş alternatif bulanık mantık tabanlı birçok metodolojinin mevcut olduğu görülmektedir. Bunlara örnek olarak, genişletilmiş bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) (Chang 1996), bulanık sayıların tercih oranlarına göre sıralanması (Modarres ve Nezhad 2001) ve Gri İlişkisel Analiz yöntemi (Cakir 2008) verilebilir.

Karar problemlerinde bulanık verilerin kullanılabilmesi ve belirsizlik durumu altında en iyi seçimi yapmak adına, birtakım kriterlere göre değerlendirilen alternatiflerin sıralanması konusunda geliştirilen tekniklerden biri de Bulanık TOPSIS yöntemidir. Bu çalışmada, bulanık mantığa dayanan ve belirsizliğin karar verme aşamasında probleme dahil edilebilmesine olanak tanıyan bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmaktadır. Söz konusu yöntem, afet lojistiği literatüründe de başvuru ÇKKV yöntemlerinden biridir (bkz. Tablo 3). Bulanık TOPSIS metodolojisinin seçilmesinin ana nedeni, alternatiflerin değerlendirilmesi konusunda, özellikle grup kararlarında öznelliğin doğurabileceği problemleri çözmedeki başarısı ve daha objektif karar verme olanağı tanınmasıdır. Çalışma kapsamında ele alınan problemde, uzman görüşlerine dayandırılan dilsel değişkenler kullanılmış; her bir kriterin ağırlığı ve alternatiflerin değerlendirilmesi üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Afet sonrası geçici barınma alanlarının seçimi ele alınan problemin ana amacını oluştururken, bu problem gerek Türkiye’nin başkenti, gerekse 2. büyük kenti olmasından ötürü Ankara ili üzerinde Bulanık TOPSIS tekniği ile test edilmektedir.

4.1. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) Yöntemi

En çok kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi, ilk kez 1981 yılında Yoon ve Hwang tarafından ortaya konmuştur (Hwang ve Yoon 1981). Temel felsefesi, seçilen alternatifin ideal çözümden en kısa, negatif ideal çözümden en uzak mesafeye sahip olması gerektiridir. Pozitif bir ideal çözüm, fayda kriterlerini maksimize etmekte ve maliyet kriterlerini minimize etmektedir. Buna karşılık, negatif bir ideal çözüm varlığında ise maliyet kriterleri maksimize ve fayda kriterleri minimize edilmektedir. Bu yaklaşım, Hall vd. (1992) ve Zeleny (1982) tarafından da uygulanmış ve Yoon (1987) ve Hwang vd. (1993) tarafından geliştirilmiştir. TOPSIS metodu, birbirini izleyen altı adımdan oluşmaktadır:

Adım 1: Normalize edilmiş karar matrisinin hesaplanması. Normalize değer (r_{ij}) şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$r_{ij} = x_{ij} \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2} \quad i=1, 2, \dots, m \text{ ve } j=1, 2, n. \quad (1)$$

Adım 2: Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin hesaplanması. Ağırlıklandırılmış normalize değer (V_{ij}) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$V_{ij} = r_{ij} \times W_j \quad i=1, 2, \dots, m \text{ ve } j=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Burada w_j , kriter ağırlığıdır. Ayrıca $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 'dir.

Adım 3: İdeal pozitif (A^+) ve ideal negatif (A^-) çözümlerin belirlenmektedir.

$$A^+ = \{(\max_i v_{ij} \mid j \in C_b), (\min_i v_{ij} \mid j \in C_c)\} = \{v_j^+ \mid j = 1, 2, \dots, m\} \quad (3)$$

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} \mid j \in C_b), (\max_i v_{ij} \mid j \in C_c)\} = \{v_j^- \mid j = 1, 2, \dots, m\} \quad (4)$$

Burada C_b ; fayda kriteri ve C_c ; maliyet kriteri ile ilişkilendirilmektedir. İdeal pozitif çözüm, fayda kriterlerini maksimize etmekte ve maliyet kriterlerini minimize etmektedir; negatif ideal çözüm ise maliyet kriterlerini maksimize etmekte ve fayda kriterlerini minimize etmektedir.

Adım 4: Her bir alternatif için, sırasıyla ideal pozitif ve ideal negatif çözüme olan uzaklık hesaplanmaktadır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}, j = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}, j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

Adım 5: İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması. Buna göre alternatifin göreli yakınlığı şöyle tanımlanmaktadır:

$$RC_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

Adım 6: Tercihler, en büyük C_i değerlerine göre sıralanmaktadır.

Alternatifler, C_i değerlerine göre azalan bir şekilde sıralanmaktadır. Bu yöntem aşağıdaki varsayımlara sahiptir (Hwang ve Yoon 1981):

- Karar matrisindeki her bir kriter, monoton olarak artan veya monoton olarak azalan fayda sağlar.
- n adet alternatif ve m adet kriter için bir karar matrisi ve kriterler için bir takım ağırlıklar gerekir.
- Nümerik olmayan bir şekilde ifade edilen herhangi bir sonuç, uygun ölçeklendirme tekniği ile ölçülmelidir.

4.2. Bulanık (Fuzzy) TOPSIS Yöntemi

Bir karar vericinin, incelenen kriterler açısından bir alternatife kesin bir performans derecesi ataması genellikle zordur. Karar alma problemlerinde kriterlerin önem düzeylerinin sayısal değerler yerine dilsel değişkenler üzerinden tanımlanması daha doğru bir yaklaşım olarak görülmektedir. Bu noktada, sayısal ve sayısal olmayan kriter değerlerinin varlığına olanak sağlayan Bulanık TOPSIS yöntemi ile bulanık ortamlarda grup kararları alınabilmektedir.

Bulanık TOPSIS yönteminin uygulanabilmesi için kriter, alternatif ve karar vericilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bulanık bir TOPSIS yaklaşımı kullanmanın faydası, bulanık sayıları kullanarak farklı metrik değerleri atamaktır. Bulanık TOPSIS yönteminde, karar vericiler tarafından kriter ve alternatifler üzerindeki değerlendirmeler, üçgensel ve yamuksal sayılara dönüştürüldükten sonra alternatiflerin her biri için yakınlık katsayısı hesaplanmaktadır. Yakınlık katsayılarının belirlenmesi ile alternatifler hesaplanmaktadır. Bu yaklaşımda, alternatiflerin değerlendirilmesi ile ortaya çıkacak subjektif kararların önüne geçilerek, karar alma noktasında daha doğru sonuçlar alınmaktadır (Paksoy vd. 2013).

TOPSIS yönteminin bulanık ortamda genişletilmesi, kriterlerin ağırlıkları ve derecelerinin dilsel değişkenler olarak ifade edilmesiyle sağlanabilmektedir. Dilsel bir değişken, değerleri dilsel terimler olan bir değişken olarak tanımlanmaktadır. Dilsel değişken kavramı, geleneksel niceliksel ifadelerde makul şekilde tanımlanamayacak kadar karmaşık veya çok tanımlanmamış durumlar karşısında oldukça fayda sağlamaktadır (Zadeh 1965). Dilsel değişkenler, Tablo 4 ve Tablo 5'de gösterildiği gibi, pozitif üçgensel bulanık sayılarla ifade edilebilmektedir (Chen 2000).

Tablo 4: Her bir karar kriterinin önem ağırlıkları için dilsel değişkenler

Dilsel Değişken	Bulanık Üçgensel Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0,0, 0,0, 0,1)
Düşük (D)	(0,0, 0,1, 0,3)
Biraz Düşük (BD)	(0,1, 0,3, 0,5)
Ortalama (O)	(0,3, 0,5, 0,7)
Biraz Yüksek (BY)	(0,5, 0,7, 0,9)
Yüksek (Y)	(0,7, 0,9, 1,0)
Çok Yüksek (ÇY)	(0,9, 1,0, 1,0)

Tablo 5: Alternatifler değerlendirilirken kullanılan dilsel değişkenler

Dilsel Değişken	Bulanık Üçgensel Sayılar
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)
Kötü (K)	(0, 1, 3)
Biraz Kötü (BK)	(1, 3, 5)
Ortalama (O)	(3, 5, 7)
Biraz İyi (Bİ)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

Bulanık TOPSIS yönteminin uygulama adımları genel olarak şu şekilde özetlenebilir:

- ✓ **Adım 1:** Karar vericiler ile bir karar komitesi oluşturulur.
- ✓ **Adım 2:** Her bir kriter önem ağırlıklarına göre değerlendirilir. Karar vericiler, dilsel ağırlıklandırma değişkenlerini kullanarak ölçütlerin önemini değerlendirirler.
- ✓ **Adım 3:** Dilsel değişkenler bulanık sayılara dönüştürülür. Karar vericiler tarafından belirlenen dilsel değişkenler bulanık üçgensel sayılara dönüştürülür.
- ✓ **Adım 4:** Karar matrisi oluşturulur.
- ✓ **Adım 5:** Karar matrisi normalize edilir.
- ✓ **Adım 6:** Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi oluşturulur.
- ✓ **Adım 7:** Bulanık pozitif ve bulanık negatif ideal çözüm elde edilir.
- ✓ **Adım 8:** Her bir alternatif için bulanık pozitif ve bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklık hesaplanır.
- ✓ **Adım 9:** Her bir alternatifin yakınlık katsayıları bulunur.
- ✓ **Adım 10:** Yakınlık katsayılarına göre alternatifler sıralanır.

5. Ankara İli için Bulanık Topsis Yöntemi ile Geçici Barınma Alanlarının Seçimi

Bu çalışmada, Bulanık (Fuzzy) TOPSIS yöntemi ile AFAD tarafından hazırlanan Geçici Barınma Merkezlerinin Kurulması, Yönetilmesi ve İşletilmesi Hakkında Yönergesi'ndeki standartlara uygun bir biçimde seçilen çeşitli kriterler ile Ankara'da olası bir afet durumunda doğacak geçici barınma ihtiyacı için alternatifler sıralanarak yer seçim çalışması yapılmıştır. Uygulamanın ilk aşamasında, karar vericiler olarak değerlendirilen uzmanların görüşleri alınarak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş ve bulanık TOPSIS yöntemi kapsamında alternatiflerin en iyiden en kötüye doğru sıralanması ile geçici barınma alanları için yer seçimi araştırması yapılmıştır. Analiz doğrultusunda, Ankara ilindeki nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu ilçeler dikkate alınarak, uzmanlar ile yapılan yüz yüze görüşme doğrultusunda da beş farklı alternatif belirlenmiştir. Bu kapsamda, TÜİK'ten elde edilen ve en güncel 2019 verilerine dayanarak Ankara ilindeki nüfusun en yüksek olduğu beş ilçe, Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Ankara ilindeki en yüksek nüfusa sahip ilçeler (TÜİK 2019)

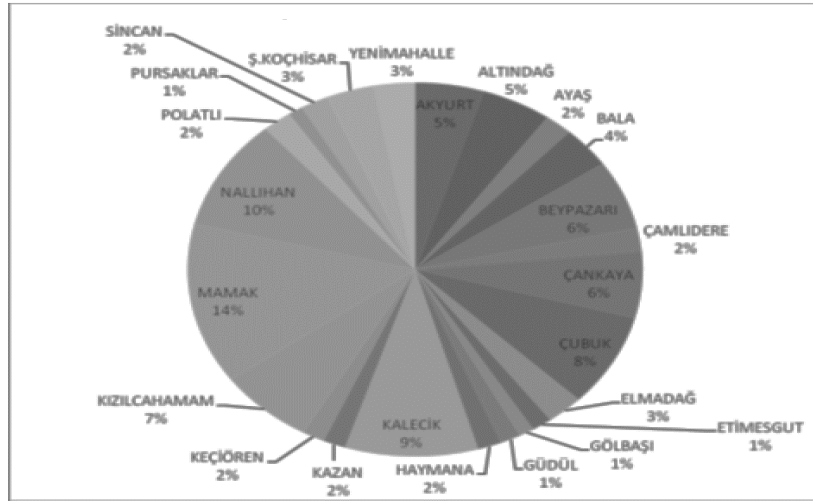
İlçeler	Erkek	Kadın	Toplam
Çankaya	452729	491880	944609
Keçiören	460957	478204	939161
Yenimahalle	335108	351985	687093
Mamak	332512	333466	665978
Etimesgut	293425	293627	587052

Alternatif geçici barınma lokasyonlarının Ankara ilçe haritasındaki görünümü, Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 2: Seçilen alternatiflerin Ankara ilçe haritasında görünümü

Çalışma kapsamında, Ankara ili için yaşanması muhtemel afet ve risklere değinmekte fayda görülmektedir. Ankara ili için gerçekleşmiş ve gerçekleşmesi olası afetlerin başında heyelan, su baskınları, kaya düşmesi, teknolojik afetler ve depremler gelmektedir (AFAD 2016). Özellikle, nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu merkez ilçelerde bu afet türlerinden başta deprem olmak üzere, sel baskınları ve çeşitli sayıda önemli sanayi bölgelerini bünyesinde barındırması sonucu teknolojik afetlerin yaşanma riski mevcuttur. Dolayısıyla, bu ilçelerde yaşanacak olası afetlerin potansiyel etkileri daha yıkıcı olacaktır. Ankara için afetlerin ilçelere göre genel dağılım grafiği, Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3: Afetlerin Ankara ilçelere göre genel dağılımları (AFAD 2016)

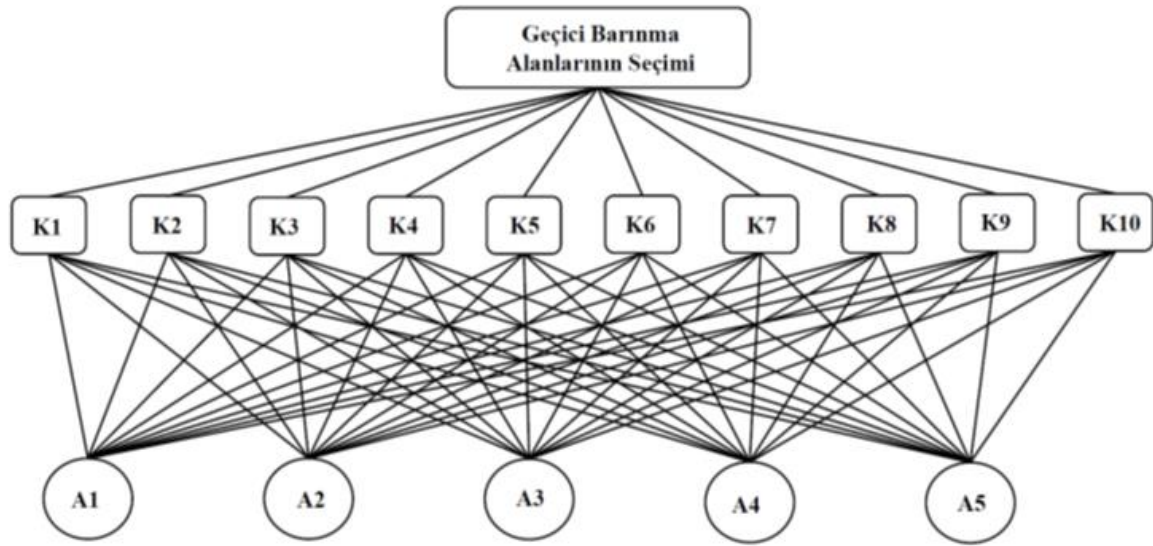
Şekil 3 incelendiğinde, kent merkezinde konumlanan ilçelerde afet dağılım oranlarının düşük olduğu görülmektedir. Fakat, alternatif olarak seçilen merkez ilçelerde nüfus yoğunluğunun oldukça yüksek oluşundan ötürü, afet etkilerinin yıkıcı olacağı açıktır. Bunlara ek olarak, bölgenin depremsellik durumuna değinilecek olursa, Ankara ilinin dört tarafı da fay hatları ile çevrelenmiş durumdadır. Kuzeyde Kuzey Anadolu, güneyde Tuz Gölü, doğuda Kırıkkale-Erbaa, güneybatıda Eskişehir fay hattı ve güneydoğudaki Akpınar fayı arasındaki bölgede konumlanmıştır. Söz konusu faylar, 7 büyüklüğünden daha fazla ($M \geq 7$) deprem üretme potansiyeline sahip olmakla birlikte, şehir merkezine 60-80 km uzaklıktadır.

Bu fayların dışında, Ankara kent merkezine yakın konumdakiler de dahil olmak üzere birçok aktif fay bulunmaktadır. Deprem bölgeleri açısından değerlendirildiğinde ise, Ankara ilinin %8’i I. derece, %21’i II. derece, %32’si III. derece ve %38’i IV. derece deprem bölgesi içindedir (AFAD 2016). Bu yönü ile, yıkıcı deprem bölgelerinde meydana gelebilecek potansiyel depremlerden il ve özellikle kent merkezi önemli ölçüde etkilenecektir. Bu bilgiler ışığında, il sınırı içindeki en büyük yüzdelik alana sahip olan bölgenin IV. derecede olmasına rağmen, öncelikle, Ankara ilinin başkent oluşu, kent merkezinin yoğun ve yüksek nüfusa sahip oluşu, mevcut konut stoğunun özellikle eski yerleşim birimlerinde düşük standartlara sahip oluşu, olası bir afet durumunda bu nüfus için geçici barınma alanlarının tespitinde ve afet öncesi/sonrası yaşanabilecek risk ve etkileri minimize etmek adına büyük önem arz etmektedir.

AFAD'ın "Geçici Barınma Merkezlerinin Kurulması, Yönetilmesi ve İşletilmesi Hakkında Yönergesi" ve "Sphere Projesi: Afete Müdahalede Asgari Standartlar ve İnsani Yardım Sözleşmesi"nde ortak olarak yer alan geçici barınma alanları ile ilgili standartlara uygun bir biçimde, alternatifleri değerlendirmek üzere uzman görüşü alınarak on adet karar kriteri belirlenmiştir. Söz konusu kriterler, AFAD yönergesi ve Sphere Projesi'nde yer alan standartlar göz önünde bulundurularak yazarlar tarafından AKUT uzmanlarının görüşüne sunulmuş; uzmanların onayı doğrultusunda da karar kriterleri olarak kabul edilmiştir. Bu kriterler şu şekildedir:

- **Kriter 1:** Ulaşılabilirlik
- **Kriter 2:** Sosyal imkanlar
- **Kriter 3:** Sağlık hizmetleri
- **Kriter 4:** Alan kapasitesi
- **Kriter 5:** Toprağın cinsi
- **Kriter 6:** Arazinin eğimi
- **Kriter 7:** Güvenlik
- **Kriter 8:** Altyapı
- **Kriter 9:** İklim ve bitki örtüsü
- **Kriter 10:** Mülkiyet

Araştırma kapsamında geçici barınma yerlerinin seçimi için kurulan karar verme modeli süreci Şekil 4'deki gibidir.



Şekil 4: Geçici barınma alanlarının seçimi probleminde hiyerarşik karar süreci

Ankara'da olası bir afet sonrasında afetzedeler için doğacak geçici yaşam alanlarını seçmek üzere uygulanan Bulanık TOPSIS yönteminin aşamaları şu şekildedir:

Adım 1: Öncelikle, AKUT Ankara bünyesinde görev yapan "ekip lideri, emniyet sorumlusu ve bilişim birim sorumlusu" olmak üzere üç adet karar vericiden oluşturulan bir karar komitesi kurulmuştur.

Adım 2: Karar vericiler tarafından her bir kriter, dilsel değişkenler kullanılarak önem ağırlıklarına göre değerlendirilmiştir. Karar vericilerin kriter değerlendirmeleri, Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7: Karar vericilerin kriter değerlendirmeleri

Kriterler	Karar Vericiler		
	KV1	KV2	KV3
Ulaşılabilirlik	(0.9, 1, 1)	(0.9, 1, 1)	(0.9, 1, 1)
Sosyal imkanlar	(0.9, 1, 1)	(0.7, 0.9, 1)	(0.5, 0.7, 0.9)
Sağlık hizmetleri	(0.5, 0.7, 0.9)	(0.3, 0.5, 0.7)	(0.5, 0.7, 0.9)
Alan Kapasitesi	(0.1, 0.3, 0.5)	(0.1, 0.3, 0.5)	(0.5, 0.7, 0.9)
Toprağın cinsi	(0.1, 0.3, 0.5)	(0.1, 0.3, 0.5)	(0.3, 0.5, 0.7)
Arazinin eğimi	(0.1, 0.3, 0.5)	(0.3, 0.5, 0.7)	(0.5, 0.7, 0.9)
Güvenlik	(0.9, 1, 1)	(0.7, 0.9, 1)	(0.7, 0.9, 1)
Altyapı	(0.9, 1, 1)	(0.9, 1, 1)	(0.9, 1, 1)
İklim ve bitki örtüsü	(0, 0.1, 0.3)	(0, 0, 0.1)	(0, 0.1, 0.3)
Mülkiyet	(0.3, 0.5, 0.7)	(0, 0.1, 0.3)	(0.1, 0.3, 0.5)

Adım 3: Karar vericiler tarafından alternatifleri değerlendirmek üzere belirlenen dilsel değişkenler bulanık üçgensel sayılara dönüştürülmüştür. Alternatif değerlendirme sonuçları Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8: Alternatif değerlendirme sonuçları

Kriterler	Alternatifler	Karar Vericiler		
		KV1	KV2	KV3
Ulaşılabilirlik	A1	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)
	A2	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)
	A3	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
	A4	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)
	A5	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)
Sosyal imkanlar	A1	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)
	A2	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)
	A3	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(5, 7, 9)
	A4	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)
	A5	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)
Sağlık hizmetleri	A1	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)
	A2	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)
	A3	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)
	A4	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)
	A5	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)
Alan Kapasitesi	A1	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)
	A2	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)
	A3	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)
	A4	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)
	A5	(0, 1, 3)	(1, 3, 5)	(0, 0, 1)
Toprağın cinsi	A1	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)
	A2	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)
	A3	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
	A4	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)
	A5	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)
Arazinin eğimi	A1	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)
	A2	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)
	A3	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)
	A4	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)
	A5	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)
Güvenlik	A1	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)
	A2	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)
	A3	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)
	A4	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)
	A5	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)
Altyapı	A1	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)
	A2	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)
	A3	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)
	A4	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
	A5	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)
İklim ve bitki örtüsü	A1	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)
	A2	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)
	A3	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)
	A4	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)
	A5	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)
Mülkiyet	A1	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)
	A2	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
	A3	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)
	A4	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)
	A5	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)

Adım 4: Önceki aşamalar doğrultusunda, bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Bulanık karar matrisi, Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 9: Bulanık karar matrisi

Kriter	A1	A2	A3	A4	A5
K1	(5.00 7.00 8.67)	(6.33 8.33 9.67)	(8.33 9.67 10.00)	(9.00 10.00 10.00)	(1.33 3.00 5.00)
K2	(3.67 5.67 7.67)	(6.33 8.33 9.67)	(7.67 9.00 9.67)	(9.00 10.00 10.00)	(1.33 3.00 5.00)
K3	(4.33 6.33 8.33)	(4.33 6.33 8.33)	(6.33 8.33 9.67)	(9.00 10.00 10.00)	(0.00 0.67 2.33)
K4	(0.67 2.33 4.33)	(5.00 7.00 8.67)	(6.33 8.33 9.67)	(6.33 8.33 9.67)	(0.33 1.33 3.00)
K5	(7.00 9.00 10.00)	(4.33 6.33 8.33)	(7.67 9.33 10.00)	(3.67 5.67 7.67)	(5.00 7.00 8.67)
K6	(0.33 1.67 3.67)	(9.00 10.00 10.00)	(7.00 9.00 10.00)	(0.67 10.00 10.00)	(0.00 0.67 2.33)
K7	(1.33 3.00 5.00)	(6.33 8.33 9.67)	(4.33 6.33 8.33)	(9.00 10.00 10.00)	(0.67 2.33 4.33)
K8	(3.00 5.00 7.00)	(6.33 8.33 9.67)	(6.33 8.33 9.67)	(8.33 9.67 10.00)	(1.33 3.00 5.00)
K9	(2.00 3.67 5.67)	(4.33 6.33 8.33)	(3.67 5.67 7.67)	(5.67 7.67 9.00)	(1.33 3.00 5.00)
K10	(0.00 0.67 2.33)	(7.67 9.33 10.00)	(0.33 1.33 3.00)	(4.33 6.33 8.33)	(0.33 1.33 3.00)

Adım 5: İlgili hesaplamalar yapılarak bulanık karar matrisi normalize edilmiştir. Tablo 10’da normalize bulanık karar matrisi verilmektedir.

Tablo 10: Normalize bulanık karar matrisi

Kriter	A1	A2	A3	A4	A5
K1	(0.50 0.70 0.87)	(0.63 0.83 0.97)	(0.83 0.97 1.00)	(0.90 1.00 1.00)	(0.13 0.30 0.50)
K2	(0.37 0.57 0.77)	(0.63 0.83 0.97)	(0.77 0.90 0.97)	(0.90 1.00 1.00)	(0.13 0.30 0.50)
K3	(0.43 0.63 0.83)	(0.43 0.63 0.83)	(0.63 0.83 0.97)	(0.90 1.00 1.00)	(0.00 0.07 0.23)
K4	(0.07 0.23 0.43)	(0.50 0.70 0.87)	(0.63 0.83 0.97)	(0.63 0.83 0.97)	(0.03 0.13 0.30)
K5	(0.70 0.90 1.00)	(0.43 0.63 0.83)	(0.77 0.93 1.00)	(0.37 0.57 0.77)	(0.50 0.70 0.87)
K6	(0.03 0.17 0.37)	(0.90 1.00 1.00)	(0.70 0.90 1.00)	(0.07 1.00 1.00)	(0.00 0.07 0.23)
K7	(0.13 0.30 0.50)	(0.63 0.83 0.97)	(0.43 0.63 0.83)	(0.90 1.00 1.00)	(0.07 0.23 0.43)
K8	(0.30 0.50 0.70)	(0.63 0.83 0.97)	(0.63 0.83 0.97)	(0.83 0.97 1.00)	(0.13 0.30 0.50)
K9	(0.20 0.37 0.57)	(0.43 0.63 0.83)	(0.37 0.57 0.77)	(0.57 0.77 0.90)	(0.13 0.30 0.50)
K10	(0.00 0.07 0.23)	(0.77 0.93 1.00)	(0.03 0.13 0.30)	(0.43 0.63 0.83)	(0.03 0.13 0.30)

Adım 6: Normalize edilmiş bulanık karar matrisi ve kriter önem ağırlıklarına göre ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilmiş ve Tablo 11 ile sunulmaktadır.

Tablo 11: Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi

Kriter	A1	A2	A3	A4	A5
K1	(0.45 0.70 0.87)	(0.57 0.83 0.97)	(0.75 0.97 1.00)	(0.81 1.00 1.00)	(0.12 0.30 0.50)
K2	(0.26 0.49 0.74)	(0.44 0.72 0.93)	(0.54 0.78 0.93)	(0.63 0.87 0.97)	(0.09 0.26 0.48)
K3	(0.19 0.40 0.69)	(0.19 0.40 0.69)	(0.27 0.53 0.81)	(0.39 0.63 0.83)	(0.00 0.04 0.19)
K4	(0.02 0.10 0.27)	(0.12 0.30 0.55)	(0.15 0.36 0.61)	(0.15 0.36 0.61)	(0.01 0.06 0.19)
K5	(0.12 0.33 0.57)	(0.07 0.23 0.47)	(0.13 0.34 0.57)	(0.06 0.21 0.43)	(0.08 0.26 0.49)
K6	(0.01 0.08 0.26)	(0.27 0.50 0.70)	(0.21 0.45 0.70)	(0.02 0.50 0.70)	(0.00 0.03 0.16)
K7	(0.10 0.28 0.50)	(0.49 0.78 0.97)	(0.33 0.59 0.83)	(0.69 0.93 1.00)	(0.05 0.22 0.43)
K8	(0.27 0.50 0.70)	(0.57 0.83 0.97)	(0.57 0.83 0.97)	(0.75 0.97 1.00)	(0.12 0.30 0.50)
K9	(0.00 0.02 0.13)	(0.00 0.04 0.19)	(0.00 0.04 0.18)	(0.00 0.05 0.21)	(0.00 0.02 0.12)
K10	(0.00 0.02 0.12)	(0.10 0.28 0.50)	(0.00 0.04 0.15)	(0.06 0.19 0.42)	(0.00 0.04 0.15)

Adım 7: Önceki adımlardaki sonuçlara göre, her bir alternatif için bulanık pozitif ve bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklık hesaplanmıştır. Tablo 12 ve Tablo 13’de sırasıyla pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar gösterilmektedir.

Tablo 12: Pozitif ideal çözüme olan uzaklıklar

Kriter	d(A1,A ⁺)	d(A2,A ⁺)	d(A3,A ⁺)	d(A4,A ⁺)	d(A5,A ⁺)
K1	0.64	0.46	0.25	0.19	1.23
K2	0.94	0.63	0.52	0.39	1.28
K3	1.05	1.05	0.89	0.73	1.60
K4	1.52	1.21	1.13	1.13	1.59
K5	1.19	1.31	1.18	1.35	1.29
K6	1.54	0.93	1.01	1.14	1.62
K7	1.25	0.56	0.80	0.32	1.35
K8	0.93	0.46	0.46	0.25	1.23
K9	1.64	1.60	1.61	1.59	1.66
K10	1.66	1.25	1.62	1.37	1.62
d ⁺	12.37	9.48	9.47	8.47	14.47

Tablo 13: Negatif ideal çözüme olan uzaklıklar

Kriter	d(A1,A ⁻)	d(A2,A ⁻)	d(A3,A ⁻)	d(A4,A ⁻)	d(A5,A ⁻)
K1	1.20	1.40	1.58	1.63	0.60
K2	0.93	1.26	1.33	1.44	0.56
K3	0.82	0.82	1.00	1.12	0.20
K4	0.29	0.64	0.73	0.73	0.20
K5	0.67	0.53	0.67	0.49	0.56
K6	0.27	0.90	0.86	0.86	0.17
K7	0.58	1.33	1.07	1.53	0.49
K8	0.90	1.40	1.40	1.58	0.60
K9	0.13	0.20	0.18	0.22	0.12
K10	0.12	0.58	0.16	0.46	0.16
d ⁻	5.92	9.06	8.98	10.05	3.63

Adım 8: Son olarak her bir alternatifin ideal çözüme göreceli yakınlık katsayıları bulunmuş ve bu katsayılar göre alternatiflerin sıralanması gerçekleştirilmiştir. Alternatifler için yakınlık katsayıları, pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları ve sıralamaları, Tablo 14’deki gibidir.

Tablo 14: Alternatiflerin ideal çözüme göre sıralanması

Alternatifler	d ⁺	d ⁻	C _i	Sıralama
A1	12.370	5.916	0.324	4
A2	9.484	9.065	0.489	2
A3	9.472	8.981	0.487	3
A4	8.473	10.052	0.543	1
A5	14.474	3.633	0.201	5

Tablo 14 incelendiğinde, alternatiflerin en iyiden en kötüye sıralaması şu şekilde gerçekleşmiştir: **A4 > A2 > A3 > A1 > A5**

Buna göre, Ankara’da olası afet sonrası barınma alanlarını seçmek adına uzman görüşlerine dayandırılarak belirlenen alternatif lokasyonların sıralanması şöyledir: **Etimesgut > Yenimahalle > Çankaya > Keçiören > Mamak**

Bu sonuçlara göre, Ankara ili için Bulanık TOPSIS yaklaşımı ile geçici barınma alanı yer seçiminde Etimesgut (A4) lokasyonunun seçimi en uygun seçenek olacaktır.

6. Analiz Sonuçları ve Tartışma

Analiz kapsamında, metodolojinin prosedürlerine uygun olarak yöntemin aşamaları uygulanmıştır. Öncelikle, görüşlerine başvurmak üzere üç adet uzmandan oluşan karar komitesi kurulmuş ve komitenin, kriterleri önem ağırlıklarına göre dilsel değişkenler ile değerlendirmeleri istenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucu, “altyapı” ve “ulaşılabilirlik” en yüksek önem ağırlıklarına sahip kriterler olurken, en düşük önem ağırlığına sahip kriter “iklim ve bitki örtüsü” olmuştur. Sonrasında, karar vericiler tarafından belirlenen kriterlere göre alternatif değerlendirmeleri yapılmış; dilsel değişkenler bulanık üçgensel sayılara dönüştürülmüştür. Karar komitesinin değerlendirmelerinde “ulaşılabilirlik, sosyal imkanlar, sağlık hizmetleri, alan kapasitesi, güvenlik, altyapı ve iklim ve bitki örtüsü” kriterleri için A4 alternatifi, “arazinin eğimi ve mülkiyet” kriterleri için A2 alternatifi, “toprağın cinsi” kriteri için ise A3 alternatifi en yüksek önem ağırlıklarına sahip ilçeler olmuştur. Bu aşamalar doğrultusunda, ilgili matematiksel hesaplamalar yapılarak sırasıyla, bulanık karar, normalize bulanık karar ve ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisleri oluşturularak her bir alternatif için bulanık pozitif ve bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklıklar hesaplanmıştır. Bu aşamada, negatif ideal çözüme olan uzaklığın artışı, karar noktaları için pozitif ideal çözüme yaklaştığını ifade etmektedir. Pozitif ideal çözüme olan yakınlık da değerlendirme altındaki karar noktasının tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. Bu durum, negatif ideal çözüm için tam tersidir. Analiz bulguları kapsamında alternatifler arasındaki yakınlık katsayıları incelendiğinde, en yüksek değere sahip alternatifi 0,543 ile A4 olduğu, 0,201 değeri ile de A5 alternatifi en düşük değere sahip olduğu görülmüştür. Diğer bir deyişle, pozitif ideal çözüme en uzak alternatif A5 olurken, negatif ideal çözüme en uzak alternatif ise A4 olmuştur. Son aşamada, her bir alternatif için hesaplanan göreceli yakınlık katsayılarına göre, geçici barınma alanlarının yer seçimine ilişkin en iyiden en kötüye sıralama gerçekleştirilmiş; en uygun seçeneğin Etimesgut (A4; 0,543) ilçesi olduğu belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, yakınlık katsayıları değerleri bakımından A2 (0,489) ve A3 (0,487) alternatiflerinin birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu noktada, alternatiflerin nitelikleri bakımından birbirine son derece yakın olduğu ve karar almanın güç olduğu bu gibi durumlarda, Bulanık TOPSIS yöntemi karar alma sürecini kolaylaştırmaktadır (Wang ve Lee 2007). Bu çalışmada, Bulanık TOPSIS metodolojisinin tercih edilmesinde, yöntemin her bir alternatif ve kriterin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesine olanak tanınması ve diğer ÇKKV tekniklerinin aksine, karar vericilerin değerlendirmelerinin ortalamalarını almak yerine minimum ve maksimum değerleri de karar sürecine dahil etmesi etkili olmuştur. Bu bağlamda, geçici barınma alanlarının seçimi sürecinde alternatifleri kendi aralarında değerlendirebilmek ve sıralayabilmek adına grup kararlarında Bulanık TOPSIS yönteminin başarılı bir karar verme tekniği olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur.

7. Sonuç ve Öneriler

Her yıl çoğunlukla doğal kaynaklı birçok afet milyonlarca insanı etkilemektedir. Her geçen yıl farklı nedenlerden kaynaklanan afet olayları şiddet ve sayı bakımından artarak çeşitlenmektedir. Bu tehdit karşısında, afetlerin önlenmesi ve zararlarının en aza indirgenebilmesi açısından afet lojistiğinin etkin bir şekilde yönetilmesi şarttır. Bu potansiyel felaketlerin önlenmesi veya zararlarının en aza indirilmesi adına, afet öncesi uygun planlamaların yapılması hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda, afet sonrası afetzedelerin barınacağı alanların afet öncesinde belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, Ankara’da yaşanacak olası bir afet sonrası geçici yaşam alanlarının seçimi, en çok kullanılan ÇKKV yaklaşımlarından biri olan Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Uzman görüşlerine dayanarak “ulaşılabilirlik, sosyal imkanlar, sağlık hizmetleri, alan kapasitesi, toprağın cinsi, arazinin eğimi, güvenlik, altyapı, iklim ve bitki örtüsü, mülkiyet” olarak belirlenen on adet kriter dikkate alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Yöntemin uygulama adımları belirlenmiş alternatif ve kriterler üzerinde değerlendirilmiştir. Beş adet alternatif ilçe arasında, afet sonrası geçici barınma alanı olarak en uygun alternatifi Etimesgut olduğu belirlenmiştir. Analiz kapsamında, Mamak sıralamada son sırada yer alarak, en kötü tercihin bu alternatifi seçmek olduğu görülmüştür. Ayrıca, alternatiflerin sıralanması sonucu Yenimahalle ikinci, Çankaya üçüncü ve Keçiören dördüncü sırada yer almıştır. Bu çalışmada tek bir afet türüne odaklanılmamış; Ankara İl Afet Müdahale Planı çerçevesinde ele alınan potansiyel afetlerin tümüne odaklanılmıştır. Bu doğrultuda, afet sonrası geçici barınma alanlarının seçimi problemine ilişkin literatür çalışmaları arasında tek bir afeti ele alan çalışmalardan farklılaşmaktadır. Bilinebildiği kadarıyla, bu çalışma ile Ankara ili için afet sonrası geçici barınma alanları merkez ilçeler bazında ilk kez sıralanmıştır.

Çalışmanın kısıtları arasında, bu çalışmanın sadece Ankara’da gerçekleştirilmiş olması sayılabilir. İleride, Türkiye’nin farklı bölgeleri için bu tarz bir çalışma yapılabilir. Ek olarak, bu çalışmada görüşlerine başvurulmuş karar komitesinin daha çok uygulayıcılardan oluşması da sınırlamalar arasında yer alabilir. Bu noktada, başta şehir plancıları olmak üzere siyasal ve toplumsal aktörlerin de görüşlerine başvurularak ele alınan problem değerlendirilebilir. Bu çalışmada gerçekleştirilen analiz, farklı ÇKKV yöntemleri veya CBS gibi farklı yaklaşımlara uygulanarak aynı kriter ve alternatifler üzerinden yapılabilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir. Ayrıca, geçici barınma alanlarının seçimi konusunda yapılacak ileriki çalışmalarda, alternatif sayısı artırılarak daha kapsamlı bir değerlendirme yapılabilir.

Kaynaklar

- Ablanedo-Rosas J.H., Gao H., Alidaee B., Teng W., (2009), *Allocation of emergency and recovery centres in Hidalgo*, Mexico. International Journal Services Sciences, 2(2), 206-215.
- AFAD, (2014), *T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Afet Müdahale Planı*, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/2419/files/Afet_Mud_Pl_ResmiG_20122013.pdf, [Erişim 24 Nisan 2020].
- AFAD, (2015), *Geçici barınma merkezlerinin kurulması, yönetimi ve işletilmesi hakkında yönerge*, <https://ailevecalisma.gov.tr/uploads/athgm/uploads/pages/goc-afet-ve-acil-durumlarda-psikososyal-destek/gecici-barinma-merkezlerinin-kurulmasi-yonetimi-ve-isletilmesi-hakkinda-yonerge.pdf>, [Erişim 24 Nisan 2020]
- AFAD, (2016), *T.C. Ankara Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü "Ankara İl Afet Müdahale Planı"*, https://ankara.afad.gov.tr/kurumlar/ankara.afad/4235/files/ANKARA_IL_AFET_MUDAHALE_PLANI.pdf, [Erişim 24 Nisan 2020]
- Bayram V., Tansel B.Ç., Yaman H., (2015), *Compromising systema and user interests in Shelter location and evacuation planning*, Transportation Research, 72(2015), 146-163.
- Cakir O., (2008), *The grey extent analysis*, Kybernetes: The International Journal of Systems & Cybernetics, 37(7), 997-1015.
- Chang D.Y., (1996), *Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP*, European journal of operational research, 95(3), 649-655.
- Chen C.T., (2000), *Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment*, Fuzzy sets and systems, 114(1), 1-9.
- Chen L., (2012), *A web-based system for optimizing post disaster temporary housing allocation*, MSc Thesis, University of Washington, USA.
- Chu J.Y., Su Y.P., (2011), *Comprehensive evaluation index system in the application for earthquake emergency shelter site*, In Advanced Materials Research, 156, 79-83.
- Dalal J., Mohapatra P.K., Mitra G.C., (2007), *Locating cyclone shelters: a case*, Disaster Prevention and Management: An International Journal, 16(2), 235-244.
- Demirci A., Karakuyu M., (2004), *Afet yönetiminde coğrafi bilgi teknolojilerinin rolü*, Doğu Coğrafya Dergisi, 9(12), 67-100.
- El-Anwar O., El-Rayes K., Elnashai A., (2009), *An automated system for optimizing post-disaster temporary housing allocation*, Automation in Construction, 18(7), 983-993.
- EM-DAT, (2007), *EM-DAT; the ODFA/CRED international disaster database, 2006 disasters in numbers*, Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium.
- EM-DAT, (2020), *The international disaster database*, General Classification, <https://www.emdat.be/classification>, [Erişim 20 Mayıs 2020].
- Erkal T., Değerliuyurt M., (2009), *Türkiye’de afet yönetimi*, Doğu Coğrafya Dergisi 14(22), 147-164.
- Fan C., Zhai G., Zhou S., Zhang H., Qiao P., (2017), *Integrated Framework for Emergency Shelter Planning Based on Multihazard Risk Evaluation and Its Application: Case Study in China*, Natural Hazards Review, 18(4), 05017003, doi: 10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000253.
- Hall G.B., Wang F., Subaryono, (1992), *Comparison of Boolean and fuzzy classification methods in land suitability analysis by using geographical information systems*, Environment and Planning A, 24(4), 497-516.
- Hu Z.H., Sheu J.B., Xizo L., (2014), *Post-disaster Evacuation and Temporary Resettlement Considering Panic and Panic Spread*, Transportation Research, 69, 112-132.
- Hwang C.L., Yoon K., (1981), *Methods for Multiple Attribute Decision Making*. In: Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol 186. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3.
- Hwang C.L., Lai Y.J., Liu T.Y., (1993), *A new approach for multiple objective decision making*, Computers & operations research, 20(8), 889-899.
- IFRC, (2019), *What is a Disaster?*, <https://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/about-disasters/what-is-a-disaster/>, [Erişim 20 Mayıs 2020]
- Junian J. and Azizifar V., (2018), *The Evaluation of Temporary Shelter Areas Locations Using Geographic Information System and Analytic Hierarchy Process*, Civil Engineering Journal, 4(7), 1678-1688.
- Kadioğlu, M., (2008), *Modern, Bütünleşik Afet Yönetiminin Temel İlkeleri*, Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri’nin İçinde, (Kadioğlu M., Özdamar E., Ed.), JICA Türkiye Ofisi, Yayın No: 2, Ankara, ss.1-34.
- Kadioğlu, M., (2011), *Afet yönetimi beklenilmeyeni beklemek, en kötüsünü yönetmek*, TC Marmara belediyeler birliği yayını, Yayın No:65, İstanbul, 218ss.
- Kar B., Hodgson M.E., (2008), *A GIS-Based Model to Determine Site Suit- ability of Emergency Evacuation Shelters*, Transactions in GIS, 12(2), 227-248.
- Karaman Z.T., Altay A., (2016), *Bütünleşik Afet Yönetimi*, İlkem Yayınları, İzmir.
- Kongsomsaksakul S., Yang C., Chen A., (2005), *Shelter Location-allocation Model for Flood Evacuation Planning*, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, 4237-4252.
- Li A.C.Y., Nozick L., Xu N., Davidson R., (2012), *Shelter Location and Transportation Planning Under Hurricane Conditions*, Transportation Research, 48(4), 715-729.
- Li L., Jin M., (2010), *Sheltering planning and management for natural disasters*, <http://hurricane.egr.uh.edu/sites/hurricane.egr.uh.edu/files/files/2010/lingfeng-li.pdf>, [Erişim 24 Nisan 2020].
- Modarres M. and Sadi-Nezhad S., (2001), *Ranking fuzzy numbers by preference ratio*, Fuzzy sets and Systems, 118(3), 429-436.
- Omidvar B., Baradaran-Shoraka M. and Nojavan M., (2013), *Temporary site selection and decision-making methods: a case study of Tehran*, Iran, Disasters, 37(3), 536-553.
- Paksoy T., Pehlivan N.Y., Özceylan E., (2013), *Bulanık küme teorisi*, Nobel Yayınları, Ankara, 214ss.
- Pan A., (2010), *The applications of maximal covering model in typhoon emergency shelter location problem*, 2010 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 7-10 December, Macau, China, ss.1727-1731.

- Pektaş, T., (2012), *İlçe Bazında Afet Lojistiği: Başakşehir Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Roh S., Pettit S., Harris I., Beresford A., (2015), *The pre-positioning of warehouses at regional and local levels for a humanitarian relief organisation*, International Journal of Production Economics, 170(2015), 616-628.
- Shen Y., Wang Q., Yan W., Wang J., (2015), *A transportation-location problem model for pedestrian evacuation in chemical industrial parks disasters*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 33(1), 29-38.
- Soltani A., Ardalan A., Boloorani A.D., Haghdooost A., Hosseinzadeh-Attar M.J., (2015), *Criteria for site selection of temporary shelters after earthquakes: a delphi panel*, PLoS currents, 7, 1-13.
- Şentürk E., Erener A., (2017), *Determination Of Temporary Shelter Areas In Natural Disasters By Gis A Case Study For Gölçük/Turkey*, International Journal of Engineering and Geosciences, 2(3), 84-90.
- Tarabanis K., Tsionas I., (1999), *Using Network Analysis for Emergency Planning in Case of Earthquake*, Transactions in GIS, 3(2), 187-197.
- T.C. Başbakanlık, (1997), *Doğal Afetler Genel Raporu*, Ankara, 16ss.
- Thomas A.S., Kopczak L.R., (2005), *From logistics to supply chain management: the path forward in the humanitarian sector*, Fritz Institute, 15, 1-15.
- Tong Z., Zhang J., Liu X., (2012), *GIS-based design of urban emergency shelter in Songbei Harbin*, In Recent advances in computer science and information engineering, Springer, Berlin, Heidelberg, 617-622.
- Trivedi A., (2018), *A multi-criteria decision approach based on DEMATEL to assess determinants of shelter site selection in disaster response*, International Journal of Disaster Risk Reduction, 31, 722-728.
- TÜİK, (2019), *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları*, Retrieved from <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>, [Erişim 30 Nisan 2020].
- UN/ISDR, (2007), *United Nations/International Strategy for Disaster Reduction*, Geneva, Switzerland, <http://www.unisdr.org>, [Erişim 31 Ocak 2020].
- URL-1, (2011), *The Sphere Project: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response*, <http://www.sphereproject.org/handbook/>, [Erişim 31 Ocak 2020].
- Van Wassenhove L.N., (2006), *Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear*, Journal of the Operational Research Society, 57(5), 475-489.
- Wang Y.J. and Lee H.S., (2007), *Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making*, Computers & Mathematics with Applications, 53(11), 1762-1772.
- Wex F., Schryen G., Feuerriegel S., Neumann D., (2014), *Emergency Response in Natural Disaster Management: Allocation and Scheduling of Rescue Units*, European Journal of Operational Research, 235(3), 697-708.
- Yiğitcanlar T., Bolposta R., Yankaya U., Kınac O., Baradan B., Bektaş B., (2005), *Afet Sonrası Geçici Yerleşim Alanlarının Tasarımında Stratejik Seçim Yaklaşımı*, Planlama, 2005(2), 89-100.
- Yoon K., (1987), *A reconciliation among discrete compromise solutions*, Journal of the Operational Research Society, 38(3), 277-286.
- Youssef A.M., Pradhan B., Hassan A.M., (2011), *Flash Flood Risk Estimation Along the St. Katherine Road, Southern Sinai, Egypt Using GIS Based Morphometry and Satellite Imagery*, Environmental Earth Sciences, 62(3), 611-623.
- Zadeh L.A., (1965), *Fuzzy sets*, Information and control, 8(3), 338-353.
- Zeleny M., (1982), *Multiple criteria decision making*, McGraw-Hill, New York, 563ss.

Eğimli Arazilerde Kaya Tutucu Toprakarme Duvarların Uygulanabilirliği ve Alternatif Kaya Islahı Çözümleriyle Karşılaştırılması: Kanlıpelit Örneği

Muhammet Çelik¹, Mohammad Manzoor Nasery^{2,*}

¹İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 61220, Ortahisar, Trabzon.

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Ortahisar, Trabzon.

Özet

Toprakarme duvarlar kaya düşmesi afetini engellemek için kullanılan yüksek enerji sönümleme özelliğine sahip masif yapılardır. Toprakarme duvarların taban genişlikleri fazla olması nedeniyle kaya düşmesinin yaşandığı eğimli arazilerde uygulanmasında çeşitli sıkıntılar doğmaktadır. Bu çalışmada, eğimli arazilerde toprakarme duvarların uygulanabilmesi için geliştirilmiş çözüm örnek bir proje üzerine incelenmiştir. Buna göre eğimli arazide 6 m yüksekliğinde taş istinat duvarı ve dolgu yapılarak düz bir platform elde edilmesi ve toprakarme duvarın platform üzerine yapılması projelendirilmiştir. Platform yapılmadan önce 8 adet en kesit üzerine kaya düşme analizleri gerçekleştirilerek kayanın sıçrama yüksekliği, hız ve toplam kinetik enerji değerleri elde edilmiş, daha sonra platform imalatı bitirilmiş, aynı analizlerle elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada oluşturulan bu platform kayaların sıçrama yükseklikleri değerlerini %83, kinetik enerji değerlerini %62 ve hız değerlerini %42 oranında azaltmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında projelendirilen platform üzeri toprakarme duvarın maliyeti alternatif projelerin maliyetleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre 6 metre betonarme duvar arkasına dolgu ve üzerine 3 metre yüksekliğinde çelik bariyer yapılmasından %60.8 oranında ve 6 metre yüksekliğinde çelik bariyer yapılmasından ise %74.5 oranında daha az maliyetli olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmanın sonunda; Çelik bariyerler, kaya çarpmaları sırasında boyca azalmaları, ilk yapım ve bakım onarım maliyetleri, ithal edilmeleri ve doğaya uyumu gibi çeşitli konularda toprakarme duvarlara göre dezavantajlıdır. Bu nedenle oluşturulan platform üzerinde toprakarme duvar yapılmasının hem güvenlik açısından hem de maliyet açısından üstün bir ıslah yöntemi olduğu ortaya çıkmaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen yöntem Trabzon İli Maçka İlçesi Güney Mahallesinde kaya ıslahı projesinde uygulanmıştır.

Anahtar Sözcükler

Doğal Afetler, Kaya Düşmesi, Toprakarme Duvarlar, Çelik Bariyerler, Kütle Hareketleri

Applicability of the Reinforced Ground Embankments on Sloped Terrain and Their Comparison with Alternative Rockfall Protection System Solutions: Kanlıpelit Case

Abstract

Reinforced ground embankments having high energy absorption capacity, which are being used as rockfall protection systems, are massive structures. Various problems arise in the application of reinforced ground embankments on sloped terrain, where rockfall occurs, because of it is high bottom width. In this study, a solution was improved for the application of reinforced ground embankments walls on sloping lands and was examined by implementing a pilot project. Additionally, it was planned to obtain a flat platform on inclined land with a 6 m high stone retaining wall and filling in order to construct the reinforced ground embankments wall on it. Initially rock fall analyses were performed on 8 cross sections in order to obtain bounce height, velocity and total kinetic energy values prior to constructing the platform. The same analysis was once again performed following the platform construction and the obtained data were compared. This platform has reduced 83% of the rocks' bounce heights, 62% of kinetic energy and 42% of velocity values. In the second part of the study, the cost of the reinforced ground embankments on the platform was compared with the costs of alternative projects. It was observed that constructing platform was 60.8% less expensive than a 6meter reinforced concrete wall with a 3meter steel barrier and 74.5% cheaper than a 6meter steel barrier. Steel barriers are disadvantageous compared to the reinforced ground embankments walls in various aspect such as reduction in length during rock collisions, construction cost, maintenance costs, import and adaptation to nature. For the reasons above, we have concluded that construction of reinforced ground embankments wall over a constructed platform is a more efficient improvement solution in terms of both safety and cost. The developed solution within the scope of the study was applied in the rockfall protection project in Güney neighborhood, Maçka District of Trabzon Province.

Keywords

Natural Disasters, Rockfall, Reinforced Ground Embankments, Steel Barrier, Mass Movement

1. Giriş

Toprakarme duvarlar, madencilik, kavşak, köprü gibi yapıların taşıyıcı kenar ayakları, istinat yapıları, dere ve kaya ıslahları, askeri yapılar ve benzeri birçok uygulamada kullanılan yapılardır. Toprakarme duvarlar, kaya ıslahlarında genellikle çarpma hızı ve enerji kapasitesinin yüksekliğiyle birlikte maliyetinin düşük olması nedeniyle tercih edilmektedir. Toprakarme duvarların çeşitli üstün özellikleri olmasına karşılık tasarım özellikleri nedeniyle uygulama alanları kısıtlıdır. Özellikle taban alan genişliği nedeniyle eğimli arazilerde uygulanmalarında çeşitli sıkıntılar doğmaktadır. Kaya düşmesi, eğimli arazilerde (şev veya yamaçlarda) bulunan süreksizlik yüzeylerinde ayrılma olan kaya bloklarının yer çekimi etkisiyle alt kotlara doğru hareketi olarak tanımlanır (Varnes 1978; Hutchinson 1988). Kaya ıslahı çalışmaları olarak bariyerler, dayanma yapıları, hendekler, tepeler, çelik ağlar ile kaplama, kontrollü düşürmeler ve benzeri birçok yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde kayaların düşmeleri engellenmekte veya kontrollü düşürülerek tehlike yaratmasının önüne geçilmektedir (Turner ve Schuster 2012). Kaya ıslahı yöntemleri arasında seçim yapılırken emniyet ve ekonomi kriterleri değerlendirilerek en uygun yöntem belirlenir (Agliardi vd. 2009). Toprakarme duvarlar kaya ıslahlarında kullanılan yöntemler arasında gerek emniyet gerekse maliyet açısından en uygun yöntemlerden biridir. Özellikle büyük alanlarda yaşanan kaya düşme afetlerinde tüm alanda kontrollü kırım veya çelik ağlarla kaplama yöntemleri yerine düşme güzergâhlarına çelik bariyer veya toprakarme duvar yapılması daha iyi sonuçlar vermektedir. Çelik bariyerler ve toprakarme duvarlar, düşen kayanın çarpma hızı, kinetik enerji ve sıçrama yüksekliğine göre tasarlanmaktadır. Çelik bariyerler genellikle 25 m/sn gibi belirli kaya çarpma hızına göre tasarlanmıştır. Daha fazla hızla gelen kayaların bariyerleri delme ihtimali bulunmaktadır. Toprakarme duvarlar çarpma hızı konusunda çelik bariyerlerden daha üstün yapılardır. Yapılan tam ölçekli arazi deneylerinde 30 m/sn hızla dayanabildikleri tespit edilmiştir (Peila vd. 1998). Çelik bariyerler 500 kJ'den başlayarak binlerce kJ kapasitelere göre üretilmektedir. Kayaların düşerken kazandıkları kinetik enerji miktarı arttıkça çelik bariyerlerin birim maliyeti de artmaktadır. Ancak 5000 kJ üzeri tasarımlarda toprakarme duvarlar tercih edilmektedir (Descœudres 1997). Toprakarme duvarlar kinetik enerjiyi sönümleme kapasiteleri oldukça yüksek yapılardır (Ronco vd. 2009). Ayrıca toprakarme duvarların maliyetlerini çok artırmayacak tercihler ile enerji sönümleme kapasiteleri artmaktadır. Örneğin kullanılan güçlendirme malzemesinin türü ve kalınlığı, dolgu tipi, duvar eni vb. özellikler toprakarme duvarların enerji kapasitesini oldukça fazla artırmaktadır (Peila vd. 2007). Çelik bariyerler ve toprakarme duvarların ortak tasarım kriterlerinden bir diğeri de kayaların sıçrama yükseklikleridir. Sıçrama yüksekliği arttıkça çelik bariyer ve toprakarme duvarların yükseklikleri ve birim maliyetleri artmaktadır (Masuya vd. 2009). Tasarım için önemli konular olan doğaya uyum ve bakım onarım masrafları incelendiğinde toprakarme duvarlar her iki hususta da çelik bariyerlerden daha üstün yapılardır (Brunet vd. 2009). Ayrıca malzeme temini açısından da toprakarme duvarlar, çelik bariyerlerden üstündür. Çünkü duvarlarda kullanılan geogrid türleri genellikle kolay bulunabilen malzemelerdir, asıl kütleyi oluşturan toprak ve tuvenan/ariyet malzeme doğadan temin edilebilmektedir. Çelik bariyerlerde kullanılan malzemeler ise özellikle enerji sönümleyiciler ve kullanılan ağlar patentli ürünler olması nedeniyle konu ile ilgili araştırma geliştirme çalışmaları yapmış firmalar tarafından temin edilmektedir. Dünyada çelik bariyerle ilgili patentli ürüne sahip ülke sayısı oldukça azdır. Bu durum Türkiye dâhil birçok ülkenin çelik bariyerleri ithal etmesine neden olmaktadır.

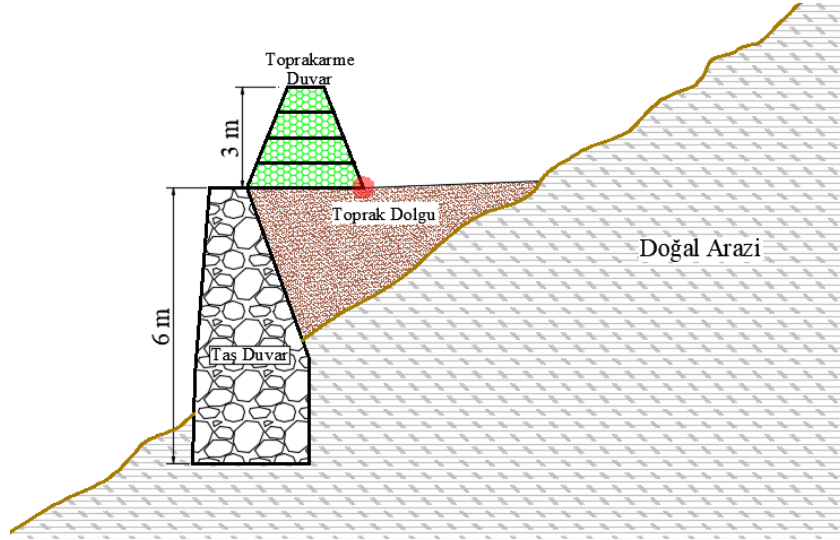
Toprakarme duvarlar, kaya düşmelerini engelleyen masif yapılardır. Genellikle eğimli yüzeye sahip bu yapılarda, eğimin miktarı iki hususa göre belirlenir. Birinci husus yapının kendi kütlesini koruyabileceği şekilde olması ve ikincisi de gelen kaya kütlesinin çarpma sırasında yapının stabilitesini bozmaması ve oluşan deformasyonun sınırlı kalmasıdır. Ayrıca toprakarme duvarlar eğimli arazilerden gelen taşkın ve su ile birlikte taşınan malzemeleri biriktiren engeller olmamaları da istenilmektedir (Lambert ve Bourrier 2013). Karadeniz Bölgesi eğimli arazisi ve bol yağış alması nedeniyle kütle hareketlerinin oldukça sık rastlandığı bir bölgedir (Kaya vd. 2018). Bölgede kaya düşmelerinden etkilenen yerleşim birimleri kaynak kayalıkların alt kotlarında kurulmuş yerleşim birimleridir. Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi gibi düz arazinin az olduğu bölgelerde insanlar kayaların düşme güzergâhları üzerine yerleşim birimlerine oldukça sık rastlanılmaktadır (Şekil 1). Bu durum ıslah çalışmalarını da etkilemekte ve seçilecek yöntemler ile ilgili sorunlar oluşturmaktadır.



Şekil 1: Trabzon Düzköy İlçesi Gökçeler Mahallesi, eğimli ve kaya düşme güzergâhında bulunan konutlar

2. Yöntem

Toprakarme duvar yapımı için belirli bir düz alan ihtiyaç olduğundan özellikle eğimli arazilerde uygulama sıkıntıları doğmaktadır. Bu çalışmada eğimli arazilerde toprakarme duvarların uygulanabilmesi için çözüm geliştirilmiş ve incelenmiştir. Geliştirilen çözümde, eğimli arazide ilk önce taş istinat duvar yapılması arkasına dolgu yapıldıktan sonra elde edilen düz platform üzerine toprakarme duvar oturtulması planlanmıştır (Şekil 2). Ayrıca bu çalışmanın 2. Bölümünde geliştirilen çözümün projelendirme aşamaları olan kaya düşme afetinin geçmişi, alanın harita çalışmaları, önlem yapısı yapılacak bölgedeki arazinin jeolojik ve jeofizik yöntemler ile incelenmesi ve kaya düşme analizleri ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir. 3. Bölümde ise geliştirilen taş istinat duvar üzerine toprakarme duvar yapılması çözümüne alternatifleri olan betonarme duvar üzerine çelik bariyer ve sadece çelik bariyer önlem yapıları güvenlik ve ekonomik olarak karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise geliştirilen çözüm için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen çözüm Trabzon İli Maçka İlçesi Güney Mahallesi Kanlıpelit Mevkiinde kaya ıslahı amacıyla uygulanmıştır.



Şekil 2: Eğimli arazilerde toprakarme duvar uygulayabilmek için taş duvar ve dolgu ile geliştirilen çözüm detayı

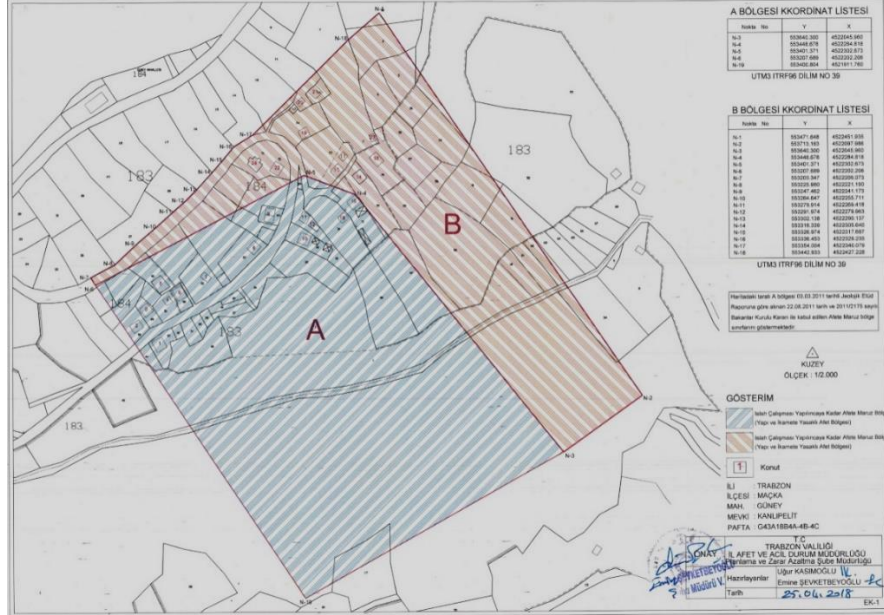
2.1. Kaya Düşme Afeti Yaşanan Alanın İncelenmesi

Örnek alan, Trabzon İli Maçka İlçesi Güney Mahallesi Kanlıpelit mevkiinde bulunmaktadır. Alan Trabzon İline 27 km Maçka ilçesine 2.5 km uzaklıktadır. İlk vaka ihbarı 05.11.2009 tarihinde bir vatandaşın kaya düşmesi nedeniyle ağır yaralanması olayı olarak kayıt edilmiştir. Arazide yapılan incelemelerde çok daha öncelerden beri kaya düşmesi afeti yaşandığı anlaşılmaktadır. 03.03.2011 tarihinde bölgede ilk Jeolojik Etüt Raporu (JER) hazırlanmış ve 18 konut afete maruz bölge içerisinde belirlenmiştir. 2017 yılında kaynak kayalıktan parçalı halde 500 m³'e yakın malzeme kopup gelmiştir (Şekil 3). Bunun üzerine bölgede 19.04.2018 tarihli ikinci JER düzenlenmiş ve 25 konutun afete maruz bölge içerisinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3: 2017 yılı içerisinde bölgede yaşanan kaya düşmesi heyelanı

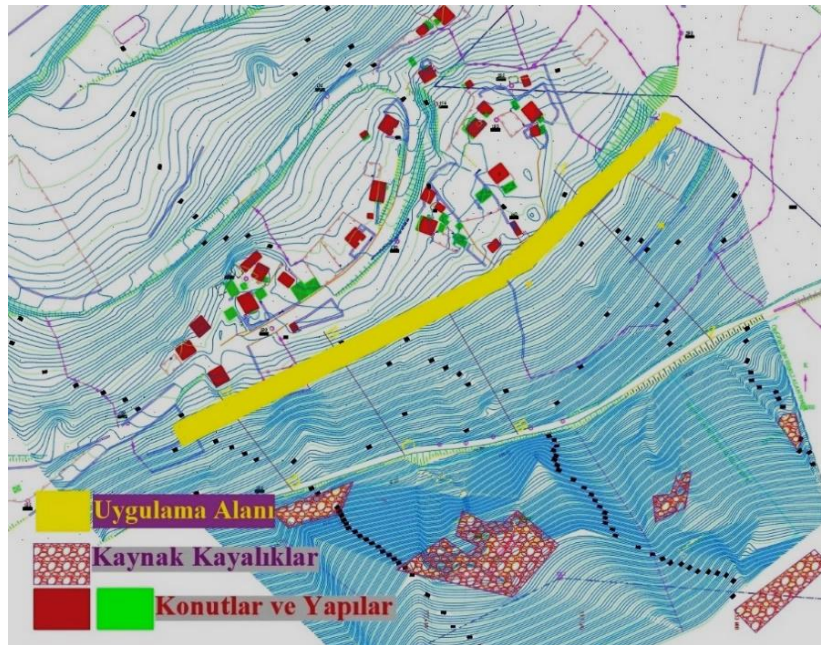
Bölgede eğimin fazla olduğu kısımlarda ormanlık alan hâkim olup, alt kotlara doğru özellikle eğimin %30'un altına düştüğü kısımlarda konutlar ve tarım arazileri bulunmaktadır. Orman içerisinde daha önce düşmüş kayalar ağaçlar tarafından tutulmuş olup tehlike arz etmektedir. Ayrıca JER'de belirtildiğine göre kaynak kayalıklarda tehlikeli süreksizliklere sahip 2000 m³ kayaya rastlanılmıştır. Bölgede JER'e göre imara ve iskâna kapatılmış alan Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Farklı tarihlerde hazırlanmış 2 JER'e göre imara ve iskâna kapalı alan

2.2. Alanın Harita Çalışması

Kaya ıslahı projelerinde uygun modelin tespiti ve hesabı için en önemli verileri harita çalışmaları oluşturmaktadır. Harita çalışmaları sayesinde düşen kayaların gidebilecekleri güzergâhlar, sıçrama yükseklikleri, hız ve kazanacakları enerji ile ilgili tahminlerde bulunulabilmektedir. Bu nedenle harita çalışmaları oldukça titiz yapılmalıdır (Çelik vd. 2016). Şekil 5'de bölgeden alınmış ölçümlere göre hazırlanmış harita görülmektedir. Harita eş yükselti eğrileri, kaynak kayalar ve konutları içermektedir. Ayrıca kaya düşme analizleri için bu haritadan belirlenmiş olan en kritik 8 güzergâh kesiti alınarak kaya düşme analizlerinde altlık olarak kullanılmıştır.

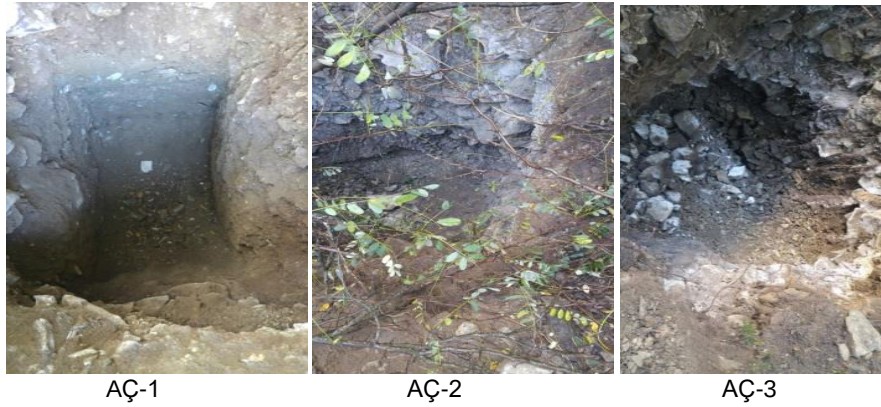


Şekil 5: Bölgede hazırlanmış eş yükselti eğrisi harita konutlar ve kaynak kayalıklar

2.3. Alanda Jeolojik ve Geoteknik Çalışmalar

Kaya ıslah önlem yapısının yapılacağı alanın zemin parametrelerini belirlemek için arazide gözlemsel 3 adet araştırma çukuru açılmıştır (Şekil 6). Araştırma çukurlarının yerleri, jeolojik yapının farklılaştığı, topoğrafyanın değiştiği ve yapılacak olan duvar güzergahı boyunca homojen olmasına göre belirlenmiştir. Temel zeminini oluşturan birimi tanımak ve taşıma gücünü saptamak için inceleme alanında açılan AÇ-1, AÇ-2 ve AÇ-3 nolu araştırma çukurlarından alınan zemin ve kaya numuneleri üzerinde Atterberg limitleri, doğal birim hacim ağırlık, su muhtevası, direkt kesme kutusu deneyleri ve nokta yükü dayanım deneyi yapılmıştır. Ayrıca inceleme alanındaki yamaç molozundan alınan zemin numuneleri üzerlerinde elek analizi deneyleri ve Atterberg limitleri deneyleri yapılarak birimlerin fiziksel parametreleri tespit edilmiştir (Tablo 1). Arazi çalışmaları sırasında elde edilen zemin numuneleri, arazide gözle tanımlanmakta ve arazi cetvellerine işlenmekte, laboratuvarında ise ASTM D-2487-69 "Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırması" şartnamesine uygun olarak sınıflandırılmaktadır. ASTM D-2487-69 "Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırması" standartlarına göre elek analizi deneyine tabi tutulan zemin numunelerinin GP-GM (üniform çakıl ve az silt), GW (iyi derecelendirilmiş çakıl) ve SC (killi kum ve az çakıl) zemin sınıflarında yer aldığı belirlenmiştir (Moistures 1982).

Çalışmada kullanılan kesme kutusu deneyinin amacı sıklıkları farklı olan kohezyonlu veya kohezyonsuz zemin numunesine kesme etkisi uygulayarak zemin numunesinin kayma parametrelerini, kayma direncini (c) ve kayma açısını (ϕ) bulmaktır. Bu deney kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için uygun olmakla birlikte, daha ziyade kumlar için uygundur. Açılan araştırma çukurundan alınan numunelerin kayma dayanım parametrelerini belirlemek için kesme kutusu deneyi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Kesme kutusu deneyleri (ASTM 2011) standardına uygun olarak 50, 100 ve 200 kN/m² normal gerilmeler altında yapılmıştır.



Şekil 6: Arazi çalışması sırasında açılan üç adet araştırma çukuru görünüşleri

Tablo 1: İnceleme alanında yer alan ince taneli zeminlere ait fiziksel özellikleri

Araştırma çukuru	Derinlik (m)	Elek analizi					Atterberg limitleri			Zemin sınıfı (USCS)
		Su İçeriği W _n (%)	Doğ. Bir. Hac. Ağırlık γ_n (t/m ³)	Geçilen Birim	+ 4 No	- 200 No	Likit Limit %	Plastik Limit %	Plastisite İndisi %	
AÇ-1	5.00	4.60	1.64	Yamaç Molozu	84.7	8.1	NP	NP	NP	GP-GM
AÇ-2	5.00	4.10	1.63	Yamaç Molozu	89.1	4.8	NP	NP	NP	GW
AÇ-3	5.00	9.90	1.66	Yamaç Molozu	32.9	24.6	32.20	19.34	12.90	SC

Tablo 2: Kesme kutusu deneylerin değerleri

Kuyu No	Derinlik (m)	Kohezyon (kg/ cm ²)	İçsel Sürtünme Açısı (Φ)	Zemin Sınıfı
AÇ-1	5.00	c =0.01	$\Phi=32^\circ$	GP-GM
AÇ-2	5.00	c =0.01	$\Phi=32^\circ$	GW
AÇ-3	5.00	c =0.16	$\Phi=25^\circ$	SC

İnceleme alanında bulunan kayaların özelliklerini saptamak için açılan AÇ-1 ve AÇ-2 nolu araştırma çukurlarından alınan kaya numuneleri üzerinde kaya mekaniği laboratuvarında nokta yükleme deneyi yapılarak kayaların mekanik özellikleri elde edilmiştir (Tablo 3). AÇ-1 ve AÇ-2’den alınan kayaçlar üzerinde yapılan nokta yükleme deneyinden elde edilen tek eksenli basınç dayanımına göre yer alan kaya birimleri, literatüre göre düşük dayanımlı kaya sınıfına girmektedir (Deer ve Miller 1966).

Tablo 3: Nokta yükleme deneyi sonucu elde edilen kayaların mekanik özellikleri

Deney Adı	Örnek Derinliği (m)	Nokta Yüğü İndisi (kg/cm ²)	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı σ_c (kg/cm ²)	Kayaç Sınıflaması
Nokta Yükleme Deneyi (SK-1)	5.00	26.00	312.00	R2-Zayıf Kaya
Nokta Yükleme Deneyi (SK-2)	5.00	28.00	336.00	R2-Zayıf Kaya

2.4. Alanda Jeofizik Çalışmalar

Kaya ıslahı önlem yapısı yapılacak hattın yerini belirlemek için jeolojik çalışmaya ek olarak jeofizik yöntemler ile de zeminin özellikleri belirlenmiştir. Buradaki amaç hem jeolojik çalışmaları teyit etmek hem de hat boyunca zemindeki tabakalaşmanın net bir şekilde ortaya konulmasını sağlamaktır. Çünkü yapılacak olan 6m taş istinat duvarının arkasındaki dolgunun ve toprakarme duvarın ağırlığı oldukça fazla olacağından yer seçimi oldukça önemli olmaktadır. Çalışma alanında hat boyunca uygun görülen iki profil boyunca karşılıklı atışlı “Sismik Kırılma ve MASW” ölçümü yapılmıştır.

2.4.1. Sismik Kırılma (Refraction) Yöntemi

Yüzeyde herhangi bir kaynak yardımıyla oluşturulan dalga ara yüzeye (tabaka sınırı) gelir ve Huygens prensibine göre ara yüzey boyunca her bir nokta yeni bir yarı küresel elastik dalga merkezi olmaktadır. Bu dalga hızı P dalgası yayılımı için V_p hızıyla ve S dalgası için V_s hızıyla ortam içinde hareket etmektedir. Bu hareket arazi uygulamalarında P ve S dalga hızlarının sismik kırılma yöntemiyle tespit edilerek sahaya ait tabakaların elastik parametreleri hakkında bilgi edinilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmada, 2000 Model OYO GEOSPACE marka 24 kanallı McSEIS-SX 1125M model sismograf ve RTC marka 4.5Hz’lik düşey bileşen jeofonlar kullanılmıştır (Şekil 7).

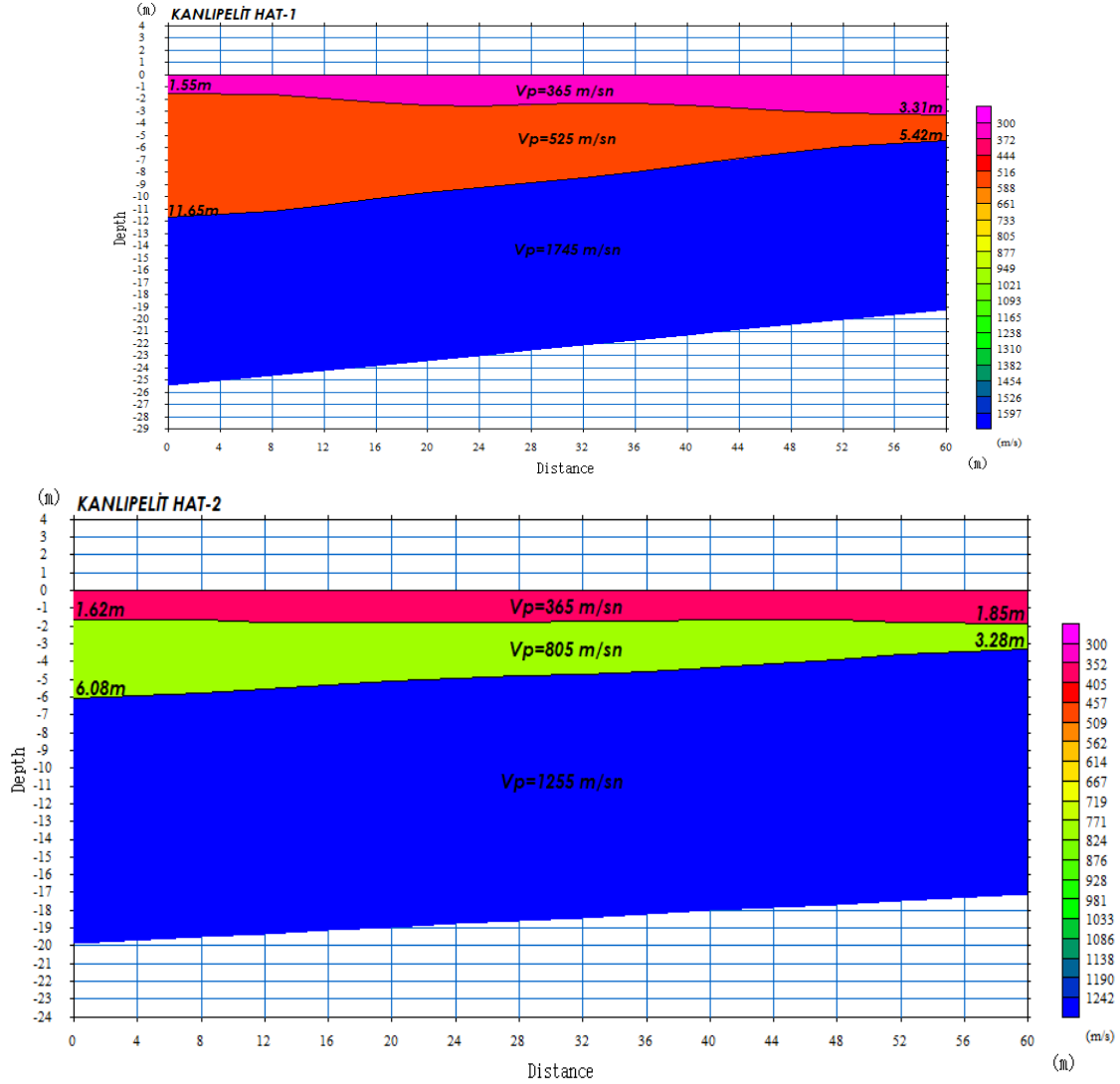


Şekil 7: Jeofizik çalışmada kullanılan sismik cihazın görünümü

2.4.2. MASW Yöntemi

S-tipi sismik hız analizi için “Multi Channel Analysis of Surface Waves” (MASW) tekniği kullanılmıştır. Ayrıca veri toplama aşamasında 4,5 Hz doğal frekansa sahip jeofonlar kullanılmıştır. Bu yöntem P-tipi saha kaydında mevcut Rayleigh tipi yüzey dalgalarının düzlem-dalga bileşenlerine ayrılarak analiz edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Analiz sonucu elde edilen faz hızı – frekans spektrumundan dispersiyon ergisi tespit edilir ve bir başlangıç modelini takiben iteratif olarak sonuç S-tipi hız – derinlik modelini oluşturmaktadır. Jeofizik çalışmada toplamda iki serim yapılmıştır. Serim ise MASW yöntemi ile hat boyunca alınan bir ölçüme denilmektedir.

Serim-1 için jeofon aralığı 4 metre, ofset mesafesi 8 metre ve toplam serim uzunluğu 60 metre, Serim-2 için jeofon aralığı 4 metre, ofset mesafesi 8 metre ve toplam uzunluk 60 metre seçilmiştir. Serim-1 için ilk tabakayı oluşturan birimin P dalgası hızı 365 m/sn, S dalgası hızı 77 m/sn olarak tespit edilmiştir. İkinci tabakanın P dalga hızı 525 m/sn, S dalga hızı 135 m/sn, üçüncü tabakanın P dalga hızı 1745 m/sn, S dalga hızı 382 m/sn olarak tespit edilmiştir. Serim-2 için ilk tabakayı oluşturan birimin P dalgası hızı 365 m/sn, S dalgası hızı 107 m/sn olarak tespit edilmiştir. İkinci tabakanın P dalga hızı 805 m/sn, S dalga hızı 196 m/sn olarak tespit edilmiştir. Üçüncü tabakanın P dalga hızı 1255 m/sn, S dalga hızı 408 m/sn olarak tespit edilmiştir. İnceleme alanında yapılan 2 adet serim hattına ait elde edilen sonuç eğrileri Şekil 8'de P ve S dalga hızları ile derinlikleri ise Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 8: Jeofizik yöntemler ile elde edilen zemin tabakalarını gösteren eğriler

Tablo 4: P ve S Dalgası hızları ve derinlikleri

Serim No	Tabaka No	P Dalgası Hızı (m/sn)	S Dalgası Hızı (m/sn)	Kalınlık (m)		Derinlik (m)	
				Düz	Ters	Düz	Ters
Serim-1	1	365 m/sn	77 m/sn	1.55	3.31	-	-
	2	525 m/sn	135 m/sn	10.10	2.11	1.55	3.31
	3	1745 m/sn	382 m/sn	-	-	11.65	5.42
Serim-2	1	365 m/sn	107 m/sn	1.62	1.85	-	-
	2	805 m/sn	196 m/sn	4.46	1.43	1.62	1.85
	3	1255 m/sn	408 m/sn	-	-	6.08	3.28

2.4.3. Elastisite (Young) Modülü

Bir doğrultudaki gerilmelerin, deformasyonlara oranı olarak tanımlanan elastisite modülü, jeofizik yöntemle elde edilen zeminin mekanik özelliklerini belirlemesindeki en önemli parametrelerden biri olmaktadır. Keçeli (1990), yaptığı çalışmalarda elastisite modülüne göre zeminleri sınıflandırmıştır (Tablo 5). Elastisite modülü bağıntı 1 ve 2 yardımıyla farklı zemin tabakaları için hesaplanabilmektedir. Buna göre çalışmada yapılan 2 Serim için elastisite modülleri hesaplanarak zemin dayanım sınıfları elde edilmiştir (Tablo 6).

Tablo 5: Elastisite modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanım (Keçeli 1990)

Elastisite Modülü (E, kg/cm ²)	Dayanım
<1000	Çok zayıf
1000-5000	Zayıf
5000-10000	Orta
10000-30000	Sağlam
>30000	Çok Sağlam

$$E = 2\mu(1 + \mu)kg/cm^2 \quad (1)$$

$$E = \frac{G(3V_p^2 - V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2} cm^2 \quad (2)$$

E = Elastisite Modülü (kg/cm²)

G = Kayma Modülü (kg/cm²)

μ = Poisson Oranı

V_p = Boyuna Dalga Hızı (m/sn)

V_s = Kayma veya Kesme Dalgası Hızı (m/sn)

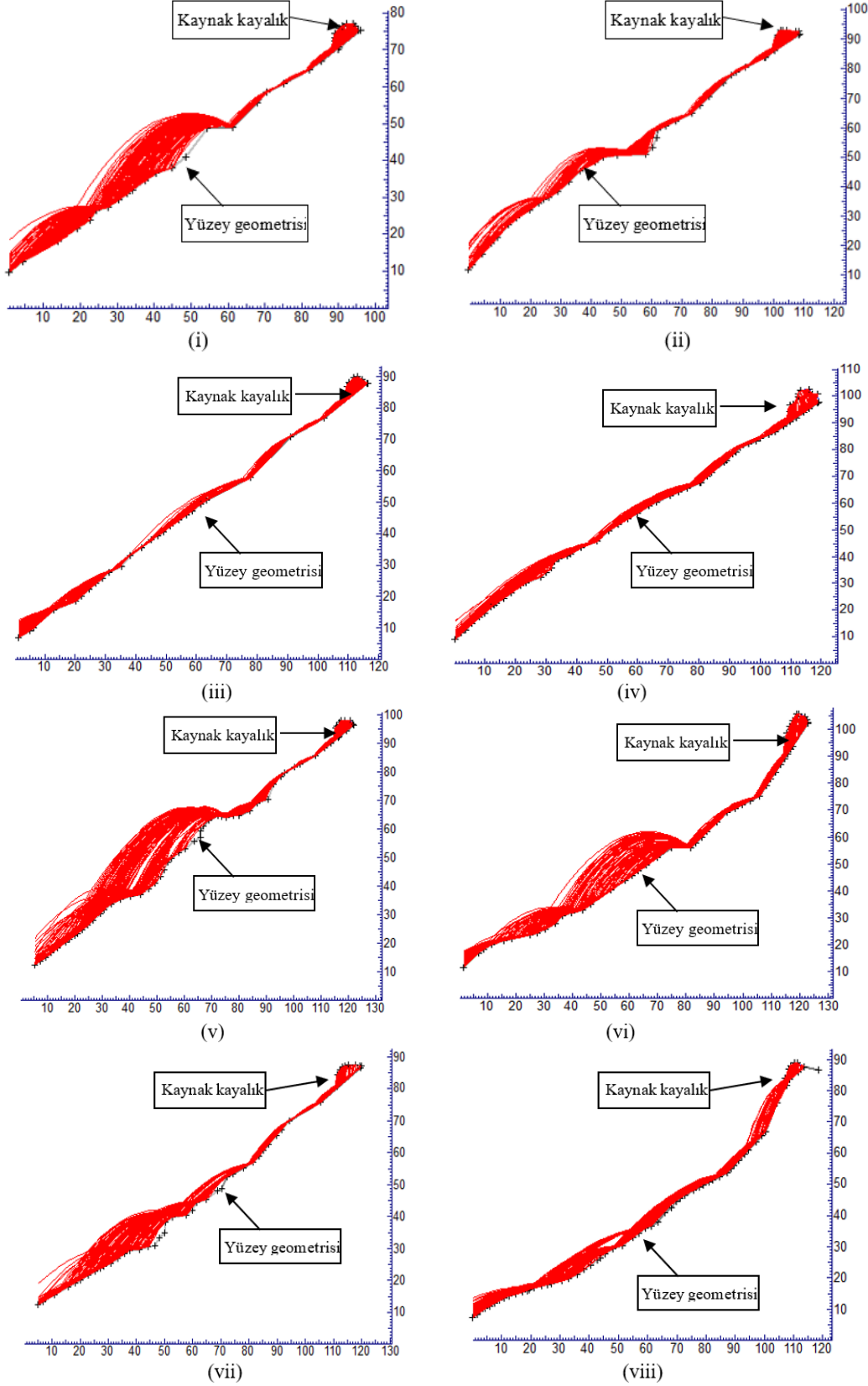
Tablo 6: Serim-1 ve Serim-2'ye ait Elastisite Modülü değerleri ve zemin dayanım sınıfları

Serim No	Tabakalar	Elastisite Modülü (E, kg/cm ²)	Dayanım
Serim-1	1. Tabaka	237kg/cm ²	Çok Zayıf
	2. Tabaka	791kg/cm ²	Çok Zayıf
	3. Tabaka	8611kg/cm ²	Orta
Serim-2	1. Tabaka	450kg/cm ²	Çok Zayıf
	2. Tabaka	1860kg/cm ²	Zayıf
	3. Tabaka	8838kg/cm ²	Orta

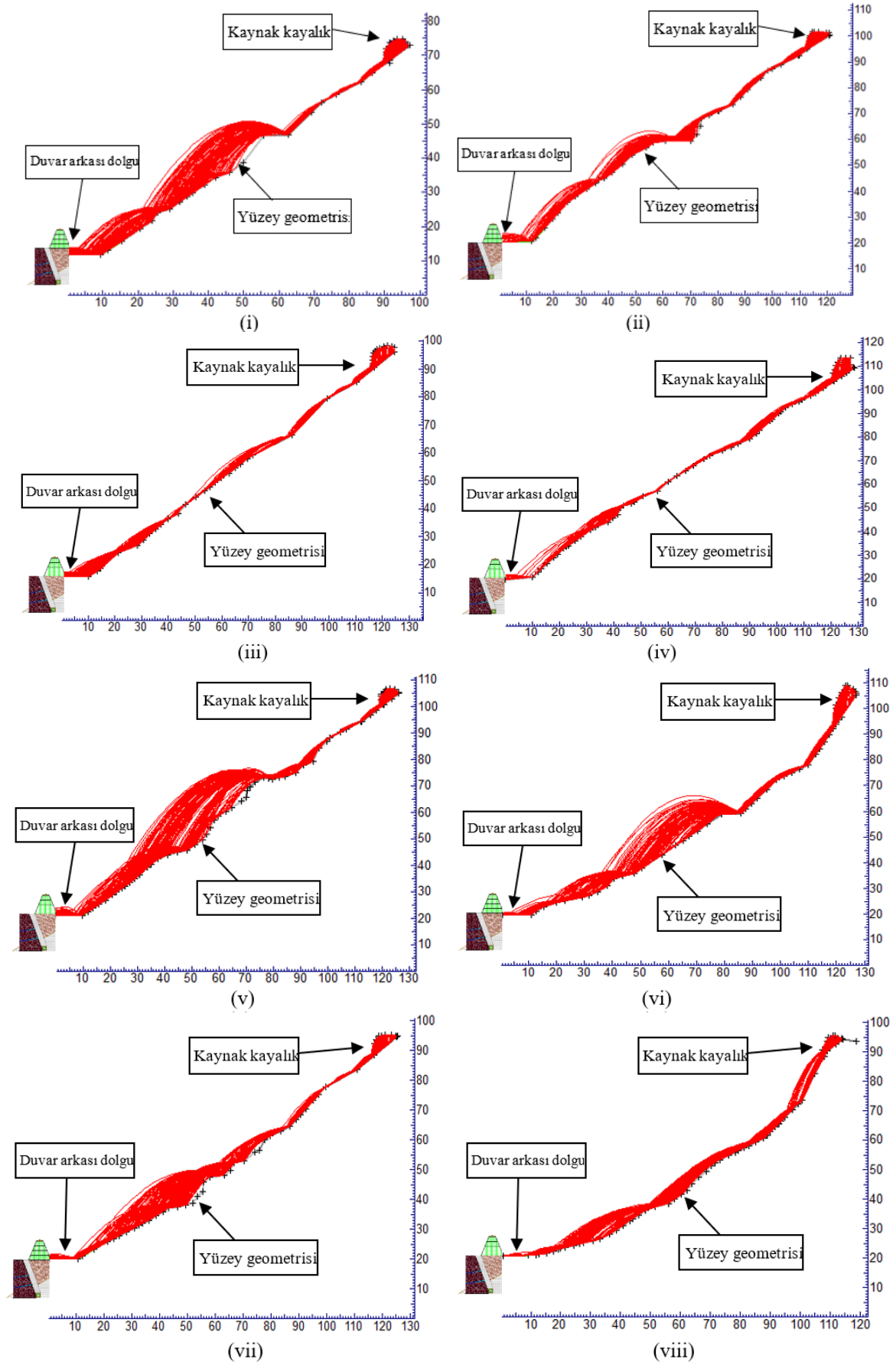
2.5. Kaya Düşme Analizleri

Kayanın düşme sırasında yapacağı hareket ile ilgili analizler bilgisayar destekli analiz programları kullanılarak yapılmıştır. Buna göre düşmesi muhtemel kaya boyutunun belirlenmesi için arazide daha önce düşmüş veya düşmesi muhtemel kayalarda gözlemsel incelemeler yapılmıştır. Gözlemler ve tespit edilen süreksizlikler neticesinde en büyük boyuttaki kayanın yaklaşık 5 ton ağırlıkta olduğu tespit edilmiştir. Kaya düşme analizlerinde Rocfall (2013) programı kullanılarak 40 farklı güzergâh için 150 olasılıklı düşme senaryoları analiz edilmiştir. Kesitlerin zemin özellikleri güvende kalacak şekilde kritik değerlerde seçilmiştir. Buna göre genel olarak bitki ve molozdan oluşan zemin ve bazı bölgelerde de kaya zeminine göre senaryo hazırlanmıştır (Rocscience Inc. 2013). Kaya düşme analizlerinde normal sürtünme katsayısı (Rn) 0,3-0,35 teğetsel sürtünme katsayısı (Rt) 0,80-0,85 ve kaya bloklarına ilk hız değeri 1 m/sn. olarak girilmiştir. Elde edilen sonuçlarda en kritik sonuçları veren 8 tanesi seçilmiştir. Buna göre, ilk önce arazi doğal halinden alınmış 8 en kesit üzerine, her bir kesit için 150 olasılıklı düşme senaryosu oluşturularak toplamda 1200 farklı kaya düşme analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ve muhtemel sıçrama yüksekliklerinin detayları güzergâh boyunca Şekil 9'da verilmiştir. Ayrıca koruma yapısı düşünülen bölgedeki sıçrama yüksekliği, hız ve toplam kinetik enerji değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Daha sonra aynı kesitlere çalışma kapsamında geliştirilmiş olan çözüme uygun olarak taş istinat duvarı ve arkasında dolgu ile oluşturulan platform tanımlanarak aynı analizler tekrar edilmiştir. Bu analizlere ait güzergâh boyunca sıçrama yüksekliklerinin simülasyonu Şekil 10'da verilmiştir.

Şekil 10'de sıçrama yüksekliklerin grafikleri üzerine ölçekli olarak geliştirilen istinat duvarı üzerine toprakarme kaya tutucu duvar işlenmiştir. Buradan da görüldüğü gibi yapılan analizlerde herhangi bir kaya koruma yapısını aşamamıştır. Analizlerden elde edilen hız, toplam sıçrama yüksekliği değerleri ve toplam kinetik enerji değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Sonraki bölümde, geliştirilen çözümün sıçrama yüksekliğine, hıza ve toplam kinetik enerjiye etkileri karşılaştırılmıştır.



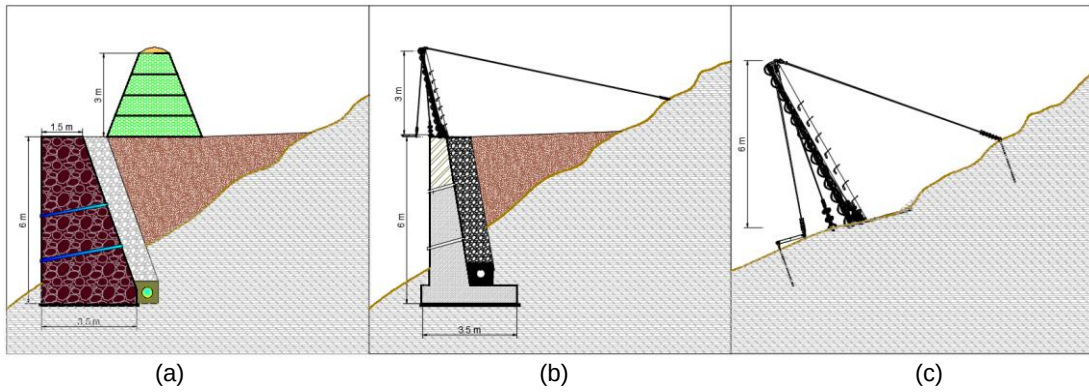
Şekil 9: Arazinin doğal halinden alınmış kritik güzergâhlara kaya düşme analizlerinde kayaların muhtemel hareketleri



Şekil 10: İstinat duvarı ve dolgu yapıldıktan sonra kritik güzergâhlarda kayaların muhtemel hareketleri

2.6. Maliyet Analizleri

Çalışma kapsamında geliştirilen çözüm 6 m yüksekliğinde taş duvar arkası dolgu ve üzerinde yapılan 3 m yüksekliğinde toprakarme duvar olarak belirlenmiştir. Bu duvarın enerji sönümleme kapasitesi yaklaşık 7500 kJ'dür. Bu projeye alternatif olarak iki farklı projenin daha maliyeti hesaplanacaktır. Projelerden birincisi 6 m yüksekliğinde betonarme duvar arkasına dolgu ve üzerine yapılacak 3 metre yüksekliğinde 2000 kJ enerji kapasiteli çelik bariyer olarak planlanmıştır. Çelik bariyerin ankrajları daha sağlam olması için betonarme duvara soketlenmiştir. Betonarme duvarın boyutları ankraj yükleri de eklenerek hesaplanmıştır. İkinci alternatif proje yalın halde yapılmış 6 m yüksekliğinde 5000 kJ kapasiteli çelik bariyerdir. Üç imalat için Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) ve Çevre Şehircilik Bakanlığının (ÇŞB) oluşturduğu pozlar ve fiyatlar kullanılmıştır. Pozu bulunmayan çelik bariyer gibi bazı özel imalatlar için üretici firmalardan fiyat teklifi alınarak yaklaşık maliyet oluşturulmuştur. Nakliyeler fiyatlara eklenerek, kum, duvar taşları, çimento ve donatı gibi malzemelerin 15 km mesafeden nakledildiği kabul edilmiştir. Fiyatların karşılaştırılması için her bir imalatın 20 metre yapılmasının detayları verilmiştir. Verilen imalat maliyetleri içerisinde taş duvar üzerine toprakarme duvar imalatı Trabzon İl Afet Acil Durum Müdürlüğü tarafından 2019 yılında ihaleye çıkartılmış ve uygulaması bitirilmiştir. Kuruma ait yaklaşık maliyet detayları gizlenebilmesi için imalat detaylarında çeşitli değişikliklere gidilmiş orijinal verilere paralel değerlere sahip yeni veriler çıkartılmıştır.



Şekil 11: Üç alternatif kaya ıslahı önlem yapıları (a) taş istinat duvar üzerine toprakarme, (b) betonarme istinat duvar üzerine çelik bariyer ve (c) çelik bariyer detayları

3. Bulgular

Çalışmada toprakarme duvarın, istinat yapısı üzerine yapılması hem maliyet hem de fayda açısından incelenmiştir. İncelemenin yapılabilmesi için örnek bir kaya düşme afeti yaşanan alan için yapılan proje üzerinden gidilmiştir. Bulgular kısmında bilgisayar destekli istatistik analizleri ve maliyet hesaplarının yapımı ile elde edilen veriler verilerek değerlendirmeler yapılacaktır.

3.1 Analiz verileri

Düşme ihtimali bulunan kayaların etkiledikleri alanda düşme yönünde 8 adet arazi kesiti çıkartılmıştır. Her bir kesit bilgisayar destekli istatistik programı kullanılarak kaya düşmesi senaryoları incelenmiştir. Kayaların düşme sırasında kazandıkları yükseklik, kinetik enerji ve hız ile ilgili bilgiler araştırılmıştır. Bu bilgiler kesit boyunca elde edilmiştir ancak imalatın yapılacağı Şekil 5'de görülen uygulama alanında elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Tablo 7'de Uygulama alanında oluşan en kritik sıçrama yükseklikleri, kinetik enerjileri ve hızlara sahip 8 kesitin değerleri verilmiştir. Tablo 8'de uygulama alanına istinat duvarı ve dolgu yapılarak düz alan elde edildikten sonra aynı kesitlerin değerleri verilmiştir.

Tablo 7: Arazinin doğal halindeki kaya düşme analizleri sonucu

Kesit No:	i.	ii	iii	iv	v	vi	vii	viii	Ort.
Ortalama Eğim (Derece)	34°	35°	37°	36°	35°	36°	34°	34°	35.12°
Km + m	0+15	0+30	0+45	0+60	0+75	0+90	0+105	0+120	-
Sıçrama Yüksekliği (m)	8.25	9.05	5.75	6.89	8.15	5.25	6.38	6.20	6.99
Toplam Kinetik Enerji (kJ)	1600	1850	1780	3100	2195	1280	1485	1900	1898.75
Hız (m/sn)	22.75	25.20	22.15	31.52	28.15	20.15	21.85	25.68	24.68

Tablo 8: Duvar arkası oluşturulan düz platform sonrası kaya düşme analizleri sonucu

Kesit No:	i.	ii	iii	iv	v	vi	vii	viii	Ort.
Ortalama Eğim (Derece)	34°	35°	37°	36°	35°	36°	34°	34°	35.12°
Km + m	0+15	0+30	0+45	0+60	0+75	0+90	0+105	0+120	-
Sıçrama Yüksekliği (m)	1.41	1.53	1.30	1.55	1.09	0.83	1.18	0.65	1.19
Toplam Kinetik Enerji (kJ)	600	400	715	1015	815	595	750	885	721.75
Hız (m/sn)	13.10	12.50	14.50	18.25	14.88	11.37	13.20	15.25	14.13

Tablo 1 ve 2 incelendiğinde, uygulama alanına istinat yapısı ve dolgu yapılması durumunda oluşan ortalama değerlerden, sıçrama yüksekliğinin %83, kinetik enerjinin %62 ve hızın %42 oranında azaldığı görülmüştür. Uygulama alanına istinat yapısı ve dolgu yapılması durumunda oluşan en yüksek değerler incelendiğinde sıçrama yüksekliğinin %82, kinetik enerjinin %67 ve hızın %42 oranında azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlarında gösterdiği gibi taş duvar yapılması güvenlik açısından oldukça büyük faydalar sağlamaktadır. Betonarme duvarlar ve kısmen taş duvarlar rijit yapılardır. Çarpma sırasında oluşacak etki ile statik dengeleri bozulabilir veya ağır deformasyonlara maruz kalabilmektedir. Bu nedenle arkalarına yapılacak dolgu bu etkilerden duvarları korumaktadır. Ayrıca dolgu malzemesinin iyi seçilmesi durumunda düşen kayaların saplanarak enerjisinin sönmülmesini de sağlayacaktır. Bu çalışmada dolgu malzeme tipi incelenmemiştir. Ancak gelecek çalışmalarda bu tarz bir inceleme yapılması oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir.

3.2 Fayda Maliyet Hakkında Bulgular

Aşağıdaki tablolarda 3 farklı imalat tipi için hazırlanan yaklaşık maliyetler bulunmaktadır. Tablo 9'da uygulaması tamamlanmış olan taş duvar üzere toprakarme duvarın 20 metre yapılmasının maliyeti verilmiştir. Taş duvar arkasında dolgu, drenaj yapıları ve toprakarme duvar arkası şev düzenleme gibi detaylar da fiyata eklenmiştir.

Tablo 9: 6 m taş duvar arkası dolgu ve üzerine 3 m yüksekliğinde toprakarme duvar maliyeti

nu	Poz no	Poz açıklaması	Birim	Miktar	B.Fiyat	Fiyat ₺
1	24.061	Ø 100 mm PVC barbakan	m	58.50	22.46	1,313.91
2		N.YF.08 PVC boru nakli	Ton	0.01	49.24	0.49
3	Gabion/TRB-01	3 m Toprakarme yapılması	m	20.00	1,499.70	29,994.00
4	Y.15.006/1A	Yumuşak ve sert küskülük kazılması	m³	197.00	6.29	1,239.13
5		N.YF.32 kamyonla kazı malzemesi nakli	Ton	394.00	13.77	5,425.38
6	Y.15.140/04	Çakıl ile dolgu	m³	123.00	19.18	2,359.14
7		N.YF.03 Kum-Çakıl nakli	m³	123.00	14.14	1,739.22
8	Y.15.140/08	32mm'ye kadar kırmataş temin etme, sıkıştırma	m³	10.60	51.68	547.81
9		N.YF.27 Stabilize ve Kırmataş nakli	m³	10.60	14.14	149.88
10	Y.16.050/11	Grebeton	m³	7.27	187.30	1,361.67
11	Y.17.002/A	Çaplanmamış Duvar yapılması	m³	264.00	151.35	39,956.40
12		N.YF.01 Çimento nakli	Ton	17.94	17.10	306.77
13		N.YF.03 Kum-Çakıl nakli	m³	89.79	14.14	1,269.63
14		N.YF.06 Taş nakli	m³	264.00	15.82	4,176.48
15	Y.17.031/A	Çaplanmış Duvar Yapılması	m³	36.00	224.81	8,093.16
16		N.YF.01 Çimento nakli	Ton	2.45	17.10	41.90
17		N.YF.03 Kum-Çakıl nakli	m³	12.25	14.14	173.22
18		N.YF.06 Taş nakli	m³	36.00	15.82	569.52
19	Y.18.460/24	Drenflex boru	m	20.00	15.86	317.20
20	Y.27.101/01	Ön Yüze Oluk yapımı	m²	100.00	14.90	1,490.00
21		N.YF.01 Çimento nakli	Ton	0.50	17.10	8.55
22		N.YF.03 Kum-Çakıl nakli	m³	1.00	14.14	14.14
20 m Taş duvar üstü Toprakarme kesitin KDV hariç Toplam Maliyeti					₺100,547.60	

Betonarme üzeri çelik bariyer yapılması ile ilgili yaklaşık maliyet bilgisi Tablo 10'da verilmiştir. Bazı pozların naklieleri poz fiyatı içerisinde verilmiştir. Çelik bariyer duvara ankraj olacak şekilde planlanmıştır. Çelik bariyer ile ilgili 3 farklı firmadan fiyat teklifi alınmış ve ortalama ücreti yaklaşık maliyete özel poz olarak eklenmiştir.

Tablo 10: Betonarme duvar üzeri çelik bariyer yaklaşık maliyeti

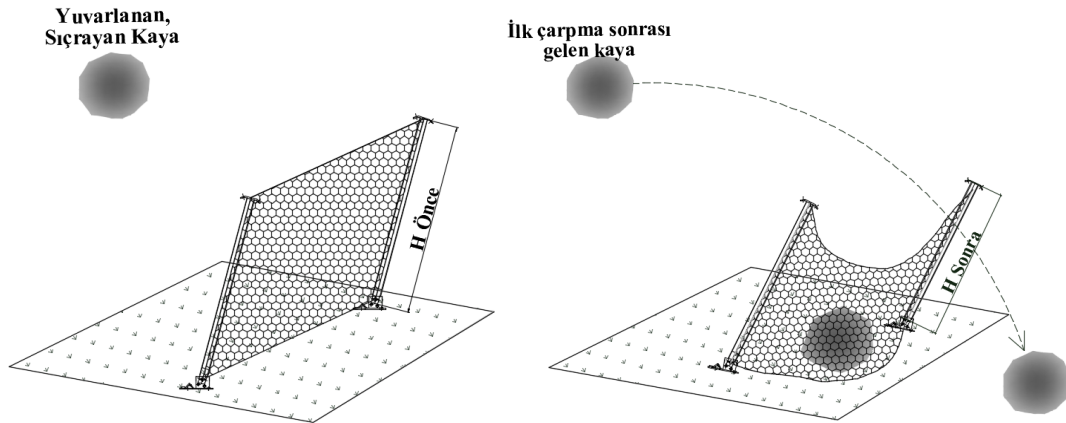
nu	Poz no	Poz açıklaması	Birim	Miktar	B.Fiyat	Fiyat ₺
1	24.061	Ø 100 mm PVC barbakan	m	12.00	22.46	269.52
2		N.YF.08 PVC boru nakli	Ton	0.01	49.24	0.49
3	Y.15.006/1A	Yumuşak ve sert küskülük kazılması	m ³	197.00	6.29	1,239.13
4	N.YF.32 Şantiye sınırları dışına kamyonla kazı malzemesi nakli		Ton	394.00	13.77	5,425.38
5	Y.15.140/04	Çakıl ile dolgu	m ³	123.00	19.18	2,359.14
6		N.YF.03 Kum-Çakıl nakli	m ³	123.00	14.14	1,739.22
7	Y.15.140/08	32mm'ye kadar kırmataş temin etme, sıkıştırma	m ³	10.60	51.68	547.81
8		N.YF.27 Stabilize ve Kırmataş nakli	m ³	10.60	14.14	149.88
9	Y.16.050/11	Grebeton	m ³	7.27	187.30	1,361.67
10	Y.21.051/C11	Yapı İskelesi	m ²	360.00	12.90	4,644.00
11	Y.21.001/03	Betonarme Kalıp Yapılması	m ²	244.00	57.48	14,025.12
12	Y.16.050/15	C 25/30 beton Temini nakliyesi dökülmesi	m ³	128.70	220.11	28,328.16
13	Y.18.460/24	Drenflex boru	m	20.00	15.86	317.20
14	Y.23.015	Donatı Ø 14- Ø 28 nervürlü	Ton	13.84	3,965.28	54,879.48
15	Bariyer 3m/2000kJ	3 metre yüksekliğinde 2000 kJ Çelik Bariyer	m	20.00	7,071.41	141,428.20
20 m Betonarme duvar üstü Çelik Bariyer kesitin KDV hariç Toplam Maliyeti					₺256,714.40	

Maliyet karşılaştırması için hazırlanan son yaklaşık maliyet sadece çelik bariyer kullanılması ile ilgilidir. Çelik bariyerler özel taleplere karşılık 12 m'ye kadar yapılabilmektedir. Ancak bu çalışmada sadece piyasada kullanılan ve firmaların birçoğunun ürettiği 6 m yüksekliğe sahip 5000 kJ bariyerin fiyatı verilmiştir. Tablo 11'de yaklaşık maliyeti verilen proje için yeterli olmayan bu imalat sadece karşılaştırma amaçlı eklenmiştir.

Tablo 11: Çelik bariyer yapılması maliyeti

nu	Poz no	Poz açıklaması	Birim	Miktar	B.Fiyat	Fiyat ₺
1	Bariyer 6m/5000kJ	6 metre yüksekliğinde 5000 kJ Çelik Bariyer	m	20.00	19,756.08	395,121.60
6 m yüksekliğinde 5000 kJ enerji kapasitesine sahip Çelik Bariyerin KDV hariç Maliyeti					₺395,121.60	

Tablolar incelendiğinde, taş duvar üzerine toprakarme duvar yapılması, betonarme duvar üzerine çelik bariyer yapılmasından %60.8 oranında daha az maliyetlidir. Ayrıca sadece çelik bariyer yapılmasından %74.5 oranında daha az maliyetli olduğu görülmektedir. Maliyetinin az olmasının yanı sıra, toprakarme duvarların en az 7500 kJ enerji kapasitelerinin bulunması diğer alternatiflerinden enerji sönümleme kapasitesi olarak daha avantajlı yani daha güvenilir olduğunu göstermektedir. Toprakarme duvarlar aynı anda birden çok taş çarpması durumunda da sabit enerji kapasitelerini korumaya devam edebilmektedirler. Taş duvar ve betonarme duvarın arkasına yapılacak dolgu ayrıca gelen kaya için enerji kırılması etkisi yapacak bir alan oluşturduğundan her iki türde yapılacak ıslah projesi de sadece çelik bariyer yapılmasından daha üstün güvenlik sağlamaktadır. Toprakarme duvarlar, kaya çarpması sonrasında çok az deformasyona uğramaktadır. Buna karşılık çelik bariyerlerde kapasitelerinin altında çarpan kayalarda bile Şekil 12'de görüldüğü gibi deformasyonlar oluşmakta ve tasarım boyunu kısaltmaktadır. Bu nedenle peş peşe gelen kayalarda, kayaların sıçrama yüksekliği nedeniyle bariyer üzerinden aşılma ihtimali bulunmaktadır. Toprakarme bariyerlerde enerji kapasitesini aşmadığı müddetçe defalarca kaya çarpması olması hatta kayaların beraber gelmesi durumunda bile boyda azalma olmamaktadır.



Şekil 12: Kaya çarpması sonrasında çelik bariyerlerde boy azalması olmaktadır

Toprakarme duvarlar çelik bariyerlere göre bakım onarım masrafları açısından da daha üstündür. Toprakarme duvarlar genellikle ömürleri boyunca temizleme işlemi dışında bakım onarım ihtiyacı duymazlar. Ancak çelik bariyerlerde belirli bir enerji kapasitesine sahip çarpmalar sonrasında, Şekil 13’de görülen dissipatör denen enerji sönmüleyicilerinin değişmesi gerekmektedir. Dissipatörlerin ithal ve patentli ürün olması nedeniyle yüksek maliyetlere sahip olması çelik bariyerler için oldukça büyük bir dezavantajdır. Dissipatörün değişmemesi durumunda her kaya çarpması sonrasında temizlik yapılmış olsa da bariyerin enerji kapasitesi azalmakta, bir süre sonra tasarım enerji seviyesinin altına inmektedir.



Şekil 13: Kaya çarpması sonrasında değişen enerji sönmüleyicilerin farklı türleri

Bu çalışma kapsamında incelenen ve farklı bir metot ile yapılması için araştırma yapılan imalat Trabzon İli Maçka İlçesi Güney Mahallesi’nde Trabzon İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından ihale edilerek inşa edilmiştir. Bitirilen taş duvar arkasında dolgu ve üzerinde Toprakarme Duvar imalatı ile ilgili fotoğraf aşağıda Şekil 14’de verilmiştir.



Şekil 14: Trabzon Maçka ilçesi güney mahallesinde taş duvar üzerine yapılmış toprakarme duvar imalatı

4. Sonuçlar

Çalışmada uygulanmış bir proje üzerinden, istinat yapısı üzerine yapılmış toprakarme duvar fayda maliyet açısından incelenmiştir. Bulgular kısmında bilgisayar destekli analiz programlarının verileri ile yapının faydası irdelenmiş, daha sonra maliyet karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Toprakarme duvarlar, tasarım özellikleri nedeniyle geniş bir taban alanına ihtiyaç duymaktadır. Eğimli arazilerde tabanın oturabileceği bir alan oluşturmak için taş duvar gibi çeşitli istinat yapıları yapıldığında toprakarme duvarlar güvenli şekilde uygulanabilmektedir. Ancak iyi bir jeolojik etüt ve harita bilgisi olması yapının güvenliği için oldukça önemlidir.
- Kaya düşmesi güzergâhında imalat yapılacak bölgede duvar ve dolgu olmasının, olası bir kaya düşmesinde sıçrama yüksekliğini %83, kinetik enerjiyi %62 ve hızı %42 oranında azalttığı görülmüştür. Bu durum üzerine yapılacak önlem yapısının tasarım özelliklerini dolayısıyla maliyetini azaltacaktır. Ayrıca daha güvenilir önlem projeleri oluşmasını sağlayacaktır. Toprakarme bariyerler taş duvarların arkasına yapılabilen yapılar olmasına rağmen çelik bariyerlerin genellikle betonarme duvarların arkasına yapılması gerekmektedir. Zira ankraj için dolgu alanlarının kullanılması sıkıntılar doğurabileceğinden, betonarmeye ankraj yapılması projenin güvenliğini artırmaktadır.
- Taş duvar üzerine yapılan toprakarme duvarların ilk yapım maliyetleri, aynı boya sahip betonarme üzeri çelik bariyere göre %60.8, sadece çelik bariyer uygulamasından %74.5 oranında daha az maliyetlidir. Ayrıca toprakarme duvarların tasarım enerji kapasitelerinin çelik bariyere göre yaklaşık 3 kat daha fazla olması, boyunun kaya çarpmaları nedeniyle azalmıyor olması ve daha hızlı çarpmalara karşı dayanıklı olması nedeniyle hem fayda hem de maliyet açısından daha avantajlı olduğunu göstermektedir.
- Toprakarme bariyer uygulanırken, yerli ve herkes tarafından temin edilebilir ürünler olması nedeniyle ihale usulü imalatlarda yükleniciler tarafından daha fazla fiyat kısımları yapılabilmektedir. Çelik bariyerler ise genellikle birkaç ülke tarafından üretilen patentli ürünler olması nedeniyle pahalı ithal ürünlerdir. Ayrıca çelik bariyerlerin bakım onarım ihtiyaçları yüksektir. Çelik bariyerler bakım onarım ihtiyacı duyan kaya ıslahı yöntemleri olduklarından da dezavantajlıdır. İmalat yapılan alanların ulaşılması zor alanlar olduğu düşünüldüğünde bakım onarım maliyetlerinin de ekstra külfet oluşturmayacağı imalatların seçilmesi daha avantajlı olacaktır. Son olarak toprakarme bariyerler kısa sürede üzerlerinde yetişen bitki nebatat nedeniyle doğaya daha kolay adapte olmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında bilgi ve veri paylaşımında bulunan Trabzon İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü ve Dynamica Mühendislik yetkililerine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Agliardi F., Crosta G.B., Frattini P., (2009), *Integrating rockfall risk assessment and countermeasure design by 3D modeling techniques*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 9(4), 1059-1073.
- ASTM, (2011), Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions, D3080/D3080M. ASTM International, West Conshohocken, United States.
- Brunet G., Giacchetti G., Bertolo P., Peila D., (2009), *Protection from high energy rock-fall impacts using Terramesh embankment: design and experiences*, Proceedings of the 60th Highway Geology Symposium, Buffalo, New York, ss.107-124.
- Çelik M., Seferoğlu M.T., Seferoğlu A.G., Akpınar M.V., (2016), *Rehabilitation Methods, Challenges, Cost Benefit Analysis of Disaster Area Exposed due to Rockfalls in Trabzon Province*, Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16), 2-4 Mart, Karabük, Türkiye.
- Deer D.U., Miller R.P., (1966), *Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock: Technical Report AFNL-TR-65-116*, Air Force Weapons Laboratory, New Mexico, USA.
- Descouedres F., (1997), *Aspects géomécaniques des instabilités de falaises rocheuses et des chutes de blocs*, Publications De La Société Suisse De Mécanique Des Sols et Des Roches 135, 3-11.
- Hutchinson J.N., (1988), *Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hydrogeology*, 5th International Symposium on Landslides, 1, 3-35, Lausanne, USA.
- Kaya A., Demirbaş C., Dağ S., (2018), *Gündoğan (Ardeşen-Rize) Köyü Yerleşim Alanındaki Yamaç Duraysızlığının Jeoteknik Açısından İncelenmesi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4(2), 221-235.
- Keçeli A., (1990), *Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması*, Jeofizik, 4(2), 83-92.
- Lambert S., Bourrier F., (2013), *Design of Rockfall Protection Embankments: a Review*, Engineering Geology, 154, 77-78.
- Masuya H., Amanuma K., Nishikawa Y., Tsuji T., (2009), *Basic rockfall simulation with consideration of vegetation and application to protection measure*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 9(6), 1835-1843.
- Moistures S.A., (1982), *Method for Classification of Soils for Engineering Purposes (D 2487-69)*, 299 Method for Diamond Core Drilling for Site Investigation.
- Peila D., Oggeri C., Castiglia C., (2007), *Ground reinforced embankments for rockfall protection: design and evaluation of full scale tests*, Landslides Investigations and Mitigation, 4(3), 255-265.

- Peila D., Pelizza S., Sassudelli F., (1998), *Evaluation of behaviour of rockfall restraining nets by full scale tests*, Rock Mech. Rock Eng., 31(1), 1-24.
- Rocscience Inc., (2013), *RocFall 5.0.12*, <https://www.rocscience.com/software/rockfall> [Erişim 10 Şubat 2020].
- Ronco C., Oggeri C. and Peila D., (2009), *Design of reinforced ground embankments used for rockfall protection*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 9(4), 1189-1199.
- Turner A.K., Schuster R.L., (2012), *Rockfall Characterization and Control*, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., USA, 658ss.
- Varnes D.J., (1978), *Slope Movement Types and Processes*, Special Report, In: R.L. Schuster and R.J. Krizek, Eds., Landslides, Analysis and Control, National Academy of Sciences, 176, 11-33.

Açık İşletme Demir Cevherleşmesinin Asit Maden Drenajı Oluşumuna Yönelik Kestirimlerinin Araştırılması (Adana/Saimbeyli)

Ayşe Dokuzlar¹, Nil Yapıcı^{2,*}

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 01330 Adana.

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 01330 Adana.

Özet

Bu çalışma, Adana İli, Saimbeyli İlçesi, Kaburluk Mevkiinde bulunan demir cevherleşmesinin Asit Maden Drenajı (AMD) oluşumuna yönelik kestirimlerin araştırılması hakkında arazi ve laboratuvar çalışmalarını ve Asit Üretim Potansiyeli (AÜP), Nötürleştirme Potansiyeli (NP) ile ilgili statik testleri içermektedir. Bölgedeki demir cevheri oluşumu Üst Devoniyen şeyl kumtaşı-kireçtaşı ardalanmasının tabanında Orta Devoniyen dolomitik kireçtaşları içerisinde bir kapanda yerleşmiştir. Araziden alınan cevher ve yan kayaç örnekleri üzerinde jeokimyasal ve statik testler kapsamında XRF, XRD, toplam S (toplam kükürt), NP (Nötürleştirme potansiyeli), AÜP (Asit Üretim Potansiyeli), Çamur pH, fıçırdama ölçümleri yapılmış, elde edilen verilere göre örneklerin NP, NNP (Net nötralizasyon potansiyeli), AÜP, Nötürleşme potansiyel oranı ($NPO = NP/AÜP$) değerlendirilmiştir. Cevherleşmenin parajenezini hematit, götüt, siderit ve limonit, yan kayaç parajenezini ise dolomit, kalsit ve pirit mineralleri oluşturmaktadır. Yan kayaç örneklerinde % toplam S: 0,21-0,42, NP ($\sum NP$ (kg/ton)): 289,07-478,07, AÜP sülfürik asit eşdeğerleri (kg/ton): 13,13- 26,25 tespit edilmiştir. NPO değerleri, 11,01-31,26 aralığında hesaplanmıştır. Cevherde yapılan analiz sonuçlarına göre: %toplam S: 0,03-0,09, NP ($\sum NP$ (kg/ton)): 8,07-53,16, AÜP sülfürik asit eşdeğerleri (kg/ton):1,56-5,56 tespit edilmiştir. NPO değerleri ise 2,58-16,50 olarak hesaplanmıştır. NPO değerlerine göre yan kayaç ve cevherli örneklerin asit üretim potansiyeli bulunmamaktadır. Ancak, maden sahasının faaliyete geçildiği zamanlarda asit üretim potansiyel ihtimali mevcut olduğundan, kinetik testlerin bölgede maden faaliyeti başladıktan sonra yapılması önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler

Asit Maden Drenajı, Statik Testler, Asit-Baz Hesabı, Saimbeyli/Adana Demir Cevherleşmesi

Investigation of the Operations of Open Pit Iron Mineralization for Acid Mine Drainage (Adana/Saimbeyli)

Abstract

This study includes the field and laboratory studies (statics tests related to the Acid Production Potential [APP], Neutralization Potential [NP]) to investigate the estimation for the formation of Acid Mine Drainage of an iron mineralization located in Kaburluk, Saimbeyli District, Adana Province. An iron ore formation in the studied region is located in a trap in the dolomitic limestones of the middle Devonian at the base of the shale sandstone-limestone sequences of the upper Devonian. X-ray Fluorescence (XRF), X-ray Diffraction (XRD), total sulfur (S), NP, Net Neutralization Potential (NNP), Acid Production Potential (APP), mud pH and squirting tests were carried out on the ore and other rocks samples collected from the study area within in the scope of geochemical and static tests. The NP, Net Neutralization Potential (NNP), APP, Neutralization Potential Ratio ($NPR = NP/APP$) values of the samples were evaluated based on the data obtained. The paragenesis of the mineralization was composed of hematite, gothite siderite and limonite, while constitutes dolomite, calcite and pyrite minerals constitute the host rock. According to the results of the analysis performed on the host rocks, % total S: 0.21-0.42, NP ($\sum NP$ (kg/ton)): 289.07-478.07, APP sulfuric acid equivalents (kg / ton): 13, 13- 26.25 were determined. The NPR values were found to be between 11.01 -31.26. According to the results belonging to the ore samples, the following values were calculated: % total S: 0.03-0.09, NP ($\sum NP$ (kg / ton)): 8.07-53.16, APP sulfuric acid equivalents (kg / ton): 1.56- 5.56. The NPR values of the ore sample varied 2.58 and 16.50. According to the NPR values, there was no acid producing potential of the ore-bearing samples and host rocks. However, it is recommended that kinetics test should be performed after mining activities start in the region as there is a potential to generate acid during conducting mining operations.

Keywords

Acid Mine Drainage, Static Tests, Acid-Base Accounting, Saimbeyli/Adana Iron Mineralization

1. Giriş

‘Asitik Maden Drenaj’ terimi, sülfürlü minerallerin doğada kendiliğinden veya madencilik faaliyetleri sonucunda atmosferik oksijen ve su ile oksitlenmesi sonucu, diğer bir ifadeyle biyo/jeokimyasal reaksiyon işlemleri ile oluşan düşük pH’lı sahaları ifade etmektedir. Bu jeokimyasal döngü oluşum nedenine birçok araştırmacı katkı sağlamıştır.

Adams vd. (1965), piritin oksitlenmesi ile oluşan kimyasal aktivitenin asitsever bakterilerin ortamsal koşullarını oluşturduğunu belirtmişlerdir. Ferguson ve Erickson (1988), AMD oluşum nedenini oksidasyon reaksiyonları, nötralizasyon, maden atık özelliklerinden meydana geldiğini söylemişlerdir. Adam vd. (1996), AMD mekanizmasının maden jeolojisi, hidrojeoloji, bölgesel jeoloji çalışmalarının sonucunda ancak çözülebileceğini ifade etmişlerdir. Paktunç (1998) ise AMD oluşumunu iki faktöre bağlamış, birincil faktörleri; mineral kimyası, kayaç tip ve dokusu, tane boyutu, ikincil faktörleri; atmosferik özellikler, atık depolama yöntemleri olarak sınıflandırmıştır. Miller (1996), Morin ve Hutt (1997), White vd. (1999), Paktunç (1999), Jambor (2000), Weber vd. (2006) statik testlerin hızlı bir yöntem olduğunu ve geliştirilmesi yönünde fikir sunmuşlardır.

Madencilik faaliyetlerinden kaynaklı en ciddi problemlerden olan AMD, toprak ve yüzeysel/yeraltı su kirliliği açısından büyük sorun teşkil etmektedir. Madencilik işletme faaliyetleri ile ortaya çıkmakta ve sonrasında da yıllarca devam etmektedir. Sorunun net bir şekilde çözümü için özellikle IV. Grup madenlerde ‘gelecekte oluşma ihtimali’ tanımlanmasının net bir şekilde yapılması gerekmektedir. Uygun ve etkin çevresel yönetim planlaması ile sahanın Asit Maden Drenajı oluşturma potansiyellerinin önceden tahmin edilmesi, atığın kaynağında azaltılması, kirliliğin oluşmadan önlenmesi açısından ilk ve önemli adımı oluşturmaktadır. Bu yüzden madencilik faaliyetleri yapılırken veya maden işletmeleri tasarlanırken sadece üretim odaklı değil, üretime ek olarak atığı kaynağında azaltma ve çevresel etkileri önleme politikaları geliştirilmelidir.

Son yıllarda olası maden drenajının oluşmasını önlemek amacıyla birçok yöntem geliştirilmekte ve uygulanmakta olup maden sahasının etrafında drenaj kanalları açılması ve kireçtaşı dolgusu uygulamaları (örneğin Rötting vd. 2008; Caraballo vd. 2009; Delibalta vd. 2016), pasif ve aktif arıtma yöntemleri (örneğin Berghorn ve Hunzeker 2001; Marchand vd. 2010; Lottermoser ve Ashley 2011), cevher ve stok alanı tabanında sızma analizleri ile modelleme ve kil, jeomembran vb. kullanarak geçirimsizliğin sağlanması (örneğin Akaryalı vd. 2018; Alemdağ vd. 2020a,b; Gücer vd. 2020) en yaygın kullanılan yöntemleri oluşturmaktadır.

Adana ili ve ilçelerinde metal madenciliği önemli yer tutmaktadır. Özellikle Pb-Zn, Fe, Cr, Al, Mn, Cu, Au, Ag, Ba cevherleşmeleri maden ruhsatlı olup yüksek oranda katma değer oluşturmaktadır. Cevherleşmeler ve faaliyetleri sırasında oluşabilecek tüm çevresel sorunlar Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) tarafından yönetmeliklerle denetlenmekte ve sorun yerinde halledilmektedir. Ruhsatlı maden ocakların denetlenmesi amacı ile ‘Maden Atıkları Yönetmeliği’nde maden atık karakterizasyonu, Sülfür-sülfür (S^{2-}) analizleri, statik ve kinetik testlerin yapılması açıkça belirtilmiştir. Bu çalışma ile Adana ili Saimbeyli ilçesinde bulunan demir cevher oluşumunun karakteristik özelliklerinin ortaya çıkarılması ve asit kaya/maden drenajı oluşup oluşmayacağını kestirimi yapılmıştır.

Feke ve Saimbeyli ilçesi demir cevherleşmeleri literatürde önemli yer tutmakla beraber bölgesel zenginleşmelerin olası asit üretme potansiyellerinin tespiti yapılmamıştır. Önceki çalışmalardan Ünlü vd. (1984) Saimbeyli- Feke bölgesi içerisinde bulunan demir cevherleşmelerinin sedimanter özellikte olduğunu vurgulamış, Baykul (1990) ise Saimbeyli/Aşılık bölgesi demir cevherleşmelerinin şeyl tabakaları içerisinde pirimer olarak çökelmiş piritlerin oksidasyonu sonucu oluştuğunu söylemiştir.

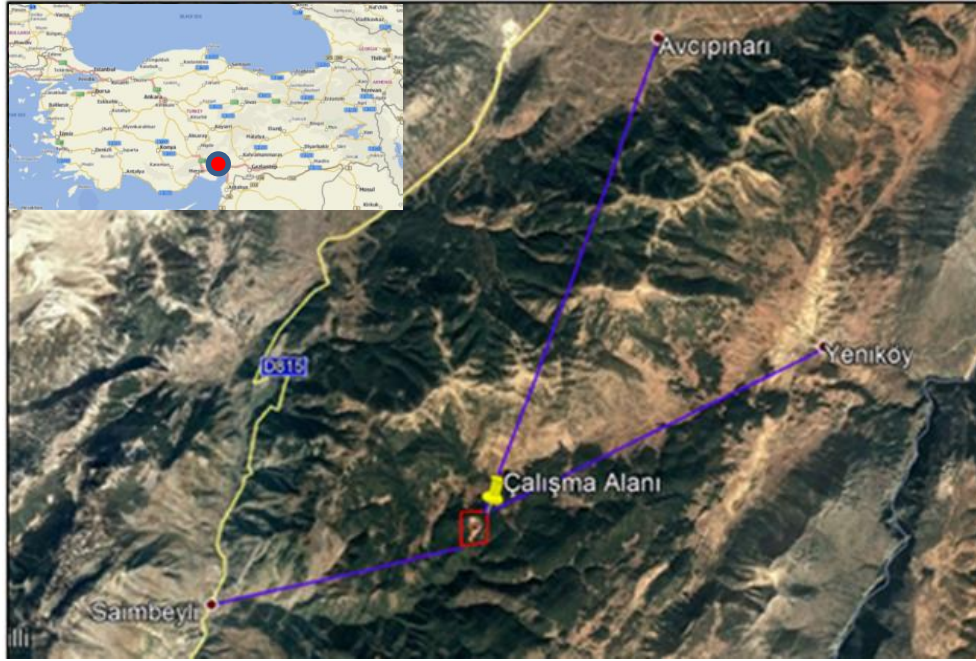
Saimbeyli/Kaburluk mevkiinde bulunan demir oluşumunun oluşturabileceği asit üretme potansiyelinin tespiti daha önce herhangi bir araştırmacı tarafından incelenmemiş olup bu çalışma ile oluşum potansiyeli ortaya konmuştur. Maden işletme faaliyetinde olmadığı ve drenaj suyu bulunmadığı için cevher ve yan kayaç örneklerinin determinasyonları ve yerinde oluşturabileceği asit-baz değerlendirmeleri yapılmıştır.

Çalışma alanı Adana İl merkezine 180 km, Saimbeyli İlçesine 22 km mesafede bulunmaktadır (Şekil 1). Bölge, Akdeniz kuşağı içerisine girmekte ve İç Anadolu’nun karasal iklimi etkisi altında kalmaktadır. Yaz ayları nispeten daha sıcak geçmekte kış aylarında sıcaklık düşmektedir. Uzun yıllar verilerine göre ocak ayı sıcaklık ortalaması -3,9 °C, bölgenin uzun yıllar meteorolojik verilerine göre toplam yıllık yağış ortalaması ise 362,71 mm/kg-m²’dir. Bölgede en az yağış yaz, en fazla yağış bahar ve kış aylarında görülmektedir.

1.1. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı Üst-Orta Devoniyen yaşlı karbonatlar ve kırıntılardan oluşan birimler içerisinde yer almaktadır (Şekil 2). Cevherleşme, Üst Devoniyen yaşlı şeyl kumtaşı-kireçtaşı aralanmasının tabanında, Orta Devoniyen dolomitik kireçtaşları içerisinde gelişmiş olup, hidrotermal-metasomatik olarak yerleşmiştir. Metalce zengin hidrotermal çözeltiler çatlak ve kırıklar boyunca ilerleyerek bölgede çanak şeklinde yarı düzenli cevher geometrisini oluşturmuşlardır. Cevher üst zonda bulunan Üst Devoniyen yaşlı kumtaşı-şeyl ve resifal kireçtaşlarının aşınması ile yüzeyde mostra vermiştir.

Ana birimleri yaşlıdan gence doğru; Orta Devoniyen yaşlı Şafaktepe Formasyonu ve Üst Devoniyen yaşlı Gümüşali Formasyonu oluşturmaktadır (Demirtaşlı 1967). Şafaktepe formasyonu genel olarak kireçtaşından meydana gelmiş olup koyu gri, siyah; kalın tabakalı, masif ve yer yer dolomitik özelliktedir. Gümüşali formasyonu ise kumtaşı, şeyl ve kireçtaşı aralanmalıdır.



Şekil 1: Çalışma alanı ve çevresini gösterir uydu görüntüsü

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında 10 adet cevher numunesi (C1 - C10) mostra veren cevherlerden, 10 adet yan kayaç numunesi (K1-K10) ise yan kayalardan Şekil 2 ve 3'de belirtildiği gibi koordinatlı olarak alınmıştır. Örneklerin stereo ve binoküler mikroskop yardımıyla petrografik tanımlamaları yapılmış, cevher ve yan kayaç mineral parajenezleri ortaya çıkarılmıştır. Ç.Ü. Merkezi Laboratuvarında; X-Işını Kırınım yöntemi (XRD) mineral analiz sonuçları 2θ 5-85° aralığında PANalytical marka XRD kullanılarak elde edilmiştir. Ç.Ü. Maden Mühendisliği laboratuvarında; çamur pH analizleri yapılmıştır. MTA laboratuvarlarında; toplam S değer sonuçları ve Thermo ARL marka XRF cihazı kullanılarak % oksit olarak Ca, Mg, Fe, Si, Zn, K, Al, Mn, V, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ti, Y, Na, Ni, P, Pb, Rb, Zr, Sn, Sr değerleri elde edilmiştir.

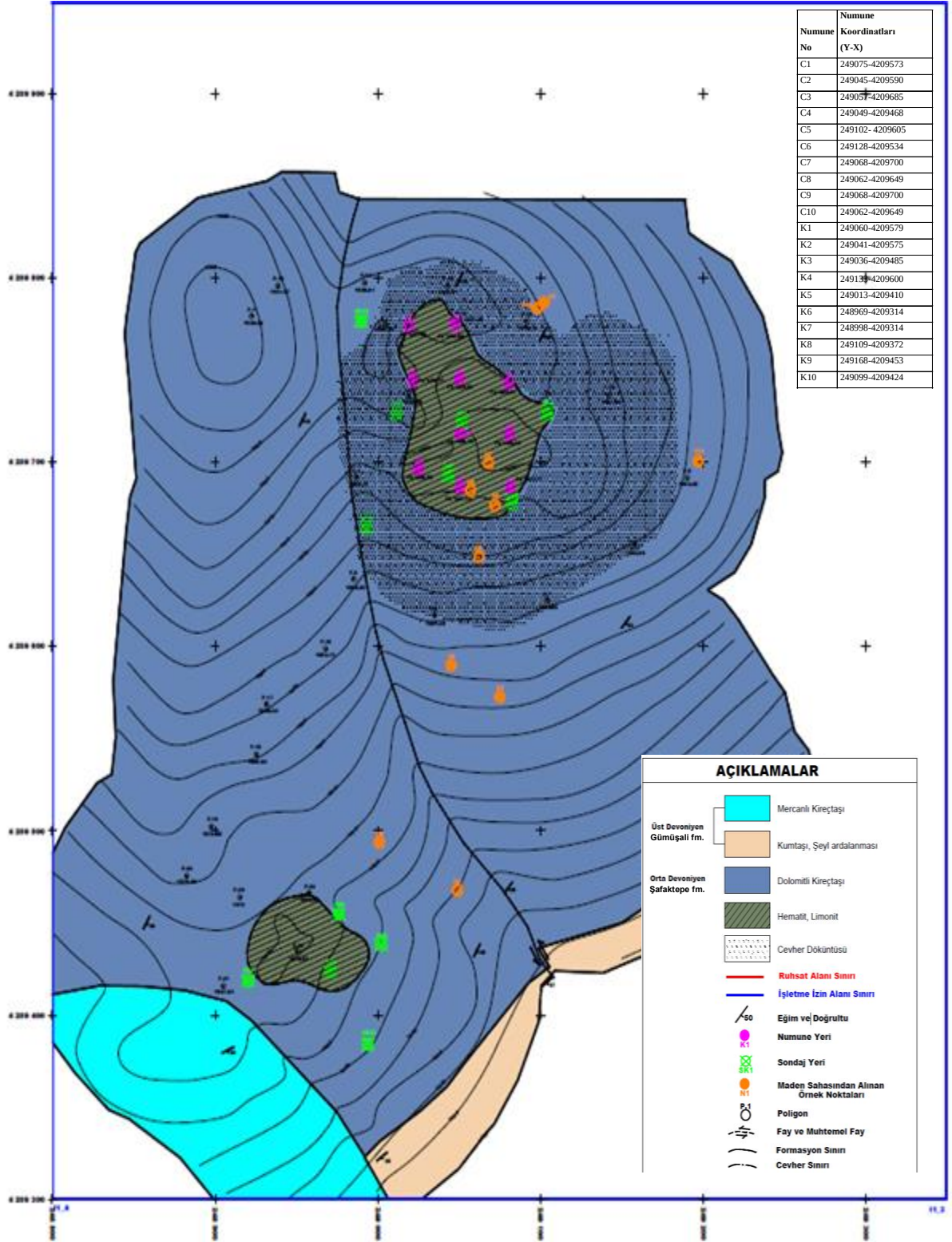
Asit-Baz Muhasebe (ABM) testleri ilk kez [Smith vd. \(1974\)](#) tarafından geliştirilmiş ve sonrasında [Sobek vd. \(1978\)](#) tarafından modifiye edilmiştir. Asit üretme potansiyeli yöntemi, sonrasında birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiş ve/veya kullanılmıştır ([Smith vd. 1974, 1976](#); [Skousen vd. 1987](#); [Lapakko 1992](#); [Hossner ve Brandt 1997](#); [Skousen vd. 2000](#); [Siddharth vd. 2002](#); [Price 2003](#); [Lottermoser 2010](#); [Dold 2014](#)). İlk adımda Asit Üretim Potansiyeli ve Nötürleştirme Potansiyeli hesaplanmıştır. Fışırdama testinde 40 ml asit miktarı ve 0,5 M asit şiddeti uygulanmıştır. Nötürleştirme potansiyeli belirlenecek numune üzerine tatbik edilmiş asit titrasyonu sonucu bulunan değer kg CaCO₃/ton eşdeğeri olarak verilmiştir. Fışırdama testi sonrasında Nötürleştirme potansiyeli değerleri için laboratuvarında bir dizi işlem sonucunda numunelere muamele edilen miktardaki asit şiddetinde NaOH çözeltisi eklenerek pH 7 oluncaya kadar işlem devam ettirilmiş ve aritmetiksel Nötürleştirme potansiyelleri formül yardımı ile hesaplanmıştır.

Çalışma ile sülfürlü minerallerin asit üretme potansiyelleri (AÜP) (sülfür minerallerinin oksidasyonu) ile nötürleştirici noktada yer alan minerallerin (karbonatlar ve silikat minerallerinin çözünürlükleri vb.) asiti nötürleştirme kapasiteleri (NP) arasındaki denge irdelenmesi yapılmış ve yorumlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Yan Kayaç ve Cevherli Örneklerin Jeokimyası

Araziden derlenen örneklerde gerçekleştirilen mineralojik ve kimyasal analizlere ve kalsit-dolomit mineral determinasyonuna göre yan kayalar, kalkerli dolomit olarak isimlendirilmiştir. Yan kayalarda gerçekleştirilen ana oksit kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiş olup XRF sonuçlarına göre K, V, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ti, Y, Na, Ni, P, Pb, Rb, Zr, Sn, Sr, Mo, F değerleri tayin sınırı altında olması sebebi ile tabloda gösterilmemiştir.



Şekil 2: Cevherleşmeye ait jeoloji haritası (Baykul 1990'dan değiştirilerek)



Şekil 3: Yan kayaç - cevher dokanağının ve demir cevherleşmesinin görünümü

Tablo 1: Yan kayaçların XRF analiz sonuçları

Element (% ağı.)	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
CaO	35,2	30,6	51,8	39,3	35,7	36,02	33,7	36,8	33,7	35,2
MgO	15,8	3,0	2,98	10,0	14,2	16,3	14,5	15,4	16,7	13,5
Al ₂ O ₃	0,20	2,1	1,4	0,2	0,8	0,5	1,8	3,2	0,4	2,3
SiO ₂	0,3	5,0	0,3	0,8	3,2	0,5	4,1	4,7	0,2	2,8
MnO	0,1	0,1	0,74	0,1	0,1	0,1	0,1	0,74	0,1	0,74
Fe ₂ O ₃	1,6	26,8	6,04	1,6	2,3	1,6	2,1	2,01	1,6	6,04
SO ₃	<0,01	0,05	<0,01	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
*A.K.	46,5	31,25	36,08	39,81	41,03	44,9	40,8	31,8	46,9	38,06

*A.K.: Ateşte kayıp

Yan kayaç örneklerinin ana oksit içerikleri değerlendirildiğinde CaO: %30,6-51,8, MgO: %3-16,3, Fe₂O₃: %0,1-0,74 değerler sunmaktadır. Tablo 1'e göre cevher zonuna çok yakın bir noktadan alınan K2 (Fe₂O₃: %26,8) hariç olmak üzere, diğer yan kayaç örneklerinin esas olarak karbonatlı (CaO= %33,7 – %51,8, n= 9) olduğu ve toplam demir (Fe₂O₃^T) oranlarının cevher zonlarına doğru içeriklerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. (%1,6 – 6,04, n= 9). SiO₂: % 0,2-5 aralığında tespit edilmiştir. %5'lik değer yine cevher zonuna yakın olan K2 örneğinde görülmüştür.

Kayaç numunelerinin kızdırma kayıpları ve mineralojik incelemelere dayanan karbonat içerikleri ve CaCO₃ - CaMg(CO₃)₂ içerikleri esas alınarak (Tablo 1'de görülen ateşte kayıp değerlerinin başlıca karbonat minerallerinden kaynaklandığı varsayılmıştır) toplam karbonat miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Kayaçta toplam karbonat değerleri

Numune No	Kızdırma Kayıpları	X _{CaCO3}	X _{CaMg(CO3)2}	Toplam Karbonat
	(%) (1000°C'de 2 Saat)	(%)	(%)	(%)
K1	46,50	62,76	33	95,80
K2	31,25	54,56	6	60,83
K3	36,08	92,36	6	98,59
K4	39,81	70,07	21	90,98
K5	41,03	63,65	34	93,35
K6	44,90	64,22	32	98,31
K7	40,80	60,09	30	90,41
K8	31,80	65,61	32	97,82
K9	46,90	60,09	35	95,01
K10	38,06	62,76	28	90,99

Yaptırılan kükürt analizi sonucu kayaç içerisinde kükürt değerleri (% S) 0,21-0,42 aralığında tespit edilmiştir. Bu değer karbonatlı kayaç içeriğine göre yüksek bir bulgudur. Örneklerde sülfatık kükürt ve organik kükürt oranı göz ardı edilecek miktarlarda olduğu için bulunan oran piritik kükürt olarak değerlendirilmiştir. Cevherlere ait kimyasal analiz sonuçlarına göre ise; Cevher zonundan alınan 10 adet numunenin oksit değerleri sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Cevherli örneklerin XRF analiz sonuçları

Element	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
% CaO	0,31	1,53	2,30	3,01	1,20	0,79	1,60	1,09	2,51	1,10
% MgO	0,69	1,41	1,73	2,08	1,64	0,67	0,81	0,53	2,10	1,50
% Al ₂ O ₃	11,50	10,18	12,01	13,41	9,21	11,79	9,40	11,41	12,09	11,69
% SiO ₂	20,50	19,20	18,10	22,30	20,10	16,30	15,80	17,30	15,60	17,10
% ZnO	0,04	0,14	0,04	1,40	0,12	0,10	0,15	0,14	1,10	0,70
% MnO	0,10	0,30	0,40	0,02	0,30	0,03	0,45	0,08	0,12	0,10
% Fe ₂ O ₃	54,40	52,50	54,60	47,39	55,25	56,11	58,23	56,01	54,50	57,74
% BaO	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01
% V ₂ O ₅	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
% Bi ₂ O ₃	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
% CdO	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
% Co ₃ O ₄	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
% Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
% CuO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
% F	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
% K ₂ O	1,30	1,40	0,12	1,10	1,70	0,90	1,10	<0,01	<0,01	1,10
% TiO ₂	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40
% Y ₂ O ₃	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
% Na ₂ O	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20
% NiO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
% P ₂ O ₅	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
% PbO	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
% Rb ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
% SO ₃	0,16	0,18	0,01	0,08	0,01	0,12	0,10	0,20	0,18	0,15
% ZrO ₂	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
% SnO ₂	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
% SrO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
A.K.	9,71	12,10	9,01	7,98	9,10	8,52	9,70	11,62	10,11	7,51

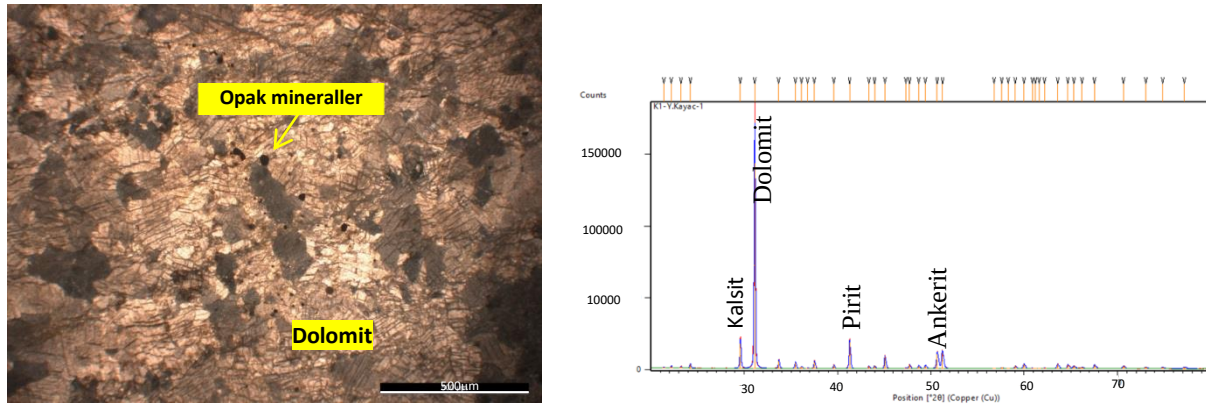
Cevherde, Fe_2O_3 : % 47,39-58,23, CaO : %0,3-3,0, SiO_2 : % 15,6-22,3; Al_2O_3 : %9,2-12,1; SO_3 : %0,01-0,18 olarak tespit edilmiştir. Kükürt analiz sonuçları % S 0,03-0,09 aralığında olup sadece 1 örnek (C2) 0,089 değerini vermiştir. Tablo 4'deki değerlendirme parametreleri içerisinde toplam kükürt değerleri değerlendirilmiş ve <0,05 sınır değer üzerinde C2 örneği tespit edilmiştir (Akaryalı vd. 2018). Ateşte Kayıp değerleri 7,51-12,10 aralığındadır. CaO , MgO değerleri ve alterasyonlara bağlı olarak bu değerler normal sınırlardadır.

Cevherleşmelerde önemli rol oynayan hidrotermal fazlar çoğunlukla hareketli element birlikteliklerinin kayalarındaki değişimlerine neden olmaktadır. Sülfid oluşumları bunlardan biridir. Demirin düşük kalkofillik derecesine göre demir sülfid minerallerinin çözünme yetenekleri oldukça fazladır. Jeokimyasal anlamda demir sülfidler çözünürken Ag, Cu, Hg, Pb, Cd, Mo, Ni, Co, Zn elementlerinin diğer bileşiklerini sülfide dönüştürerek çöktürebilmektedir. Tablo 3'deki değerlere göre bu elementler Fe_2O_3 ile beraber sülfid oluşturabilecek konsantrasyonlarda değildir. Arazi gözlemlerinde de Saimbeyli cevherleşmesinde sülfid zonu tespit edilmemiştir.

3.2. Mineralojik-Petrografik Değerlendirmeler

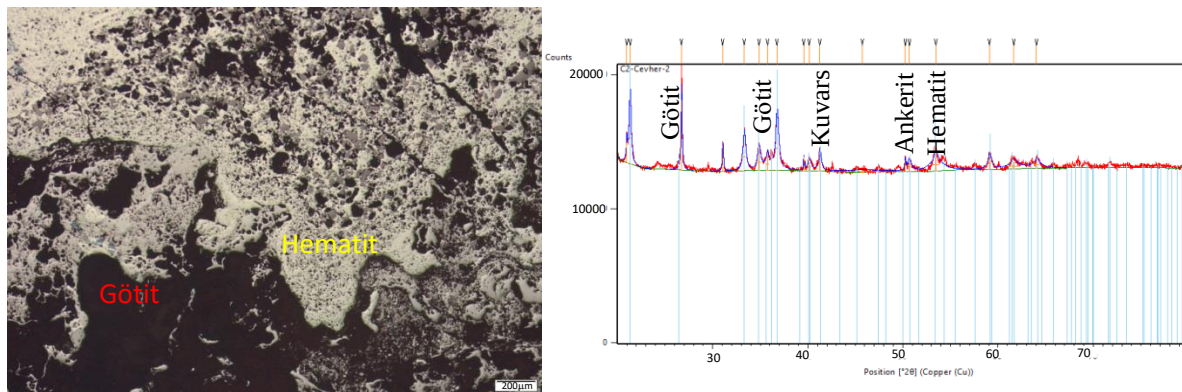
Petrografik incelemelere göre yan kayalarda hakim mineral olarak kalsit (CaCO_3) ve dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) tespit edilmiştir. Opak mineraller fromboidal veya yarı özşekilli olarak gözlemlenmiştir. Kalsit oranı %95-80 arasında dolomit mineralı %5-20 aralığında değişmektedir. Kalsit kristalleri basınç ikizleri ve rengi, dolomit kristalleri belirgin dilinim yüzeyleri ve röliefleri ile tanımlanmıştır.

Çekilen X- Işını Difraksiyon (XRD) mineralojik analiz patern yorumlarına göre pikler kalsit (CaCO_3), dolomit, pirit (FeS_2), ankerit $\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$ dir ve Şekil 4' te kayaya ait mineral analizleri verilmiştir.



Şekil 4: İnce kesitte dolomit, kalsit ve opak mineralleri (pirit) ve XRD patern görünümü

Parlak kesit incelemeleri sonucu ana minaraller hematit (Fe_2O_3), götit ($\text{HFeO}_2 - \text{FeO}(\text{OH})$), ankerit $\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$ olarak tespit edilmiştir. XRD piklerine göre ise mineraller hematit, götit, ankerit, kuvars (SiO_2) dir. Şekil 5' te cevhere ait mineral analizleri verilmiştir.



Şekil 5: Cevher parlak kesit ve XRD patern görünümü

3.3. Macun pH Değerlendirmeleri

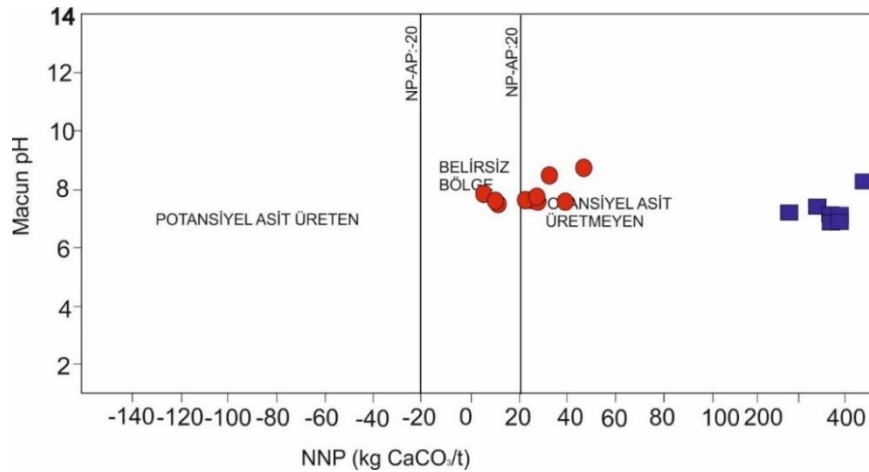
Çamur pH'ı 4'ün altında olan kayalar asit toksik kabul edilmekte ve % 0,5'ten fazla sülfür içeren kayalar kayda değer potansiyel asit üretebilmektedir (örneğin Price vd. 1997; Miller ve Murray 1988). Çözeltinin pH'ı kullanılan saf suyun pH'ından büyük olması gerekmektedir. Deneylerde kullanılan saf su pH'ı 5,6-5,9 değer aralığında ölçülmüştür. Çalışma alanından alınan cevherli toprak örneklerinden yapılan 10 adet örnek için çamur pH değer sonuçları 7,6-8,2 arasında tespit edilmiştir. Bu değerler pH>7 yorumuna göre asit üretme potansiyellerinin düşük olduğuna işaret etmektedir (Tablo 4) (Alemdağ vd. 2020a).

Tablo 4: Statik test değerlendirme tablosu

Referans	NPO	NNP	Macun pH
Price vd. (1997)	<1, asit üretir (yeterli nötrleştirme kapasitesine sahip olmayan) 1-2, potansiyel asit üreticisi 2-4, düşük potansiyel asit üreticisi >4, asit üretmez (yeterli nötrleştirme kapasitesine sahip)		pH<4, Acid pH>7, Neutral
Soregaroli ve Lawrence (1998)	<1, potansiyel asit üreticisi 1-3, belirsiz bölge (asit üretme potansiyeli zayıf) >4, asit üretmez		
Brodie vd. (1991)	<1, asit üretir 1-3 (I<NP/AP<3), belirsiz bölge >3, asit üretmez		
Ferguson ve Morin (1991)		<-20, potansiyel asit üreticisi -20<NNP<20, belirsiz bölge >20, asit üretmez	
Sobek vd. (1978)		<-5, asit üretir	
Day (1989)		<10, asit üretir >10, asit üretmez	

3.4. Asit-Baz Muhasebesi (ABM)

Çalışma alanından alınan karbonatlı kayaç ve demir cevher örneklerinden elde edilen AÜP, NP, Toplam S, Çamur pH değerleri ABM yorumlama tablosunda verilmiştir (Tablo 5). Şekil 6-8 de, Tablo 5'deki değerler kullanarak NNP- Macun pH, (NP/AÜP), Sülfid-NPO grafikleri çizilmiş ve yorumlanmıştır. Macun pH değerleri kullanılarak Net NP (NP/AÜP) yorum tablosuna göre cevher örnekleri 'Belirsiz Bölge ve Potansiyel Asit Üretmeyen Bölge'de çıkarken, yan kayaç örnekleri 'Potansiyel Asit Üretmeyen' bölgede çıkmaktadır (Şekil 6). Macun pH değerlerine göre çizilen yorum tablosunda gözlenen belirsiz olan durumun değişebileceği düşünülerek bölgedeki cevherleşmelerde kinetik testlerin yapılması gereklidir.

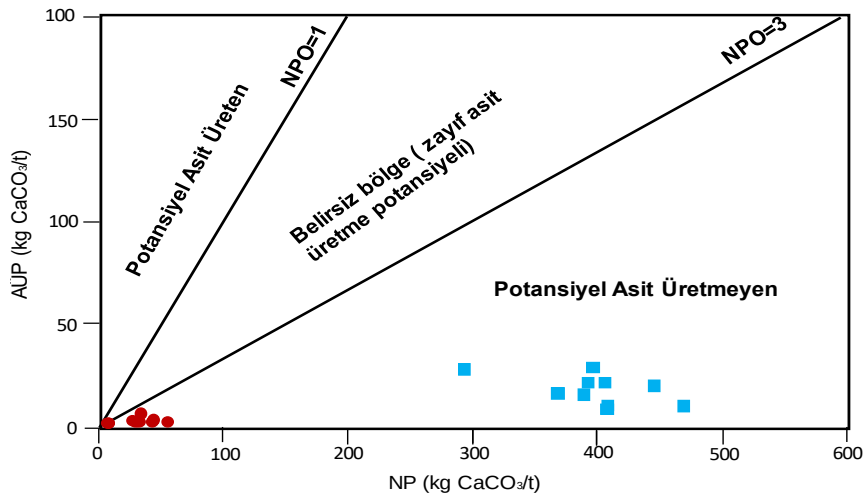


Şekil 6: Örneklerin NNP- Macun pH diyagramı (Ferguson ve Morin 1991: kırmızı daire semboller cevherli örnekleri, mavi kare semboller ise yan kayaçları temsil etmektedir)

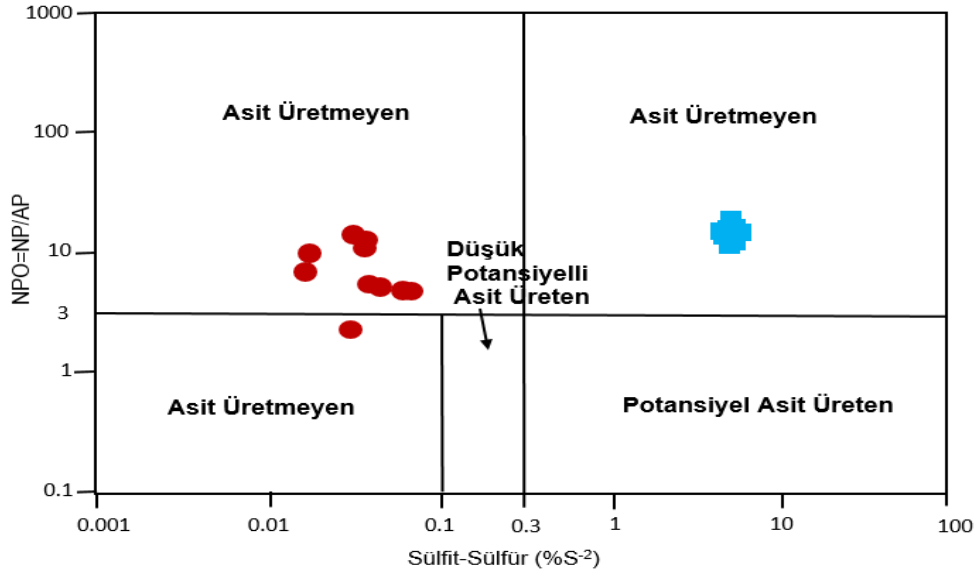
Tablo 5: Örneklerin asit-baz hesabı test sonuçları

Numune No	Fıırdama Hızı (0=Yok, 1=Hafif, 2=Orta, 3=Kuvvetli)	%S	Çamur pH	AÜP kgCaCO ₃ /ton	NP ΣNP(kg/ton) kgCaCO ₃ /ton	Net NP (NP-AÜP) kgCaCO ₃ /ton	NPO (NP/AÜP) kgCaCO ₃ /ton
C1	0	0,05	8,1	3,13	8,07	4,94	2,58
C2	0	0,09	7,9	5,56	28,53	22,97	5,13
C3	0	0,05	8,2	3,31	41,27	37,96	12,47
C4	0	0,06	8,1	3,44	53,16	49,72	15,45
C5	0	0,06	8,1	3,56	25,59	22,03	7,19
C6	0	0,03	8,0	1,56	14,42	12,86	9,24
C7	0	0,08	8,0	5,25	26,53	21,28	5,05
C8	0	0,05	7,9	3,19	18,12	14,93	5,68
C9	0	0,05	8,2	2,81	46,29	43,48	16,50
C10	0	0,03	8,2	1,75	23,63	21,88	13,50
K1	2	0,25	7,6	15,63	403,28	387,65	25,80
K2	2	0,42	7,8	26,25	289,07	262,82	11,01
K3	2	0,25	7,9	15,63	478,07	462,44	30,59
K4	2	0,41	7,8	25,63	407,29	381,66	15,89
K5	2	0,21	7,6	13,13	410,44	397,31	31,26
K6	2	0,40	7,6	25,00	407,87	382,87	16,31
K7	2	0,35	7,7	21,88	381,79	359,91	17,45
K8	2	0,25	7,8	15,63	414,89	399,26	26,54
K9	2	0,42	7,8	26,25	395,35	369,10	15,06
K10	2	0,30	7,9	18,75	389,72	370,97	20,79

Nötrleşme potansiyel oranı (NPO) asit maden oluşumunda tespit edilmesi gereken en önemli parametredir. Maden atık yönetmeliği EK-4 B maddesi “İnert Maden Atıklarının Belirlenmesi” 2. maddesinde geçen “Maden atığının sülfür (S⁻²) miktarı en fazla % 0,1 olmalıdır. Bununla birlikte; maden atığının sülfür (S⁻²) miktarı % 0,1 ile % 1 arasında ise, nötrleştirme potansiyeli (NP) ile asit potansiyeli (AP) arasındaki oran (NP/AP) şeklinde tanımlanan statik teste dayalı olarak belirlenen değerin 3’ten büyük olması gerekmektedir. [Sobek vd. \(1978\)](#), [Brodie vd. \(1991\)](#), [Lapakko \(2002\)](#)’e göre çizilen diyagrama göre tüm örnekler, NPO>3 durumunda olduğu için diyagramın ‘asit üretmeyen’ bölgesine düşmektedir (Şekil 7). Sülfid-Sülfür ve NPO (NP/AÜP) değerlerine göre ise tüm örnekler ‘Asit Üretmeyen’ bölgede yer almıştır (Şekil 8).



Şekil 7: NP-AÜP değerlerine göre ABH yorum grafiği ([Sobek vd. 1978](#); [Brodie vd. 1991](#); [Lapakko 2002](#): kırmızı daire semboller cevherli örnekleri, mavi kare semboller ise yan kayaçları temsil etmektedir).



Şekil 8: Örneklerin Sülfid-Sülfür ve NPO diyagramları (Sobek vd. 1978; Brodie vd. 1991; Price vd. 1997: kırmızı daire semboller cevherli örnekleri, mavi kare semboller ise yan kayaçları temsil etmektedir).

4. Sonuçlar

Çalışma, Adana İli, Saimbeyli İlçesi, Kaburluk Mevkiinde bulunan demir cevherleşmesinin AMD oluşumuna yönelik kestirimlerin araştırılması hakkında arazi ve laboratuvar çalışmalarını içermektedir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Cevherleşme, Üst Devoniyen şeyl kumtaşı-kireçtaşı ardalanmasının tabanında bu formasyonların oluşturdukları bir kapanda dolomitik kireçtaşları içinde hidrotermal- metasomatik olarak yerleşmiş olup, karbonatlı birimler içerisinde mercekssel olarak yataklanmıştır. Yüzeyde oksidasyon zonu ile oldukça belirgin bir görünüm sunmaktadır.
- Örneklerin toplam karbonat miktarı ortalaması %91,2 % toplam kükürt (S) 0,21-0,42 ve AÜP (kg/ton) değerleri 13,13-26,25 aralığında tespit edilmiştir. NP $\sum$ NP(kg/ton) 289,07-478,07 aralığında hesaplanmıştır.
- Kayaç, CaO: %30,6-51,8, MgO:% 3-16,3 içeriğine ve mineral analizlerine göre dolomitli kireçtaşı olarak isimlendirilmiştir.
- Cevherli örneklerin ana parajenezini hematit, götüt, siderit ve limonit oluşturmakta, gang minerali olarak kalsit ve az oranda kuvars gözlenmektedir.
- Cevherde %toplam kükürt (S) 0,03-0,09 ve AÜP (kg/ton) değerleri 1,56-5,56 aralığında tespit edilmiştir. NP $\sum$ NP(kg/ton) 8,07-53,16 aralığında hesaplanmıştır. NPO değerleri kayaçta 11,01-31,26, cevherde 2,58-16,50 arasında bulunmuştur.
- Macun pH ve NNP değerlerine göre cevherli örnekler 'Belirsiz Bölge ve Potansiyel Asit Üretmeyen Bölge'de yer alırken, yan kayaç örnekleri 'Potansiyel Asit Üretmeyen' bölgede yer almıştır.
- NP-AÜP içeriklerine göre tüm örnekler NPO>3 olup, 'asit üretmeyen' bölgeye düşmüştür.
- Örneklerin Sülfid-Sülfür ve NPO değerlerine göre tüm örnekler 'Asit Üretmeyen' bölgede yer almıştır.

İlerleyen yıllar cevherin ve yan kayacın, hammadde alım esnasında ve stoklanma zorunluluğu doğabilecek durumlarda atmosferik sularla açık alanda asit üretme potansiyeli bulunma ihtimali mevcuttur. Bu durumda kinetik testlerin bölgede maden faaliyeti başladıktan sonra yapılması önerilmektedir.

Teşekkür

Bu makale Ayşe DOKUZLAR'a ait Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Kaynaklar

- Adam K., Kourtis A., Gazea B., Kontopoulos, A., (1996), *Comparison of static test techniques for the prediction of acid rock drainage in polymetallic sulphide mines*, Engineering Foundation Conference in the Mining and Mineral Processing Industries, Italy, ss.121-127.
- Akaryalı E., Gücer M.A., Alemdağ S., (2018), *Atık barajı rezervuarı ve cevher stok alanlarında asit maden drenajı (amd) oluşumunun değerlendirilmesi: Gümüşhane Örneği*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4(2), 192-209.

- Alemdağ S., Akayalı E., Gücer M.A., (2020a), *Flotasyon tesis atıklarının asit üretme potansiyeli ve kirliliğin önlenmesi*, Gümüşhane, KD Türkiye, Yerbilimleri, 41(1), 56-85.
- Alemdağ S., Akayalı E., Gücer M.A., (2020b), *Prediction of mine drainage generation potential and the prevention method in the Gümüşköy (Kütahya) mineralization area, NW-Turkey*. Journal of Mountain Science, 17(10), 2387-2404.
- Baykul A., (1990), *Aşılık (Saimbeyli-Adana) Demir yatağının metalojenik incelemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Berghorn G.H., Hunzeker G.R., (2001), *Passive treatment alternatives for remediating abandoned-mine drainage*. Remediation 11, 111-127.
- Brodie M.J., Broughton L. M., Robertson A., (1991), *A conceptual rock classification system for waste management and laboratory method for acid prediction from rock piles*, Second International Conference on the Abatement of Acid Drainage, Vol:3 Montreal, Quebec, September 16-18, MEND Program Ed- Quebec Mining Association, Ottawa, ss. 119-135.
- Caraballo M.A., Rötting T.S., Macías F., Nieto J.M., Ayora C., (2009), *Field Multi-step limestone and mgo passive system to treat acid mine drainage with high metal concentrations*, Applied Geochemistry, 24, 2301-2311.
- Day S.J., (1989), *Comments after presentation of: A practical approach to testing for acid mine drainage in the mine planning and approval process*, Thirteenth Annual British Columbia Mine Reclamation Symposium, June 7-9, Vernon, British Columbia.
- Delibalta M.S., Uzal N., Lermi A., (2016), *Acid mine drainage and rehabilitation in Ilgin Lignite Mines Lakes*. Nigde University Journal of Engineering Sciences, 5(1), 73-82.
- Demirtaşlı E., (1967), *Pınarbaşı-Sarız-mağara civarının jeoloji raporu*, MTA Enst. Raporu, Rapor No: 1935, 129ss.
- Dold B., (2014), *Evolution of acid mine drainage formation in sulphidic mine tailings*, Minerals, 4(2), 621-641.
- Ferguson K.D., Erickson P.M., (1988), *Pre-mine prediction of acid mine drainage. in: dredged material and mine tailings*. Edited by Dr. Willem Salomons and Professor Dr. Ulrich Forstner. Copyright by Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Ferguson K.D., Morin, K.A., (1991), *The prediction of acid rock drainage-lessons from the database*. Proceedings of the 2nd ICARD içinde, vol. 1-4 Montréal, QC, Canada, ss.83-106.
- Gücer M.A., Alemdağ S., Akayalı E., (2020), *Assessment of acid mine drainage formation using geochemical and static tests in Mutki (Bitlis, SE Turkey) Mineralization Area*. Turkish Journal of Earth Sciences, 29(7), 1189-1210.
- Heier K.S., Adams J.A.S., (1965), *Concentration of radioactive elements in deep crustal material*, Geochimica et Cosmochimica Acta, 29(1), 53-61.
- Hossner L.R., Brandt J.E., (1997), *Acid/base account and minesoils: A Review*, Proceedings of 14th Annual Meeting of the ASSMR. America Society of Mining and Reclamation, ss.128-140.
- Jambor J.L., Dutrizac, J.E., Chen T.T., (2000), *Contribution of specific minerals to the neutralization potential in static tests*, In Proceedings of Fifth International Conference on Acid Rock Drainage; Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, CO, USA, ss.551-565.
- Lapakko K., (1992), *Characterization and Static Testing of Ten Gold Mine Tailings*. Proceedings America Society of Mining and Reclamation, ss.370-384, doi: 10.21000/JASMR92010370.
- Lapakko K., (2002), *Metal mine rock and waste characterization tools: An overview*, Mining, Minerals and Sustainable Development, No:67, International Institute for Environment and Development (IIED), England, 28ss.
- Lottermoser B.G., (2010), *Mine wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*, Third Edition. Springer, Berlin, Heidelberg, 400ss.
- Lottermoser B.G., Ashley P.M., (2011), *Trace element uptake by Eleocharis equisetina (spike rush) in an abandoned acid mine tailings pond, northeastern Australia: Implications for land and water reclamation in tropical regions*. Environmental Pollution, 159, 3028-3035.
- Marchand L., Mench M., Jacob D.L., Otte M.L., (2010), *Metal and metalloid removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of plants and standardized measurements: a review*. Environmental Pollution, 158, 3447-3461.
- Miller S.D. (1996), *Advances in Acid Mine Drainage: Prediction and Implication for Risk Management*, Proceeding of the 3rd International and 21st Annual Minerals Council of Australia Environmental Workshop, 14-18 October, Newcastle, New South Wales, ss.149-157.
- Miller S.D., Murray G.S., (1988), *Application of acid base analysis to wastes from base metal and precious metal mines*, Proceedings America Society of Mining and Reclamation, ss.29-32, doi: 10.21000/JASMR88010029.
- Morin K.A., Hutt N.M., (1997), *Environmental geochemistry of minesite drainage; Practical theory and case studies*, MDAG Pub, Canada, 333ss.
- Paktunç D., (1998), *Characterization of mine wastes for prediction of acid mine drainage*. Proceeding: Acid Mine Drainage Seminar/ Workshop, Conservation and Protection Environment, Ontario, Canada, ss.1-45.
- Paktunç A. D., (1999), *Minerological constrains on the determination of neutralization potential and prediction of acid mine drainage*, Environmental Geology, 38, 82-84.
- Price W.A., Errington J., Koyanagi V., (1997), *Guidelines for the prediction of acid rock drainage and metal leaching for mines in British Columbia: part I. General Procedures and Information Requirements*. Proc, 4th ICARD, Natural Resources Canada, Ottawa, 1, 1-14.
- Price W.A., (2003), *Challenges posed by metal leaching and acid rock drainage and approaches used to address them*, Jambor, J.L., Blowes, D.W., Ritchie, A.I.M. (eds.), *Environmental aspects of mine wastes. mineralogical association of Canada*, Short Course Series, 31, ss.15-30.
- Rötting T.S., Caraballo M.A., Serrano J.A., Ayora C., Carrera J., (2008), *Field application of calcite dispersed alkaline substrate (calcite-DAS) for passive treatment of acid mine drainage with high Al and metal concentrations*, Applied Geochemistry, 23, 1660-1674.
- Soregaroli B.A., Lawrence R.W., (1998), *Update on waste characterisation studies*, Proceedings mine design, operations and closure conference, Polson, MT, USA.
- Siddharth S., Jamal A., Dhar B.B., Shukla R., (2002), *Acid-base accounting: a geochemical tool for management of acid drainage in coal mines*, Mine Water and the Environment, 21, 106-110.

- Skousen J.G., Sencindiver J.C., Smith R.M., (1987), *A review of procedures for surface mining and reclamation in areas with acid-producing materials*, EWRC 871, West Virginia University, Morgantown, WV, 40ss.
- Skousen J.G., Sexstone A., Ziemkiewicz P.F., (2000), *Acid mine drainage control and treatment*, Hartfield, J.L., Volenec, J.G., Dick, W.A. (eds), *Reclamation of drastically disturbed lands*. American Society of Agronomy and American Society for Surface Mining and Reclamation. Agronomy No. 41, ss.131-169.
- Smith, R.M., Grube, W.E.Jr., Arkele, T.Jr., Sobek, A.A., (1974), *Mine spoil potentials for soil and water quality*. West Virginia University. EPA-670/2-74-070, 303ss.
- Smith R.M., Sobek A.A., Arkle T., Sencindiver J.C., Freeman J.R., (1976), *Extensive overburden potentials for soil and water quality*, EPA-600/2-76-184, USEPA, Cincinnati, OH.
- Sobek A.A., (1974), *Mine spoil potentials for soil and water quality*, West Virginia University, EPA-670/2-74-070, 303ss.
- Sobek A.A., Schuller W.A., Freeman J.R., Smith R.M., (1978), *Field and laboratory methods applicable to overburdens and minesoils*, EPA-600/2-78-054. US Govt Printing Office, Washington, DC., USA.
- Ünlü T., Yıldırım M., Öztürk M., Dağlıoğlu C., Kırıkoğlu G., Hasarı M., (1984), *Fek-Mansurlu yöresi demir yataklarının oluşum modeli hakkında bir yaklaşım*, MTA Maden Etüt Demir İzleme Destek 50225/1104, 3, Ankara.
- Weber P. A., Hughes J. B., Conner L. B., Lindsay P., Smart R. C., (2006), *Short-term acid rock drainage characteristics determined by paste pH and kinetic NAG testing: Cypress Prospect*, Proceeding from the 7th international conference on acid rock drainage, Missouri, ss.2289-2310, doi: 10.21000/JASMR06022289.
- White W. W., Lapokko K. A., Cox R. L., (1999), *Static-test methods most commonly used to predict acid mine drainage: Practical guidelines for use and interpretation*. In the environmental geochemistry of ore deposits. Part A: Processes, Techniques, and Health Issues; Reviews in Economic Geology; Plumlee, G.S., Logsdon, M.J., Eds.; Society of Economic Geologists: Littleton, CO, USA, ss.325–338.