



ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
DOĞAL AFETLER UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ



DOĞAL AFETLER VE ÇEVRE DERGİSİ
Journal of Natural Hazards and Environment



Sahibi / Owner

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

Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Halil AKINCI

Yardımcı Editörler / Associate Editors

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

Yabancı Dil Editörü / Language Editor

Dr. Öğr. Üyesi Hakan GÜLTEKİN

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Managing Editor

Doç. Dr. Mehmet ÖZALP

Editör Kurulu / Editorial Board

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

Uluslararası Editörler / International Editors

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

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ RESEARCH ARTICLES

- Küresel Atmosferik Salınımların Büyük Menderes ve Gediz Akarsularının Akımları Üzerindeki Etkisi
The Impacts of Global Atmospheric Oscillations on Büyük Menderes and Gediz Streamflows
Emre Kebapcıoğlu, Turgay Partal..... 1 - 13
- 02 Mart 2017 Adıyaman-Samsat Depremi (Ml=5.7) Artçı Şokları Kullanılarak Deprem İstatistiği Parametrelerinin Analizi ve Bölgesel Değişimleri
Earthquake Statistical Parameters Analysis and Regional Variations of March 02, 2017 Adıyaman-Samsat Earthquake (Ml = 5.7) by Using its Aftershocks
Nihan Hoşkan..... 14 - 24
- Akım Kuraklık İndeksi Yönteminin Farklı Zaman Ölçekleri İçin Hidrolojik Olarak Değerlendirilmesi: Arsuz Ovası Örnek Çalışması
Hydrological Evaluation of Streamflow Drought Index Method for Different Time Scales: A Case Study of Arsuz Plain, Turkey
Evren Turhan, Buse Duyan Çulha, Serin Değerli..... 25 - 36
- Sahaya Özel Zemin Davranış Analizlerinde Profil Derinliği Değişiminin İncelenmesi
An Investigation of Soil Profile Depth Change on Site Response Analysis
Fatma İlknur Kara, Barış Şahin..... 37 - 52
- Düzce İlinde İlkokulların İç ve Dış Ortamlarındaki Toz Örneklerinde PCB Düzeylerinin Belirlenmesi
Determination of PCB Levels Indoor and Outdoor Dust Samples of Primary Schools in Düzce
Ash Tekli, Seda Aslan Kılavuz, Zehra Bozkurt..... 53 - 65
- Lojistik Regresyon ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Orman Yangını Risk Modellemesi: Muğla-Milas Örneği
Forest Fire Risk Modeling Using Logistic Regression and Geographic Information Systems: A Case Study in Muğla - Milas
İlker Atmaca, Masoud Derakhshandeh, Özge Işık Pekkan, Mehtap Özener Kavrak, Yavuz Selim Tunca, Saye Nihan Çabuk 66 - 75
- Yanmış Alanların Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI ile Tespiti ve Analizi: Çanakkale/Gelibolu Orman Yangını
Detection and Analysis of Burned Areas with Sentinel-2 MSI and Landsat-8 OLI: Çanakkale / Gelibolu Forest Fire
Beyza Yılmaz, Mehveş Demirel, Filiz Bektaş Balçık..... 76 - 86
- Delphi Yöntemi Kullanarak Afet Sonrası Geçici Barınma Alanı Seçimi ve Planlaması Ölçütlerinin Belirlenmesi: İzmir/Seferihisar Örneği
Post-Disaster Temporary Shelter Area Selection and Planning by Using Delphi Method: İzmir/Seferihisar Case
Hande Dayanır, Ali Kemal Çınar, Yenal Akgün, Özşen Çorumluoğlu 87 - 102
- GRACE Misyonu ve GLDAS Modeli ile Su Kütlesi Değişimlerinin İzlenmesi ve İklimsel Faktörlerin Değişimlere Etkisi: Konya Havzası Örneği
Monitoring Total Water Storage Changes with GRACE Mission and GLDAS Model and Effect of Climatic Factors on These Changes: Case Study in Konya Basin
Emel Zeray Öztürk..... 103 - 110
- İzmit Körfezi ve Çevresinde Bina Yoğunluk ve Sıvılaşma Yayılmının Mekânsal Analizi
Spatial Analysis of Building Density and Liquefaction Spread in Izmit Bay and its Surroundings
Arzu Erener, Metin Aşçı, Gül Gülsoy, Aydın Üstün, Muhammet Ali Güvenaltın, Erman Şentürk, Sefa Yalvaç, Fatma Canaslan Çomut, Tahir Serkan İrmak, Haluk Konak, Pakize Küreç Nehbit, Efdal Kaya, Burak Kotan, Selin Öye 111 - 121
- Türkiye’de Büyüme Derece Günlerinin Zamansal ve Mekânsal Trendinin İncelenmesi
An Examination of Temporal and Spatial Trends of Growing Degree Days in Turkey
İlhami Doğan, Murat Karabulut..... 122 - 133

Dikey Eksende Eğilim Çözümlemesi Yöntemi

Trend Analysis Method on Vertical Axis

Yavuz Selim Güçlü 134 - 141

Yangın Alanında Uydu Görüntüleri ile Yer Yüzey Sıcaklık Değişimi Gözlemi ve Mekânsal Alan Tespiti

Land Surface Temperature Change Observation and Spatial Area Determination with Satellite Images in the Fire Area

Alperen Cihan, Kübra Cerit, Arzu Erener 142 - 155

Türkiye Perspektifinde Yeşil Mutabakat ve Karbon Ayak İzi: Tehdit Mi? Fırsat Mı?

The Green Deal and Carbon Footprint from Turkey's Perspective: Is It a Threat? Is It an Opportunity?

Merve Ersoy Mirici, Süha Berberoğlu..... 156 - 164

Doğal Olayların Tetiklediği KBRN-p Tehlikesi ve Riski: Türkiye Örneği

CBRN-p Hazards and Risks Triggered by Natural Events; Turkey Example

Ayşe Handan Dökmeci, Öznur Akduman 165 - 177

Küresel Atmosferik Salınımların Büyük Menderes ve Gediz Akarsularının Akımları Üzerindeki Etkisi

Emre Kebapcıoğlu¹, Turgay Partal^{1,*}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 55139, Samsun.

Özet

Son zamanlarda yapılan çalışmalar küresel atmosferik salınımların iklim parametreleri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), Arktik Salınım (AO) ve Güneyli Salınımı (SO) gibi küresel atmosferik salınımları ile Büyük Menderes ve Gediz akımları arasındaki ilişkinin belirlenmesi için yapılmıştır. Büyük Menderes ve Gediz havzalarında bulunan 1970-2015 yılları arasındaki 45 yıllık dönemde ölçümleri Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılan 5 akım istasyonundaki yıllık ve mevsimlik ortalama akımlar incelenmiştir. Daha sonra, NAO, AO ve SO indeksleri ile yıllık ve mevsimsel akımlar arasındaki ilişki korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Ayrıca, istenilen sayıda periyodik bileşenler elde edebilmek için orijinal akım verileri ayrık dalgacık dönüşümü ile bileşenlerine ayrılmıştır. Bulunan dalgacık bileşenleri (D1, D2, D3, D4 ve A) ile atmosferik indeksler arasındaki korelasyonlar incelenmiştir. Sonuç olarak, akımlar ile AO/NAO indeksleri arasında yıllık, kış ve ilkbahar periyotlarında güçlü bir negatif korelasyon vardır. Ayrıca dalgacık periyodik bileşenleri, küresel atmosferik salınımların akım verileri ile ilişkisinin temel faktörlerini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler

Kuzey Atlantik Salınımı, Arktik Salınım, Güneyli Salınımı, Dalgacık Analizi, Akım

The Impacts of Global Atmospheric Oscillations on Büyük Menderes and Gediz Streamflows

Abstract

Recent studies show that global atmospheric circulations are efficient on climate parameters. This study has been carried out to analyze the relationship between the streamflow data in Büyük Menderes/Gediz Basin and the global atmospheric oscillations such as the Southern Oscillation (SO), the North Atlantic Oscillation (NAO) and the Arctic Oscillation (AO). The average annual and seasonal flows at the current 5 stations located in Büyük Menderes basin and Gediz basin, whose measurements were made by the DSI in the 45 year period between 1970 and 2015 have been studied. Then, the relationship between NAO, AO, SO indices and streamflows was determined by correlation analysis. In addition, in order to obtain the periodic components, the original observed data were separated into their components by discrete wavelet transform. The correlations between the found wavelet components (D1, D2, D3, D4 and A) and atmospheric indices were examined. As a result, this study found that there is a strong negative correlation between the streamflow and the AO/NAO indices at the annual/winter and spring period. Moreover, the wavelet periodic components showed to the main factors for the relationship of the streamflow data with the global atmospheric patterns.

Keywords

North Atlantic Oscillation, Arctic Oscillation, Southern Oscillation, Wavelet Analysis, Streamflow

1. Giriş

İklim değişikliği ve kuraklık gibi küresel sorunların belirtilerini yansıtan en önemli değişkenlerden biri akarsu akımlarıdır. Bunun yanında akarsu akımlarındaki değişimler baraj haznelerinin planlanması ve taşkın kontrolü gibi su kaynakları konularında en önemli değişkenlerin başında gelmektedir. Bu sebeple akarsuların geçmiş akım verilerinin analizi her zaman önemli bir konu olmuştur.

Akarsu akım verileri hidrolojik döngünün ana unsurlarından biridir. Hidrolojik döngüdeki değişiklikler önemli ölçüde su kaynaklarının kalitesini ve miktarını etkiler. Ayrıca hidrolojik döngüdeki değişiklikler küresel iklim değişikliğinin önemli sonuçlarından biri kabul edilmiştir (Durdu 2010). İklim değişikliği ile hidrolojik değişkenler arasındaki ilişkiyi anlamaya yönelik çalışmalar iklim parametreleri ve atmosferik indeksler arasındaki korelasyonları bulmaya odaklanmıştır. Bu hidrolojik süreçlerin davranışlarının analizi için çok etkili bir yöntemdir (Tamaddun vd. 2016). Önceki çalışmalar, akım değişkenliğinin büyük ölçekli atmosferik salınımlarla ilişkili olduğunu göstermiştir (Dettinger ve Diaz 2000; Sagarika vd. 2015).

Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ve El Nino Güneyli Salınım (ENSO) gibi atmosferik salınımların, Avrupa Bölgesi boyunca hidrolojik döngünün değişkenliğini etkilediği bulunmuştur (Polonsky vd. 2007; Burt ve Howden 2013; Fedekova vd. 2014; Philandras vd. 2015; Ward vd. 2016; Iqbal vd. 2016). Bu çalışmaların sonucu olarak Akdeniz-Karadeniz havzalarındaki analizlerde yıllar arasındaki değişkenliğin NAO ve ENSO ile bağlantılı olduğu tespit edilmiştir (Voskresenskaya ve Maslova, 2011). Yapılan önceki çalışmalar, kış mevsiminde NAO'nun negatif olduğu dönemlerde, Kuzey Avrupa'da daha kurak ve Akdeniz'de daha yağışlı iklim koşulları meydana geldiğini göstermektedir (Sezen ve Partal 2019).

Türkiye'de atmosferik salınımlar ile hidrolojik değişkenler arasındaki ilişkiler üzerine son yirmi yılda çok sayıda çalışma yapılmıştır (Düzenli vd. 2018). Karabörk vd. (2005), Türkiye yağış/akış verileri ile NAO arasında bazı bağlantılar olduğunu göstermiştir. Kahya ve Karabörk (2001), Türkiye'nin Batı Karadeniz bölgesindeki akarsu akımlarının ENSO'nun ekstrem fazlarıyla ilişkili olduğunu göstermiştir. Sezen ve Partal (2019), Türkiye'deki sıcaklık verileri ile Kuzey Denizi Hazer Paterni (NCP) ve Arktik salınım (AO) arasında yüksek negatif korelasyon katsayılarının gözlemlendiğini göstermiştir. Kutiel ve Türkeş (2005), NCP'nin negatif fazında Türkiye'nin iç bölgelerinde hava sıcaklıklarının daha sıcak, NCP'nin pozitif fazında ise hava sıcaklıklarının daha düşük olduğunu göstermiştir. Vazifehkhah ve Kahya (2018), Türkiye'deki akımların, standartlaştırılmış akım indekslerini kullanarak NAO ve AO aşırı fazlarının etkilerini incelemiştir. Yaptıkları çalışmada kış ve sonbaharda NAO ve AO'nun aşırı değerleri ile Türkiye genelinde meydana gelen kısa dönem kuraklıklar arasında bir ilişki bulmuşlardır. Yılmaz vd. (2020) Karadeniz bölgesi yağışlarının NAO ile ilişkisini trend analizi ve korelasyon analizi ile incelemişler ve zayıfta olsa bir ilişki tespit etmişlerdir.

Dalgacık analizi, hidroloji ve iklimsel zaman serisi analizlerinde son yıllarda kullanılan faydalı bir yöntemdir (Pissoft vd. 2004; Partal 2012; Nalley vd. 2012; Adarsh ve Reddy 2015; Adamovski and Prokoph 2014). Dalgacık analizinin avantajı, hem zaman hem periyot ortamında kararsız verilerin incelenmesini mümkün kılmasıdır. Bu sebeple dalgacık dönüşümü, küresel indeksler ile hidro-klimatolojik değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanışlı bir yöntemdir (Jiang vd. 2014). Sezen ve Partal (2019), dalgacık tabanlı analiz kullanarak Türkiye'de Karadeniz Bölgesi'nin NCP/NAO ve yağış/sıcaklık verileri arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Özellikle kış mevsiminde güçlü bir ilişki bulmuşlardır.

Son yıllarda yapılan çalışmaların çoğu NAO ve SO gibi atmosferik salınımlar ile Türkiye yağış ve sıcaklık verileri arasındaki ilişkileri belirlemeye yöneliktir. AO'nun Türkiye akarsularının akım verileri üzerindeki etkileri üzerine birkaç çalışma yapılmıştır (Vazifehkhah ve Kahya 2018). Ayrıca Türkiye akarsularının akım verilerinin mekânsal ve zamansal özelliklerini ele alan dalgacık tabanlı analizlerin kullanıldığı detaylı bir çalışma henüz yapılmamıştır. Su kaynaklarının sürdürülebilir olması için akarsulardaki akım özelliklerinin belirlenebilmesi oldukça önemlidir. Bu iki havza 25000 km²'lik drenaj alanı ile Ege Bölgesi'nin en büyük iki havzasıdır. Ayrıca küresel iklim değişikliğinin yağışlar üzerindeki etkileri ve artan su talepleri nedeniyle bölgenin akımlarının iyi analiz edilmesi gerekir. Bu amaçla bu havzalara ait akım verilerinin küresel iklim değişiklikleriyle olan ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada NAO, SO ve AO'nun 1970-2015 yılları arasında Türkiye'nin batısında yer alan Büyük Menderes ve Gediz havzalarındaki 5 akım istasyonunda akım verilerinin hem yıllık hem de mevsimlik değişkenliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Akım verileri ve atmosferik salınımlar arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek için korelasyon analizi ve ayrık dalgacık dönüşümü yöntemleri kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

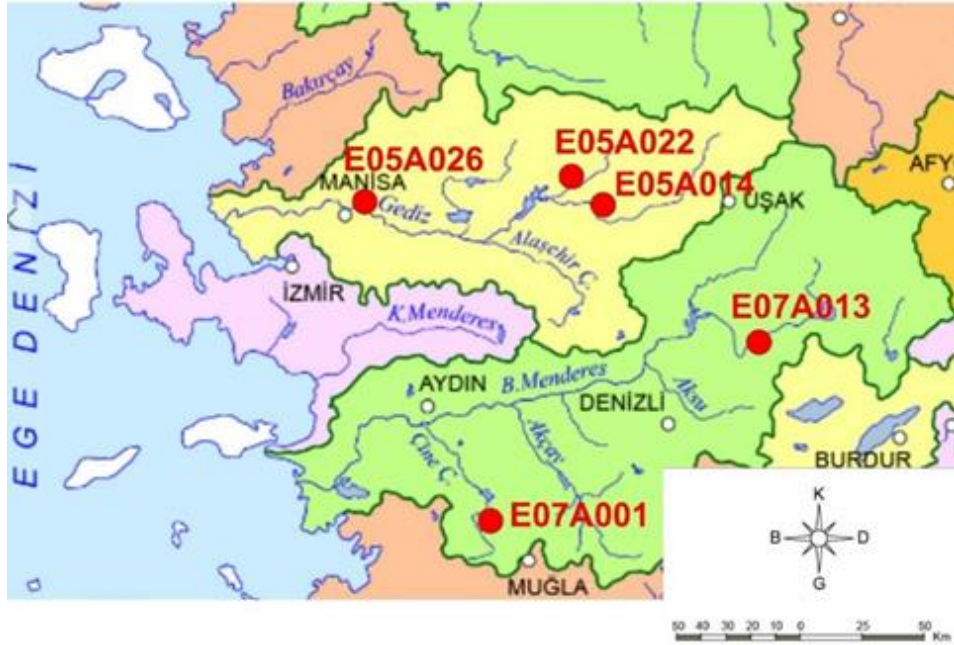
Çalışma alanı, Türkiye'nin iki önemli akarsuyuna sahip olan Büyük Menderes ve Gediz havzalarıdır. Kütahya'daki Murat Dağından doğan Gediz nehri 275 km uzunluğundadır. Gediz nehrini besleyen Gediz havzası 18000 km² yağış alanına sahip olup Türkiye yüzölçümünün %2,17'sini oluşturmaktadır. Batı Anadolu'daki Dinar ilçesi sınırları içerisinde başlayan Büyük Menderes nehri havzası ise, 24976 km² yağış alanına sahip olup Türkiye yüzölçümünün %3,3'ünü oluşturmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan aylık akım verileri Devlet Su İşleri tarafından sağlanmıştır (DSİ 2019). Büyük Menderes Havzası üzerindeki E07A001, E07A013 istasyonları ile Gediz Havzası üzerindeki E05A014, E05A022, E05A026 akım gözlem istasyonlarında (AGİ), akım verileri 1970-2015 yılları arasındaki 45 yıllık dönemi kapsamaktadır. Bazı akım gözlem istasyonları, baraj menba kısmına kurulduğundan ve göl alanı içerisinde kaldığından yeterli veri uzunluğuna sahip gözlem yapılamamaktadır. Bu sebeple AGİ'lerin seçiminde, baraj gölü içerisinde kalmaması, HES etkisinde olmaması, yeterli verisinin olması gibi zamansal ve mekânsal kriterler göz önünde bulundurularak istasyon seçimi yapılmıştır. Analiz için seçilen istasyonlar ve konumları Şekil 1'de gösterilmektedir. Her bir istasyonun hangi akarsu üzerinde olduğu, yüksekliği ve akımlarına ait istatistiksel veriler sırasıyla Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1: İstasyon bilgileri

		Yıllık		Kış	İlkbahar		Yaz	Sonbahar				
Akarsu	İstasyon	Ort. (m ³ /s)	Std.Sp.(m ³ /s)	Ort. (m ³ /s)	Std.Sp.(m ³ /s)	Ort. (m ³ /s)	Std.Sp.(m ³ /s)	Ort. (m ³ /s)	Std.Sp.(m ³ /s)	Ort. (m ³ /s)	Std.Sp.(m ³ /s)	Kot(m)
Gediz	D05A026	0,3	0,16	0,8	0,52	0,3	0,22	0,0	0,04	0,1	0,10	117
Gediz	E05A014	2,2	1,30	4,9	3,91	3,1	1,61	0,3	0,25	0,4	0,33	345
Gediz	E05A022	3,0	1,79	6,8	5,39	4,3	2,52	0,3	0,24	0,5	0,55	245
B.Menderes	E07A001	5,0	2,71	10,4	6,94	6,8	3,93	1,3	0,77	1,4	0,68	262
B.Menderes	E07A013	9,2	4,96	6,7	5,85	9,9	7,30	13,4	8,89	6,8	5,42	802

Bu çalışmada, 1970-2015 yılları arasını kapsayan yıllık ve mevsimsel NAO/AO/SO verileri kullanılmıştır. Atmosferik Salınım verileri, Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi İklim Tahmin Merkezi'nden (NOAA CPC) elde edilmiştir. NAO, Azor Adaları'ndaki bir istasyon ile İzlanda'daki bir istasyon arasındaki normalleştirilmiş basınç farkı olarak tanımlanmıştır (Hurrell 1995). AO, Kuzey Yarımküre'nin arktik ve orta enlemleri arasındaki basınç dalgalanmalarına dayanan atmosferik bir bağlantıdır (Türkeş ve Erlat 2018). Bu çalışmada, yıllık, kış (aralık, ocak ve şubat), ilkbahar (mart, nisan ve mayıs), yaz (haziran, temmuz, ağustos) ve sonbahar (eylül, ekim ve kasım) dönemleri için NAO, AO, SO verileri gibi atmosferik salınımlar arasındaki bağlantılar incelenmiştir.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan istasyonların dağılımı

2.2. Pearson korelasyon katsayısı

NAO, AO ve SO indeksleri ile mevsimsel ve yıllık akımlar arasındaki bağlantıyı ortaya koymak amacıyla, indeks değerleri ile istasyonların ortalama akım zaman serileri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır (Bayazıt ve Yeğen Oğuz 2005).

$$r_{x,y} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{Ns_x s_y} \quad (1)$$

Denklem (1)'de x_i yıllık ve mevsimlik akım verilerini, $\bar{x}$ yıllık ve mevsimlik ortalama akımı, y_i yıllık ve mevsimlik NAO, AO ve SO indekslerini, $\bar{y}$ yıllık ve mevsimsel ortalama NAO, AO ve SO indekslerini, N veri sayısını, s_x akım verilerinin standart sapmasını, s_y indeks değerlerinin standart sapmasını ifade etmektedir. Bu korelasyonların istatistiksel bakımdan anlamlılığı Student t- testi kullanılarak $\alpha=0,1$ anlam seviyesinde test edilerek değerlendirilmiştir.

2.3. Ayrık dalgacık dönüşümü

Dalgacık dönüşümü, belirlenen zaman aralığı içine değişik periyotlardaki bir sinyalin zaman frekans temsilini sağlamaktır (Daubechies 1990). Bir dalgacık fonksiyonu $\Psi(\tau, s)$ bir ana dalgacık fonksiyonunun dönüşümü olarak yazılabilir,

$$\psi(\tau, s) = s^{-1/2} \psi\left(\frac{t - \tau}{s}\right) \quad (2)$$

Burada, t zamanı; s dalgacık ölçeğini; τ zaman adımını ifade eder (Meyer 1993). $x(t)$ için dalgacık dönüşümü şu şekilde yazılabilir,

$$W(\tau, s) = s^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^*\left(\frac{t - \tau}{s}\right) dt \quad (3)$$

Burada, $W(\tau, s)$ dönüşüm fonksiyonudur ve ana dalgacık fonksiyonu olarak adlandırılır. Verilerin ayrık sinyalleri, ayrık dalgacık dönüşümü ile belirlenebilir.

$$\psi_{m,n}\left(\frac{t - \tau}{s}\right) = s_0^{-m/2} \psi\left(\frac{t - n\tau_0 s_0^m}{s_0^m}\right) \quad (4)$$

Burada m ve n tamsayı olarak dalgacığın sırası ile ölçek ve zaman eksenindeki öteleme parametreleri; s_0 sabit bir öteleme adımını ifade eder ve 1' den büyüktür; t_0 zaman eksenindeki öteleme aralığını ifade eden parametre olup 0'dan büyüktür. Burada dönüşüm adımı olan $n\tau_0 s_0^m$, genişlemeye (s_0^m) bağlıdır. Yaygın olarak s_0 ve τ_0 sırasıyla 2 ve 1 olarak kullanılır. Bu, frekans ekseninin örnekleme oranının ikili örnekleme karşılık gelmesi için en yaygın ve en basit tercihtir (Cannas vd. 2006). Ayrık dalgacık dönüşümü, iki ölçek ve zaman adımı çözümü ile pratik ve etkili bir çözümdür (Mallat 1989). Bir i ayrık adımına sahip x_i zaman serisi için ayrık dalgacık dönüşümü aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$W_{m,n} = 2^{-m/2} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \psi(2^{-m}i - n) \quad (5)$$

Burada $W_{m,n}$ $s=2^m$ ölçek ve $\tau=2^m n$ zaman değerlerine sahip dalgacık dönüşümü katsayılarıdır. Bu çalışmada ana dalgacık olarak Daubechies(db2) dalgacık seçilmiştir. Db2, db3, db4, db5, db6, db7, db8, db9 ve db10, Daubechies dalgacık ailesinin diğer dalgacıklarıdır. Önceki çalışmaların çoğunda genellikle db2 ve db4 dalgacıkları kullanılmıştır (Cannas vd. 2006; Nourani vd. 2014).

Bu çalışmada yaklaşık bileşeni (A) ile birlikte 2, 4, 8 ve 16 yıllık periyotlara sahip D1, D2, D3 ve D4 dalgacık bileşenleri kullanılmıştır.

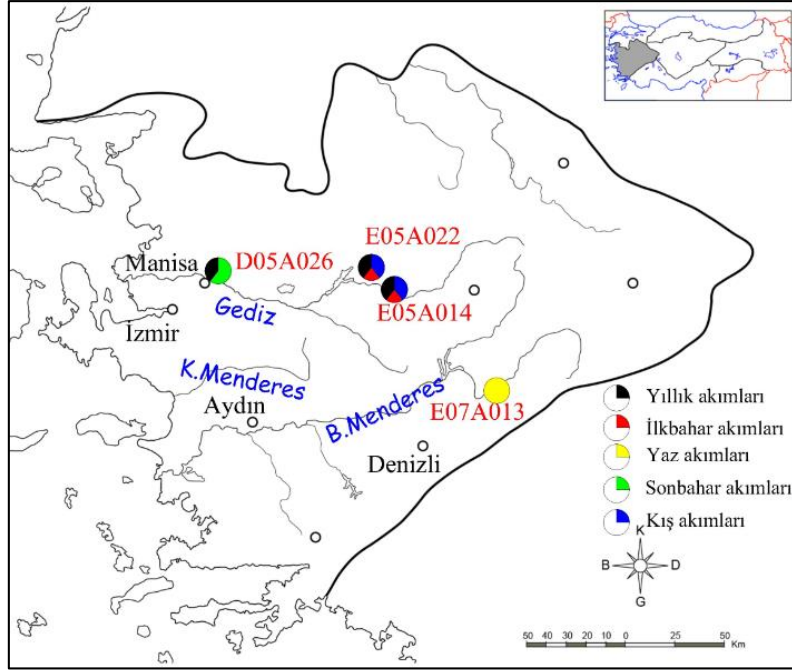
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Atmosferik salınımların gözlemlenen akım verileri üzerinde etkisi

NAO' nun Büyük Menderes ve Gediz Akarsuları akım verileri üzerindeki etkileri, korelasyon katsayıları hesaplanarak yıllık ve mevsimsel olarak Tablo 2'de gösterilmiştir. Sonuçlar 0.1 anlamlılık düzeyinde test edilerek anlamlı korelasyonlar belirlenmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı korelasyonlar tabloda koyu olarak yazılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, yıllık akım verilerinin NAO ile tüm istasyonlarda negatif korelasyona sahip olduğu bunlardan 3 tanesinin istatistiksel önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca NAO' nun akım verileri üzerindeki mevsimsel etkisi Şekil 2' de görülmektedir. Mevsimsel etkiler incelendiğinde, kış ve ilkbahar mevsimi için 5 istasyonun 2'sinde önemli negatif korelasyon görülmektedir. Sonbahar mevsiminde ise bir istasyonda anlamlı negatif korelasyon elde edilmiştir. Öte yandan pozitif korelasyon sadece yaz mevsiminde görülmüştür.

Tablo 2: NAO ile gözlenen akımlar arasındaki korelasyonlar

İstasyonlar	Yıllık	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
D05A026	-0,306	-0,204	-0,136	-0,037	-0,403
E05A014	-0,295	-0,352	-0,267	0,155	0,058
E05A022	-0,263	-0,295	-0,240	0,138	-0,036
E07A001	-0,196	-0,167	-0,225	0,132	-0,093
E07A013	-0,042	-0,011	0,021	0,363	-0,016

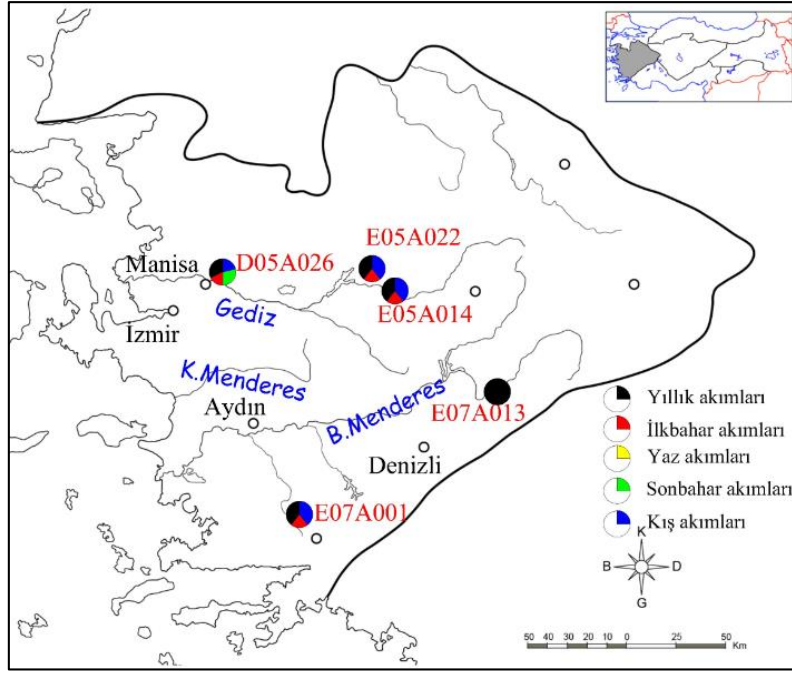


Şekil 2: Kuzey Atlantik Salınımı etkisindeki istasyonlar

AO indekslerine ilişkin korelasyon analizi sonuçları (Tablo 3 ve Şekil 3), atmosferik indeksle yıllık akım arasında açık bir negatif ilişki olduğunu göstermektedir. Yıllık akım verileri ve AO verileri arasındaki korelasyon analizlerinin neticesinde 5 istasyonun hepsinde anlamlı negatif korelasyonlar bulunmuştur. Ayrıca kış ve ilkbahar mevsiminde 4 istasyonda negatif anlamlı korelasyon bulunmuştur. AO indeksi ile istasyonların akım verileri arasında anlamlı pozitif korelasyona rastlanmamıştır. Bu sonuçlar AO indeksinin özellikle kış ve ilkbahar mevsiminde Batı Anadolu akım verileri ile negatif ilişkisi olduğu anlamına gelmektedir.

Tablo 3: AO ile gözlenen akımlar arasındaki korelasyonlar

İstasyonlar	Yıllık	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
D05A026	-0,37	-0,30	-0,26	-0,04	-0,29
E05A014	-0,46	-0,39	-0,37	0,09	0,12
E05A022	-0,42	-0,28	-0,32	0,05	0,07
E07A001	-0,33	-0,32	-0,27	0,03	-0,16
E07A013	-0,29	-0,21	-0,16	0,07	-0,17

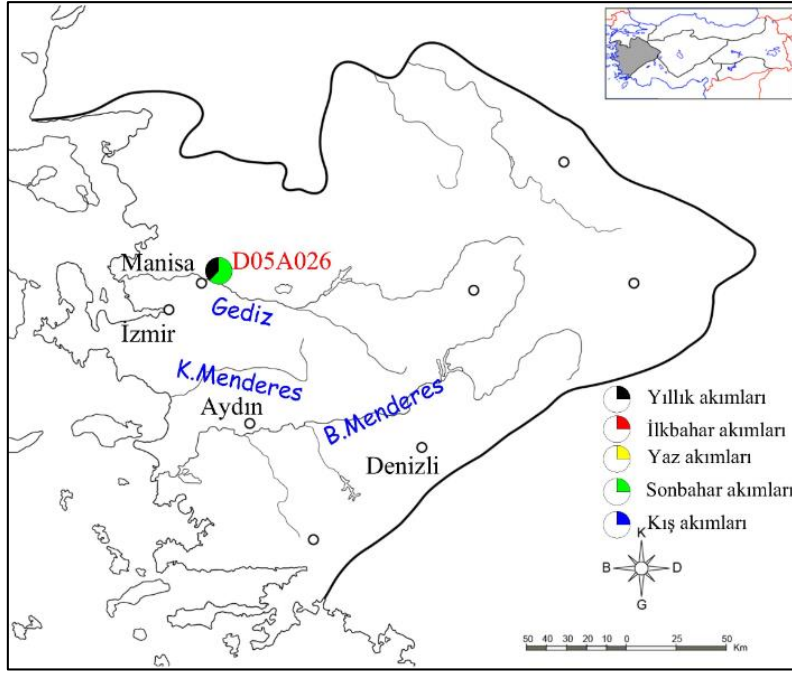


Şekil 3: AO etkisindeki istasyonlar

SO indeksinin etkileri Şekil 4 ve Tablo 4'teki yıllık ve mevsimlik olarak hesaplanan korelasyon katsayıları ile değerlendirilmiştir. Bulunan sonuçlara göre sadece D05A026 istasyonunda yıllık ve sonbahar mevsiminde önemli pozitif korelasyon bulunmuştur. Diğer istasyonlarda ise anlamlı korelasyon yoktur. SO indeksi verileri ile ilgili sonuçlara bakıldığında, Ege Bölgesi'nde SO indeksi ile akım verileri arasında anlamlı bir ilişki olmadığı söylenebilir.

Tablo 4: SO ile gözlenen akımlar arasındaki korelasyonlar

İstasyonlar	Yıllık	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
D05A026	0,25	-0,06	0,15	0,05	0,31
E05A014	0,11	-0,03	0,11	0,04	0,19
E05A022	0,08	0,07	0,09	0,19	0,17
E07A001	-0,01	-0,16	-0,10	0,17	0,06
E07A013	-0,02	0,04	-0,04	0,00	0,05



Şekil 4: SO etkisindeki istasyonlar

3.2. Atmosferik salınımların akım verilerinin periyodik davranışları üzerindeki etkileri

Bu bölümde atmosferik indisler ile gözlemlenen akım verilerinin dalgacık periyodik bileşenleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu sayede gözlenen akım verileri ile belirlenemeyen bağlantıların bulunması ve var olan korelasyonların hangi periyodiklikten kaynaklandığının bulunması amaçlanmıştır. Gözlemlenen akım verileri, ayrık dalgacık yöntemi kullanılarak yaklaşık dalgacık bileşeni (A) ve dört ayrıntı bileşenine ayrıştırılmıştır. Ayrıntı bileşenleri, verilerdeki 2 yıllık periyodikliği (D1), 4 yıllık periyodikliği (D2), 8 yıllık periyodikliği (D3) ve 16 yıllık periyodikliği (D4) temsil etmektedir. A bileşeni ise beşinci ayrıştırma seviyesindeki yaklaşık bileşenini temsil eder. Tablo 5, atmosferik salınımlar ile akım verilerinin dalgacık bileşenleri arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir. Tüm korelasyonlar 0.1 önem seviyesinde test edilerek anlamlı olanlar belirlenmiştir.

Tablo 5'ten, gözlemlenen verilere göre dalgacık periyodik bileşenlerinin daha fazla korelasyon gösterdiği açıkça anlaşılmaktadır. Örneğin, NAO' nın yıllık verilerinde gözlemlenen veriler için 3 istasyonda anlamlı korelasyon varken, dalgacık periyodik verileri için farklı periyodikliklerde olmak üzere 4 istasyonda anlamlı korelasyon vardır. Öte yandan sonbahar mevsimi için dalgacık verilerin en az bir bileşeninde olmak üzere korelasyon sayıları (toplam 4 istasyon), gözlemlenen korelasyon (1 istasyon) ile karşılaştırıldığında oldukça daha belirgindir. Şekil 5, akım verilerinin dalgacık periyodiklik bileşeni ile NAO arasındaki önemli korelasyonların mevsimsel ve alansal dağılımını göstermektedir. Tablo 5 ve Şekil 5' e göre yıllık ve kış mevsimi için D2, D3 ve D4 bileşenlerinde, A ve D1 bileşenlerine göre anlamlı korelasyon daha fazla görülmüştür. Yıllıkta D2 bileşeni 4 istasyonda anlamlı negatif korelasyon gösterir. İlginçtir ki Sonbahar mevsimi için A bileşeni üç istasyonda anlamlı pozitif korelasyona sahiptir. Yaz mevsiminde ise A bileşeni iki istasyonda pozitif anlamlı korelasyon göstermektedir.

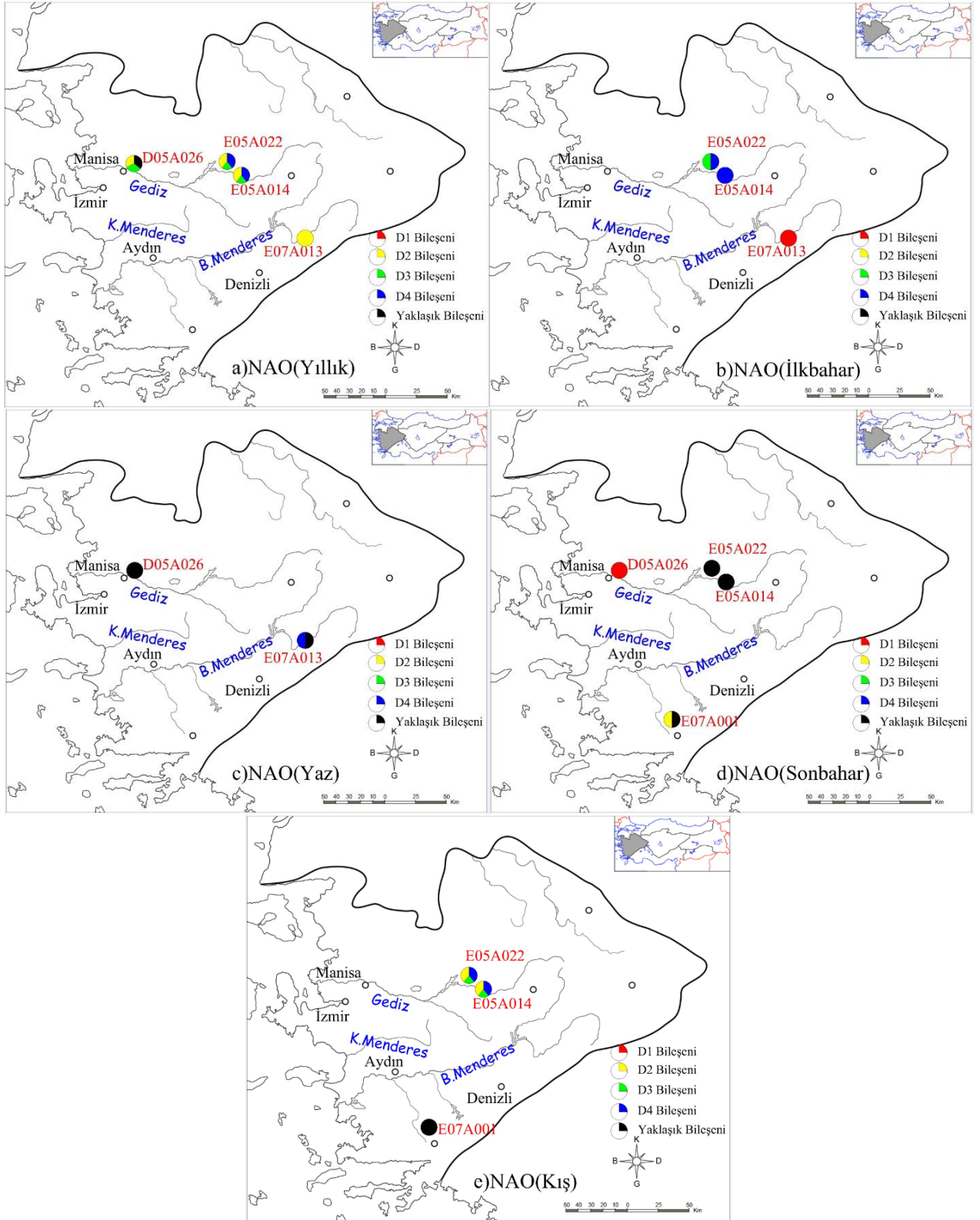
Tablo 5: Akımların dalgacık bileşenleri ile NAO, AO ve SO indeksleri arasındaki korelasyonlar

İSTSYN.	NAO						AO					SO				
	YIL	KIŞ	İLK.	YAZ	SON.		YIL	KIŞ	İLK.	YAZ	SON	YIL	KIŞ	İLK.	YAZ	SON.
D05A026	D1	-0,10	-0,12	-0,08	-0,04	-0,36	-0,14	-0,16	-0,14	-0,08	-0,25	0,21	-0,15	0,22	-0,07	0,34
	D2	-0,25	-0,13	-0,15	0,16	-0,15	-0,26	-0,18	-0,30	0,17	-0,03	0,06	-0,12	-0,03	0,17	0,11
	D3	-0,29	-0,11	-0,17	-0,09	-0,14	-0,28	-0,16	-0,16	-0,03	-0,18	0,27	0,13	0,13	0,15	0,23
	D4	-0,16	-0,09	0,06	-0,23	-0,19	-0,34	-0,26	0,01	-0,21	-0,27	-0,03	0,03	-0,02	-0,03	-0,03
	A	-0,32	-0,21	0,23	0,28	-0,17	-0,16	-0,20	-0,03	0,26	-0,09	0,29	0,26	-0,37	-0,17	-0,22
E05A014	D1	-0,10	-0,03	-0,05	0,18	-0,03	-0,13	-0,05	-0,19	0,25	0,24	0,04	0,05	0,00	0,09	0,18
	D2	-0,31	-0,36	-0,15	0,04	-0,11	-0,28	-0,36	-0,27	0,01	-0,02	0,18	-0,13	0,15	-0,09	0,16
	D3	-0,31	-0,25	-0,22	0,07	-0,06	-0,40	-0,30	-0,24	0,14	-0,09	0,02	0,00	0,03	-0,12	0,11
	D4	-0,26	-0,25	-0,32	0,02	0,05	-0,45	-0,33	-0,32	0,00	-0,19	-0,03	0,00	-0,05	0,00	-0,06
	A	0,05	-0,19	-0,16	0,08	0,26	-0,12	-0,15	-0,06	-0,12	0,09	0,08	-0,03	0,26	0,15	0,03
E05A022	D1	-0,01	0,07	-0,03	0,19	-0,16	0,00	0,10	-0,07	0,19	0,16	0,02	0,17	0,08	0,38	0,24
	D2	-0,30	-0,37	-0,16	-0,10	-0,07	-0,41	-0,40	-0,41	-0,18	0,06	0,10	-0,17	0,05	-0,03	0,03
	D3	-0,42	-0,35	-0,29	0,12	-0,12	-0,47	-0,32	-0,32	0,20	-0,11	0,11	0,13	0,00	-0,15	-0,01
	D4	-0,26	-0,25	-0,34	0,13	0,02	-0,43	-0,31	-0,31	0,15	-0,21	-0,03	0,00	-0,06	0,04	-0,05
	A	0,05	-0,18	-0,21	0,06	0,25	-0,12	-0,14	-0,07	-0,13	0,09	0,08	-0,06	0,31	0,16	0,06
E07A001	D1	-0,13	0,01	-0,16	0,04	-0,08	-0,08	-0,06	-0,19	0,15	-0,07	0,07	-0,17	-0,01	0,28	0,12
	D2	-0,11	-0,13	-0,04	-0,04	-0,24	-0,11	-0,13	-0,09	-0,11	-0,15	0,02	-0,10	-0,16	0,13	0,07
	D3	0,03	0,07	-0,14	0,10	-0,18	-0,18	-0,17	-0,20	0,09	-0,17	-0,29	-0,23	-0,15	-0,11	-0,15
	D4	-0,22	-0,19	-0,20	0,12	-0,03	-0,42	-0,33	-0,23	0,02	-0,17	-0,03	-0,01	-0,04	-0,02	-0,02
	A	-0,09	-0,24	-0,17	0,14	0,24	-0,16	-0,21	-0,06	-0,08	0,09	0,21	0,13	0,28	0,13	0,09
E07A013	D1	0,02	0,13	0,24	0,09	-0,22	-0,08	0,06	0,00	0,01	-0,23	-0,05	-0,01	-0,02	-0,05	-0,05
	D2	-0,26	-0,09	-0,10	0,07	-0,01	-0,23	-0,15	-0,17	-0,08	-0,08	0,09	0,03	0,02	-0,04	0,05
	D3	-0,04	0,07	-0,08	0,16	-0,06	-0,21	-0,16	-0,12	0,01	-0,16	-0,12	-0,11	-0,09	-0,05	-0,01
	D4	-0,08	0,06	-0,17	0,38	-0,05	-0,33	-0,18	-0,21	0,11	-0,18	-0,03	0,02	-0,10	-0,02	0,06
	A	0,10	-0,22	-0,12	0,31	0,23	-0,09	-0,21	-0,06	0,08	0,09	0,04	0,20	0,22	0,04	0,10

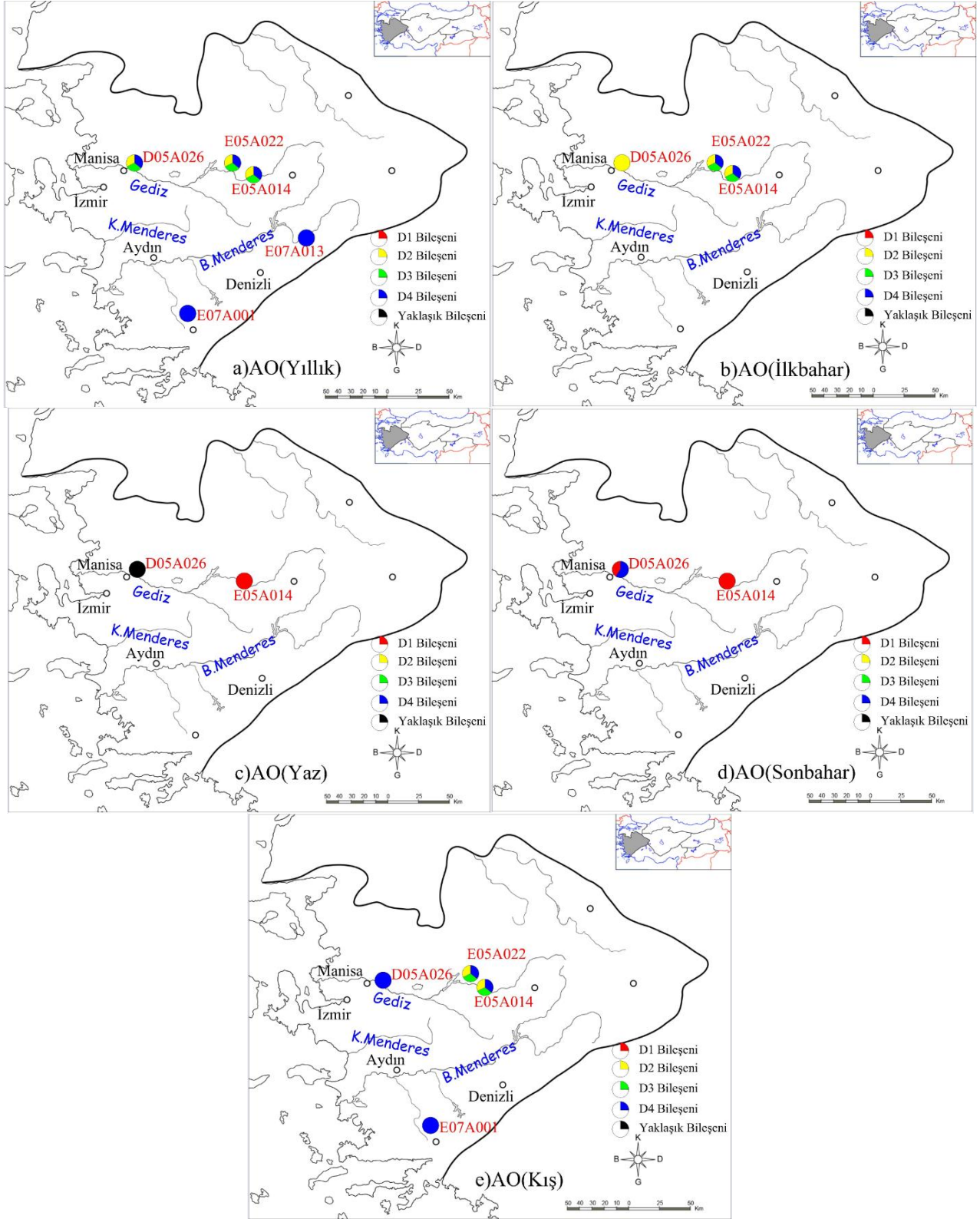
AO indeksi etkisi altında anlamlı korelasyona sahip dalgacık bileşenlerin istasyonlara göre dağılımı Şekil 6'da ve değerler ise Tablo 5'de gösterilmiştir. Yıllık veriler için istasyonların tamamında D2, D3 ve D4 bileşenlerinde negatif korelasyon görülmektedir. Bunlardan; D2 ve D3 bileşeninde 3 istasyonda, D4 bileşeni için ise 5 istasyonda da anlamlı negatif korelasyon vardır. Bu sonuç D4 bileşeninin daha etkin olduğunu göstermektedir. Kış mevsimi içinde benzer sonuçlar elde edilmiş olup D4 bileşeni etkindir. Sonbahar ve yaz mevsimi içinse çok anlamlı korelasyonlar bulunamamıştır. Sonuç olarak, verilerin uzun dönem periyodikliğini sunan D4 periyodik bileşeninin, AO indisi ile yüksek ilişki gösterdiği görülmektedir.

Akım verilerinin dalgacık periyodik bileşenleri ile SO indeksleri arasındaki anlamlı korelasyonları gösteren Tablo 5 ve Şekil 7'ye göre yıllık verilerde D3 bileşeninde 2 istasyonda, A bileşeninde ise bir istasyonda anlamlı korelasyon görülmektedir. Kış ve ilkbahar mevsimlerinde sadece A bileşeni anlamlı iken yaz ve sonbahar mevsimlerinde D1 bileşeni anlamlıdır. Özellikle ilkbahar mevsiminde A bileşeninin 5 istasyonun 4 tanesinde anlamlı korelasyon gösterdiği görülmektedir. Sonuçlara göre yıllık ve mevsimlik veriler için anlamlı çıkan toplam 10 korelasyonun sadece 2 tanesi negatif olup diğerleri pozitifdir. SO indeksi ile akım verilerinin A bileşeni arasındaki önemli korelasyonların sayısının çok fazla, gözlemlenen akım verileri arasındaki önemli korelasyonların sayısı ise çok azdır. Sonuç olarak, dalgacık periyodik analizi, atmosferik salınım ve akım verileri arasındaki korelasyonu önemli ölçüde artırır. Burada SO indeksinin özellikle akımlardaki uzun vadeli değişimler üzerindeki etkisinin dikkate alınması gerektiği söylenebilir.

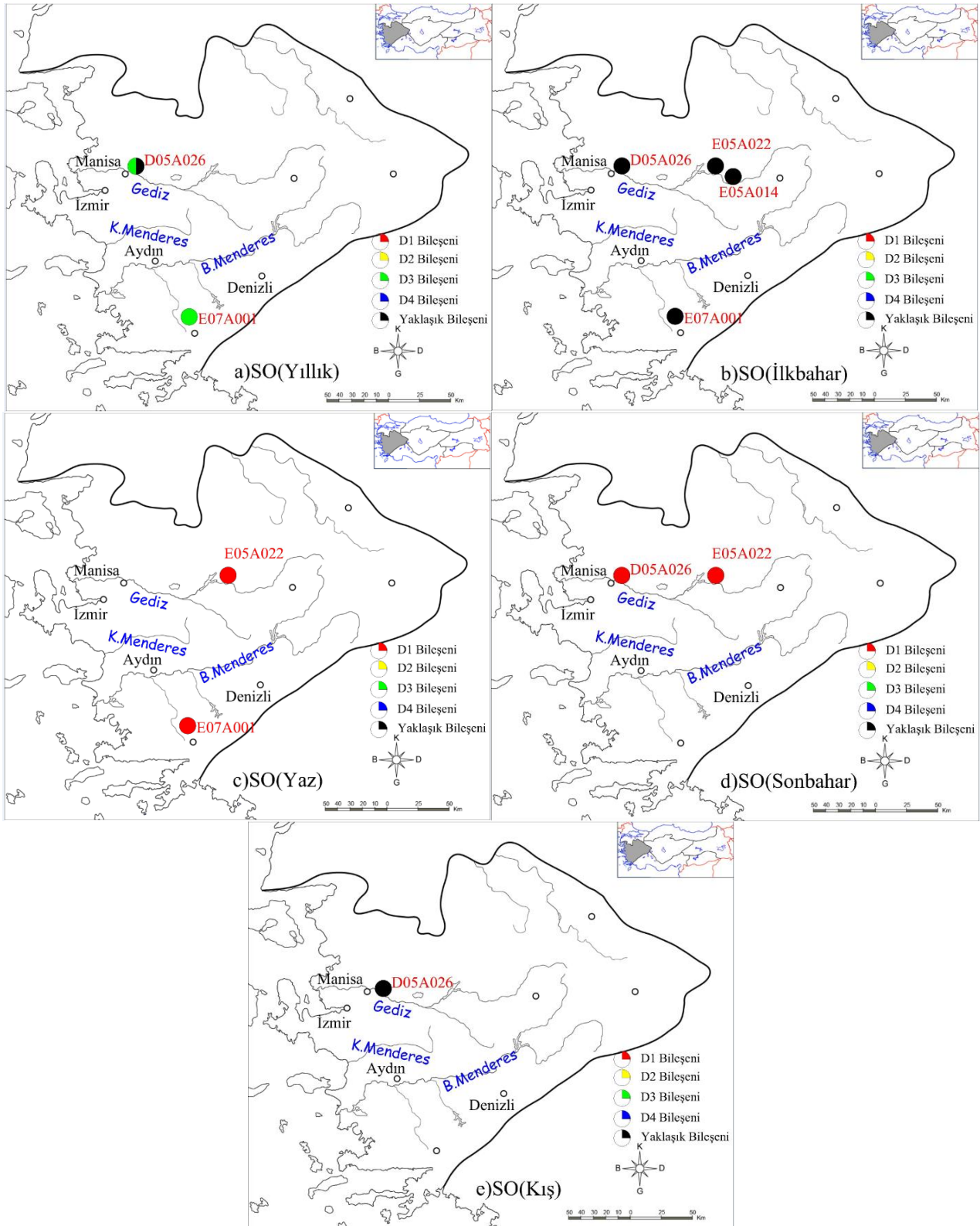
Özellikle SO indeksi ile gözlemlenen akım verileri arasında anlamlı korelasyonlara sahip istasyon sadece D05A026 iken, dalgacık periyodik akış verileri arasında 4 istasyonda anlamlı korelasyon bulunduğu görülmektedir. Sonuç olarak, dalgacık periyodik analizi, atmosferik salınım ve akım verileri arasındaki korelasyonu önemli ölçüde artırmaktadır.



Şekil 5: Dalgacık dönüşümü sonrası NAO etkisinde olan istasyonlar a)yıllık b)ilkbahar c)yaz d)sonbahar e)kış akımları



Şekil 6: Dalgacık dönüşümü sonrası AO etkisinde olan istasyonlar a)yıllık b)ilkbahar c)yaz d)sonbahar e)kış akımları



Şekil 7: Dalgacı dönüşümü sonrası SO etkisinde olan istasyonlar a)yıllık b)ilkbahar c)yaz d)sonbahar e)kış akımları

4. Sonuç ve Tartışma

Önceki çalışmalar göstermiştir ki özellikle kış mevsiminde negatif NAO'nun etkisi Akdeniz çevresindeki bölgelerde daha yağışlı koşullara neden olmaktadır (Sezen ve Partal 2019). Önceki çalışmalar Türkiye yağış ve akış verileri ile NAO arasında bir bağlantı olduğunu göstermiştir. Genel olarak bu ilişki negatif NAO'nun aşırı değerlerinde özellikle kış ve sonbahar mevsimlerinde Türkiye genelinde yağış ve akışlarda artış, tersi olarak pozitif NAO'nun aşırı değerlerinde ise

yağış ve akışlarda kuraklık olarak gözlenmektedir (Karabörk vd. 2005; Vazifekhhah ve Kahya 2018). Bu çalışmada, küresel atmosferik salınımların, Gediz ve Büyük Menderes Havzalarında bulunan 5 akım istasyonu akım verileri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

1. Türkiye'nin batısında yer alan Gediz ve Büyük Menderes havzalarında yıllık akım verileri ile NAO ve AO arasında negatif ilişki bulunduğu görülmektedir. Örneğin D05A026 istasyonu için, yıllık akımla NAO arasındaki korelasyon -0,306, yıllık akımla AO arasındaki korelasyon ise -0,37 bulunmuştur. Ayrıca NAO ve AO ile, özellikle kış mevsimi akarsu akımları arasında güçlü bir negatif korelasyon bulunmuştur. Genel olarak korelasyon analizine göre NAO ve AO'nun etkisi benzer olmakla birlikte AO, ilkbaharda NAO'dan daha etkilidir. Bu çalışmada bulunan sonuçlar önceki çalışmaların sonuçlarına benzerdir. Yani yüksek pozitif NAO veya AO ile akımlardaki düşüşün özellikle kış ve ilkbahar mevsiminde beklenilebileceği görülmektedir.
2. Atmosferik indisler ve gözlenen akımlar arasında anlamlı pozitif korelasyonlar çok azdır. Yaz mevsimi için NAO ile E07A013 istasyonu akım verileri arasında ve sonbahar mevsiminde ise SO ile D05A026 istasyonu akım verileri arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif korelasyonlar görülmüştür.
3. Bu çalışmada, akım verilerinin periyodikliğinin atmosferik salınımlarla ilişkisi de ortaya konulmaktadır. Dalgacık periyodik bileşenleri, gözlemlenen verilere göre daha fazla korelasyon göstermektedir. Örneğin, korelasyon analizi sonucu E07A001 istasyonunda NAO etkisinde herhangi bir anlamlı korelasyon bulunmamaktadır. Ancak dalgacık analizi sonunu aynı istasyonda sonbahar mevsiminde 4 yıllık periyotta anlamlı bir ilişki saptanmıştır.
4. Sonuçlar, yıllık ve kış mevsiminde NAO ile D2'nin (4 yıllık periyodiklik) diğer bileşenlere göre daha fazla istasyonda negatif ilişki olduğunu göstermektedir.
5. AO indeksinin, yıllık akımların ve kış akımlarının 16 yıllık periyoda sahip D4 dalgacık bileşenleri ile önemli negatif korelasyonlara sahip olduğu görülmüştür. Buna göre, AO'nun Türkiye'nin batısındaki akımların uzun periyodlu davranışları üzerinde etkili olduğu söylenebilir.
6. SO indeksi ile gözlemlenen akarsu akım verileri arasında önemli bir korelasyon olmamakla birlikte, dalgacık analizi sonrası başta yaklaşık bileşeni (A) ile olmak üzere pek çok periyodik bileşende anlamlı ilişki olduğu görülmektedir. Özellikle ilkbahar mevsiminde A bileşeni ve SO indisi arasında ki anlamlı korelasyonlar çok fazladır. Genel olarak önceki çalışmalar SO'nun NAO ve AO ile karşılaştırıldığında daha zayıf bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu sebeple bu çalışma, SO indeksinin Batı Türkiye'deki akımların uzun vadeli değişimleri üzerindeki etkisini doğrulamaktadır.
7. Dalgacık periyodik bileşenleri, bize küresel atmosferik indekslerin Batı Türkiye akımlarını temsil eden akım verileriyle olan ilişkisinin ana faktörlerini göstermektedir. Bulunan sonuçlar ana periyodik bileşeni ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak küresel atmosferik indekslerin (NAO ve AO gibi) aşırı pozitif değerlerinde Büyük Menderes ve Gediz akımlarında veya yağışlarında azalma beklenmektedir. Bu nedenle havzaların su yönetim planlamalarında gelecek yıllarda beklenilebilecek küresel etkiler göz önüne alınarak yağış ve akışlardaki değişimler göz önüne alınmalı, gelecek çalışmalarda bu değişimlerin ve kuraklığın etkilerinin başta tarım olmak üzere bölge üzerindeki etkilerinin daha detaylı incelenmesi önerilmektedir.

Kaynaklar

- Adamovski J., Prokoph A., (2014), *Determining the amplitude and timing of streamflow discontinuities: A cross wavelet analysis approach*, Hydrological Processes, 28(5), 2782-2793.
- Adarsh S., Reddy M.J., (2015), *Trend analysis of rainfall in four meteorological subdivisions of southern India using nonparametric methods and discrete wavelet transforms*, International journal of Climatology, 35(6), 1107-1124.
- Bayazit M., Yeğen Oğuz E.B., (2005), *Mühendisler İçin İstatistik*, Birsan Yayınevi, İstanbul, 197ss.
- Burt T., Howden N., (2013), *North Atlantic Oscillation amplifies orographic precipitation and river flow in upland Britain*, Water Resources Research, 49(6), 3504-3515.
- Cannas B., Fanni A., See L., Sias G., (2006), *Data processing for river flow forecasting using neural networks: Wavelet transforms and data partitioning*, Physics and Chemistry of the Earth, 31, 1164-1171.
- Daubechies I., (1990), *The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis*, IEEE Transactions on Information Theory, 36(5), 961 – 1005.
- Dettinger M.D., Diaz H.F., (2000), *Global characteristics of stream flow seasonality and variability*, Journal of Hydrometeorology, 1(4), 289-310.
- DSİ, (2019), *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü akım gözlem yıllıkları*, <http://www.dsi.gov.tr/faaliyetler/akim-gozlem-yilliklari> (Erişim 01 Eylül 2019).
- Durdu Ö. F., (2010), *Effects of climate change on water resources of the Büyük Menderes River basin, western Turkey*, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 34(4), 319-332.
- Düzenli E., Tabari H., Willems P., Yilmaz M.T., (2018), *Decadal variability analysis of extreme precipitation in Turkey and its relationship with teleconnection patterns*, Hydrological Processes, 32(23), 3513-3528.
- Fendekova M., Pekárová P., Fendek M., Pekár J., Škoda P., (2014), *Global drivers effect in multi-annual variability of runoff*, Journal of Hydrology and Hydrometeorology, 62, 169-176.
- Hurrell J.W., (1995), *Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation*, Science, 269, 676-679.

- Iqbal M.A., Penas A., Cano-Ortiz A., Kersebaum K., Herrero L., del Río S., (2016), *Analysis of recent changes in maximum and minimum temperatures in Pakistan*, Atmospheric Research, 168, 234-249.
- Jiang R., Gan, T.Y., Xie J., Wang N., (2014), *Spatiotemporal variability of Alberta's seasonal precipitation, their teleconnection with large-scale climate anomalies and sea surface temperature*, International journal of climatology, 34(9), 2899-2917.
- Kahya E., Karabörk C., (2001), *The analysis of El Niño and La Niña signals in streamflows of Turkey*, International Journal of climatology, 21(10), 1231-1250.
- Karabörk M.C., Kahya E., Karaca M., (2005), *The influences of the Southern and North Atlantic, Oscillations on climatic surface variables in Turkey*, Hydrological Processes, 19(6), 1185-1211.
- Kutiel H., Türkes M., (2005), *New Evidence for the role of the North Sea-Caspian pattern on the temperature and precipitation regimes in Continental Central*, Geografiska Annaler. 87(4), 501-513.
- Mallat S.G., (1989), *A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11(7), 674-693.
- Meyer Y., (1993), *Wavelets Algorithms & Applications*, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 133ss.
- Nalley D., Adamovski J., Khalil B., (2012), *Using discrete wavelet transforms to analyze trends in streamflow and precipitation in Quebec and Ontario*, Journal of Hydrology, 475, 204-228.
- Nourani V., Baghanam A.H., Adamowski J., Kişi Ö., (2014), *Applications of hybrid wavelet-artificial intelligence models in hydrology: a review*, Journal of Hydrology, 514, 358-377.
- Partal T., (2012), *Wavelet analysis and multi-scale characteristics of the runoff and precipitation series of the Aegean region (Turkey)*, International Journal of Climatology, 32, 108-120.
- Philandras C., Nastos P., Kapsomenakis I. Repapis C., (2015), *Climatology of upper air temperature in the Eastern Mediterranean region*, Atmospheric Research, 152, 29-42.
- Pisoft P., Kalvova J., Brazdil R., (2004), *Cycles and trends in the Czech temperatures series using wavelet transform*, International Journal of Climatology, 24,1661-1670.
- Polonsky A.B., Bardin M.Y., Voskresenskaya E.N. (2007), *Statistical characteristics of cyclones and anticyclones over the Black Sea in the second half of the 20th century*, Physical Oceanography,17, 348–359.
- Sagarika S., Kalra A., Ahmad S., (2015), *Interconnection between oceanic-atmospheric indices and variability in the US streamflow*, Journal of Hydrology, 525, 724–736.
- Sezen C, Partal T., (2019), *The impacts of Arctic oscillation and the North Sea Caspian pattern on the temperature and precipitation regime in Turkey*, Meteorology and Atmospheric Physics, 131, 1677–1696.
- Tamaddun K.A., Kalra A., Ahmad S., (2016), *Wavelet analyses of western US streamflow with ENSO and PDO*, Journal of Water and Climate Change, 8(1), 26–39.
- Türkeş M, Erlat E., (2018), *Variability and trends in record air temperature events of Turkey and their associations with atmospheric oscillations and anomalous circulation patterns*, International Journal of Climatology, 38(14), 5182-5204.
- Vazifehkhah S, Kahya E., (2018), *Hydrological drought associations with extreme phases of the North Atlantic and Arctic Oscillations over Turkey and northern Iran*, International journal of Climatology, 38(12), 4459-4475.
- Voskresenskaya E.N., Maslova V.N., (2011), *Winter-spring cyclonic variability in the Mediterranean-Black Sea region associated with global processes in the ocean-atmosphere system*, Advances in Science and Research, 6, 237–243.
- Ward P.J., Kummu M., Lall U., (2016), *Flood frequencies and durations and their response to El Niño Southern Oscillation: Global analysis*, Journal of Hydrology, 539, 358-378.
- Yılmaz C.B., Demir V., Sevimli M.F., (2020), *Karadeniz Yağışlarının Kuzey Atlantik Salınımı ile İlişkisi*, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(3), 248-254.

02 Mart 2017 Adıyaman-Samsat Depremi ($M_l=5.7$) Artçı Şokları Kullanılarak Deprem İstatistiği Parametrelerinin Analizi ve Bölgesel Değişimleri

Nihan Hoşkan^{1,*}

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

Özet

Bu çalışmada 02 Mart 2017 Adıyaman-Samsat Depremi ($M_l=5.7$) sonrasında meydana gelen artçı sarsıntılar kullanılarak b -değeri ve artçı deprem azalım parametresi p -değerinin istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiştir. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERI) ile Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) kataloglarından derlenmiş 1345 artçı şok, yerel büyüklük M_l 'ye göre derlenmiştir. Sonrasında, kayan pencereleme yöntemi ile tamlik magnitudü $M_c=1.6$ elde edilmiş, en büyük olasılık yöntemi kullanılarak tüm bölge için ortalama b -değeri 0.768 ± 0.03 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, tektonik depremlerde b için beklenen 1'e yakındır ve Gutenberg-Richter bağıntısı ile uyumludur. Geliştirilmiş Omori yasası ile tüm bölge için $p=0.91 \pm 0.05$ $c=0.041 \pm 0.030$ ve $K=25.6 \pm 3.21$ olarak hesaplanmıştır. Kabuk heterojenitesi, ısı akısı ve tektonik deformasyonla ilgili olabileceği düşünülen p -değerinin 1'den küçük olması artçı şok azalım oranının nispeten yavaş olduğunu yansıtmaktadır. b - ve p -parametrelerinin bölgesel değişim haritaları $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ grid aralığı ve her düğüm noktasına 450 deprem alınarak hazırlanmıştır. b -değeri 02 Mart 2017 ($M_l=5.7$) depreminin kuzeydoğu-güneybatı hattında yüksek ve bu depremin güney-güneydoğusunda düşük değer almıştır. Düşük b -değerinin yanında bölgede 24 Nisan 2018 ($M_l=5.4$) depreminin meydana gelmesi, bölgesel gerilmenin arttığının habercisi olabilir. p -değerinin bölgesel değişimi incelendiğinde, yüksek p -değeri Adıyaman-Samsat depreminin kuzey-kuzeydoğusundadır ve literatürde verilen InSAR haritasındaki deformasyon bölgesi ile hemen hemen uyumludur.

Anahtar Sözcükler

02 Mart 2017 Adıyaman Samsat Depremi, b - ve p -değerleri değişim haritası, Gutenberg-Richter Bağıntısı, Omori Yasası

Earthquake Statistical Parameters Analysis and Regional Variations of March 02, 2017 Adıyaman-Samsat Earthquake ($M_l = 5.7$) by Using its Aftershocks

Abstract

In this study, using the aftershocks that occurred after the March 02, 2017 Adıyaman-Samsat Earthquake ($M_l = 5.7$) statistical analyzes of b -value and aftershock decay parameter p -value were performed. 1345 aftershocks compiled from the catalogs of the Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) and the Disaster & Emergency Management Authority (AFAD) were homogenized according to the local magnitude M_l . Afterwards, the completeness magnitude $M_c=1.6$ was obtained with the moving time window approach and using maximum likelihood method, b -value was calculated as 0.768 ± 0.03 for the whole region. This value is close to the expected 1 for b for tectonic earthquakes and is consistent with the Gutenberg-Richter relation. With modified Omori's Law $p=0.91 \pm 0.05$, $c=0.041 \pm 0.030$ and $K=25.6 \pm 3.21$ were calculated for the entire region. The p -value, which is thought to be related to crustal heterogeneity, heat flux and tectonic deformation, is less than 1, reflecting the relatively slow aftershock decay rate. Regional variation maps of b - and p -parameters were prepared by taking 450 earthquakes at each node point with $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ grid interval. The b -value was high in the northeast-southwest line of the March 02, 2017 ($M_l=5.7$) earthquake and low in the south-southeast of this earthquake. Besides the low b -value, the occurrence of the 24 April 2018 ($M_l=5.4$) earthquake in the region may foreshadow the increase in regional stress. Examining the regional variation of the p -value, the high p -value is in the north-northeast of the Adıyaman-Samsat earthquake and is almost consistent with the deformation region on the InSAR map given in literature.

Keywords

March 02, 2017 Adıyaman Samsat Earthquake, Spatial distribution of b -and p -values, Gutenberg-Richter Relation, Omori Law

1. Giriş

Büyük depremler sonrası kısa zamanda ve çok sayıda meydana gelen artçı şok dizisi, deprem bölgesinin tektonik yapısı, ana şokun kaynak özellikleri hakkında detaylı bilgi edinilmesi ve sismik tehlikenin anlaşılması açısından önemlidir (Wiemer ve Katsumata 1999; Öztürk ve Şahin 2019; Öztürk ve Ormeni 2021).

Artçı şok dizisinin detaylı incelenmesi, büyük depremlerin karşılaştırılmasına imkan verir ve ana şokun meydana geldiği fay ya da bu fayla ilişkili ikincil fayların kırılma boyutlarının, konumunun, uzun zamandaki deprem etkinliğini kontrol eden mekanizmanın anlaşılmasını sağlar (Ogata 2001; Ogata vd. 2003; Öztürk ve Bayrak 2006; Utkucu vd. 2005). Artçı şoklar analiz edilerek deprem bölgesinin istatistiksel parametreleri pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Wiemer ve Wyss 2002; Enescu ve Ito 2002; Bayrak ve Öztürk 2004; Utkucu vd. 2005; Kutoğlu vd. 2008; Görgün vd. 2010; Öztürk 2011, Öztürk vd. 2008a; Öztürk vd. 2008b; Nematı 2014; Ávila-Barrientos vd. 2015; Raub vd. 2017; Meng vd. 2018; Öztürk ve Şahin 2019; Nanjo 2020).

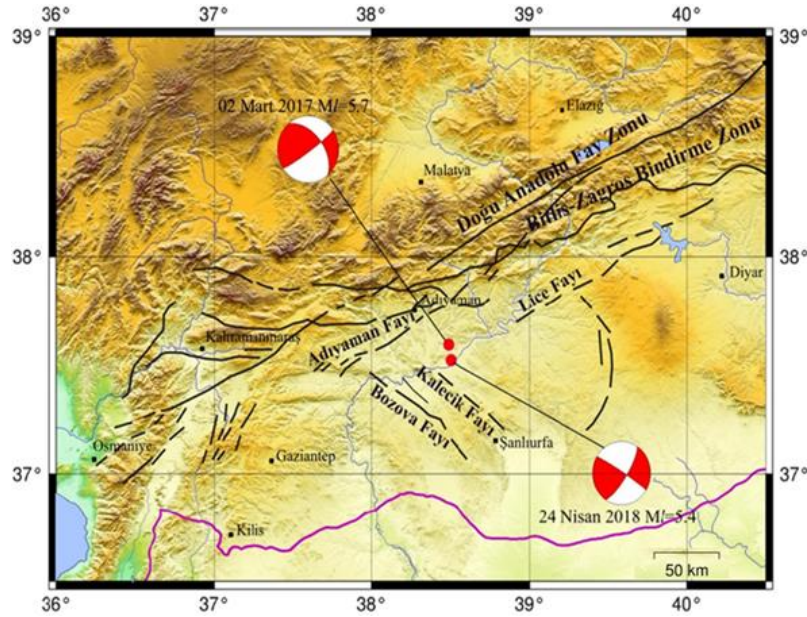
Artçı sarsıntıların zamansal ve mekânsal dağılım modelleri ile ilgili en eski ve en önemli araştırmalardan biri Utsu (1969) tarafından yapılmıştır. Kisslinger (1993), artçı şok dağılımını kullanarak fay bölgelerinin fiziksel özelliklerini ve gerilme, sıcaklık, direnç gibi çevresel koşullarla olan ilişkisini incelemiştir. Aktif faylar boyunca uzaysal b-değer dağılımlarının haritalanması, gelecekteki bir depremde kırılma olasılığının yüksek olduğu varsayılan pürüzleri (düşük b-değeri olan alanlar) belirlemek için kullanılmıştır (Wyss vd. 2000; Wyss 2001). Enescu ve Ito (2002), 2000 yılındaki Batı Tottori depremi sonrası meydana gelen artçı şok dizisini kullanarak yaptıkları çalışmada, düşük b değerine sahip alanların muhtemel yüksek gerilim altındaki bölgeler olduğunu; büyük p değerlerinin, ana şok sırasında büyük kayma yaşayan bölgelerle korelasyon gösterdiğini, küçük p değerlerinin ise genellikle önemli kırılma yaşanmayan bölgelerde elde edildiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, p-değerinin, kırılma sırasında üretilen sürtünme ısı ve/veya kabuktaki heterojenlik ile kontrol edilebileceğini de öne sürmüşlerdir. Schorlemmer vd. (2004), San Andreas Fayı Parkfield segmenti boyunca sismisiteyi incelemiş ve düşük ve yüksek değerli anomalilerin sırasıyla kilitli ve krip fay segmentleriyle ilişkilendirilebileceğini önermişlerdir. Öztürk ve Bayrak (2006), 31 Temmuz 2005 Ankara Bala Depremi artçı şok parametrelerinin bölgesel değişimleri ile ilgili yaptıkları çalışmada, düşük b ve p değerlerini alan bölgelerin, gelecekte olası deprem potansiyeline sahip bölgelere karşılık geldiği sonucuna varmışlardır. Öztürk ve Şahin (2019), artçı şok parametreleri, gerilme değişiklikleri ve sismik deformasyon arasında korelasyon olduğuna ve artçı şok dizisinin uzay-zaman-büyüklik analizinin önemine vurgu yapmışlardır.

Adıyaman Samsat'ta 02 Mart 2017 tarihinde yerel saat ile 14:07.25'te Adıyaman Barajı yakınında $M=5.7$ büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. Depremde can kaybı olmamış, yapılarda hasar tespit edilmiştir (İmamoğlu vd. 2017; Özcan vd. 2017). Sismik olarak aktif olan bölgede meydana gelen depremlerin baraj kaynaklı tetikleme depremi olup olmadığı konusunda çalışmalar yapılmıştır. Eyidoğan vd. (2010) ve Eyidoğan ve Geçgel (2010) Atatürk Barajı rezervuarlarındaki su seviyesindeki değişimleri incelemişler, 2007-2009 yılları arasında su seviyesindeki ani azalmaların bölgedeki gerilimi değiştirdiğini ve bu azalım zamanlarında $M=3.8$ ve $M=5.1$ büyüklüğünde meydana gelen depremlerin tetikleme depremleri olduğunu, bölgede barajdaki su seviyesi değişiminden kaynaklanan depremlerin ileride de olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Tatar vd. 2019, Yapay Açıklık Radar İnterferometrisi (InSAR) verileri ile bölgedeki yüzey deformasyonunu hesaplamışlar, Samsat beldesinin kuzeydoğusunda yoğunlaşan 2.78 cm'lik faz değişimi tespit etmişlerdir. Bölgede meydana gelen 02 Mart 2017 Samsat ($M=5.7$) ve 24 Nisan 2018 ($M=5.4$) depremlerinin tetikleme depremi olmadıklarını, Samsat Fayının ürettiği depremler olduğunu ifade etmişlerdir.

Artçı şok dizileri kullanılarak yapılan sismik tehlike değerlendirmeleri, can ve mal kaybının yanı sıra, sosyal ve ekonomik olarak ortaya çıkacak sorunların asgari seviyeye indirgenebilmesi açısından önemlidir (Öztürk ve Şahin 2019; Öztürk ve Ormeni 2021). Artçı şok aktivitesi, depremlerin sayısı ile büyüklük dağılımı arasındaki ilişkiyi tanımlayan Gutenberg-Richter kanunu ve artçı şok aktivitesinin azalmasını tanımlayan geliştirilmiş Omori yasası olmak üzere iki temel ilişki ile incelenir. Bu çalışmada 02 Mart 2017 Adıyaman-Samsat depreminin ($M=5.7$) artçı şoklarının istatistik özellikleri, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERI 2018) ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD 2018) deprem katalogları kullanılarak incelenmiştir. Artçı deprem dizilerinin istatistik özelliklerini incelemek için Gutenberg ve Richter (1954) yasasına göre b-değeri ve geliştirilmiş Omori yasasına göre p-değeri ZMAP paket programı (Wiemer 2001) kullanılarak hesaplanmıştır. b- ve p-değerlerinin bölgesel dağılımı haritalanarak artçı deprem etkinliği kullanılarak bölgenin sismik tehlikesi araştırılmıştır.

2. Bölgenin Tektoniği

02 Mart 2017 Adana-Samsat Depremi ($M=5.7$)'nin meydana geldiği Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki en önemli tektonik yapı, Bitlis - Zagros Bindirme Zonu, bir diğer adıyla da Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağıdır. Zon, Arap levhası ile Avrasya levhasının Orta Miyosen sonlarında başlayan çarpışma yeridir ve Adıyaman havzasının kuzey sınırını oluşturur. 1500 km uzunluğunda ve 60 km genişliğindeki bu kuşak, Kahramanmaraş ve Adıyaman çevresinden başlayıp, İran'da Zagros Kuşağı ile birleşir (Eyidoğan 1983) (Şekil 1).



Şekil 1: Adiyaman ve çevresindeki önemli fay sistemleri ve 02 Mart 2017 Samsat ($M_l=5.7$) ve 24 Nisan 2018 ($M_l=5.4$) Samsat depremlerinin yeri ve odak mekanizma çözümleri (odak mekanizması çözümleri AFAD'dan alınmıştır) (İmamoğlu 2009'dan değiştirilmiştir)

Çalışma alanındaki diğer önemli faylar ise; 580 km uzunluğundaki Karlıova'dan Antakya'ya doğru yaklaşık KD-GB genel uzanımlı sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu'dur (Şengör 1979; Şengör 1980). Adiyaman Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonunun R kırığı şeklinde görülen, ve bu zonun Palu ilçesi batısında ayrılıp güneybatıya dönerek Adiyaman'a devam eden Atatürk Barajı akısının hemen önünden ilerleyip Besni güneyinde çatallanıp kaybolan Miyosen yaşlı 3 km genişliğinde, 210 km uzunluğundaki K60°D doğrultulu sol yanal atımlı bir fay zonudur (Sungurlu 1974; Perinçek vd. 1987; İnceöz vd. 2003; İnceöz ve Zengin 2014).

Lice Fay Zonu, Lice dolaylarından başlayıp Hani yakınlarında çatallanıp güney kolu Karacadağ bazaltlarına; kuzey kolu ise Dicle Nehri'nden güneybatıya devam eden Fırat Nehri'ne paralel uzanır ve sol yönlü atım yanı sıra düşey atım da bulunan fay zonudur (Eyidoğan 1983; Perinçek vd. 1987). Bu fay zonu üzerinde 1975 yılında Lice Depremi ($M_s=6.6$) meydana gelmiştir.

Bölgede gözlenen önemli ve aktif diğer bir fay, Doğu Anadolu Fay Zonunun X kırığı niteliğinde Adiyaman ili güneyinde belirginleşip Bozova'dan geçip Şanlıurfa merkez yakınlarında güneye dönen ve Akçakale grabeninin batı kenarını oluşturan KB-GD doğrultulu yaklaşık 50 km uzunluğunda yüksek açılı, sağ yönlü doğrultu atımlı Bozova fayıdır (Şengör vd. 1985; Şengör vd. 2008; Zengin 2005; Duman vd. 2012).

Kalecik Fayı, Bozova Fayının doğusunda, bu faya paralel olarak Lice Fay Zonu ile Doğu Anadolu Fay Zonunun bir X kırığı niteliğinde gelişmiş, Bozova ile Hilvan arasında KB-GD yönlü uzanan sağ yanal doğrultu atımlı faydır (İmamoğlu 2009).

Bölgede, arazi gözlemleri ve 02 Mart 2017 ($M_l=5.7$) ile 24 Nisan 2018 ($M_l=5.4$) Adiyaman Samsat depremleri odak mekanizma çözümlerine dayanılarak, Yenilenmiş Türkiye Diri Fay haritasında bulunmayan, K40-50°B gidişli sağ yanal doğrultu atımlı Bozova Fayına paralel Samsat Fayından bahsedilmektedir (Özcan vd. 2017; İmamoğlu vd. 2017; Tatar vd. 2019).

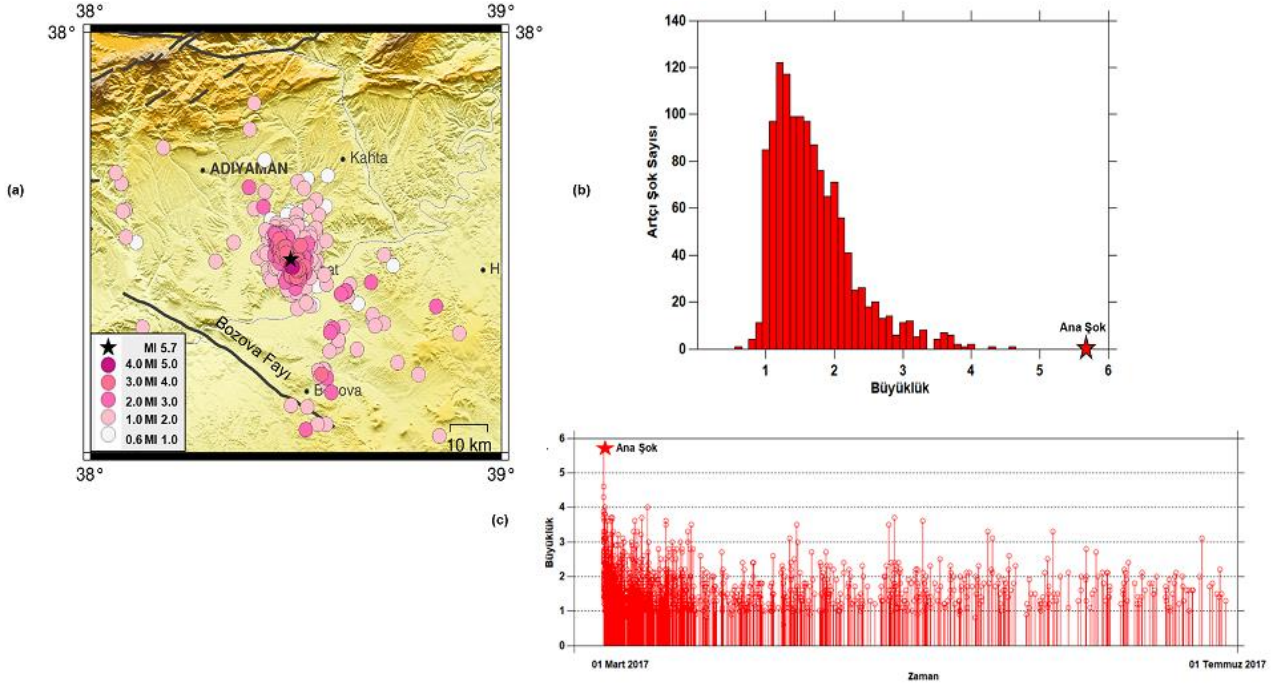
Tarihte, Pütürge segmentinde 1875'te $M_{6.7}$ ve 1905'te $M_{6.8}$, Erkenek segmentinde 1893 yılında $M_{7.2}$ büyüklüklerinde depremler meydana gelmiştir (Ambraseys 1988; Ambraseys ve Jackson 1998). AFAD deprem katalogundan yararlanılarak bölgede son yüzyılda 1964 Sincik-Adiyaman ($M_s6.0$), 1981 Gerger-Adiyaman ($M_{5.0}$) ve 2010 Gerger-Adiyaman ($M_{4.7}$) depremlerinin meydana geldiği tespit edilmiştir (AFAD 2018).

Özcan vd. 2017, 1980 sonrası meydana gelmiş $M \geq 3.8$ olan büyük depremleri kullanarak oluşturdukları katalog yardımıyla bölgede yaklaşık 20 yılda bir $M_{6.0}$, 65 yılda bir $M_{6.5}$ ve 200 yılda bir de $M_{7.0}$ büyüklüğünde deprem olabileceğini öne sürmüşlerdir.

3. Materyal ve Yöntem

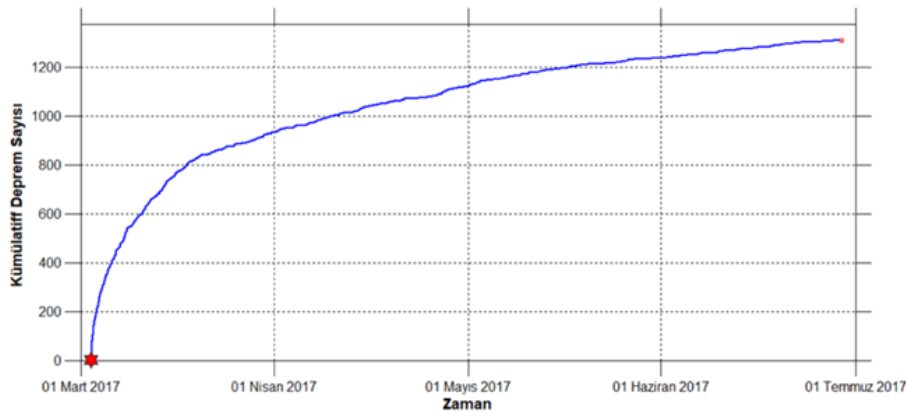
02 Mart 2017 yılında yerel saatle 14:07.25'te meydana gelen depremin merkez üssü koordinatları AFAD tarafından 37.5955(K), 38.4866(D) olarak verilmiştir (Şekil 2a, siyah yıldız). Depremin büyüklüğünü KOERI $M_l=5.7$, AFAD ve USGS $M_w=5.6$ olarak vermiştir. Odak derinliği 18 km (KOERI), 9.76 km (AFAD) ve 13.5 (USGS) olarak verilmiştir. Arazi gözlemleri sonucunda depremin, Samsat Fayı üzerinde olduğu ileri sürülmüştür (Özcan vd. 2017; İmamoğlu vd. 2017; Tatar vd. 2019).

Bu çalışmada Samsat $M_I=5.7$ depremini istatistiksel olarak incelemek ve bölgesel olarak analiz edebilmek için AFAD ve KOERI deprem kataloglarından derlenmiş artçı şok dizisi kullanılmıştır. Her iki deprem veri merkezi de 02 Mart 2017 Samsat depremi artçı şoklarının yerel büyüklüklerini hesaplamışlardır. Artçı şok dizisi için katalog oluşturulurken, veri merkezleri tarafından yerel büyüklükleri hesaplanmış olaylar derlenmiştir. AFAD ve KOERI'nin verdiği merkez üssü bilgisi kullanılmış (Şekil 2a), relokasyon yapılmamıştır. Çalışma için hazırlanan katalog, 02 Mart-01 Temmuz 2017 tarihleri arasındaki zaman diliminde $0.6 \leq M_I \leq 5.7$ büyüklükleri arasındaki 1345 artçı şoku içermektedir (Şekil 2b). Deprem sonrası meydana gelen en büyük artçı şok $M_I=4.6$ 'dır. Deprem sonrası ilk bir ay içinde $0.8 \leq M_I \leq 4.6$ aralığında 952 artçı şok oluşmuşken, haziran ayında $1.1 \leq M_I \leq 2.7$ aralığında 39 deprem meydana gelmiştir (Şekil 2c). Bu nedenle, artçı şok katalogu için seçilen zaman diliminin uygun olduğu düşünülmüştür.



Şekil 2: 02 Mart 2017 Adıyaman-Samsat ($M_I=5.7$) Depremi artçı şok dizisinin a) merkez üssü dağılımı (farklı büyüklükteki depremler farklı renklerle gösterilmiştir), b) büyüklük histogramı, c) Mart-Temmuz zaman dilimindeki büyüklük değişimleri

Deprem oluş sayısı-zaman grafiği Şekil 3'te verilmiştir. Bölgedeki artçı şoklar, deprem oluş zamanı ile Nisan ayı arasında hızlı bir artış göstermiş, nisan ayından temmuz ayına kadar doğrusal olarak artmaya devam etmiştir.



Şekil 3: 02 Mart 2007 Samsat ($M_I=5.7$) Depremi kümülatif deprem sayısı- zaman dağılımı

Bu çalışmada, artçı şok etkinliğini tanımlayan iki temel ilişki kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, deprem istatistiğinin temel bağıntısı olan ve depremlerin sayısı ile büyüklüğü arasındaki ilişkiyi tanımlayan Gutenberg-Richter (1954)

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

bağıntısıdır. Burada, M ; büyüklük, N ; büyüklüğü M veya daha büyük olan depremlerin belirli bir zaman aralığındaki sayısı, a ; doğrunun $\log N$ eksenini kestiği nokta, b ise deprem oluş sayısı ile büyüklük dağılımının eğim miktarıdır. b -değeri depremin meydana gelme fiziği ile ilgilidir (Mogi 1962; Scholz 1968). b değerlerindeki değişimler, sismotektonik bölgelendirme ve depremlerin önceden kestirilmesi çalışmalarında kullanılması açısından önemlidir. Büyük b -değeri zayıf bir gerilme azalmasını, küçük b -değeri ise yüksek gerilme azalmasını işaret eder (Lomnitz ve Singh 1976). a katsayısı, örneklenen zaman ve bölgedeki deprem sayısına bağlıdır ve büyük değerinin olması incelenen bölgedeki deprem aktivitesinin yüksek olduğunu gösterir.

Bu çalışmada b -değerinin belirlenmesi için, Türkiye ve çevresindeki depremlerin kümülatif frekanslarına en iyi uyan (Alptekin 1978) en büyük olasılık yöntemi (EBO) kullanılmıştır (Aki 1965; Shi ve Bolt 1982). Yöntemde,

$$b = \frac{\log_{10} e}{(M_{mean} - M_c)} \quad (2)$$

şeklinde dir. Burada M_{mean} ortalama büyüklük ve M_c ise incelenen zaman aralığında deprem kataloğunun tamlik düzeyini gösteren tamlik veya kesme büyüklüğüdür.

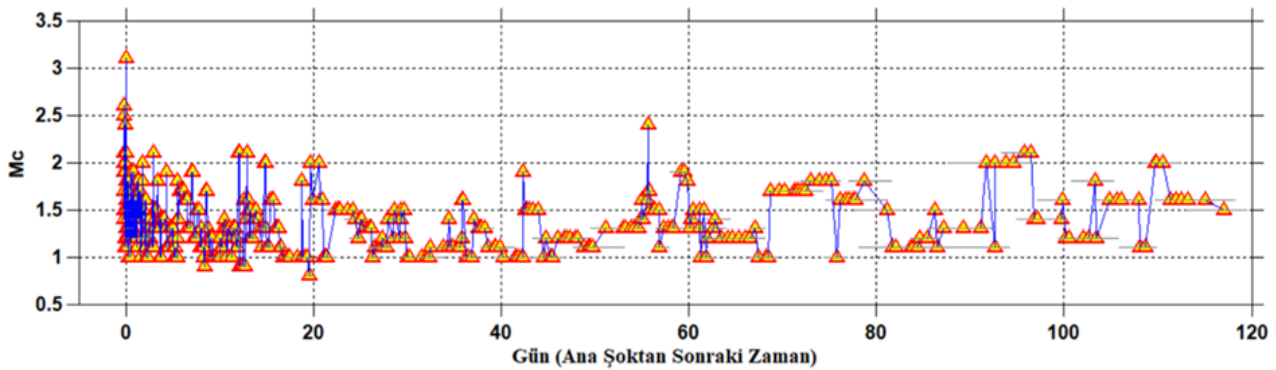
Artçı şok etkinliğini tanımlayan ikinci temel ilişki ise, Omori Yasasıdır. Omori Yasası (1894), zamanın bir fonksiyonu olarak artçı şokların sayısının zamanla azaldığını gösterir (Utsu 1961). Dolayısı ile artçı şokların bölgesel dağılımları, ana şokun artçı şoklara neden olmasından kaynaklanan gerilme değişikliği ile ilişkilidir. Geliştirilmiş Omori yasası (Utsu 1961)

$$n(t) = \frac{K}{(t+c)^p} \quad (3)$$

şeklinde dir. Burada, t ana şoktan sonraki zaman, $n(t)$ ana şokun oluşumundan sonra t birim zamana düşen artçı şokların oluşum sayısıdır. K , c , p ise zaman-deprem sayısı grafiğinden elde edilen sabitlerdir. K değeri depremlerin toplam sayısına bağlıdır. c değeri ise artçı şok dizisindeki en erken zaman aktivite oranı ile ilişkilidir ve 0.02 ile 0.5 değerleri arasında değişir (Hirata 1969, Öztürk ve Ormeni 2021). c -değeri genellikle ana şok kırılması sonu ile artçı şok azalma oranının başlangıcı arasındaki gecikme olarak kabul edilir (Narteau vd. 2009). Artçı şok dizisinin başlangıcındaki aktivite oranına bağlıdır (Öztürk ve Bayrak, 2006). Dizinin erken evresindeki küçük artçı şokların eksik tespiti ile güçlü bir şekilde etkilenir (Kisslinger ve Jones 1991). Bu parametreler içinde artçı şokların en önemli istatistiksel parametresi p -değeridir. Bu değer, artçı şokların üstel olarak azalma oranını belirler (Kisslinger 1996). Utsu vd. (1995), p -değerinin kabuksal heterojenite, gerilme şartları, ısı akışı gibi tektonofiziksel koşullarla ilişkili olduğunu ve dolayısıyla, bölgeden bölgeye değişim göstereceğini belirtmişlerdir. p -değerinin büyük olması daha hızlı bir artçı şok azalım oranını yansıtırken, düşük p -değeri ise artçıların daha yavaş oranda azaldığını işaret etmektedir.

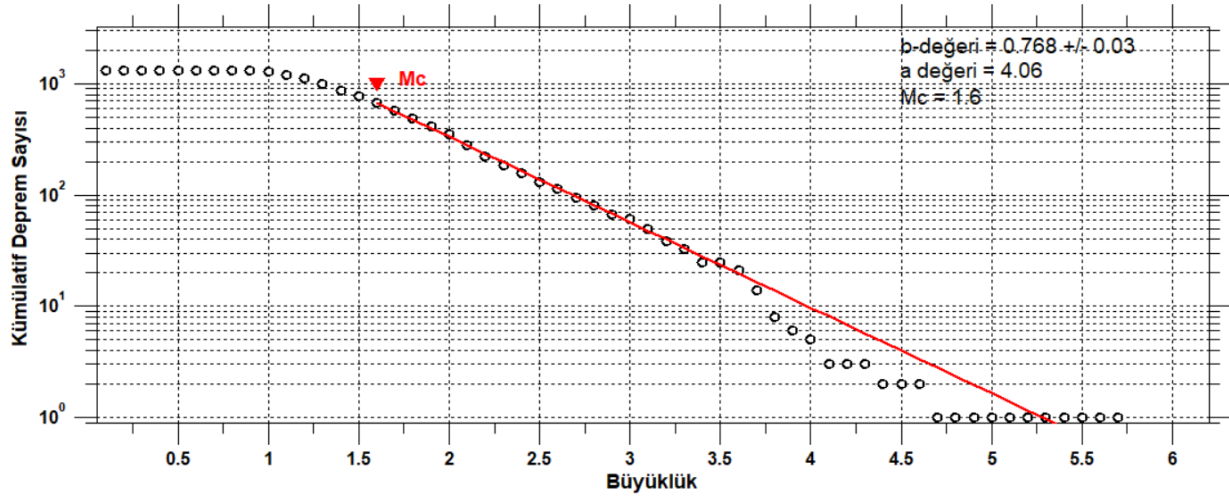
4. Bulgular

Bölgeye ait depremsellik katsayılarını ve bu parametrelerin bölgesel değişimini gözlemlemek amacıyla Wiemer (2001) tarafından geliştirilen ZMAP paket programı kullanılmıştır. Tamlik magnitüdü M_c 'nin zaman içerisinde değişiminin incelenmesi için hareketli pencere tekniği kullanılmıştır. Pencere başına 10 deprem alınmıştır (Şekil 4). Ana şoktan sonraki ilk 10 saatte $M_c \geq 3.1$ iken, ilk 20 günde $0.8 \leq M_c \leq 2.6$ bandında değişim göstermiştir. Depremsellik çalışmalarında güvenilir sonuçlar, tüm büyüklük seviyelerinde eksiksiz veri setinin kullanılması ile mümkündür (Wiemer ve Wyss 2000). Maksimum olay sayısının kullanılması önerilmektedir (Öztürk ve Şahin 2019). M_c 'nin doğru tahmini için veri setindeki olayların %90'ını kapsaması gerekir (Wiemer ve Wyss 2000). Örnekleme aralığı, 20, 75 ve 150 deprem seçilerek hesaplanmış, sonuçların değişmediği görülmüştür. Deprem sayısı-büyüklük dağılımı için $M_c=1.6$ değeri alınmıştır.



Şekil 4: Tamlik büyüklüğü M_c 'nin zamansal değişimi (pencere başına 10 artçı şok alınmıştır)

Çalışmada Gutenberg-Richter ilişkisindeki b-değeri EBO yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. M_c -değeri 1.6 olarak alınmış, %95 güven aralığı içerisinde a-değeri 4.06 ve b-değeri 0.768 ± 0.03 olarak elde edilmiştir. Şekil 5, 02 Mart 2007 Samsat ($M_I=5.7$) depremi ve artçı şokları için Gutenberg-Richter ilişkisini ve b-değerini göstermektedir. Elde edilen b-değerinin Utsu (1971) ile Wiemer ve Katsumata (1999)'nın b için belirttikleri 0.3 ile 2.0 aralığı ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 5: 02 Mart 2007 Samsat ($M_I=5.7$) Depremi ve artçı şoklar için frekans-büyüklik grafiği. Gutenberg-Richter ilişkisindeki a ve b-değerleri ile birlikte tamlik büyüklüğü şekil üzerinde verilmiştir

Tamlık analizi için minimum büyüklük başlangıcı (M_{min}) ve minimum zaman başlangıcı ($T_{başlangıç}$) değerlerinin belirlenmesi gereklidir. p-değerinin hesabı için $M_c \geq M_{min}$ olmak koşulu ile hesaplama yapılmalıdır (Öztürk ve Şahin 2019). Bu amaçla $T_{başlangıç}$ için 0.1, 0.05 ve 0.01; M_{min} için 1.6-2.5 arasındaki değerler hesaplanarak detaylı bir istatistik yapılmıştır (Tablo 1). Hesaplamalarda p-değerinin 0.83-1.1 arasında küçük değişimler gösterdiği tespit edilmiştir. c-değerinin ise 0.214 ile 0.011 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Çalışmada $T_{başlangıç}$ 0.01; M_{min} 2.2 alınarak, M_c değerinin zaman içindeki değişiminin neden olacağı hatalar engellenmeye çalışılmıştır. Geliştirilmiş Omori yasası kullanılarak elde edilen artçı şok dağılım eğrisi yardımıyla $p=0.91 \pm 0.05$; $c=0.041 \pm 0.030$ ve $K=25.6 \pm 3.21$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 1; 27. satır) (Şekil 6). p-değerinin genellikle 0.5-1.8 (Utsu vd. 1995; Wiemer ve Katsumata 1999); c-değerinin ise 0.02-0.5 (Utsu vd. 1995) değerleri arasında değiştiği bilinmektedir. Bu nedenle seçilen M_{min} ve $T_{başlangıç}$ değerlerinin uygun olduğu düşünülmüştür. Artçı şokların zamanla azalım oranı olan p-değeri, depremlerin fiziksel özellikleri ile ilişkilidir (Kisslinger 1996). Liu (1984) p-değerinin birden küçük olmasının bölgede yavaş deprem azalım oranını yansıttığını önermiştir. Buna göre bölgede nispeten daha yavaş bir artçı deprem etkinlik azalımı olduğu söylenebilir.

Tablo 1: p-değeri hesabı için giriş verileri testi

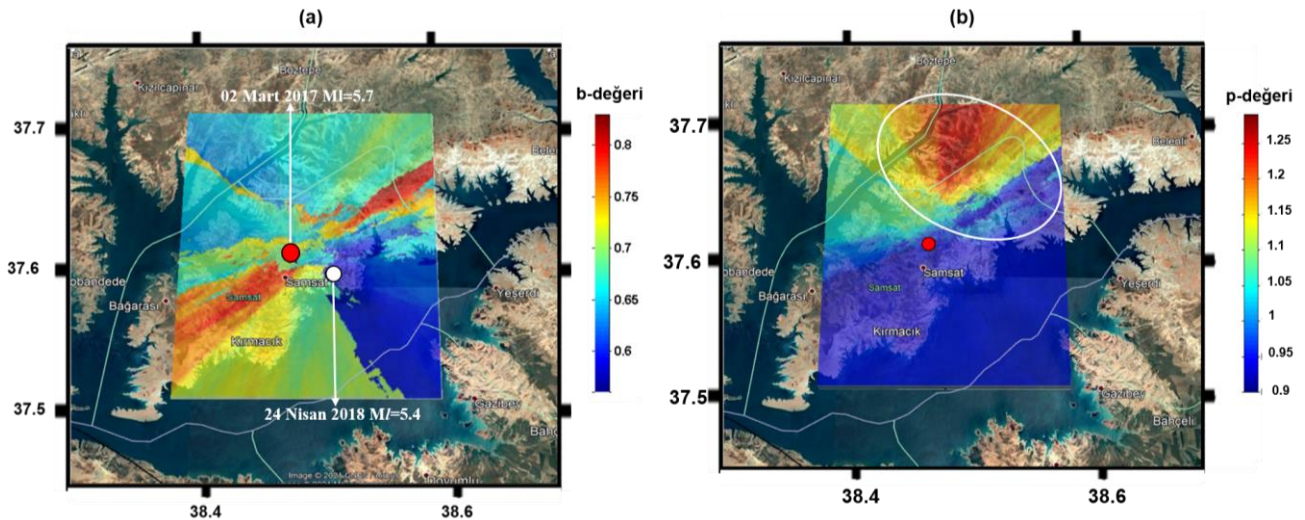
No	M _{min}	Başlangıç Zamanı (T _{başlangıç} gün)	Zaman Aralığı (t gün)	p-değeri	c-değeri	K-değeri	Kullanılan Artçı Şok Sayısı
1	1.6	0.1	0.10208 ≤ t ≤ 118.6153	0.87 ± 0.04	0.158 ± 0.081	80.26 ± 8.99	722
2	1.7	0.1	0.10208 ≤ t ≤ 118.6153	0.86 ± 0.04	0.109 ± 0.086	65.52 ± 8.12	625
3	1.8	0.1	0.10208 ≤ t ≤ 118.6153	0.86 ± 0.04	0.081 ± 0.082	53.88 ± 6.96	538
4	1.9	0.1	0.10208 ≤ t ≤ 118.6153	0.86 ± 0.04	0.076 ± 0.064	43.89 ± 5.58	465
5	2.0	0.1	0.10208 ≤ t ≤ 118.6153	0.84 ± 0.04	0.055 ± 0.061	35.12 ± 4.70	400
6	2.1	0.1	0.10208 ≤ t ≤ 118.6153	0.95 ± 0.07	0.043 ± 0.126	28.86 ± 5.76	273
7	2.2	0.1	0.10208 ≤ t ≤ 118.6153	0.95 ± 0.07	0.031 ± 0.126	28.87 ± 5.76	270
8	2.3	0.1	0.10208 ≤ t ≤ 118.6153	0.95 ± 0.07	0.029 ± 0.107	22.40 ± 4.57	229
9	2.4	0.1	0.10208 ≤ t ≤ 118.6153	0.98 ± 0.08	0.023 ± 0.135	20.42 ± 4.79	204
10	2.5	0.1	0.10208 ≤ t ≤ 118.6153	1.1 ± 0.12	0.012 ± 0.314	18.05 ± 8.52	178
11	1.6	0.05	0.050694 ≤ t ≤ 118.6153	0.87 ± 0.03	0.214 ± 0.064	78.52 ± 8.30	725
12	1.7	0.05	0.050694 ≤ t ≤ 118.6153	0.86 ± 0.04	0.111 ± 0.065	64.49 ± 7.35	625
13	1.8	0.05	0.050694 ≤ t ≤ 118.6153	0.86 ± 0.04	0.095 ± 0.064	54.54 ± 6.47	538
14	1.9	0.05	0.050694 ≤ t ≤ 118.6153	0.87 ± 0.04	0.090 ± 0.066	46.70 ± 5.95	462
15	2.0	0.05	0.050694 ≤ t ≤ 118.6153	0.86 ± 0.04	0.071 ± 0.064	37.55 ± 5.05	397
16	2.1	0.05	0.050694 ≤ t ≤ 118.6153	0.89 ± 0.05	0.056 ± 0.058	31.59 ± 4.467	326
17	2.2	0.05	0.050694 ≤ t ≤ 118.6153	0.95 ± 0.06	0.034 ± 0.102	29.17 ± 5.38	270
18	2.3	0.05	0.050694 ≤ t ≤ 118.6153	0.95 ± 0.07	0.025 ± 0.083	22.75 ± 4.22	229
19	2.4	0.05	0.050694 ≤ t ≤ 118.6153	0.97 ± 0.07	0.018 ± 0.083	19.55 ± 3.85	204
20	2.5	0.05	0.050694 ≤ t ≤ 118.6153	1.01 ± 0.09	0.015 ± 0.056	18.21 ± 4.46	178
21	1.6	0.01	0.010417 ≤ t ≤ 118.6153	0.84 ± 0.03	0.065 ± 0.030	72.12 ± 6.05	722
22	1.7	0.01	0.010417 ≤ t ≤ 118.6153	0.83 ± 0.03	0.045 ± 0.025	59.69 ± 5.06	625
23	1.8	0.01	0.010417 ≤ t ≤ 118.6153	0.83 ± 0.03	0.031 ± 0.020	49.28 ± 4.26	538
24	1.9	0.01	0.010417 ≤ t ≤ 118.6153	0.84 ± 0.03	0.024 ± 0.019	41.79 ± 3.76	462
25	2.0	0.01	0.010417 ≤ t ≤ 118.6153	0.83 ± 0.03	0.014 ± 0.015	33.92 ± 3.14	397
26	2.1	0.01	0.010417 ≤ t ≤ 118.6153	0.86 ± 0.04	0.022 ± 0.020	28.85 ± 3.07	326
27	2.2	0.01	0.010417 ≤ t ≤ 118.6153	0.91 ± 0.05	0.041 ± 0.030	25.60 ± 3.21	270
28	2.3	0.01	0.010417 ≤ t ≤ 118.6153	0.92 ± 0.05	0.026 ± 0.024	20.30 ± 2.63	229
29	2.4	0.01	0.010417 ≤ t ≤ 118.6153	0.93 ± 0.05	0.017 ± 0.020	17.19 ± 2.26	204
30	2.5	0.01	0.010417 ≤ t ≤ 118.6153	0.92 ± 0.05	0.011 ± 0.017	13.90 ± 1.91	178



Şekil 6: 02 Mart 2007 Samsat Depremi (Ml=5.7) artçı şok azalım oranı. p, c ve K değerleri şekil üzerinde verilmiştir

02 Mart 2007 Samsat ($M_I=5.7$) depremi ve artçı şokları için b- ve p-değerlerinin bölgesel değişimi, ZMAP programı kullanılarak, $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ ’lik grid aralığı ile her bir düğüm noktasına en yakın 450 deprem atanarak EBO yöntemi ile hesaplanmıştır (Şekil 7). b-değeri bölgesel olarak 0.56 ile 0.83 arasına değişmektedir. Büyük b-değeri, 02 Mart 2017 ($M_I=5.7$) Samsat depreminin kuzeydoğu-güneybatısında bir hat boyunca elde edilmiştir (Şekil 7a). b-değeri, deprem merkez üssünün kuzeydoğu-güneybatı hattında 0.75-0.83 arasında değişim gösterirken, merkez üssünün güney-güneydoğu kesiminde ise düşüktür. b-değerinin yerkabuğundaki gerilim ile ters orantılı olduğu bilinmektedir. Büyük b-değeri bölgede düşük gerilmeye işaret ederken, tam tersi durum ise kabuktaki gerilmenin arttığını gösterir (Scholz 1968; Wiemer ve McNutt 1997; Urbancic vd. 1992, Wyss vd. 1997; Wiemer vd. 1998). 24 Nisan 2018 ($M_I=5.4$) Depremi (Şekil 1), 02 Mart 2017 ($M_I=5.7$) Samsat depremi merkez üssünün hemen güneydoğusunda, b-değerinin düşük olduğu bölgede meydana gelmiştir (Şekil 7a, beyaz daire).

Bölgede p-değeri 0.9 ile 1.28 değer aralığında değişmekte, Samsat İlçesi kuzey-kuzeydoğusunda en yüksek değeri almaktadır (Şekil 7b). p-değeri değişimi üzerinde hangi parametrenin daha etkin olduğu tam olarak bilinemesi de kabuktaki sıcaklık değişimi, heterojenite ve gerilimle ilişkilendirilebileceği önerilmiştir (Utsu vd. 1995; Mogi 1962; Kisslinger ve Jones 1991). Tatar vd. (2019), InSAR verileri yardımıyla bölgede özellikle Samsat İlçesi yakın kuzeydoğusunda deformasyonun yoğun olduğunu ifade etmişlerdir. Bu sonuç, Şekil 7b’de beyaz elips ile gösterilen p-değerinin yüksek olduğu bölgeye hemen hemen denk düşmektedir.



Şekil 7: 02 Mart 2007 Samsat ($M_I=5.7$) Depremi artçı şok dizisinden hesaplanan a) b-değerlerinin ve b) p-değerlerinin bölgesel değişim haritaları. Kırmızı yuvarlak 02 Mart 2017 ($M_I=5.7$), beyaz yuvarlak 24 Nisan 2018 ($M_I=5.4$) depreminin merkez üssünü; beyaz elips Tatar vd. (2019) tarafından InSAR verisi kullanılarak elde edilen yoğun deformasyon bölgesini göstermektedir

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, 02 Mart 2017 Adıyaman-Samsat depremi ($M_I=5.7$) sonrası meydana gelen artçı şoklar kullanılarak bölgenin b- ve p-değerlerinin analizi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan 1345 artçı şok KOERI ve AFAD kataloglarından yerel büyüklük M_I ’ye göre derlenmiştir. Tamlık büyüklüğü M_c , kayan pencereleme yöntemi ile 1.6 olarak bulunmuştur. Tüm bölge için b-değeri en büyük olasılık yöntemi ile 0.768 ± 0.03 olarak elde edilmiştir. Elde edilen b-değeri, tektonik depremlerde b-değerinin 1’e yakın bulunması beklendiğinden, Gutenberg-Richter bağıntısı ile uyumludur. Geliştirilmiş Omori yasası ile $M_{min} 2.2$, $T_{başlangıç} 0.01$ alınarak $p=0.91 \pm 0.05$; $c=0.041 \pm 0.030$ ve $K=25.6 \pm 3.21$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen p-değeri, bölgede yavaş deprem azalması oranının olduğunu gösterir. b-ve p-değeri bölgesel değişim haritaları, $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ grid aralığı ve her düğüm noktasına 450 deprem alınarak hazırlanmıştır. b-değeri 02 Mart 2017 ($M_I=5.7$) depremi merkez üssünün kuzeydoğu-güneybatı yönündeki hat boyunca nispeten yüksek değer almıştır. 02 Mart 2017 ($M_I=5.7$) depremi merkez üssünün güney-güneydoğusunda elde edilen düşük b-değeri, 24 Nisan 2018 ($M_I=5.4$) depreminin habercisi olabilir. Kabuk heterojenitesi, ısı akışı, tektonik deformasyonla ilgili olabilen p-değeri, Samsat İlçesi kuzeydoğusunda en büyük değeri almıştır ve bu sonuç bölgede Tatar vd. (2019) tarafından yapılmış InSAR verilerindeki deformasyon bölgesi ile hemen hemen uyumludur.

Sismik etkinlik bakımından aktif ve dünyanın üçüncü büyük barajı olan Atatürk Barajı’na yakın bir noktada meydana gelen 02 Mart 2017 ($M_I=5.7$) Samsat depreminin detaylı incelenmesi, bölgenin deprem riski ve deprem tehlikesinin aydınlatılması açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada elde edilmiş sonuçların bu bölge ve gelecekteki benzeri çalışmalar için önemli olduğu düşünülmektedir.

Teşekkürler

Sayın Editöre ve önerileri ile çalışmanın gelişmesinde katkıda bulunan hakemlere teşekkür ederim. Çalışmadaki bazı şekiller için Wessel ve Smith (1998) tarafından geliştirilmiş Generic Mapping Tools (GMT) kullanılmıştır.

Kaynaklar

- AFAD, (2018), T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, 1900 - 20xx Deprem Kataloğu(M >= 4.0), <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu>, [Erişim 10 Ocak 2018].
- Aki K., (1965), *Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits*, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 43(2), 237-239.
- Alptekin Ö., (1978), *Magnitude-frequency relationships and deformation release for the earthquakes in and around Turkey*, Thesis for Promoting to Associate Professor Level, Karadeniz Technical University, 107ss.
- Ambraseys N.N., (1988), *Engineering seismology*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 17, 1-105.
- Ambraseys N.N., Jackson J.A., (1998), *Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean Region*, Geophysical Journal International, 133(2), 390-406.
- Ávila-Barrientos L., Zúñiga F.R., Rodríguez-Perez Q., Guzmán-Speziale M., (2015), *Variation of b and p values from aftershocks sequences along the Mexican subduction zone and their relation to plate characteristics*, Journal of South American Earth Sciences 63, 162-171.
- Bayrak Y., Öztürk S., (2004), *Spatial and temporal variations of the aftershock sequences of the 1999 İzmit and Düzce earthquakes*, Earth Planets Space, 56(10), 933-944.
- Duman T.Y., Emre Ö., Özalp S., Olgun Ş., Elmacı H., (2012), *1:250.000 ölçekli Türkiye diri fay haritası serisi, Şanlıurfa (NJ 37-10) ve Sırt (NJ37-14) paftaları*, Seri No 43, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Enescu B., Ito K., (2002), *Spatial analysis of the frequency-magnitude distribution and decay rate of aftershock activity of the 2000 Western Tottori earthquake*, Earth Planets Space, 54(8), 847-859.
- Eyidoğan H., (1983), *Bitlis-Zagros kıtasal çarpışma kuşağı boyunca etkin sığ deformasyonlar ve depremler arasındaki ilişkiler*, Deprem Araştırma Bülteni, 43(1983), 63-99.
- Eyidoğan H., Geçgel V., (2010), *Atatürk Barajı su düzeyi ve tetiklenmiş depremsellik ilişkileri, 1992-2009*, Aktif Tektonik Araştırma Grubu 14. Çalıştay, 03-06 Kasım, Adıyaman Üniversitesi, Bildiri Özleri Kitapçığı, s.31.
- Eyidoğan H., Geçgel V., Pabuççu Z., (2010), *3 Eylül 2008 Atatürk Barajı depremi: Tetiklenmiş depremsellik ve Bozova fayı*, 63. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitapçığı.
- Görgün E., Bohnhoff M., Bulut F., Dresen G., (2010), *Seismotectonic setting of the Karadere-Duzce Branch of the North Anatolian Fault Zone between the 1999 İzmit and Düzce Ruptures from Analysis of İzmit after- shock focal mechanisms*, Tectonophysics, 482(1-4), 170-181.
- Gutenberg R., Richter C.F., (1954), *Seismicity of the Earth and associated phenomenon*, 2nd ed., Princeton Univ. Press, Princeton, N.J., 310ss.
- Hirata T., (1969), *Aftershock sequence of the earthquake off Shikotan Island on January 29, 1968*, Geophysical Bulletin of Hokkaido University, 21, 33-43.
- İmamoğlu M.Ş., Öncü M.E., Bedirhanoğlu İ., Şimşek Z., (2017), *02 Mart 2017 Adıyaman Samsat depremi ön değerlendirme raporu*, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Diyarbakır Şubesi, 04 Mart 2017, ss.1-20.
- İmamoğlu Ş.M., (2009), *Tektonik Yapısı ve Stratigrafisi Işığında Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Jeotermal Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi*, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19-21 Haziran, Diyarbakır, ss.161-166.
- İnceöz M., Zengin E., (2014), *Adıyaman fay zonunun morfolotektonik ve yapısal özellikleri*, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(2), 131-148.
- İnceöz M., Aksoy E., Zengin E., (2003), *Adıyaman fay zonunun Palu-Fırat Nehri arasındaki bölümünün morfolotektonik özellikleri*, TAG-7 Aktif Tektonik Araştırma Grubu 7. Toplantısı, Yüzüncüyıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 01-03 Ekim, Van.
- Kisslinger C., Jones L.M., (1991), *Properties of aftershock sequences in Southern California*, Journal of Geological Research, 96(B7), 11947-11958.
- Kisslinger, C., (1993), *The stretched exponential function as an alternative model for aftershock decay rate*, Journal of Geological Research, 98, 1913-1921.
- Kisslinger C., (1996), *Aftershocks and Fault-Zone properties*, Advances in Geophysics, 38, 1-36.
- KOERI, (2018), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERI) Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM) Deprem Sorgulama Sistemi, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>, [Erişim 10 Ocak 2018].
- Kutoğlu Ş.H., Akçın H., Kemaldere H., Görmüş K.S., (2008), *Triggered Creep Rate on the İsmetpaşa Segment of the North Anatolian Fault*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 8(6), 1369-1373.
- Liu Z.R., (1984), *Earthquake frequency and prediction*, Bulletin of the Seismological Society of America, 74(1), 255-265.
- Lomnitz C., Singh S.K., (1976), *Earthquakes and earthquake prediction*, Seismic Risk and Engineering Decisions'ın İçinde, (Lomnitz C. and Rosenbluth E., Ed.), Elsevier Scientific Publishing Company, ss.3-30.
- Meng L., Bao H., Huang H., Zhang A., Bloore A., Liu Z., (2018), *Double pincer movement: Encircling rupture splitting during the 2015 Mw 8.3 Illapel earthquake*, Earth and Planetary Science Letters, 495(2018), 164-173.
- Mogi K., (1962), *On the time distribution aftershocks accompanying the recent major earthquakes in and near Japan*, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 40(1), 107-124.
- Nanjo K.Z., (2020), *Were changes in stress state responsible for the 2019 Ridgecrest, California, earthquakes?* Nature Communications, 11(1), 1-10.

- Narteau C., Byrdina S., Shebalin P., Schorlemmer D., (2009), *Common dependence on stress for the two fundamental laws of statistical seismology*, Nature 462(7273), 642-645.
- Nemati M., (2014), *An appraisal of aftershocks behavior for large earthquakes in Persia*, Journal of Asian Earth Sciences, 79(2014), 432-440.
- Ogata Y., (2001), *Increased probability of large earthquakes near aftershock regions with relative quiescence*, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 106(B5), 8729-8744.
- Ogata Y., Jones L.M., Toda S., (2003), *When and where the aftershock activity was depressed: Contrasting decay patterns of the proximate large earthquakes in southern California*, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 108(B6), 2318.
- Omori F., (1894), *On aftershocks of earthquakes*, J. Coll. Sci. Imp., University of Tokyo, 7, 111-200.
- Özcan Z., Özçak A., Utkucu M., Doğan E., (2017), *Preliminary report on the March 2, 2017 Samsat (Adıyaman) earthquake*, Rapor No:2017-2, Sakarya Üniversitesi, Afet Yönetim Uygulama ve Araştırma Merkezi.
- Öztürk S., Bayrak Y., (2006), *31 Temmuz 2005 Bala (Ankara) Depremi, MD=4.9, Artçı Şok Dizisinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi ve Artçı Şok Parametrelerinin Bölgesel Değişimleri*, Journal of İstanbul Kültür University, 4(2), 145-155.
- Öztürk S., Bayrak Y., Çınar H., Koravos G.Ch., Tsapanos T.M., (2008a), *A quantitative appraisal of earthquake hazard parameters computed from gumbel ı method for different regions in and around Turkey*, Natural Hazards, 47(3), 471-495.
- Öztürk S., Çınar H., Bayrak Y., Karlı H., Daniel G., (2008b), *Properties of the aftershock sequences of the 2003 Bingöl, MD=6.4, (Turkey) earthquake*, Pure and Applied Geophysics, 165(2), 349-371.
- Öztürk S., (2011), *Characteristics of Seismic Activity in the Western, Central and Eastern Parts of the North Anatolian Fault Zone, Turkey: Temporal And Spatial Analysis*, Acta Geophysica, 59(2), 209-238s.
- Öztürk S., Şahin S., (2019), *A statistical space-time-magnitude analysis on the aftershocks occurrence of the July 21th, 2017 MW=6.5 Bodrum-Kos, Turkey, earthquake*, Journal of Asian Earth Sciences, 172, 443-457.
- Öztürk S., Ormeni R., (2021), *An evaluation on the behaviors of aftershock sequence of November 26th, 2019 Earthquake, ML=6.3, North of Durrës, Albania*, MSU J. of Sci., 9(1), 817-826.
- Perinçek D., Günay Y., Kozlu H., (1987), *Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesindeki yanal atımlı faylar ile ilgili yeni gözlemler*, TMMOB Petrol Mühendisleri Odası Türkiye 7. Petrol Kongresi, 6-10 Nisan, Ankara, ss.89-103.
- Raub C., Martinez-Garzon P., Kwiatek G., Bohnhoff M., Dresen G., (2017), *Variations of seismic b-value at different stages of the seismic cycle along the North Anatolian Fault Zone in Northwestern Turkey*, Tectonophysics, 712(2017), 232-248.
- Scholz C.H., (1968), *The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes*, Bulletin of the seismological society of America, 58(1), 399-415.
- Shi Y., Bolt B.A., (1982), *The standard error of the magnitude-frequency b value*, Bulletin of the Seismological Society of America 72(5), 1677-1687.
- Schorlemmer D., Wiemer S., Wyss M., (2004), *Earthquake statistics at Parkfield: 1. Stationarity of b values*, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 109(B12), doi:10.1029/2004JB003234.
- Sungurlu O., (1974), *VI. Bölge kuzey sahalarının jeolojisi*, TPAO Arama Grubu, Rapor No: 871, Ankara, 32ss.
- Şengör A.M.C., (1980), *Türkiye'nin neotektoniğinin esasları*, Türkiye Jeoloji Konferanslar Serisi Yayınları No: 2, Ankara, 40ss.
- Şengör A.M.C., (1979), *The North Anatolian transform fault: Its age, offset and tectonic significance*, Journal of the Geological Society, 136(3), 269-282.
- Şengör A.M.C., Görür N., Şaroğlu F., (1985), *Strike-Slip deformation basin formation and sedimentation: Strike-Slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study*, In: Biddle KT, Christie-Blick N, editors. Strike-slip faulting and basin formation. Soc Econ Paleontol Min Spec Publ 37, 227-264.
- Şengör A.M.C., Özeren M.S., Keskin M., Sakıncı M., Özbakır A.D., Kayan İ., (2008), *Eastern Turkish High Plateau as a small Turkic-Type Orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-Type Orogens*, Earth-Science Reviews, 90(1), 1-48.
- Tatar O., Koçbulut F., Polat A., Demirel M., (2019), *02.03.2017 and 24.04.2018 Samsat (Adıyaman) Earthquakes and Their Importance in Regional Seismotectonics*, Geological Bulletin of Turkey, 62(2), 167-180.
- Urbancic T.L., Trifu C.I., Long J.M., Tounge R.P., (1992), *Space-Time correlations of b value with stress release*, Pure and Applied Geophysics, 139(3), 449-462.
- Utkucu M., Çetin C., Alptekin Ö., (2005), *12 Kasım 1999 Düzce depremi artçı depremlerinden hesaplanan b ve p değerlerinin uzay ve zaman dağılımı ve gelecekteki sismik tehlike hakkında değerlendirmeler*, Yerbilimleri (Earth Sciences), 26(1), 75-91.
- Utsu T., (1961), *A statistical study on the occurrence of aftershocks*, Geophys. Mag., Tokyo, Japan, 30, 521-603.
- Utsu T., (1969), *Aftershocks and earthquake statistics (I)-Some parameters which characterize an aftershock sequence and their interrelation*, Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University, Series VII, 2, 129-195.
- Utsu T., (1971), *Aftershocks and earthquake statistics (2): Further investigation of aftershocks and other earthquake sequences based on a new classification of earthquake sequences*, Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University, Series 7, Geophysics, 3(4), 197-266.
- Utsu T., Ogata Y., Matsu'ura R.S., (1995), *The centenary of the Omori formula for a decay law of aftershock activity*, Journal of Physics of the Earth, 43(1), 1-33.
- Wessel P., Smith W.H.F., (1998), *New, improved version of the generic mapping tools released*, EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 79(47), 579-579.
- Wiemer S., (2001), *A software package to analyze seismicity: ZMAP*, Seismological Research Letters, 72(3), 373-382.
- Wiemer S., Mcnutt S., (1997), *Variations in frequency-magnitude distribution with depth in two volcanic areas: Mount St. Helens, Washington, and Mt. Spurr, Alaska*, Geophysical research letters, 24(2), 189-192.
- Wiemer S., Wyss M., (2000), *Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan*, Bulletin of the Seismological Society of America, 90(4), 859-869.
- Wiemer S., Wyss M., (2002), *Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes*, Advances in Geophysics, 45, 1-40.

- Wiemer S., Katsumata K., (1999), *Spatial variability of seismicity parameters in Aftershock Zones*, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 104(B6), 13135-13151.
- Wiemer S., Mcnutt S.R., Wyss M., (1998), *Temporal and three-dimensional spatial analysis of the Frequency-Magnitude distribution near long Valley Caldera, California.*, Geophysical Journal International, 134(2), 409-421.
- Wyss M., Shimazaki K., Wiemer S., (1997), *Mapping active magma chambers by b value beneath Off-Izu Volcano, Japan*, J. Geophys. Res., 102(20), 413-433.
- Wyss M., Schorlemmer D., Wiemer S., (2000), *Mapping asperities by minima of local recurrence time: San Jacinto-Elsinore fault zones*, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 105(B4), 7829-7844.
- Wyss M., (2001), *Locked and creeping patches along the Hayward Fault*, Geophysical Research Letters, 28(18), 3537-3540.
- Zengin E., (2005), *Adıyaman fay zonunun kuzeydoğu bölümünün sismotektonik özellikleri*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

Akım Kuraklık İndeksi Yönteminin Farklı Zaman Ölçekleri İçin Hidrolojik Olarak Değerlendirilmesi: Arsuz Ovası Örnek Çalışması

Evren Turhan^{1*}, Buse Duyan Çulha², Serin Değerli¹

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 01250, Adana.

²Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Plan-Proje Dairesi Başkanlığı, İçme Suyu Şube Müdürlüğü, 01140, Adana.

Özet

Kuraklıkların süreleri ve şiddetlerine bağlı olarak ortaya çıkan etkileri nedeni ile kuraklık uzun süredir öncelikli konular arasında yer almaktadır. Hidrolojik kuraklık iklim değişikliği sonucu ortaya çıkan doğada faydalanabileceğimiz temiz su kaynaklarının azalması şeklinde ifade edilmektedir. Bu çalışmada Asi Nehri Havzası'nda tarımsal sit alanlarından biri olan Arsuz Ovası hidrolojik kuraklık analizi için uygulama alanı olarak tercih edilmiştir. Öncelikle birbirine yakın konumda bulunan D19A021, D19A022 ve D19A023 numaralı üç farklı Akım Gözlem İstasyonundan (AGİ) elde edilen 1990-2015 yılları arası aylık ortalama akım verileri kullanılarak debi-zaman ve debi süreklilik eğrileri (DSE) oluşturulmuştur. Yine aynı veriler yardımı ile 3, 6 ve 12 ay gibi farklı zaman ölçekleri için Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) değerleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, üç istasyonda da pik debi değerlerinin birkaç dönem haricinde birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Tüm istasyonlar için 2000 yılı itibariyle havzada Aşırı Kurak ve Aşırı Nemli dönemlerin gerçekleşmeye başladığı gözlemlenmiştir. En nemli dönem 2009 ile 2010 yılları arasında gerçekleşirken, en kurak dönem ise 2014 olarak dikkat çekmektedir. Kuraklığın farklı zaman ölçeklerindeki seyri değerlendirildiğinde son yıllarda kurak dönem sayısında artış görülmektedir.

Anahtar Sözcükler

Hidrolojik Kuraklık, Akım Kuraklık İndeksi, İklim Değişikliği, Debi Süreklilik Eğrileri, Arsuz Ovası

Hydrological Evaluation of Streamflow Drought Index Method for Different Time Scales: A Case Study of Arsuz Plain, Turkey

Abstract

Drought has been among the priority issues for a long time because of its effects that vary depending on duration and severity. Hydrological drought can be explained as the decrease in clean water resources caused by climate change. In this paper, Arsuz Plain, one of the agricultural protected area in the Asi River Basin, was selected as the case study for the hydrological drought analysis. Firstly, discharge-time and flow duration curves (FDC) were created by using monthly average discharge data between the years of 1990 and 2015 which were obtained from three different Flow Observation Stations (FOSs) (numbered D19A021, D19A022 and D19A023), located close to each other. With the help of these data, Streamflow Drought Index (SDI) values were calculated for different time scales such as 3, 6 and 12 months. Consequently, it has been seen that all three stations have similar results in terms of the peak flow rate values excluding a few periods. As of 2000, it has been observed that Extreme Drought and Extremely Wet periods have started to occur in the basin for these stations. While the most wet period began between the years 2009 and 2010, the driest period was 2014. Considering the course of the drought event in different time scales, it can be concluded that the number of dry periods has increased in recent years.

Keywords

Hydrological Drought, Streamflow Drought Index, Climate Change, Flow Duration Curves, Arsuz Plain

1. Giriş

Kuraklık, belirli bir zaman periyodu için yağışların normal seviyelerin altına düşmesi sebebi ile su kaynaklarının olumsuz olarak etkilendiği bir çevre sorunu olarak dikkat çekmektedir (Özfidaner vd. 2015, Dikici 2020). Yağış eksikliği meteorolojik kuraklık; yüzeyel veya yeraltı su potansiyelindeki eksiklikler ise hidrolojik kuraklık olarak ifade edilmektedir (Gümüş 2017). Tarımsal kuraklık yağış, yüzeyel ve yeraltı su potansiyelinin tarım açısından azalması olarak tanımlanmaktadır (Dai vd. 2020). Kuraklık bir doğa olayı olarak kabul edilse dahi su kaynaklarının doğru ve efektif yönetimi bakımından hayati bir önemi bulunmaktadır. Kuraklığın olası olumsuz etkilerini minimum seviyeye indirebilmek amacıyla bölgesel ölçekte planlama çalışmalarının yapılması, özellikle gözlemlenmiş geçmiş verilerden faydalanılarak kuraklığın şiddet ve büyüklüğü ile ilgili sınıflandırmaların ortaya konulabilmesi ileriye yönelik tahminler yönünden büyük oranda katkı sunabilecektir.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (322) 4550000 Faks: +90 (322) 4550039

E-posta: eturhan@atu.edu.tr (Turhan E), buseduyanculha@gmail.com (Çulha B.D),
sdegerli@atu.edu.tr (Değerli S)

Gönderim Tarihi / Received : 26/03/2021

Kabul Tarihi / Accepted : 07/09/2021

Kuraklığı nicel olarak değerlendirmenin en etkili yöntemi kuraklık indekslerinden yararlanmaktır. Bu sayede kuraklığın zamansal şiddet, büyüklük ve dağılım bakımından incelenmesi mümkün olabilecektir (Gümüş ve Algın 2017; Özfidaner ve Topaloğlu 2020). Meteorolojik ve hidrolojik kuraklığın belirlenebilmesi amacıyla çok farklı yöntemler kullanılabilmektedir. Genelde geçmiş yağış verileri ile hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve Normalin Yüzdesi İndeksi (PNI) kuraklık analizi çalışmalarında yaygın olarak ele alınmaktadır (Eriş vd. 2020; Keskiner vd. 2020; Oğuz vd. 2021; Şener ve Şener 2021). Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI), De Martonne İndeksi, Erinç Kuraklık İndeksi ve Aydeniz Kuraklık İndeksi sadece yağış verileri değil aynı zamanda sıcaklık ve nem gibi birçok meteorolojik parametreler için de kullanılabilmektedir (Arslan vd. 2014; Keskiner vd. 2019; Başakın vd. 2019; Partal ve Yavuz 2020). Ayrıca hidrolojik kuraklığın izlenmesinde bu çalışma kapsamında ele alınan Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) kullanılmaktadır. AKİ’de gözlenmiş akım verileri giriş parametresi olarak değerlendirilmektedir (Gümüş 2017; Gümüş vd. 2018; Özkaya ve Zerberg 2019; Yaltı ve Aksu 2019; Eroğlu ve Apaydın 2020; Kumanlıoğlu 2020; Jahangir ve Yarahmadi 2020; Altın vd. 2020; Aghelpour vd. 2021). Kuraklığın izlenmesi ve ileriye dönük tahmin modellerinin oluşturulabilmesi için AKİ’nin farklı zaman ölçeklerinde sayısal olarak araştırılmasının ihtiyaç duyulan çalışmalardan biri olduğu ifade edilmektedir (Adib vd. 2020).

AKİ yöntemi yalnızca aylık ortalama akım verileri ile hesaplanabilmektedir (Nalbantis 2008; Tabari vd. 2013; Özcan vd. 2019). Kuraklık ile ilgili en temel problemlerden biri kurak dönem boyunca sadece yağış verileri ile analiz edilen kuraklık indislerinin değil, kuraklığın diğer indislerle de incelenmesi gerekliliğidir. Gümüş (2017) yapmış olduğu çalışmada Asi Havzası’nın AKİ ile hidrolojik kuraklık analizi üzerine yoğunlaşmıştır. E19A005, E19A006, E19A007 ve E19A008 şeklinde dört ayrı akım gözlem istasyonu verilerinden faydalanmıştır. Aşağı Küçük Asi Havzası’nı uygulama yeri olarak değerlendirmiştir. Topçu ve Seçkin (2019) aynı istasyonlar için AKİ ile birlikte Bölgesel frekans analizi ve L-momentler gibi farklı yöntemler kullanarak kuraklık analizi üzerine çalışmışlardır.

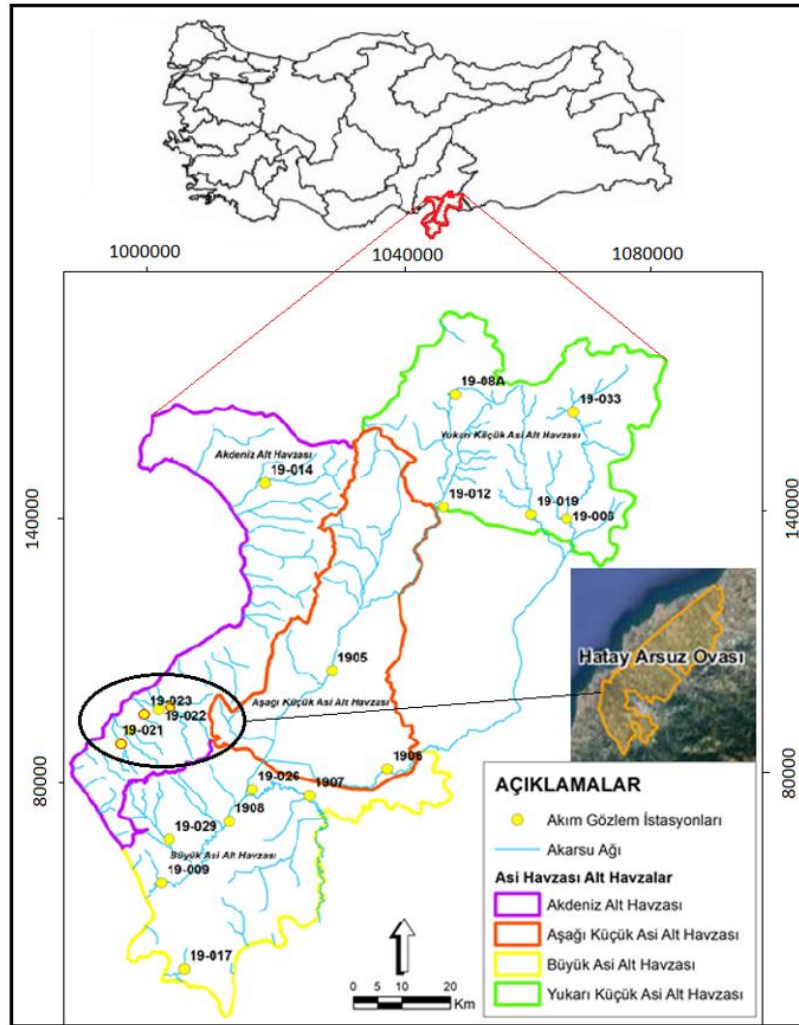
Dikici (2019) yaptığı çalışmada Asi Havzası için 1970-2016 yılları arası meteorolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik verileri kullanarak kuraklık eğilimini incelemiştir. Havza geneli için akım eğilimleri bakımından bir azalma olmadığını belirtmekle birlikte belirli güvenilirlik düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı olmasa dahi bir azalma olduğunu ifade etmiştir. Havzada özellikle Arsuz Ovası gibi aşağı kesimlerinde azalan su kaynaklarını ve artan kirlilik durumlarını önemli problemler olarak belirtmektedir. D19A021, D19A022 ve D19A023 Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) verileri ile 1970-2015 yılları arasında toplam akımlar bakımından hidrolojik eğilim analizleri yapmıştır. Mann-Kendal trend analizi yöntemini uygulamış, sonuç olarak söz konusu AGİ’ler için %95 güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı ve azalan bir eğilim görülmediğine dikkat çekmiştir. Fakat yıllık toplam akımların zaman serisi ele alındığında, mevcut güven düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlı olmasa bile bir azalma olduğunu da vurgulamaktadır. Bu bağlamda Arsuz Ovası için geçmiş veri kayıtları ile AKİ yönteminden yararlanarak hidrolojik kuraklık analizinin gerçekleştirilmesi sonucunda havzanın kuraklık hassasiyetinin belirlenebileceği; kuraklık öncesi, esnası ve sonrasında yapılacak çalışmalar ve alınması gerekli önlemlerin ele alınacağı ileriye dönük projeksiyon çalışmaları, eylem planları ve birçok çalışma açısından oldukça faydalı olabilecektir.

Bu çalışma kapsamında Asi Nehri Havzası’nda verimli tarım alanlarına sahip Arsuz Ovası’ndaki kuraklığın hidrolojik yöneden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ovanın tüm havza içerisindeki yüzölçümü oranı, akış katsayıları ve diğer dış etkenler yani tüm tüketim verileri (sulama, içme-kullanma ve buharlaşma gibi) değişimleri göz önüne alındığında Asi Nehri Havzası’nın tamamına oranla oldukça düşük bir katsayı değeri elde edildiği için Akım Gözlem İstasyonlarına (AGİ) ait akım değerleri doğal akımlar olarak değerlendirilmiştir. Öncelikle 26 yıllık (1990-2015) gözlemlenmiş veriler (DSİ 2018) kullanılarak debi-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Daha sonra D19A021, D19A022 ve D19A023 akım gözlem istasyonlarına ait debi süreklilik eğrileri çizilerek belirli debi değerlerinin aşılma olasılıkları irdelenmiştir. Söz konusu gözlem istasyonları verilerinden faydalanılarak hidrolojik kuraklık analizi yapılmıştır. Kuraklık indislerinden Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) yöntemi kullanılmış olup; literatürde sıklıkla incelenen 3, 6 ve 12 ay gibi farklı zaman ölçekleri ele alınmıştır. Uzun zaman sürecindeki indis değerlerinin bahsi geçen ölçeklerdeki değişimleri ortaya konmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar ileride değerlendirilebilecek akım tahminleri ve kuraklık durumuna karşı alınabilecek tedbirler açısından gelecek çalışmalarına ışık tutabilecektir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Türkiye’nin güneyinde yer alan Asi Nehri Havzası yaklaşık 7800 km² drenaj alanı ve komşu ülkelerle sınır özelliği göstermesi sebebiyle önem derecesi yüksek havzalardan biri olarak düşünülmektedir (Şekil 1) (TOB 2019). Havza, Türkiye’nin 26 havzasından biri olup; Hatay, Kilis, Gaziantep, Adana ve Osmaniye illerinin tamamını veya büyük bir bölümünü içermektedir (Dikici 2019).



Şekil 1: Asi havzası lokasyonu (TOB 2019)

Asi Nehri'nden çoğunlukla tarımsal sulama amacıyla faydalanılmakta ve yaz aylarında havzadaki birçok nehir kuruyabilmektedir ([Kılıç 2017](#)). Arsuz Ovası, Hatay ili Arsuz ilçesi sınırlarında bulunmaktadır. Batıda Akdeniz, doğuda Amanos Dağları, kuzeyde İskenderun, güneyde ise Samandağ ilçesi ile çevrilidir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olan Akdeniz iklimi hakimdir ([Uludağ ve Ağca 2019](#)). Asi Nehri Havzası'nda 1963 yılından itibaren DSİ tarafından işletilen AGİ'ler mevcuttur. Bu çalışmada kuraklığın değerlendirilebilmesi adına Arsuz Ovası içerisinde yer alan Avcılar Suyu, Beyköy Suyu ve Hacı Ahmetli Deresi üzerinde kurulmuş sırasıyla D19A021, D19A022 ve D19A023 numaralı üç farklı AGİ tercih edilmiştir. Analizlerin yapıldığı AGİ'lerin bulunduğu akarsularda herhangi bir su alma yapısı (baraj, gölet vb.) bulunmamaktadır ([TOB 2019](#)). Tablo 1'de belirlenen istasyonların numaraları, adları, lokasyonları, yağış alanları ve gözlemlenmiş akım verilerinin yıllık ortalamaları gösterilmektedir ([DSİ 2018](#)).

Tablo 1: AGİ'lerin bilgileri (DSİ 2018)

AGİ No	İstasyon Adı	Enlem (K)	Boylam (D)	Yağış Alanı (km ²)	Ortalama Akım (m ³ /s)	Gözlem ve Değerlendirme Süresi
D19A021	Avcılar Suyu- Avcılar	36°21'19"	35°54'5"	27	1.052	1991-2015 Su Yılları
D19A022	Beyköy Suyu- Beyköy	36°23'57"	35°58'20"	23	0.283	
D19A023	Hacı Ahmetli Deresi- Ahmetli	36°22'30"	35°56'25"	43	1.066	

AKİ hesaplamalarında zaman aralığının eşdeğer olması açısından tüm istasyonlar için veri başlangıç yılı 1991, bitiş ise 2015 su yılı olarak seçilmiştir.

2.2. Akım Kuraklık İndeksi (AKİ)

Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) aylık ortalama akım verilerinden faydalanılarak hesaplanabilmektedir. Akım verileri $Q_{i,j}$ şeklinde gösterildiğinde sırası ile i hidrolojik yılı, j su yılı içerisindeki ay sayısını ve k ise referans periyodunu ifade etmektedir. Nalbantis (2008) tarafından oluşturulmuş bu metotta kümülatif akım hacmi aşağıdaki Denklem 1’de olduğu gibi belirtilebilir:

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1,2, \dots \quad j = 1,2, \dots, 12 \quad k = 1,2,3,4 \quad (1)$$

Ekim–Aralık dönemi için $k=1$, Ekim–Mart dönemi için $k=2$, Ekim–Haziran için $k=3$ ve Ekim–Eylül için $k=4$ olarak değerlendirilmektedir. Örneğin $k=2$ sırasıyla AKİ-Ekim (Ekim ayından başlamak üzere 6 ay) ve AKİ-Nisan (Nisan ayından başlamak üzere 6 ay), yıllık kuraklık indis değeri ise AKİ-12 olarak temsil edilmektedir. Kümülatif akım hacimlerine bağlı olarak, i hidrolojik yılın her bir k için AKİ değeri Denklem 2’deki gibi tanımlanabilmektedir (Altın vd. 2020):

$$AKİ_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k}, k = 1,2,3,4 \quad (2)$$

Denklem 2’deki V_k ve S_k sırasıyla kümülatif akım hacimlerinin ortalamasını ve standart sapma değerini göstermektedir. AKİ değerleri Aşırı Nemli ve Aşırı Kurak arasında sekiz farklı sınıflandırmaya ayrılmıştır. Tablo 2’de AKİ değerlerinin sınıflandırılmış halini görebilmek mümkündür (Hong vd. 2015).

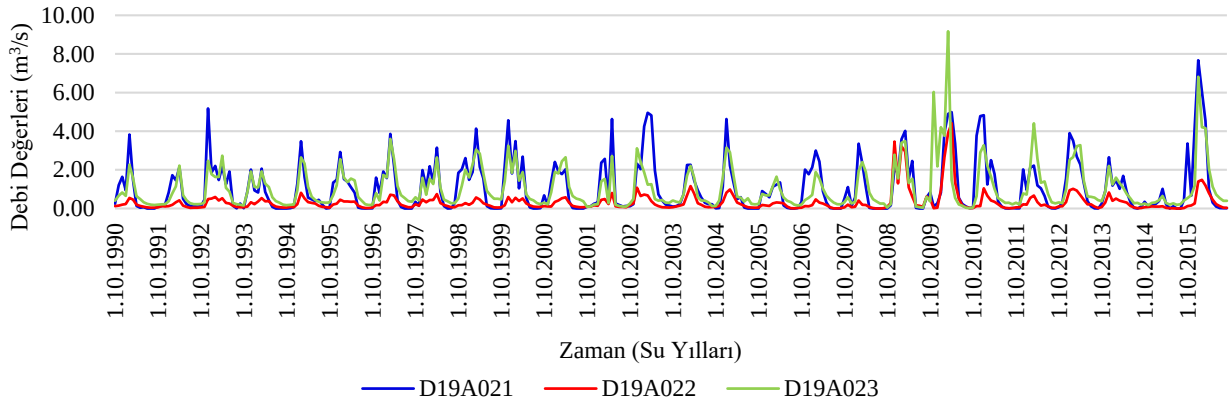
Tablo 2: AKİ sınıflandırması (Hong vd. 2015)

AKİ Değeri	Sınıflandırma
$AKİ \leq -2$	Aşırı Kurak (AK)
$-2 < AKİ \leq -1.5$	Şiddetli Kurak (ŞK)
$-1.5 < AKİ \leq -1$	Orta Kurak (OK)
$-1 < AKİ \leq 0$	Hafif Kurak (HF)
$0 < AKİ \leq 1$	Hafif Nemli (HN)
$1 < AKİ \leq 1.5$	Orta Nemli (ON)
$1.5 < AKİ \leq 2$	Şiddetli Nemli (ŞN)
$AKİ > 2$	Aşırı Nemli (AN)

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Debi-Zaman Grafikleri

D19A021, D19A022 ve D19A023 nolu AGİ’lerinin aylık ortalama debilerinin zamanla değişimi Şekil 2’de gösterilmektedir.

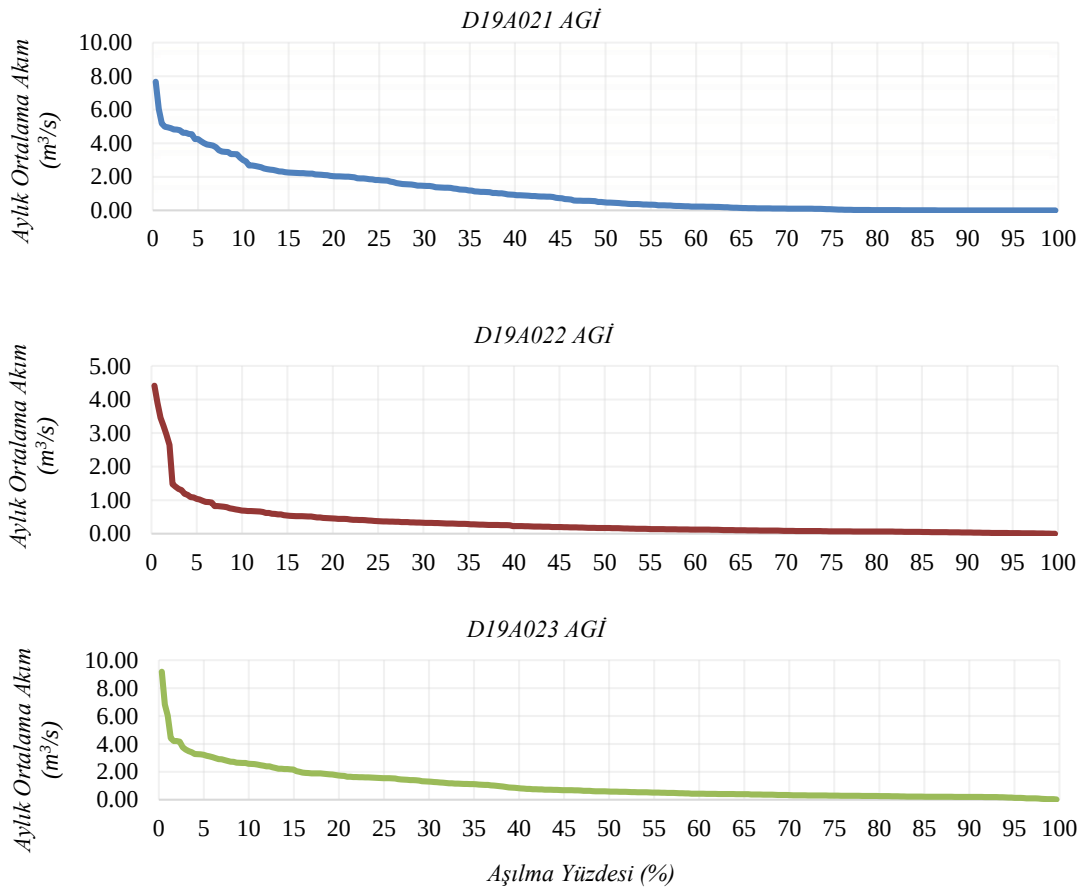


Şekil 2: Debi-zaman grafikleri (1990-2015 su yılları)

Grafikler incelendiğinde D19A022 AGİ debi değerlerinin diğer iki istasyona kıyasla daha düşük seviyelerde seyrettiği görülebilmektedir. Buna rağmen üç istasyonda da pik debi değerlerinin birkaç dönem haricinde birbirine oldukça yakın olduğu söylenebilir. Ayrıca 2000 yılına kadar akım değerlerinde kısmen bir denge olduğu ve debilerin belirli değerleri aşmadığı gözlemlenebilmektedir, ancak 2000 yılı sonrasında akımlarda büyük farklılıklar göze çarpmaktadır. Özellikle 2009 yılında tüm istasyonlar için akım en yüksek değerde izlenmiş, 2014 yılında ise minimum değerlere kadar gerileme göstermiştir. Her üç istasyonun aylık akım verileri kullanılarak oluşturulan istatistiksel ilişkiler değerlendirildiğinde birbirine yakın sonuçların olduğu görülmüştür.

3.2. Debi Süreklilik Eğrileri

Debi süreklilik eğrisi (DSE); gözlenmiş akım verileri yardımı ile nehirlerde belli bir debi değerinin aşıldığı zaman yüzdesini ifade etmektedir (Eriş vd. 2019). Akarsuyun düşük akım karakteristiklerini temsil eden bu eğri ordinatta debi değeri, apsiste ise aşılma yüzdesi yer alacak şekilde çizilmektedir. DSE'nin minimum 25-30 yıl zaman periyodunda günlük akım verileri kullanılarak oluşturulması gerektiği belirtilmektedir (Tosunoğlu vd. 2017). Günlük akımlar yerine aylık akımların tercih edilmesi gerektiğinde ise büyük havza koşullarında debi çoğu zaman önemli derecede değişim göstermemektedir. Şekil 3'te söz konusu AGİ'lerin DSE'leri görülebilmektedir.

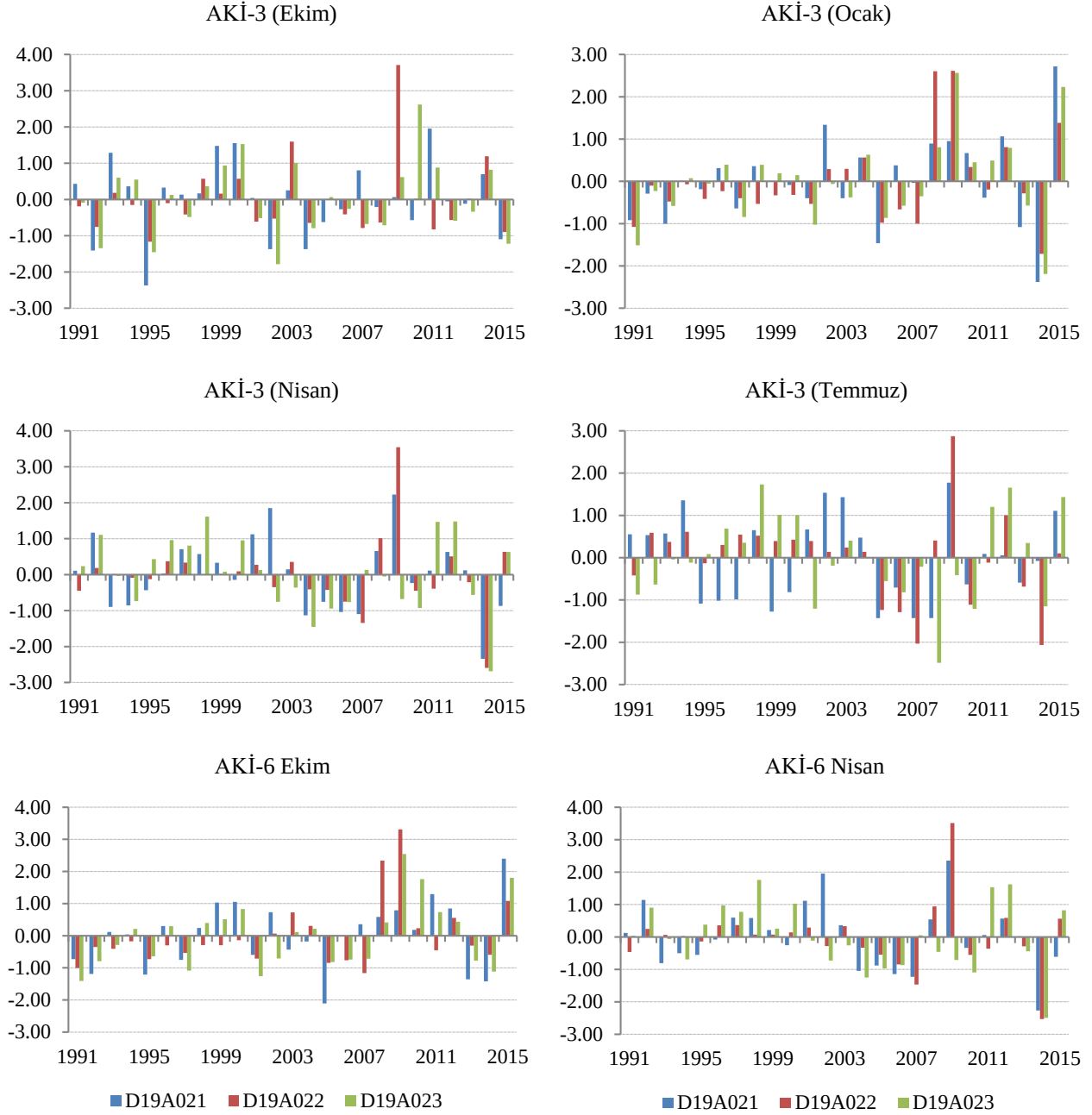


Şekil 3: Çalışma kapsamındaki AGİ'lerin debi süreklilik eğrileri

DSE'ler 1990-2015 yılları arası aylık ortalama akım verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu şekillerden görülebileceği üzere D19A022 AGİ için %50 oranında DSE aşılma yüzdesi diğer istasyonlara göre daha az akım değerlerinde mümkün olabilmektedir.

3.3. Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) Sonuçları

Asi Nehri Havzası-Arsuz Ovası Alt Havzası'nda bulunan D19A021, D19A022 ve D19A023 AGİ'leri için 3, 6 ve 12 aylık farklı zaman dilimleri göz önüne alınarak AKİ değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4'te elde edilen AKİ değerlerinin zamansal olarak değişimleri görülebilmektedir. Şekil 4'teki grafikler ele alındığında; AKİ-3 Ekim sonuçlarına göre 1992, 2004 ve 2015 yıllarında Orta Kurak dönemler gözlemlenirken; 2002 yılında D19A023 AGİ için Şiddetli Kuraklık, 1995 yılında ise D19A021 AGİ için ise Aşırı Kurak dönem görülmüştür.



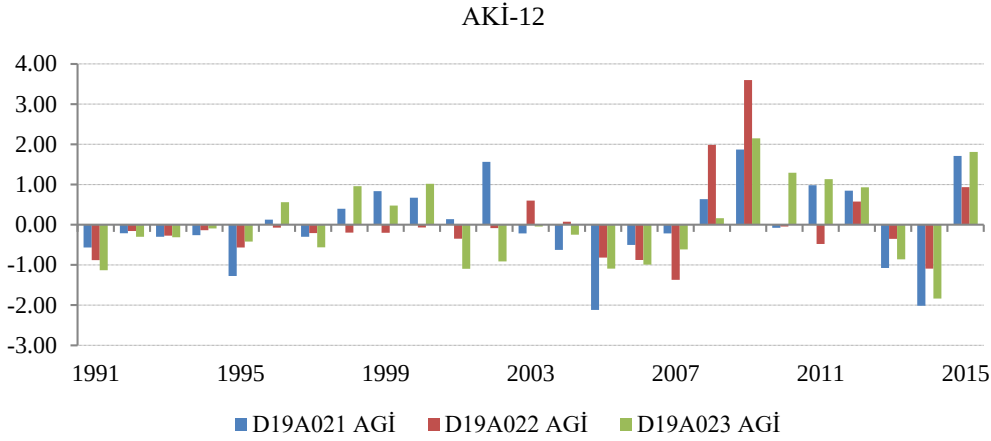
Şekil 4: AKİ değerlerinin 1991-2015 su yılları için farklı zaman ölçeklerinde değişimi (AKİ-3 ve AKİ-6)

Gümüş (2017), Topçu ve Seçkin (2019) tarafından yapılan çalışmalarda da aynı havzadaki farklı AGİ'lerde 2000 yılı sonrasında Aşırı Kurak dönemlere rastlanabilmektedir. Akım miktarının nispeten fazla olduğu AKİ-3 Ocak grafiğine bakıldığında 2014 yılında her üç AGİ için de Aşırı Kurak dönem meydana geldiği görülebilen; 1991 ve 2005 yıllarında Orta Kurak dönemler tespit edilmiştir. Buna ek olarak AKİ-3 Ocak grafiğinde 2008, 2009 ve 2015 yılları için Aşırı Nemli dönemler gözlemlenebilmektedir. Dikici (2019) çalışmasında son yıllarda yıllık toplam yağışlarının artan eğilimde olduğunu belirtmektedir. Bu ölçek için Aşırı Nemli dönemlerin olmasını bu durum ile izah edebilmek mümkündür.

AKİ-3 Nisan değerleri göz önüne alındığında ise 2014 yılında üç istasyonu da kapsayacak şekilde Aşırı Kurak dönem göze çarpmaktadır. 2009 yılında ise Aşırı Nemli durum gözlenmektedir. 2011 ve 2012 yıllarında Orta Nemli dönem söz konusudur. Yıllık akım değerlerinin en düşük düzeyde gözlemlendiği AKİ-3 Temmuz grafiğinde 2007, 2008 ve 2014 yıllarında Aşırı Kurak dönem ortaya çıkmıştır. AKİ-3 Temmuz grafiğinde bir tek Aşırı Nemli dönem 2009 yılı olarak ifade edilebilir. Kurak ve nemli dönemlerin belirtilen su yılları için bu zaman ölçeğinde daha homojen yayıldığı çıkarımı yapılabilir. Genel olarak tüm üç aylık zaman ölçeklerinde her istasyon için Aşırı Kurak ve Aşırı Nemli dönemlerin ortak olarak bulunduğu söylenebilir.

Arsuz Ovası'nda 6 aylık zaman ölçekli hidrolojik kuraklığın analiz edilmesi için hazırlanan AKİ-6 Ekim grafiğine bakıldığında 2008, 2009 ve 2015 yılları Aşırı Nemli, 2005 yılı ise Aşırı Kurak olarak gözlenmiştir. [Gümüş \(2017\)](#), [Topçu ve Seçkin \(2019\)](#) çalışmalarında da istasyonların ortalama değerleri göz önüne alındığında 2001 yılı Aşırı Kurak dönem olarak ifade edilmektedir. Arsuz Ovası'nda Aşırı Kurak dönem 2005 yılı olarak farklı bir zaman diliminde seyretmektedir. AKİ-6 Nisan grafiğinde ise 2014 yılında Aşırı Kurak, 2009 yılında Aşırı Nemli bir dönem meydana gelmiştir. Ayrıca tüm istasyonlar açısından 1998 ve 2002 yıllarında Şiddetli Nemli dönemler gözlemlenebilmektedir.

12 aylık dönemin izlenmesi için yapılan AKİ-12 değerlerine göre 2005 ve 2014 yıllarında Şiddetli Kuraklık gözlenirken, 2009 ile 2015 yıllarında Şiddetli Nemli dönemler tespit edilmiştir (Şekil 5). 2009 yılında Aşırı Nemli ve Aşırı Kurak dönemlere pek rastlanılmamıştır. Ölçeklendirilen zaman dilimleri birlikte incelendiğinde kuraklığın en fazla gözlemlendiği yıl 2014, nemliliğin en fazla olduğu yıl ise 2009 olarak dikkat çekmektedir.



Şekil 5: AKİ-12 değerlerinin 1991-2015 su yıllarına göre dağılımı

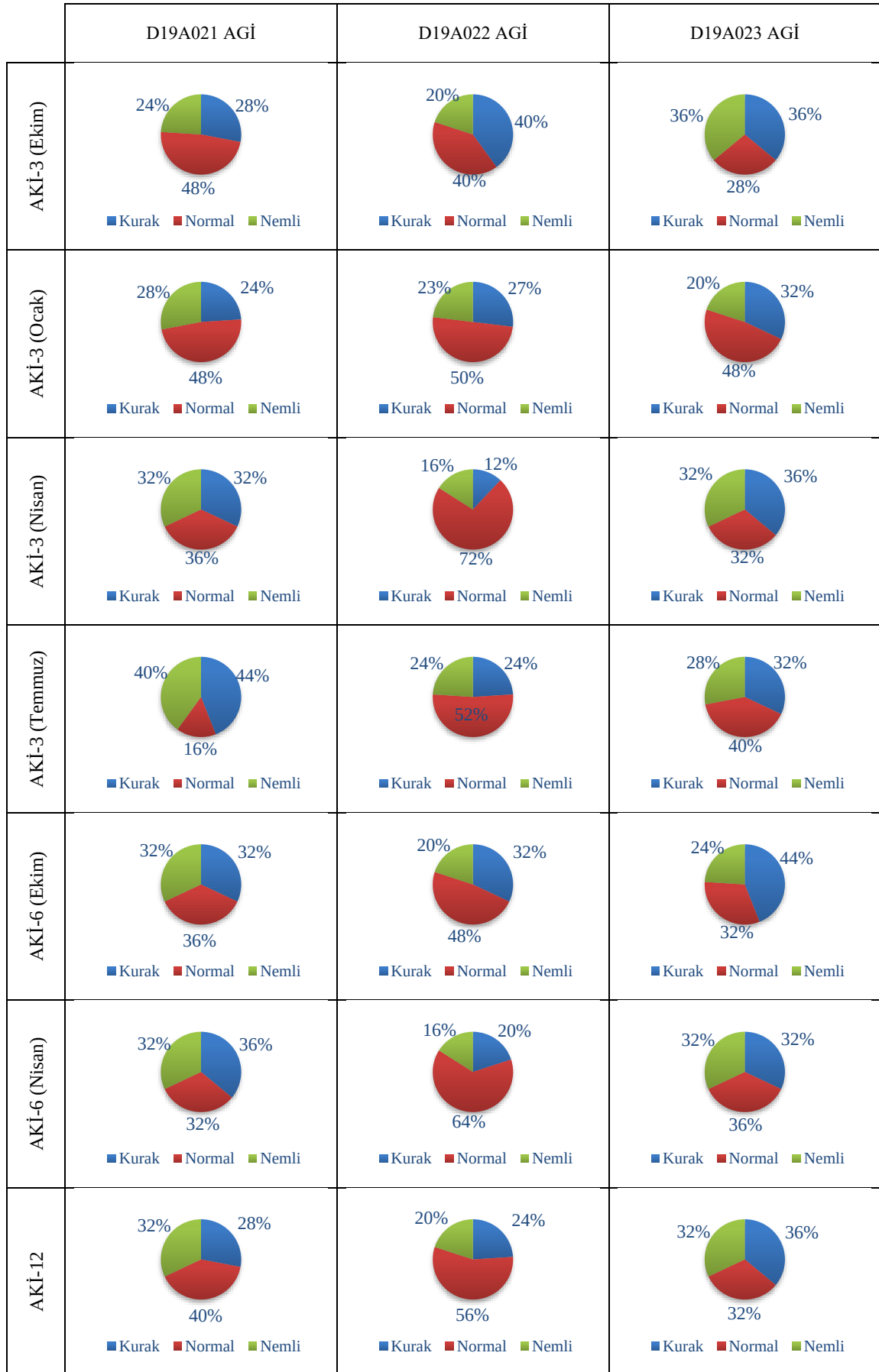
1991-2015 Su yılları arasında gerçekleşen hidrolojik kurak dönemlerin tespiti için hesaplanan AKİ değerlerine göre çeşitli istasyonlardaki kurak yıl sayıları Tablo 3'te gösterilmektedir. Toplam kurak yıl sayıları karşılaştırıldığında en çok D19A022 numaralı istasyonda kuraklık gözlemlenmiştir. Ayrıca üç istasyon arasından D19A021 numaralı istasyonda her üç zaman dilimi için de en az kuraklığın olduğu görülebilmektedir.

Tablo 3: Kurak yıl sayılarının AGİ'lere göre dağılımı

	AKİ-3 (Ekim)	AKİ-3 (Ocak)	AKİ-3 (Nisan)	AKİ-3 (Temmuz)	AKİ-6 (Ekim)	AKİ-6 (Nisan)	AKİ-12
D19A021 AGİ	11	14	11	12	10	12	14
D19A022 AGİ	15	17	13	9	17	11	19
D19A023 AGİ	13	13	12	14	12	13	15

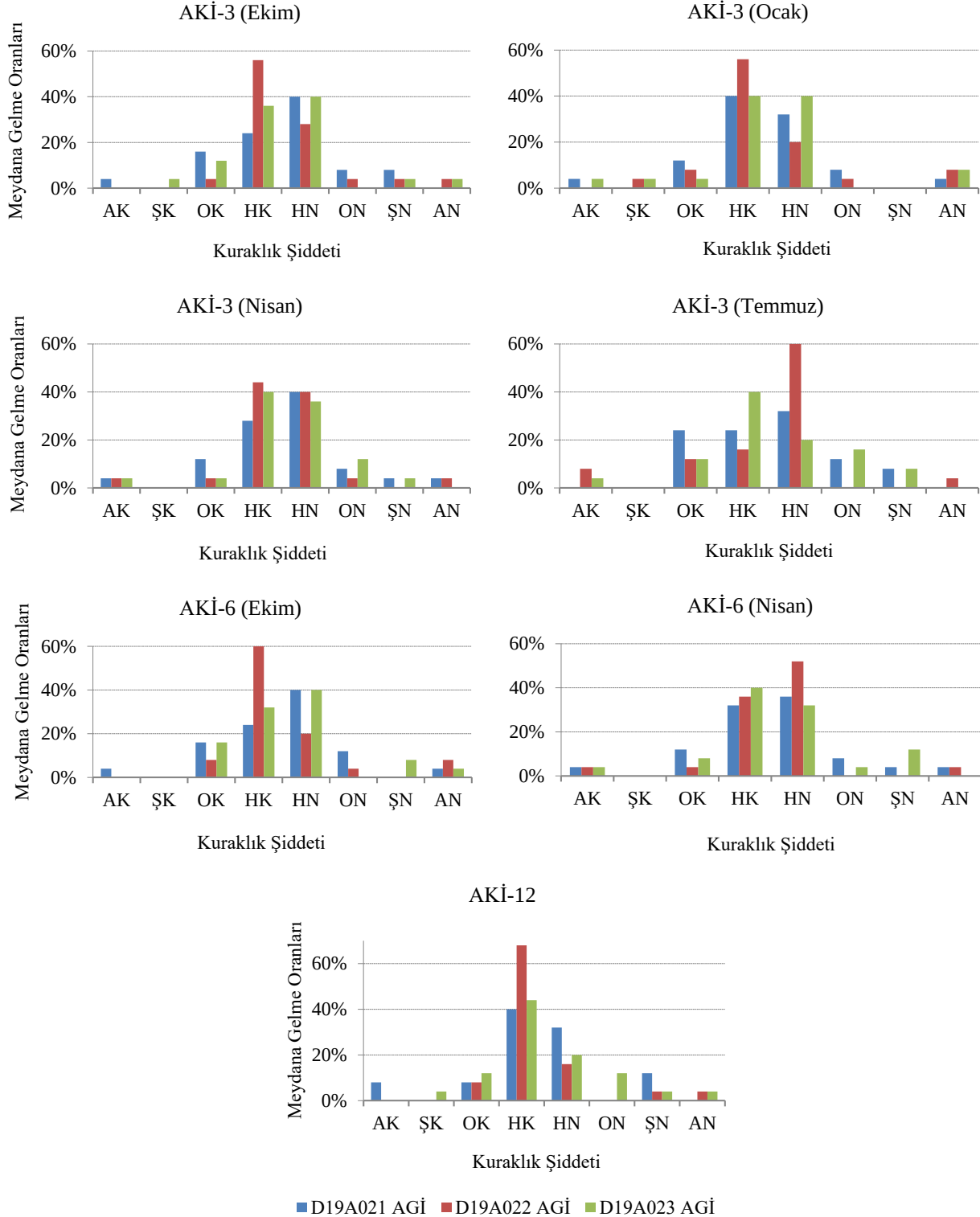
Üç farklı zaman dilimine ayrılarak oluşturulan AKİ değerlerinde kuraklık ve nemlilik için sınır şartı ± 0.5 olarak geçmektedir. AKİ değeri ± 0.5 arasında ise normal kabul edilirken, 0.5 'ten büyük olması halinde nemli ve -0.5 'ten küçük olması durumunda kurak olarak sınıflandırılmıştır ([Gümüş vd. 2018](#)). Şekil 6'da bu sınıflandırma koşullarından faydalanarak Arsuz Ovası'nda yer alan D19A021, D19A022 ve D19A023 numaralı istasyonlar için belirlenen Kurak/Normal/Nemli durumların yüzde dağılımları gösterilmiştir.

AKİ-3 Ekim için bulunan değerlere bakıldığında %48 ile en kurak dönem D19A021 istasyonunda, en nemli dönem ise %40 ile D19A022 numaralı istasyonda görülmüştür. [Gümüş \(2017\)](#) çalışmada havzanın baz istasyonu ve diğer havza genelini yansıtan AGİ'ler için bu değeri yaklaşık %30 mertebelerinde tespit etmiştir. Dolayısı ile bu zaman ölçeği için yüksek bir kuraklık yüzdesi gerçekleştiği dikkat çekmektedir. AKİ-3 Ocak değerleri incelendiğinde en kurak dönemlerin D19A023 istasyonunda, en nemli dönemlerin ise %28 değeriyle D19A021 istasyonunda olduğu gözlemlenmiştir. AKİ-3 Nisan ölçeğinde D19A021 ile D19A023 istasyonları %32 ile aynı en nemli döneme sahiptir. AKİ-3 Nisan değerlerinden yola çıkılarak en kurak dönem %36 ile D19A023 istasyonunda belirlenmiştir. AKİ-3 Temmuz değerleri göz önüne alındığında ise en kurak dönemin %44 ile en nemli dönemin ise %40 ile aynı istasyona yani D19A021 istasyonuna ait olduğu görülebilir.



Şekil 6: Farklı zaman ölçeklerindeki AKİ değerlerinin her üç istasyonda kurak/normal/nemli olarak yüzde (%) dağılımları

AKİ-6 Ekim yüzdeleri incelendiğinde en yüksek kuraklık oranının %44 ile D19A23 istasyonunda, en nemli dönemin ise %32 ile D19A021 numaralı istasyonda olduğu görülmüştür. AKİ-6 Nisan ölçeğinde D19A022 istasyonunda daha çok Normal dönem dikkat çekerken, en nemli dönem %32 ile hem D19A021 hem de D19A023 istasyonlarında gözlenmiştir. AKİ-12 dönemlerinde de benzer değerler göze çarpmaktadır. Yine bu dönem için tüm istasyonlara bakıldığında birbirine yakın değerlerin olduğu görülebilir. Sonuçta D19A022 istasyonunda diğer iki istasyona kıyasla daha az kurak dönemin olduğu belirtilebilir. Asî Nehri Havzası genelini yansıtan çalışmalarla kıyaslandığında Arsuz Ovası için AKİ-6 Ekim döneminde yüksek kuraklık oranları görülebilir (Gümüş 2017). D19A021, D19A022 ve D19A023 numaralı istasyonlarda Nemli ya da Kurak dönem meydana gelme oranlarını tüm sınıflandırmalarla birlikte Şekil 7’deki grafiklerde görebilmek mümkündür.



Şekil 7: Arsuz Ovası'nda belirlenen AGİ'lerdeki kurak/nemli durumların meydana gelme yüzdeleri (%)

Her üç istasyon için grafikler ele alındığında kuraklık şiddeti olarak Hafif Kurak ve Hafif Nemli dönemlerin meydana gelme oranlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Tüm AKİ-3 dönemlerinde Aşırı Kurak ve Aşırı Nemli dönem %10'un altında seyretmiştir. AKİ-3 Nisan ile AKİ-3 Temmuz dönemlerinde Şiddetli Kuraklığın meydana gelme yüzdesi çok düşük çıkmıştır. Ayrıca AKİ-6 Ekim ve Nisan dönemlerinde de Şiddetli Kuraklık gözlenmemiştir. AKİ-6 Ekim için Aşırı Kurak dönemin meydana gelme oranı yaklaşık %3 dolaylarındadır. AKİ-6 Nisan için ise Aşırı Kurak ve Aşırı Nemli dönemin meydana gelme oranının %5'in altında kaldığı dikkat çekmektedir. AKİ-12 yüzdeleri incelendiğinde Aşırı Kurak dönemin meydana gelme oranı yaklaşık %7 olarak görülebilir. [Gümüş \(2017\)](#) çalışmasında ele aldığı AGİ'lere göre Aşırı Kurak meydana gelme oranının %3 civarında, Şiddetli Kuraklığın %5, Orta Kuraklığın ise yaklaşık %10 civarında oluştuğunu ifade etmiştir. Dolayısı ile Aşırı Kurak dönemlerin meydana gelme yüzdeleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

[TOB \(2019\)](#)'da SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 zaman ölçekleri için 2013-2014 yılları arasında Şiddetli Kuraklık durumunun ortaya çıktığı belirtilmektedir. Yağış verilerine bağlı düşüşler meteorolojik kuraklığın açığa çıkmasına sebep olmuştur. Devamında meydana gelen toprak suyu açığı bitki su stresini ve ürün miktarlarındaki azalmaları beraberinde getirmiştir. Tarımsal kuraklığın değerlendirildiği indeksler yardımıyla aynı çalışmada 2000-2001, 2004-2005 ve 2014 yıllarında kurak dönemler tespit edilmiştir. Azalan yüzeysel akış, hazne, göl ve sulak alanların etkisiyle çevresel, ekonomik ve sosyal etkiler söz konusu olmuştur. SPI'nin farklı zaman ölçekleri açısından Aşırı Nemli dönemleri 2007-2010 yılları arasına ve 2015 yılına denk gelmektedir. Bu çalışmada 2000 yılından sonra AKİ yöntemi ile yapılan değerlendirmelerde Aşırı Kurak ve Nemli dönemlerin söz konusu [TOB \(2019\)](#) sonuçları ile benzer olduğu görülebilmektedir. [Altın vd. \(2020\)](#) yaptıkları çalışmada hidrolojik kuraklığın meteorolojik ve tarımsal kuraklıktan sonra ortaya çıkmasının ciddi bir su açığına sebep olabileceği ve de tarımın etkin olduğu havzalarda bu durumun çözülmesi gereken önemli bir sorun olduğu ifade edilmektedir. Arsuz Ovası alüvyonlu toprakları ile verimli alanlara sahip olması sebebiyle kuraklık, bu bölgede yürütülen tarım faaliyetleri açısından önemli bir tehdit olarak düşünülebilir.

[Dikici \(2020\)](#) yaptığı çalışmada Asi Nehri Havzası'nda Ondalık İndeksi (DI) yöntemine göre Şiddetli Kuraklık görülme oranını Arsuz Ovası için %10 dolaylarında ifade etmektedir. SPI yöntemine göre ise Hafif Kuraklık görülme oranı yaklaşık %8 ile yine Arsuz Ovası'na aittir. Yağış azlığına rağmen bölgedeki tarımsal faaliyetlerin kuraklık etkisini düşürdüğüne dikkat çekmiştir. Ovada 5 ve 10 yıl tekrür edebilecek Orta Kuraklık, 50 yılda bir Şiddetli Kuraklık yaşanabileceğini vurgulamaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar belirli zamanlarda Aşırı Kurak ve Nemli dönemlerin yaşandığını, kurak dönem sayılarında da incelenen aralığın sonlarında artışlar olduğunu göstermektedir. Dolayısı ile bu şekilde farklı indekslerden elde edilen bilgilerin kuraklığın etkilerine ilişkin risklerin yönetilmesi amacıyla önemli karar destek araçları olarak ele alınabileceği önemli bir ayrıntı olarak değerlendirilmektedir.

4. Sonuçlar

Asi Nehri Havzası'nda tarımsal sit alanlarından biri olan Arsuz Ovasındaki kuraklığı inceleyebilmek adına öncelikle D19A021, D19A022 ve D19A023 numaralı üç akım gözlem istasyonunun 1990-2015 yılları arası aylık ortalama akım verileri ile debi-zaman ve debi süreklilik eğrileri (DSE) oluşturulmuştur. Özellikle 2009 yılında tüm istasyonlar için akım en yüksek değerde ortaya çıkmış, 2014 yılında ise minimum değerlere kadar düşüş göstermiştir. D19A022 AGİ için %50 oranında DSE aşılma yüzdesi diğer istasyonlara göre daha az akım değerlerinde gerçekleşmiştir. Akım verileri belirlenen zaman aralığında Akım Kuraklık İndeksi (AKİ) yönteminde değerlendirilerek 3, 6 ve 12 ay gibi farklı zaman ölçekleri için kuraklık indis değerleri elde edilmiştir. Elde edilen tüm AKİ zaman ölçekleri için 2014 yılının en fazla kuraklık gözlemlenen yıl olduğu ve en fazla nemliliğin 2009 yılında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Dönemsel olarak akım değerinin en yoğun olarak gözlemlendiği AKİ-3 Ocak'ta 2005 yılına kadar en kritik durumda bile sadece Orta Kurak ya da Orta Nemli dönemler meydana gelirken, 2005 yılından itibaren bu dengenin bozulmasıyla Aşırı Nemli ve Aşırı Kurak dönemlerin oluşmaya başladığı söylenebilir. AKİ-6 Ekim dönemi için 2009 ve 2010 yıllarında Aşırı Nemli durum gözlenirken, 2005 yılında ise D19A021 numaralı AGİ'de Aşırı Kurak dönemin oluştuğu dikkat çekmiştir. AKİ-12 değerlerine göre ise kuraklık en fazla %36 ile D19A023 numaralı istasyonda tespit edilmiştir. AKİ-3 Nisan, AKİ-6 Nisan ve AKİ-12 dönemlerinde D19A021 ve D19A023 numaralı istasyonlarda nemli durumu sağlayan AKİ değerleri %32 ile benzer çıkmıştır. Bütün AKİ dönemleri birlikte göz önüne alındığında ise D19A022 numaralı istasyonda kuraklığın meydana gelme oranı diğer iki istasyona göre oldukça azdır. Her üç istasyonun aylık akım verileri kullanılarak oluşturulan istatistiksel ilişkiler değerlendirildiğinde birbirine yakın sonuçların olduğu görülmüş, AKİ'nin farklı zaman ölçekleri için aynı istatistiksel hesaplar göz önüne alındığında ise akım verilerine benzer şekilde D19A021 ve D19A023 istasyonları arasında daha yüksek bir korelasyon gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak küresel iklim değişikliği ve kuraklığa karşı alınabilecek önlemler, planlama ve risk yönetimi konularında yapılan çalışmaların hâlâ geliştirilmesinin gerekliliği ortadadır. Bu süreçte su kaynakları mühendisliği açısından uygun eylem planlarının hazırlanması uzun vadede düşünülmesi önem arz eden başlıklardandır. Özellikle meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık çalışmalarının geniş bir alanı kapsayacak şekilde ele alınması gerekmektedir. Böylece kuraklığın meydana getirebileceği olumsuz etkiler ciddi derecede azaltılabilecektir. İleride bu çalışma kapsamında ele alınan Arsuz Ovası gibi tarımsal anlamda önemli farklı stratejik bölgesel kuraklık izleme, trend analizleri ve gelecek projeksiyon tahmin modellerinin oluşturulmasının karar verme süreçlerinde etkin rol oynayabileceği bir gerçektir.

Kaynaklar

- Adib A., Kashani, A., Ashrafi S.M., (2020), *Merge L-Moment method, regional frequency analysis and SDI for monitoring and Zoning map of short-term and long-term hydrologic droughts in the Khuzestan Province of Iran*, Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 45(4), 2681-2694.
- Aghelpour P., Bahrami-Pichaghchi H., Varshavian V., (2021), *Hydrological drought forecasting using multi-scalar streamflow drought index, stochastic models and machine learning approaches, in northern Iran*, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 35, 1615-1635.
- Altın T.B., Sarış F., Altın B.N., (2020), *Determination of drought intensity in Seyhan and Ceyhan River Basins, Turkey, by hydrological drought analysis*, Theoretical and Applied Climatology, 139(1), 95-107.
- Arslan O., Önder H.H., Özdemir G., (2014), *Aydeniz yöntemi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Antalya'daki Aksu sulama alanı için kuraklık analizi*, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 51(2), 109-115.
- Başakın E.E., Ekmekçioglu Ö., Özger M., (2019), *Makine öğrenmesi yöntemleri ile kuraklık analizi*, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Uluslararası Kentsel Su ve Atıksu Yönetimi Sempozyumu (UKSAY)-2018 Özel Sayısı, 25(8), 985-991.
- Dai M., Huang S., Huang Q., Leng G., Guo Y., Wang L., Fang W., Li P., Zheng X., (2020), *Assessing agricultural drought risk and its dynamic evolution characteristics*, Agricultural Water Management, 231, 106003. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106003.
- Dikici M., (2019), *Asi Havzası'nda (Türkiye) Kuraklık Analizi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1), 22-40.
- Dikici M., (2020), *Drought analysis with different indices for the Asi Basin (Turkey)*, Scientific Reports, 10, 20739, doi: 10.1038/s41598-020-77827-z.
- DSİ, (2018), *Akım gözlem yıllıkları (1959-2015)*, Etüd Plan Dairesi, Ankara.
- Eriş E., Aksoy H., Onoz B., Çetin M., Yüce M.İ., Selek B., Aksu H., Burgan H.İ., Eşit M., Yıldırım I., Karakuş E.U., (2019), *Frequency analysis of low flows in intermittent and non-intermittent rivers from hydrological basins, in Turkey*, Water Science and Technology: Water Supply, 19(1), 30-39.
- Eriş E., Çavuş Y., Aksoy H., Burgan H.İ., Aksu H., Boyacıoğlu H., (2020), *Spatiotemporal analysis of meteorological drought over Kucuk Menderes River Basin in the Aegean Region of Turkey*, Theoretical and Applied Climatology, 142(3), 1515-1530.
- Eroğlu T.A., Apaydın H., (2020), *Estimation of drought by streamflow drought index (SDI) and artificial neural networks (ANNs) in Ankara-Nallihan region*, Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 8(2), 348-357.
- Gümüş V., (2017), *Akım kuraklık indeksi ile Asi havzasının hidrolojik kuraklık analizi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5(1), 65-73.
- Gümüş V., Algin, H.M., (2017), *Meteorological and hydrological drought analysis of the Seyhan-Ceyhan River basins, Turkey*, Meteorological Applications, 24(1), 62-73.
- Gümüş V., Yıldız M.S., Şimşek O., (2018), *Hidrolojik Kuraklık Değerlendirmesi: Murat Nehri-Palu Örneği*, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3(3), 297-301.
- Hong X., Guo S., Zhou Y., Xiong L., (2015), *Uncertainties in assessing hydrological drought using streamflow drought index for the upper Yangtze River basin*, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 29(4), 1235-1247.
- Jahangir M.H., Yarahmadi Y., (2020), *Hydrological drought analyzing and monitoring by using streamflow drought index (SDI) (case study: Lorestan, Iran)*, Arabian Journal of Geosciences, 13(3), 110. doi: 10.1007/s12517-020-5059-8.
- Keskiner A.D., Çetin M., Akın S., Şimşek M., (2019), *Eriş kuraklık indeksi yöntemiyle iklim tipi eğilimlerinin analizi: Güneydoğu anadolu projesi (GAP) alanında bir uygulama*, 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, 9-12 Ekim, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, ss.403-414.
- Keskiner A.D., Çetin M., Şimşek M., Akın S., (2020), *Kuraklık riski altındaki havzalarda gölet haznelerinin tasarımı: Seyhan havzası'nda bir uygulama*, Teknik Dergi, 31(5), 10189-10210.
- Kılıç E., (2017), *Asi havzasındaki su kalitesinin çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Kumanhoğlu A.A., (2020), *Hydrological droughts and runoff trends of the Demirköprü dam reservoir basin on Gediz River, Turkey*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi (DEÜ FMD), 22(6), 793-800.
- Nalbantis I., (2008), *Evaluation of a hydrological drought index*, European Water, 23(24), 67-77.
- Oğuz K., Pekin M.A., Çamalan G., (2021), *Muğla İlinde 1960-2018 Dönemi Kuraklık Analizi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1), 89-100.
- Özcan M., Gümüş V., Şimşek O., Şeker M., (2019), *Drought analysis of Bitlis river Baykan station with streamflow drought index (SDI) method*, 7th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 22-24 November, Şanlıurfa, Türkiye, Academic Perspective Procedia, 2(3), 1100-1106.
- Özfidaner M., Topaloğlu F., Baydar A., Şapolyo D., (2015), *Doğu Akdeniz havzası akım verilerinin hidrolojik kuraklık analizi :1712 nolu AGİ*, 4. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, 01-04 Eylül, Kahramanmaraş, ss.1-6.
- Özfidaner M., Topaloğlu F., (2020), *Standart yağış indeksi yöntemi ile güneydoğu anadolu bölgesinde kuraklık analizi*, Toprak Su Dergisi, 9(2), 130-136.
- Özkaya A., Zerberg Y., (2019), *A 40-Year analysis of the hydrological drought index for the Tigris basin, Turkey*, Water, 11(4), 657, doi: 10.3390/w11040657.
- Partal T., Yavuz E., (2020), *Batı Karadeniz Bölgesinde Kuraklık İndisleri Üzerine Trend Analizi Uygulanması*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(2), 345-353.
- Şener E., Şener Ş., (2021), *SPI ve CZI kuraklık indislerinin CBS tabanlı zamansal ve konumsal karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası örneği*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1), 41-58.
- Tabari H., Nikbakht J., Talaei P.H., (2013), *Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI)*, Water Resources Management, 27, 137-151.
- TOB, (2019), *Asi ve Seyhan Havzaları taşkın ve kuraklık yönetim planlarının hazırlanması projesi*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara, 70ss.

- Topçu E., Seçkin N., (2019), *Drought analysis of Eastern Mediterranean, Seyhan, Ceyhan and Asi basins by using streamflow drought index (SDI)*, Innovation and Global Issues Congress V, May 02-04, Ankara, Türkiye.
- Tosunoğlu F., İspirli M.N., Gürbüz F., Şengül S., (2017), *Fırat havzası'ndaki eksik akım verilerinin debi süreklilik çizgileri ve regresyon modelleri ile tahmin edilmesi*, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(4), 85-94.
- Uludağ B., Ağca N., (2019), *Determination of spatial distribution of potassium fractions in the Arsuz plain soils using geostatistical methods*, Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 24(3), 295-307.
- Yaltı S., Aksu H., (2019), *Drought analysis of Iğdır Turkey*, Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 7(12), 2227-2232.

Sahaya Özel Zemin Davranış Analizlerinde Profil Derinliği Değişiminin İncelenmesi

Fatma İlknur Kara^{1,*}, Barış Şahin²

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 41400, Kocaeli.

²AES Dizayn Mühendislik & Danışmanlık, Suadiye, Kitapçı Sokak, No 14/1/1, 34740, Kadıköy, İstanbul.

Özet

Güncellenerek “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)” ismi ile yürürlüğe giren Türk deprem yönetmeliği, tasarım gözetimi ve kontrolü hizmetinden deprem haritasının güncellenmesine kadar birçok köklü değişiklik içermekte ve uygulamaya yeni koşullar getirmektedir. Getirilen en önemli koşullardan bir tanesi “ZF” yerel zemin sınıfı için “Sahaya Özel Zemin Davranışı Analizi” yapılması gerekliliğidir. Bu çalışmada, yönetmeliğin 16.5.2.3 (a) maddesinde serbest zemin modeli oluşturulması için belirtilen ve özellikle büyük açıklıklı yapı projelerinde pratik olarak uygulaması zor olan ve ek maliyet gerektiren “mühendislik taban kayasının bina temelinden itibaren derinliği, en büyük bina genişliğinin üç katından daha az olmayacaktır” koşulu irdelenmiştir. Bu kapsamda, İzmir ili, Konak ilçesi sınırlarında, zemin değerlendirilmesi yapılmış, bölgenin karakteristik zemin türünü temsil eden “ZF” zemin sınıfına ait bir zemin profili, dört farklı derinlik için oluşturulmuştur. Dört farklı deprem düzeyi için ayrı ayrı olmak üzere tasarım spektrumuna spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülen 11 adet deprem kaydının iki yönlü zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile analizleri tamamlanmış ve farklı derinliklerinin profil davranışına etkileri incelenmiştir. Analizler sonucunda, çalışma kapsamında dikkate alınan zemin profili için yüksek yapı sınıfına girmeyen ve ileri performans hedefi değerlendirmesi gerektirmeyen yeni yapılacak önüretimli betonarme, yerinde dökme betonarme ve çelik binalar için ZE zemin sınıfı için oluşturulan spektrumun derinlik değişiminden bağımsız olarak davranışı karşıladığı belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler

TBDY-2018, ZF Sınıfı Zeminler, Sahaya Özel Zemin Davranış Analizleri, Doğrusal Olmayan Analiz

An Investigation of Soil Profile Depth Change on Site Response Analysis

Abstract

The updated Turkish seismic code “Building Earthquake Regulations-2018 (TBDY-2018)” includes radical changes in many aspects such as peer review and the earthquake hazard map hence, it brings new conditions into practical engineering. One of the most important conditions is the concept of “Site Response Analysis” for the soil type “ZF”. This study investigates the item 16.5.2.3 (a) which states that “the depth of the engineering bedrock from the building foundation must not be less than three times of the largest building width. However, the application of this provision is almost difficult especially for the large span structures, and it requires additional cost. In this context, the soil profile evaluation has been made within the borders of Konak district of İzmir province for soil class “ZF” considering four different depths. Non-linear bidirectional time history analyses are performed using 11 pairs of earthquake records which are scaled to match various earthquake levels. The study also evaluates the effect of various depths on the behavior of the soil profile in question. The paper concludes that, for the soil profile addressed in this study, the derived design spectrum related to soil type ZE- regardless of the depth change - is conservative for all periods except the high rise buildings as well as the buildings that do not require advanced performance evaluations such as new designed reinforced concrete buildings, precast concrete buildings and steel buildings.

Keywords

TBDY-2018, ZF Soil Type, Site Response Analysis, Nonlinear Analysis

1. Giriş

Aktif bir deprem kuşağında bulunan Türkiye nüfusunun %98’i deprem tehlikesi altında yaşamını sürdürmektedir. Ülkemizde deprem zararlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar çok yakın aralıklarla meydana gelen, çok büyük can ve mal kaybına sebep olan Erzincan (27.12.1939), Niksar-Erbaa (20.12.1942), Adapazarı-Hendek (20.06.1943), Tosya-Ladik (26.11.1943) ve (Bolu-Gerede) 01.02.1944 depremlerinden sonra başlamıştır (Özmen 2012). Türkiye’de ilk resmi deprem yönetmeliği 1940 yılında yürürlüğe girmiştir. Toplumsal gereksinimler, deprem mühendisliğindeki gelişmeler ve teknolojik devrimler neticesinde deprem yönetmeliği 1947, 1953, 1961, 1968, 1975, 1998, 2007 ve 2018 yıllarında olmak üzere 8 kez revize edilmiştir.

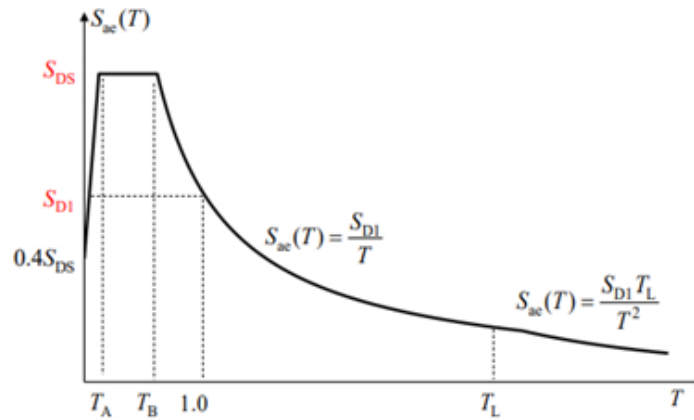
Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) (TBDY 2018) olarak adlandırılan son güncel yönetmelik Resmî Gazete'de 18 Mart 2018 tarihinde yayınlanmış, yürürlüğe ise 1 Ocak 2019 tarihinde girmiştir. Türkiye için ilk deprem bölgeleri haritası Sieberg (1932) tarafından hazırlanmış ancak bu harita resmi olarak onaylanmamıştır (Özmen 2012). İlk resmi deprem bölgeleri haritası ise 1945 yılında “Yersarsıntısı Bölgeleri Haritası” ismi ile yayımlanmış ve sonrasında sismo-tettonik veriler ve deprem mühendisliği alanındaki gelişmelere bağlı olarak 1947, 1963, 1972, 1996 yıllarında güncellenmiştir (Özmen ve Pampal 2017). 1996 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yenilenmiş ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH-2018) ismi ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile eş zamanlı olarak 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir (TDTH 2019). Yeni haritada, bir önceki haritadan farklı olarak, güncellenen diri fay haritası (Emre vd. 2013) kullanılmış ve “deprem bölgesi” kavramı ortadan kaldırılmıştır. Böylece artık deprem tehlikesi bölge bazında değil her bir lokasyon için ayrı ayrı tanımlanabilmektedir (İMO 2018).

Güncellenen deprem yönetmeliğinde, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğin (DBYBHY 2007) bölümlerinin bir kısmı kapsamlı revizyona uğramış ve yeni bölümler eklenmiştir. Yeni yönetmelikte yapılan en önemli revizyonlardan bir tanesi ilk kez 1975 yönetmeliğinde dikkate alınan ancak sonrasında revize edilmemiş deprem etkisi altında “temel zemin” hakkındaki ayrıntılı kurallar getirilmiş olmasıdır.

Bu çalışmada ilk olarak TBDY-2018 kapsamında sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zemin türleri ve yönetmelikte bu tür zeminler için getirilen kurallar sunulmuştur. Daha sonra karakteristikleri zemin analizleri sonucu elde edilmiş ve profil boyunca 200–280 m/sn kayma dalgası hızına sahip zemin profili bir boyutlu oluşturulmuş yönetmelikte tanımlanan dört deprem düzeyi için sahaya özel zemin davranış analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada profil derinliğinin analiz sonuçlarına etkisini inceleyebilmek için zemin profili 30, 50, 70 ve 90 m olacak şekilde 4 farklı derinlik için oluşturulmuştur.

2. TBDY-2018 Deprem Yer Hareketi ve Yerel Zemin Sınıfları

Güncellenen yeni deprem yönetmeliğinde deprem yer hareketi konusu, yönetmeliğin 2. bölümünde ayrıntılı şekilde ele alınmıştır. TBDY-2018 yönetmeliğinde standart ivme spektrumunun analitik ifadesi değiştirilmiş, spektrumu oluşturan zemin parametrelerinde ve güncellenen Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası ile tanımı değişen “deprem tehlikesi” kavramlarında önemli değişikliklere yer verilmiştir (İMO 2018). Güncellenen yönetmelikte deprem etkisini tanımlayan tasarım ivme spektrumu artık *tasarım spektral ivme katsayıları*, S_{DS} ve S_{D1} , değerleri ile oluşturulmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: TBDY-2018 tasarım ivme spektrumu (TBDY 2018)

Şekil 1’de belirtilen S_{DS} , kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, S_{D1} ise 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir. Bu katsayılar %5 sönüm oranı için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (TDTH-2018) (TDTH 2019) web sitesinden alınan harita spektral ivme katsayıları S_s ve S_1 ’in TBDY-2018 Madde 2.3.3’de verilen yerel zemin etki katsayıları ile çarpımından (Denklemler 1) elde edilmektedir (TBDY-2018 Madde 2.3.2.2).

$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_s F_s \\ S_{D1} &= S_1 F_1 \end{aligned} \quad (1)$$

S_s kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, S_1 ise 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı olarak tanımlanmaktadır. S_s ve S_1 spektral ivme katsayıları TDTH-2018 web sitesinden, TBDY-2018 Bölüm 2.2’de tanımlanan DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem düzeyleri için ayrı ayrı elde edilmektedir. Bu deprem düzeylerinin deprem yer hareketi spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılıkları sırasıyla, %2, %10, %50 ve %68 ve tekrarlama periyotları gene sırasıyla 2475, 475, 72 ve 43 yıl olarak verilmiştir.

DD-1 deprem düzeyi çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. DD-2 deprem yer hareketi ise standart tasarım deprem yer hareketi olarak adlandırılmaktadır. DD-3 deprem yer hareketi sık deprem yer hareketini nitelemekte ve son olarak DD-4 deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır. Deprem yer hareketi düzeyleri, TBDY-2018’de deprem etkisi altında bina performans hedeflerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır.

Yerel zemin etki katsayıları F_s ve F_1 , TBDY-2018 Tablo 16.1’de tanımlanan yerel zemin sınıflarına bağlı olarak yönetmelikte Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de verilmiştir. Güncellenen yeni deprem yönetmeliğinde verilen yerel zemin sınıfları bu çalışmada Tablo 1’de sunulmuştur. Bu tabloya göre zemin sınıfları üst 30 metrede ortalama kayma dalgası hızlarına göre ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olarak ayrılmıştır.

TBDY-2018, ZF sınıfı zeminler için sahaya özel davranış analizlerinin yapılması ve sahaya özel deprem yer hareketi spektrumunun kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Sahaya özel zemin davranış analizleri, yerel zemin koşullarının zemin yüzeyindeki etkisini (örneğin, sismik kayma dalgalarının amplifikasyonu, frekans içeriği üzerindeki etkisi ve yer hareketi süresi) belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu yöntemle ilk olarak deprem yer hareketleri mühendislik taban kayasında tanımlanmaktadır. Proje sahasının zemin koşullarına uygun olarak zemin tabakaları modellenmekte ve tanımlanan deprem yer hareketinin profil boyunca değişimi ve zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi elde edilmektedir. Lokal zemin özelliklerine bağlı olarak zemin yüzeyindeki spektrumun tahmin edilebilmesi yeni yapılacak binaların tasarımı ve mevcut yapıların performanslarının değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Chandler vd. 2002; Tsang vd. 2006), (Ceren ve Karakan 2020). Bu nedenle zemin davranış analizleri deprem mühendisliğinin en güçlü araçlarından biridir. Yakın geçmişte Türkiye’de meydana gelen 17 Ağustos 1999 Kocaeli, 1 Mayıs 2003 Bingöl, 23 Ekim 2011 Van (Özşahin ve Eroğlu 2018) ve 30 Ekim 2020 Ege Denizi (URL-1 2021) depremlerinde lokal zemin özelliklerinin dikkate alınmaması sebebiyle büyük can ve mal kayıpları meydana gelmiştir. Ülkemizde zemin davranışı ve zemin büyütmesi üzerine lokal ölçekte yapılmış çalışmalar mevcuttur. Kuzey Anadolu Fay hattında meydana gelebilecek olası bir depremin Bursa il merkezinde yapabileceği etkiyi araştırmak için il merkezinin kuzey-doğu kesiminin sıvılaşma, zemin büyütmesi ve oturma potansiyelleri incelenmiştir (Başarı 2011). Kırıkkale İlının dinamik zemin davranış özellikleri (Sönmezer vd. 2015) tarafından çalışılmıştır. Deprem sonrası zeminin en üst tabakasındaki pik ivmeleri ve elastik spektrumları elde edebilmek için (Bayrakçı ve Baran 2018) tarafından Osmaniye il merkezi için kentte meydana gelen en büyük deprem kayıtları da kullanılarak zemin davranış analizleri gerçekleştirilmiştir. Kahramanmaraş İlının dinamik davranış özelliklerinin belirlenmesi için zemin davranış analizleri (Ceren ve Karakan 2020) tarafından çalışılmıştır.

Tablo 1: Yerel zemin sınıfı tablosu (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katlı kil tabakaları	180 - 360	15 - 50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killeri, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killeri, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killeri, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killeri.			

TBDY-2018, Madde 16.5.2.2’e göre zemin davranış analizleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz veya eşdeğer doğrusal hesap modeli kullanılarak ardışık yaklaşımla doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile gerçekleştirilebilmektedir. Analizlerde kullanılan zemin modeli, bina temeli ve yakın çevresinin zemin ortamının yaklaşık olarak yatay tabakalardan oluştuğu durumlarda tek boyutlu yatay tabakalı serbest zemin modeli olarak aksi durumda ise iki veya üç boyutlu zemin modeli olarak oluşturulacaktır. Serbest zemin modeli, arazi ve laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen kayma modülleri ve eşdeğer histeretik sönüm katsayılarının doğrusal olmayan değişimleri dikkate alınarak oluşturulmalıdır. TBDY-2018 Madde 16.5.2.3 (a) göre mühendislik taban kayasının bina temelinden itibaren derinliğinin, en büyük bina genişliğinin üç katından ve kazıklı sistemlerde en uzun kazık boyundan daha az olmaması ve Tablo 16.1’e göre yerel zemin sınıfının ZA veya ZB olacak şekilde alınması gerekmektedir.

Ancak, taban kayasının yukarıda verilen alt sınıra oranla çok daha derinlerde olması durumunda yönetmelik zemin tabakasının yerel zemin sınıfı ZC veya ZD ile sonlandırılmasına izin vermektedir (Madde 16.5.2.3 (b)). Bu durumda deprem etkisi, taban kayası yerine zemin etki katsayıları göz önüne alınarak büyütülen bu tabakanın üstünde tanımlanabilmektedir.

Zemin modelinin taban kayasına göre elde edilen elastik ivme spektrumu ile uyumlu en az on bir deprem kaydının TBDY-2018 Madde 2.5.3'e göre tanımlanması gerekmektedir. Tanımlanan deprem kayıtları ile tamamlanan zemin davranış analizleri sonucunda elde edilen zemin yüzeyi spektral ivme değerlerinin taban kayası spektral ivme değerlerine oranı ve bu oranların en az on bir kayıt için ortalaması alınarak, ilgili periyot için "yerel zemin etki katsayısı" değerleri elde edilecektir. Sahaya özel deprem spektrumu, yerel zemin etki katsayılarının taban kayası için tanımlanan spektrum ile çarpılmasıyla elde edilecektir.

3. Sahaya Özel Zemin Davranış Analizlerinin Uygulanması

Deprem etkisi altında zeminlerin ve yapıların davranışını doğru belirleyebilmek için, analizlerde kullanılacak zemin ortamının ve deprem yer hareketinin doğru tanımlanabilmesi gerekmektedir (Kılıçer ve Özgan 2018). Bu çalışmada sahaya özel zemin davranış analizleri;

1. Zemin özelliklerinin belirlenip, zemin profilinin oluşturulması,
2. Deprem yer hareketi kayıtlarının seçilmesi ve spektral uyum sağlayacak şekilde dönüştürülmesi
3. Zemin davranış analizlerinin yapılması ve sonuçları olarak üç ana başlık altında toplanmıştır.

3.1. Zemin Profilinin Oluşturulması

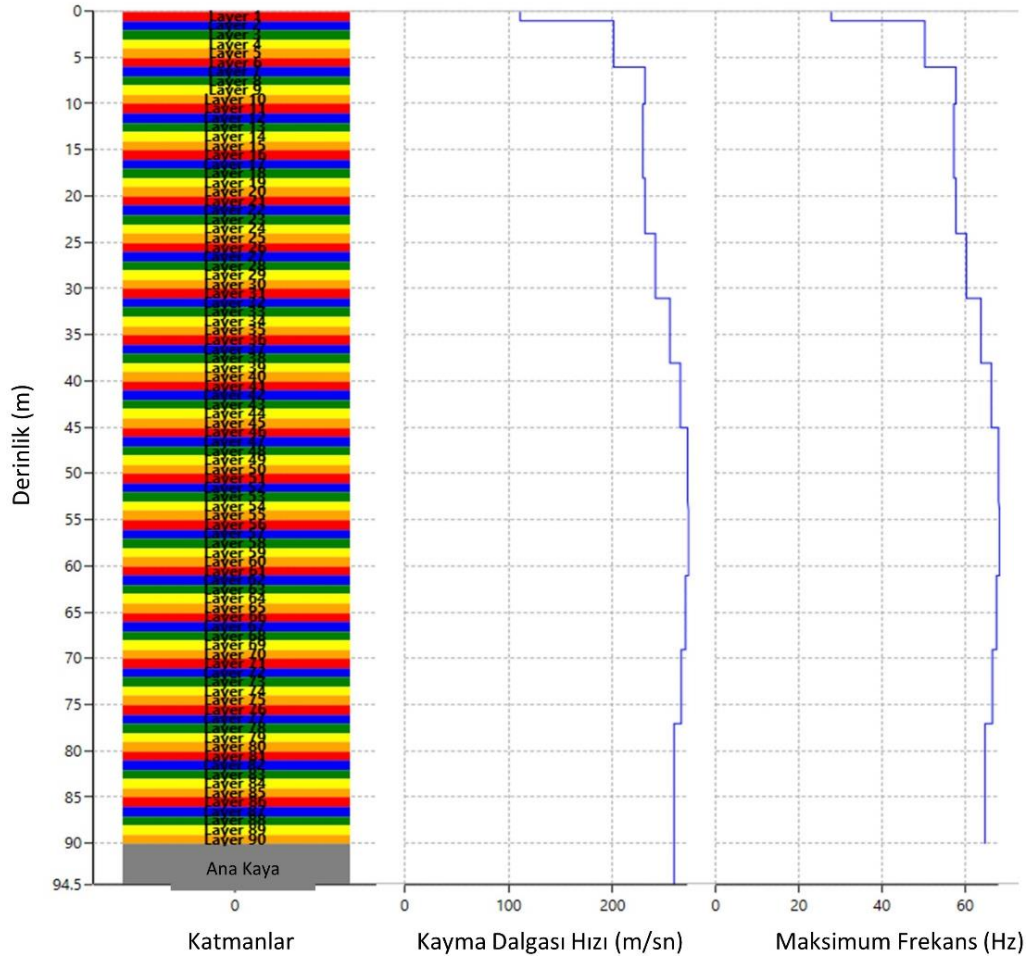
Sahaya özel zemin davranış analizleri için İzmir ili, Konak ilçe sınırlarında olan bir alan seçilmiştir. Zemin davranış analizlerinde kullanılacak zemin profilleri geoteknik, jeolojik ve jeofiziksel araştırmalar ve zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine bağlı olarak oluşturulmaktadır. Bu çalışmada, zemin temel etüt çalışmaları kapsamında 8 adet sondaj kuyusunda standart penetrasyon testleri (SPT), jeofizik çalışmalar kapsamında ise sismik kırılma ve çok kanallı yüzey dalgalarının analizi (MASW) çalışmaları yapılan gerçek bir zemin profili üzerine çalışmalar yapılmıştır. Alana ait sismik, MASW, remi ve mikrotremör ölçümü sonuçlarına göre 90 m derinlik için zemin kayma dalgası hızı elde edilmiştir. Zemin profilinin kayma dalgası hızı profil boyunca 200~280 m/sn aralığında değişmektedir. İlk 10 m ve 80-90 m derinlikler için MASW ölçümlerinin sonuçları SPT-N değerleri ile literatürde olan araştırmalara dayalı olarak doğrulanmıştır. Kullanılan yöntemler (Imai 1977; Lee 1990) ve karşılaştırma sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2: SPT-N değerleri ile MASW ölçümlerinin sonuçlarının doğrulanması

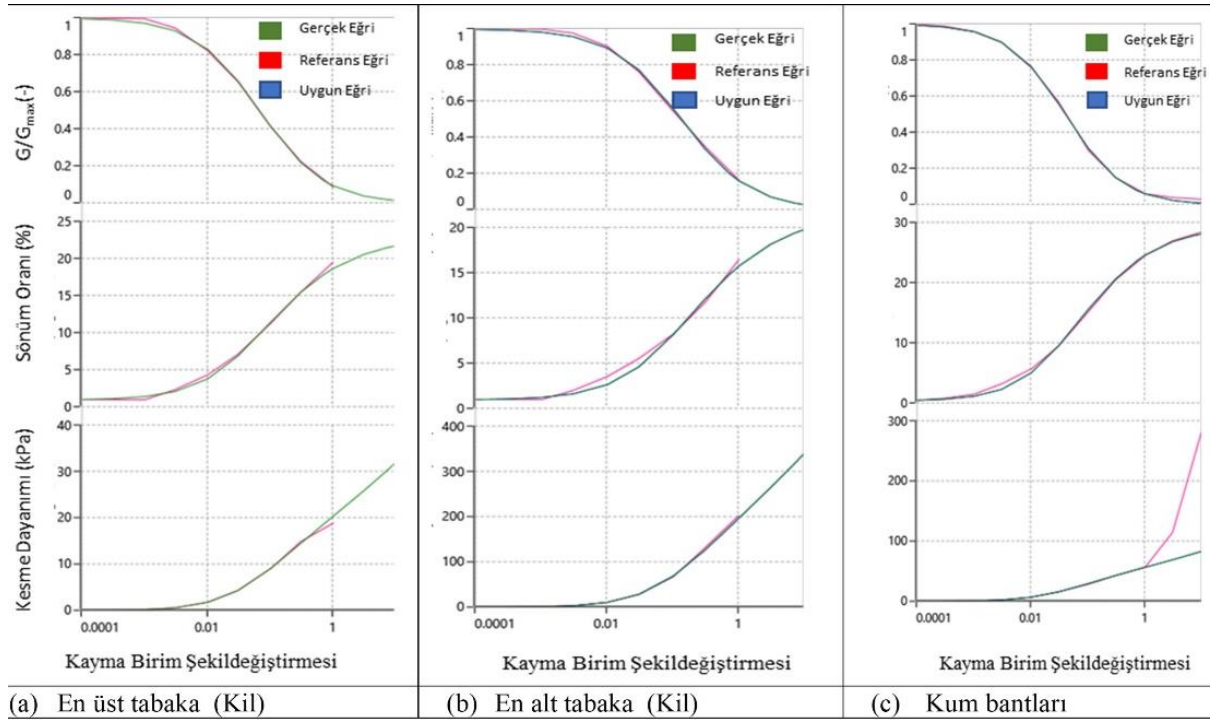
		0 - 10 m SPT-N=7, $V_s=200$ m/sn	80-90 m SPT-N=20, $V_s=258$ m/sn
(Imai 1977)	$V_s=102 \cdot N_{0,292}$	180.03 m/sn	244.62 m/sn
(Lee 1990)	$V_s=114.43 \cdot N_{0,31}$	209.18 m/sn	289.64 m/sn

Sismik ölçüm çalışmaları, TBDY-2018 Madde 16.5.2.3 (b) uyarınca 90 m derinlikte yaklaşık 260 m/sn kayma dalgası hızı değeri ile tamamlanmış ve zemin profili ZD zemin tabakası ile sonlandırılmıştır. 1999 yılında İzmir Büyükşehir Belediyesi RADIUS projesi (URL-2 1999) ve USGS Vs,30 (USGS 2020) harita sistemi verilerine göre Konak, Bayraklı, Çiğli ilçelerinin kayma dalga hızları ZD (180~360 m/sn) aralığında değişmektedir ve bölgenin genel zemin profili çalışma kapsamında oluşturulan profil ile temsil edilebilmektedir (Şekil 2).

Yapılan arazi çalışmalarına göre proje sahasının kumlu siltli yüksek plastisiteli çok yumuşak-yumuşak kil (CH) birimi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca incelenen çalışma sahasının zemin sıvılaşma riskinin olmadığı ancak SPT-N değerlerinin düşük olması nedeniyle deprem anında yumuşama riski olduğu belirlenmiştir. TBDY-2018 Tablo 16.1'e göre, toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI>50$) killeri ve çok kalın ($>35m$) yumuşak veya orta katı kil zeminler ZF zemin sınıfı olarak tanımlanmakta ve sahaya özel zemin davranış analizi yapılması gerekliliği doğmaktadır. Ayrıca profil içinde kum bantları bulunmaktadır. Proje sahasında 90m kadar yapılan sondaj verilerinden yararlanılarak 4 farklı derinlik için, 30m, 50 m, 70m, 90m tek boyutlu zemin profilleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu farklı derinlikteki zemin profillerinin doğal frekans ve doğal periyot değerleri Tablo3'de belirtilmiştir. Zemin profillerinin oluşturulması ve sahaya özel zemin davranış analizlerinin yapılması için DeepSoil v7 (Hashash vd. 2020) yazılımı kullanılmıştır. Zemin profilleri oluşturulurken dinamik kayma modülünün derinlikle değişimini temsil eden kayma dalgası hızı (V_s) ve kayma modülü, plastisite indeksi, sönüm oranı dikkate alınmıştır.



Şekil 3: Zemin profili (90 m)



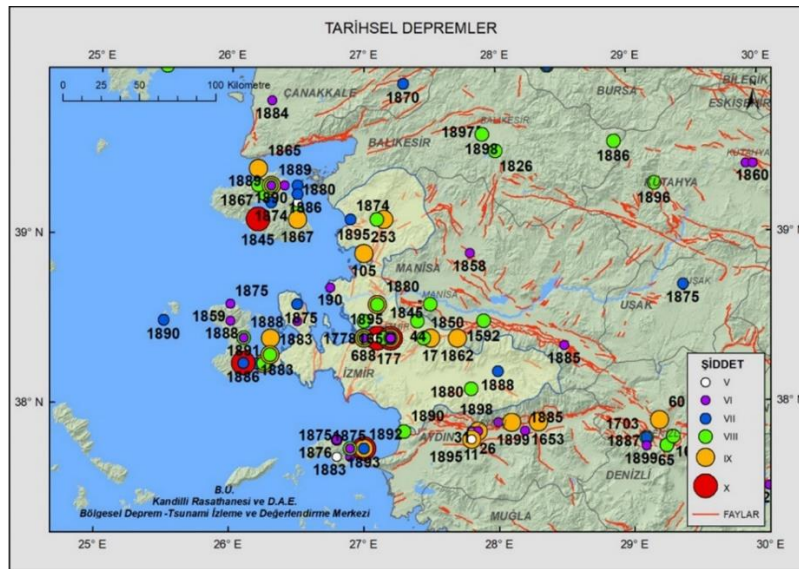
Şekil 4: Analizlerde kullanılan sönüm ve kayma modülü eğrileri

3.2. Bölgenin Depremselliği ve Deprem Tehlikesinin Belirlenmesi

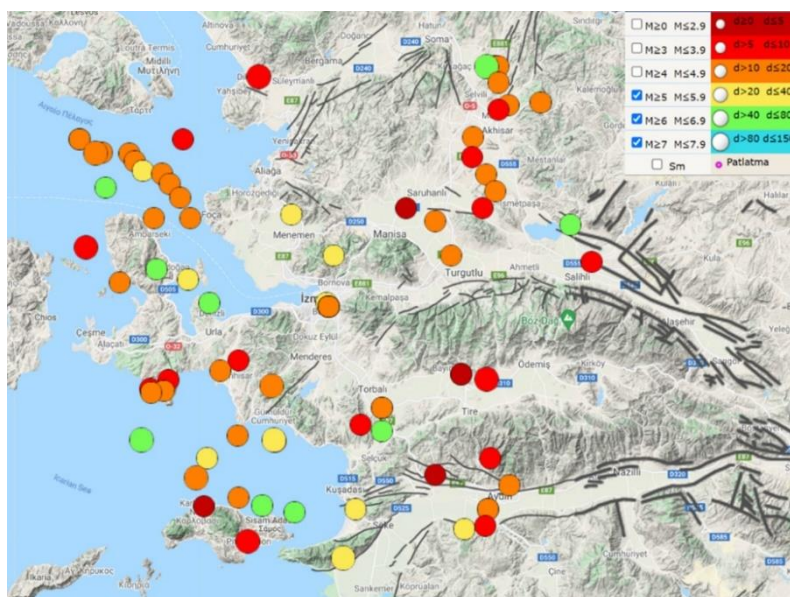
Bir bölgenin deprem tehlikesinin belirlenip değerlendirilmesi için, bölgenin zemin sınıfı ve koşulları, yerel jeolojisi, bölgeyi etkileyecek fayların mekanizmaları ve ayrıca özellikleri, bölgenin güncel deprem aktivitesi ve bölgeyi geçmişte etkilemiş olan tarihsel deprem kayıtlarının araştırılması gerekmektedir.

İzmir ve çevresi, Bornova Karmaşığı olarak adlandırılan, büyük deformasyona uğramış bir filiş matrisi ve içinde yüzen mafik volkanit, serpantin, radyolarit ve mesozoyik yaşlı kireçtaşı bloklarından oluşan bir formasyon ile yüzeylenmiştir. Bölgesel temel, Neojen yaşlı görsel tortullar ile örtülmüştür. Temel birim üzerine uyumsuz olarak gelen bu tortullar üstten alta doğru killi kireçtaşı, marn, kilaşı, siltaşı, kumtaşı, çakılaşı birimlerinden oluşmaktadır (Çağlar vd. 2020).

İzmir ve çevresinde tarihsel dönemlerden itibaren oldukça yoğun deprem aktivitesi gözlemlenmiştir. M.Ö. 1800-M.S. 1900 tarihleri arasında şiddeti $I_0=IX-X$ olan depremler büyük kayıplara sebep olmuştur. Büyük kayıplara sebep olan bu depremlerin şiddetleri ve yılları Şekil 5 ile sunulmaktadır (URL-3 2021). Akdeniz-Himalaya Kuşağı'nda yer alan bölgede 1900-2021 yılları arasında büyüklüğü 5.0-8.0 arasında değişen 574 adet deprem meydana gelmiştir (Şekil 6)(URL-4 2021).

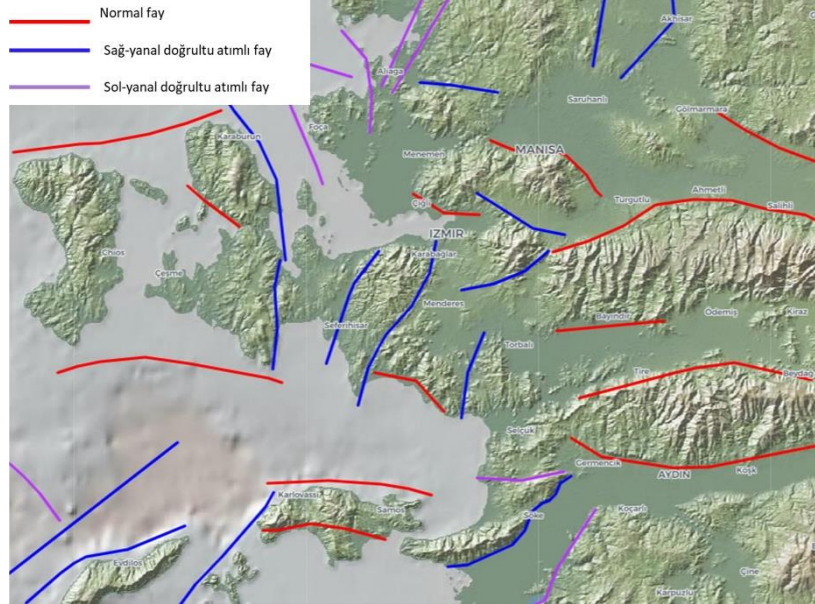


Şekil 5: İzmir ili ve yakın çevresinde tarihsel dönemde şiddeti $I_0=IX-X$ olan depremler



Şekil 6: İzmir ili ve yakın çevresi son 300 yılda meydana gelmiş depremler

İzmir ve yakın çevresi Gediz graben sisteminin batı ucunda yer almaktadır. Bu sistem Batı Anadolu açılmalı tektonik rejimi içerisinde gelişmiş en büyük yapılardan biridir. Gediz grabeni dışında kalan bölgelerin faylanması, bu fayların aktivitesi ve niteliği hakkında yeterince bilgi mevcut değildir. İzmir kenti merkez olmak üzere yaklaşık 50 km yarıçapındaki bir alanda diri fay haritalaması gerçekleştirildiği çalışmalarda (Emre vd. 2005) fayların KD-GB, K-G, KB-GD ve D-B doğrultularında uzanmakta olduğu belirlenmiştir. Bu faylardan D-B uzanımlı olanları normal fay, diğer uzanımlardaki faylar ise ağırlıklı olarak doğrultu atımlıdır. İzmir ve çevresindeki diri fayların dağılımı ve niteliklerini belirlemek için şehir merkezinden itibaren 100 km çapındaki bir alanda diri fay haritalaması çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar neticesinde Gediz grabeni batısında kalan bölgede kompleks bir deformasyon olduğunu gösterir. Bölgedeki faylar ve fayların mekanizmaları Şekil 7 ile sunulmaktadır.



Şekil 7: Bölgedeki faylar ve fayların mekanizmaları

3.3. Deprem Yer Hareketi Kayıtlarının Seçilmesi ve Spektral Uyuşum Sağlayacak Şekilde Dönüştürülmesi

TBDY-2018, zaman tanım alanında yapılacak analizler için en az 11 adet deprem yer hareketi takımının (yatay doğrultuda birbirine dik iki yatay bileşen için ivme kayıtları) seçilmesini şart koşmaktadır. Ayrıca aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısının üçü geçmemesi gerekmektedir. Deprem etkisi altında zeminlerin ve yapıların davranışını doğru belirleyebilmek için zemin profilinin ve deprem yer hareketinin doğru tanımlanabilmesi gerekmektedir (Kılıçer ve Özgan 2018). Deprem kayıtları, ilgili deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu yerel zemin koşulları, deprem büyüklüğü, fay uzaklığı, kaynak mekanizması gibi parametreler dikkate alınarak seçilecektir.

TBDY-2018 Madde 16.5.2'ye veya 16.10'a göre yapılacak zemin davranış analizlerinde kullanılacak deprem yer hareketleri, seçilen deprem yer hareketleri kayıtlarının yönetmelikte tanımlanan tasarım spektrumuna spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi ile elde edilebilir. Ayrıca TBDY-2018 Madde 2.5.3'e göre dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmaması gerekmektedir.

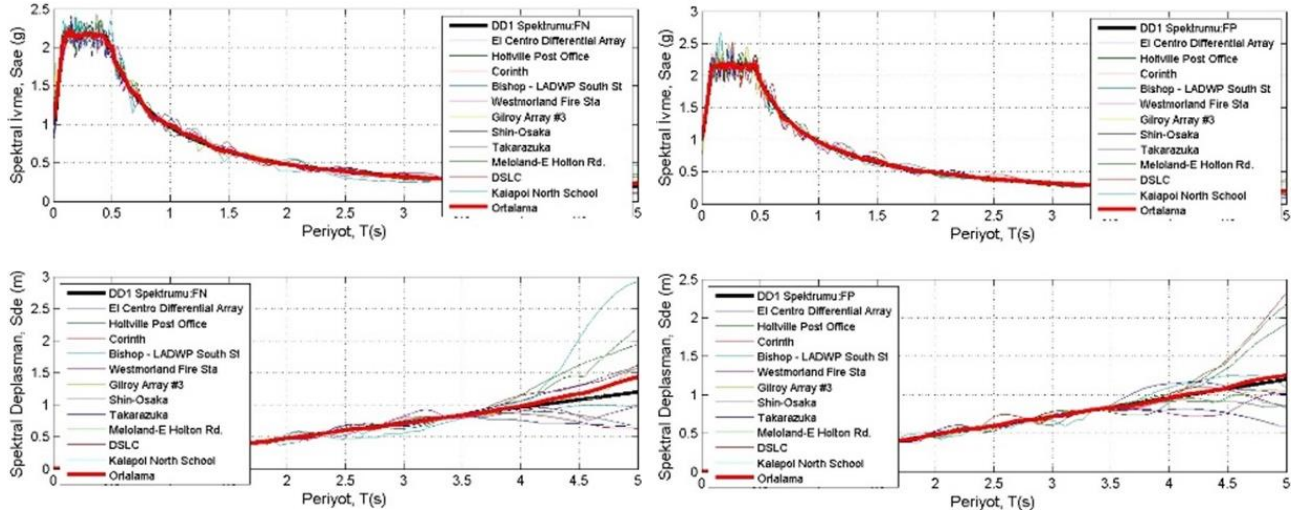
Bu çalışmada analizlerde kullanılmak üzere yönetmelikte tanımlanan dört deprem düzeyi için bölge depremselliği ile uyumlu gerçek deprem ivme kayıtları seçilmiştir. Proje sahası için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (TDTH-2018) ([TDTH 2019](#)) web sitesinden elde edilen Yatay Tasarım Spektrum İvme Değerleri Tablo 6 ile sunulmuştur.

Deprem yer hareketleri, PEER NGA Veri Bankası (PEER Center 2013) (4096 adet yer hareketi) kullanılarak seçilmiştir. Deprem moment büyüklüğü, $MW=6.53-7.2$ aralığında ve zemin kayma dalgası hızı 202-361 m/s aralığında değişen deprem yer hareketleri seçilmiş ve Tablo 5 ile sunulmuştur.

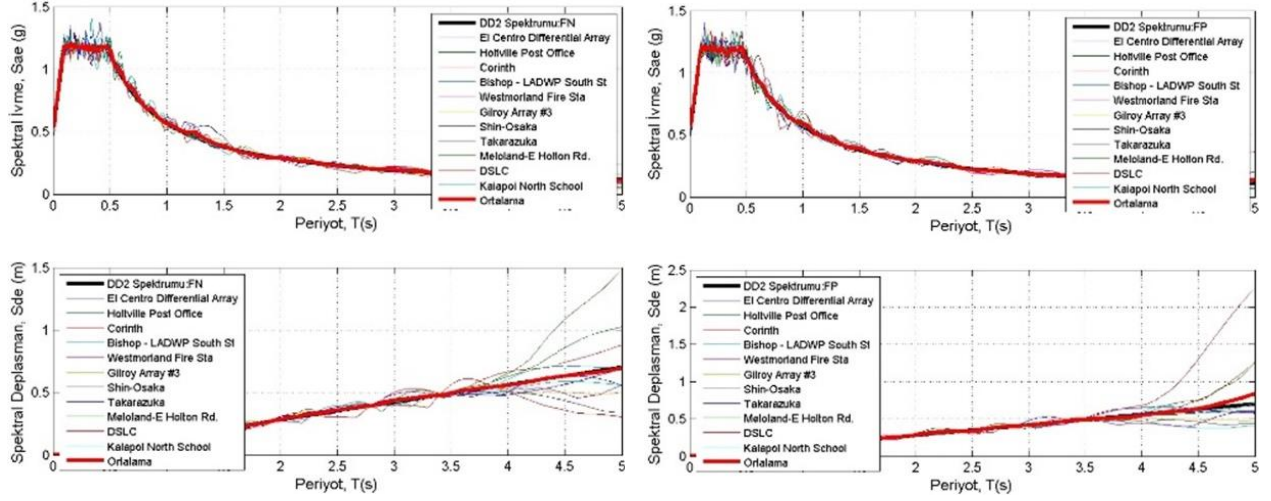
Tablo 5: Seçilen deprem yer hareketleri ve karakteristik özellikleri

Deprem Yılı	(Mw)	Fay Mekanizma	İstasyon	En Yakın Mesafe (km)	V _{s30} (m/sn)
Imperial Valley-06 1979	6.53	Doğrultu atımlı	El Centro Differential Array	5.09	202.26
Imperial Valley-06 1979	6.53	Doğrultu atımlı	Holtville Post Office	7.5	202.89
Corinth_Greece 1981	6.6	Normal verev atımlı	Corinth	10.27	361.4
Chalfant Valley-02 1986	6.19	Doğrultu atımlı	Bishop - LADWP South St	17.17	303.47
Superstition Hills-02 1987	6.54	Doğrultu atımlı	Westmorland Fire Sta	13.03	193.67
Loma Prieta 1989	6.93	Ters verev atımlı	Gilroy Array #3	12.82	349.85
Kobe_Japan 1995	6.9	Doğrultu atımlı	Shin-Osaka	19.15	256
Kobe_Japan 1995	6.9	Doğrultu atımlı	Takarazuka	0.27	312
El Mayor-Cucapah_Mexico 2010	7.2	Doğrultu atımlı	Meloland_E Holton Rd.	30.63	196
Darfield_New Zealand 2010	7	Doğrultu atımlı	DSLÇ	8.46	295.74
Darfield_New Zealand 2010	7	Doğrultu atımlı	Kaiapoi North School	30.53	255

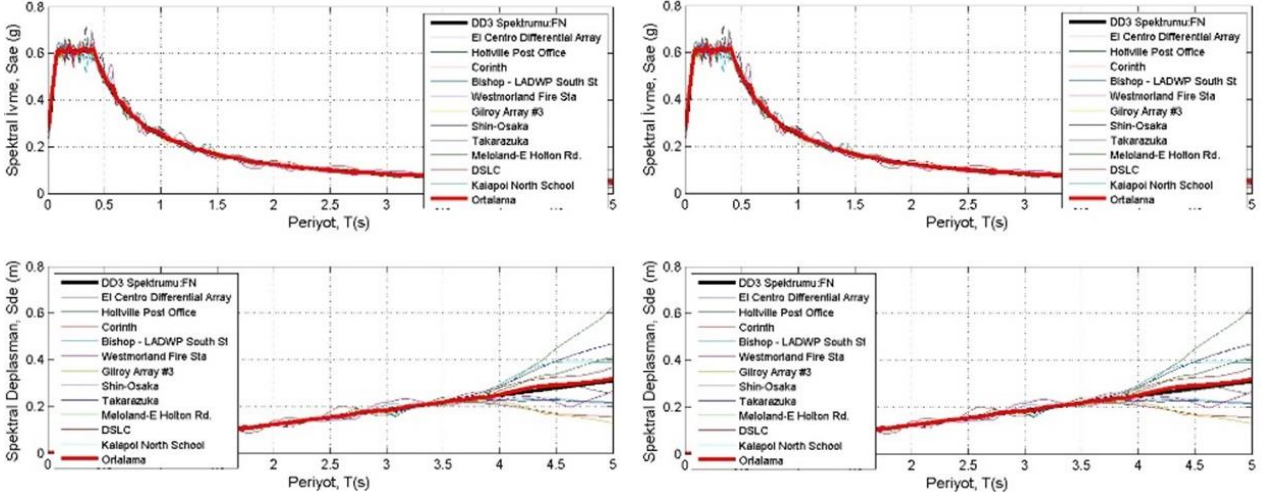
Seçilen deprem kayıtlarının proje sahası için elde edilen dört deprem düzeyi spektrumları ile uyumlu 11 adet 2 yönlü deprem yer hareketlerinin faya normal ve faya paralel bileşenleri için spektral ivme ve spektral deplasman değerleri sırasıyla Şekil 8,9,10 ve 11 ile verilmiş ve dört deprem düzeyinde de dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamalarının, tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmadığı gösterilmiştir.



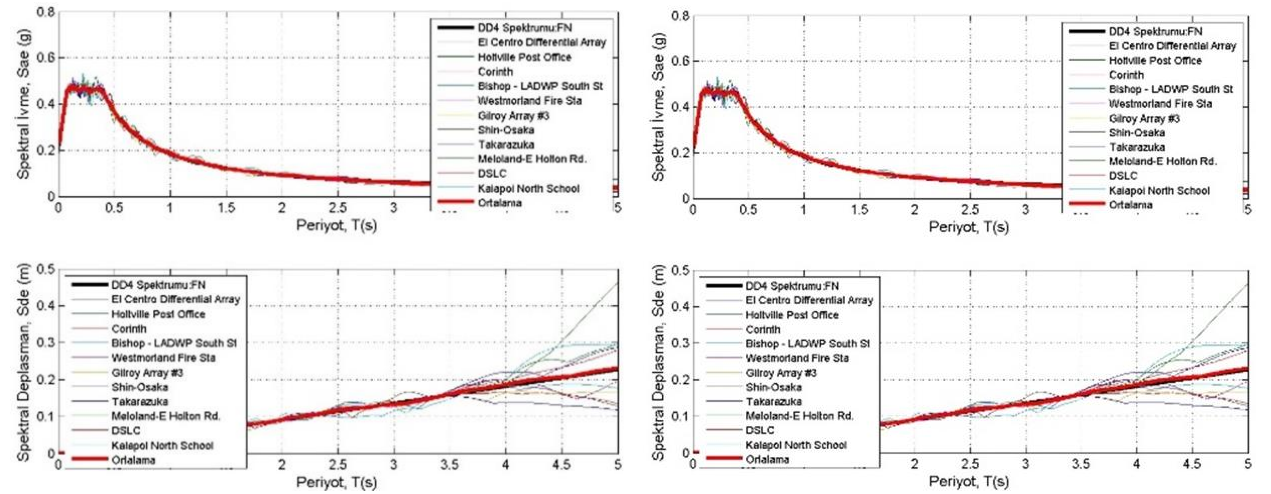
Şekil 8: DD-1 Spektrumu ile uyumlu 11 adet 2 yönlü deprem yer hareketlerinin a) faya normal b) faya paralel doğrultuları için spektral ivme ve spektral deplasman değerleri



Şekil 9: DD-2 Spektrumu ile uyumlu 11 adet 2 yönlü deprem yer hareketlerinin a) faya normal b) faya paralel doğrultuları için spektral ivme ve spektral deplasman değerleri



Şekil 10: DD-3 Spektrumu ile uyumlu 11 adet 2 yönlü deprem yer hareketlerinin a) faya normal b) faya paralel doğrultuları için spektral ivme ve spektral deplasman değerleri



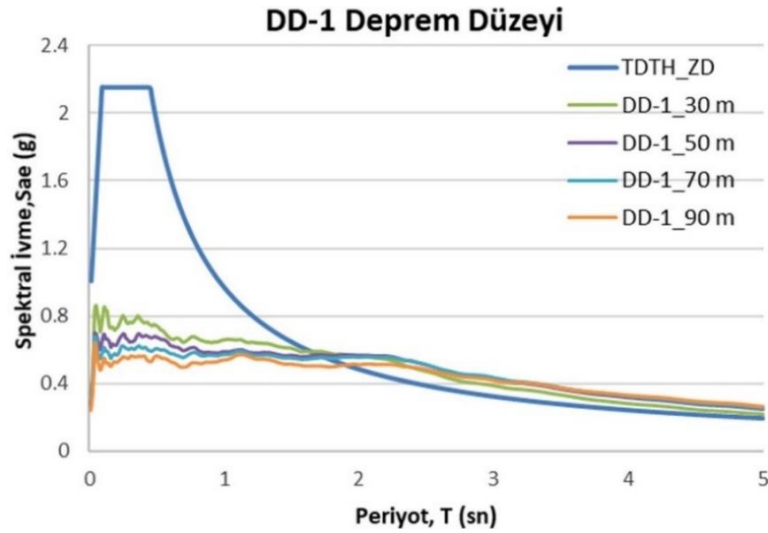
Şekil 11: DD-4 Spektrumu ile uyumlu 11 adet 2 yönlü deprem yer hareketlerinin a) faya normal b) faya paralel doğrultuları için spektral ivme ve spektral deplasman değerleri

Proje sahası için dört deprem düzeyi için seçilen deprem yer hareketlerinin her iki doğrultudaki spektrumlarının 0.1s-5.0s periyotları arasındaki genlikleri [TBDY \(2018\)](#)'e göre uygun olarak ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirme frekans tanım alanında RspMatch2009 programı kullanılarak yapılmıştır (Spektral uyum). RSPMATCH ([Al-Atik ve Abrahamson 2010](#)) yazılımı [Lilhanand ve Tseng \(1987\)](#) tarafından zaman tanım aralığı için önerilen yöntem kullanılarak geliştirilmiştir.

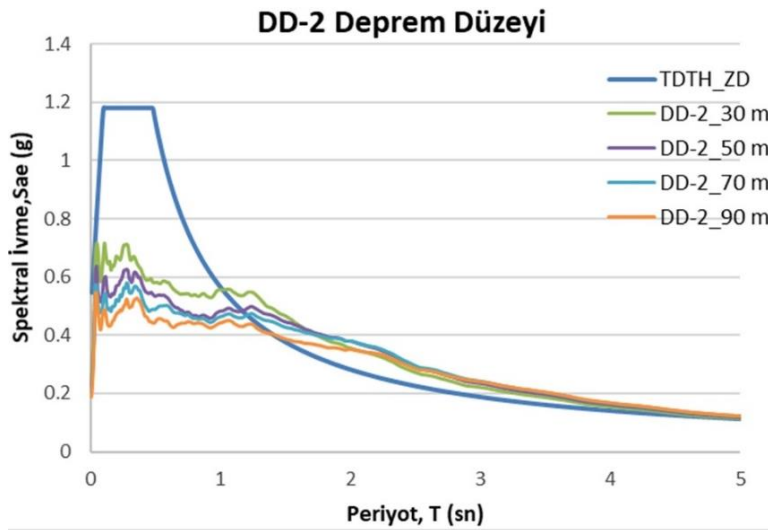
3.4. Zemin Davranış Analizlerinin Yapılması ve Sonuçları

Sahaya özel zemin davranış analizi çalışması kapsamında 4 deprem düzeyi için elde edilen spektrumlar (Şekil 8, 9, 10, 11) ile uyumlu 11 adet deprem yer hareketi kaydının 2 yatay bileşeni (Tablo 5) proje sahası için oluşturulan dört farklı derinlikteki tabakalı zemin modeline (Şekil 3) etkettirilmiştir. Sahaya özel zemin davranış analizleri DeepSoil v7 ([Hashash vd. 2020](#)) yazılımı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemi (Nonlinear-NL) ile tek boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir.

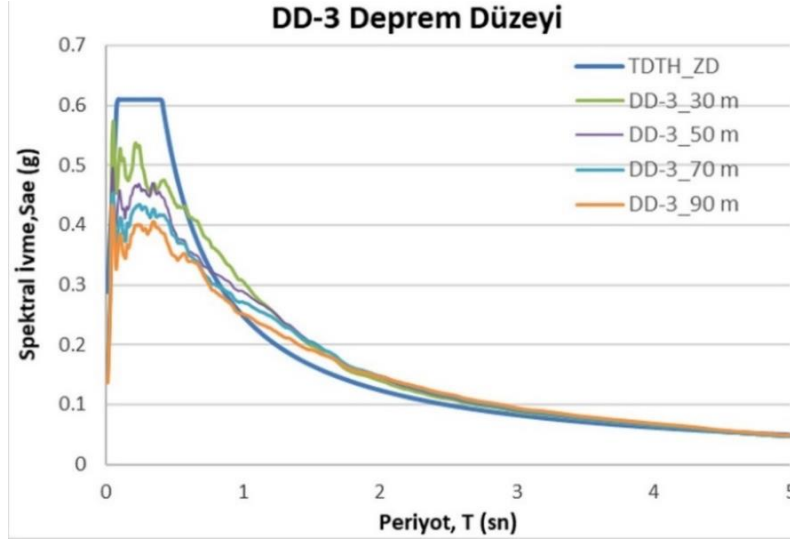
Dört deprem düzeyi ve 30m, 50m, 70m ve 90m derinlik için 11 adet yer hareketi kaydının 2 yatay bileşeni için zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi spektrumları, her bir düzey ve derinlik için ayrı ayrı elde edilmiştir. Her iki doğrultu için ayrı ayrı ve daha sonra da bu iki doğrultu sonuçlarının geometrik ortalaması alınarak zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi spektrumları elde edilmiş ve ZD zemin sınıfı için elde edilen spektrumla karşılaştırmalı olarak Şekil 9-Şekil 12 ile sunulmuştur.



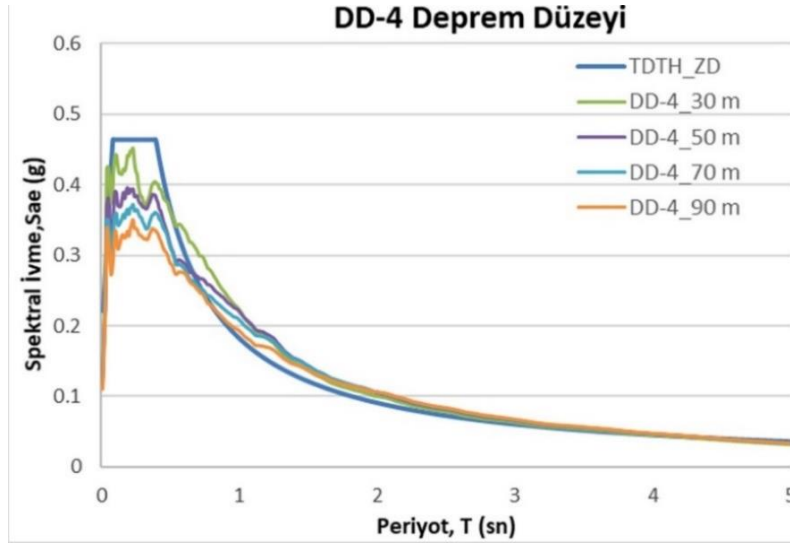
Şekil 12: DD-1 deprem düzeyi için ZDA sonucunda elde edilen zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi spektrumları ve TDTH-ZD spektrumunun karşılaştırılması



Şekil 13: DD-2 deprem düzeyi için ZDA sonucunda elde edilen zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi spektrumları ve TDTH-ZD spektrumunun karşılaştırılması



Şekil 14: DD-13 deprem düzeyi için ZDA sonucunda elde edilen zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi spektrumları ve TDTH-ZD spektrumunun karşılaştırılması



Şekil 15: DD-4 deprem düzeyi için ZDA sonucunda elde edilen zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi spektrumları ve TDTH-ZD spektrumunun karşılaştırılması

Şekil 12~Şekil 15 ile sunulan, zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi spektrumları ve ZD zemin sınıfı için TBDY-2018 yönetmeliğine göre elde edilen spektrumla karşılaştırıldığında, dört deprem düzeyi ve dört farklı derinlik içinde kısa periyot aralığında yönetmeliğe göre tanımlanan yatay tasarım spektrum değerlerinin zemin davranış analizi sonucu elde edilen spektrumlardan büyük değerler aldığı belirlenmiştir. Özellikle DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için yönetmeliğe göre tanımlanan spektrumu, analiz sonucu elde edilen spektrumun yaklaşık 2.5-3 katı değerler almaktadır. Orta periyot ve uzun periyot aralıklarında ise zemin davranış sonucu elde edilen spektrumlar yatay tasarım spektrumlarının üzerine çıktığından tasarım spektrumlarının bu bölgelerde davranışı temsil edemediği belirlenmiştir.

TBDY-2018 Madde 16.5.2.5 uyarınca zemin yüzeyindeki sahaya özel deprem spektrumunun belirlenmesi için her bir spektral periyot için zemin yüzeyinde elde edilen on bir kayıtn spektral ivmesinin ortalamasının taban kayası spektral ivmesine oranı hesaplanarak ilgili periyot için yerel zemin etki katsayısı tanımlanmıştır. Bu katsayıların taban kayası spektrumu ile çarpılması sonucunda zemin yüzeyindeki spektral ivme katsayıları elde edilmiştir. Dört deprem seviyesi ve dört derinlik için zemin davranış analizleri sonucu elde edilen zemin yüzeyindeki spektral ivme katsayıları, proje alanının zemin sınıfı ZD ve yönetmelikte en düşük kayma dalga hızı için tanımlanan ZE zemin sınıfı için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından alınan spektral ivme katsayıları karşılaştırmalı olarak Tablo 6'te verilmiştir. Spektral değerleri daha iyi değerlendirebilmek ve spektrumları karşılaştırmak için zemin davranış analizleri sonucu elde edilen sahaya özel deprem spektrumları ile ZE zemin sınıfı için oluşturulan spektrumun karşılaştırılması Şekil 16,17,18 ve 19 ile sunulmuştur.

Tablo 6 ile verilen hem kısa periyot hem de 1.0 sn periyot için elde edilen spektral ivme katsayıları incelendiğinde, zemin davranış analizleri sonucu zemin yüzeyi için elde edilen değerlerin DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem düzeyleri için TBDY-2018, ZE zemin sınıfı spektral ivme katsayılarının altında kaldığı belirlenmiştir.

Tablo 6: Spektral ivme katsayıları karşılaştırma tablosu

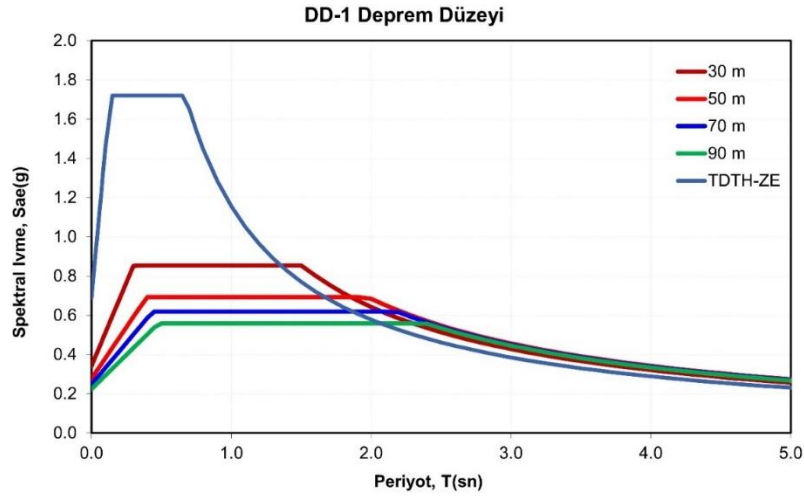
DD1						
S_{DS}			S_{D1}			
	ZDA	TDTH-ZD	TDTH-ZE	ZDA	TDTH-ZD	TDTH-ZE
30 m	0.854	2.151	1.721	1.285	0.964	1.156
50 m	0.693			1.370		
70 m	0.619			1.353		
90 m	0.559			1.337		

DD2						
S_{DS}			S_{D1}			
	ZDA	TDTH-ZD	TDTH-ZE	ZDA	TDTH-ZD	TDTH-ZE
30 m	0.717	1.181	1.125	0.778	0.565	0.806
50 m	0.601			0.780		
70 m	0.541			0.785		
90 m	0.490			0.751		

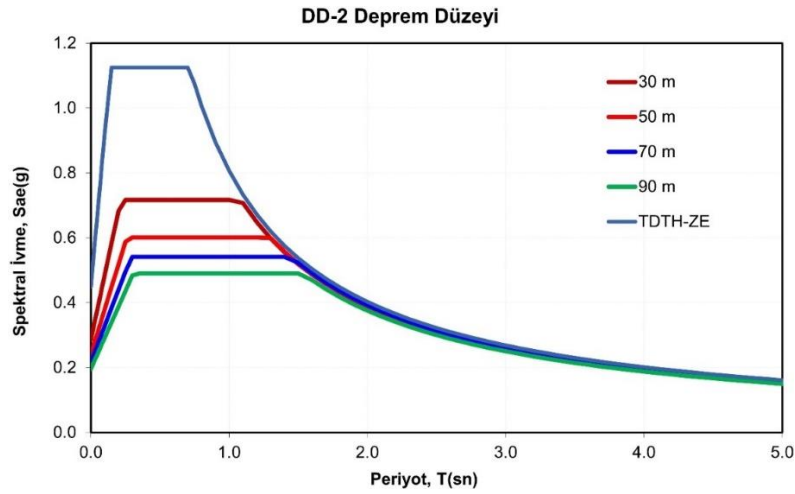
DD3						
S_{DS}			S_{D1}			
	ZDA	TDTH-ZD	TDTH-ZE	ZDA	TDTH-ZD	TDTH-ZE
30 m	0.537	0.610	0.805	0.310	0.249	0.433
50 m	0.470			0.314		
70 m	0.437			0.307		
90 m	0.401			0.294		

DD4						
S_{DS}			S_{D1}			
	ZDA	TDTH-ZD	TDTH-ZE	ZDA	TDTH-ZD	TDTH-ZE
30 m	0.452	0.464	0.674	0.223	0.182	0.319
50 m	0.396			0.228		
70 m	0.372			0.222		
90 m	0.350			0.215		

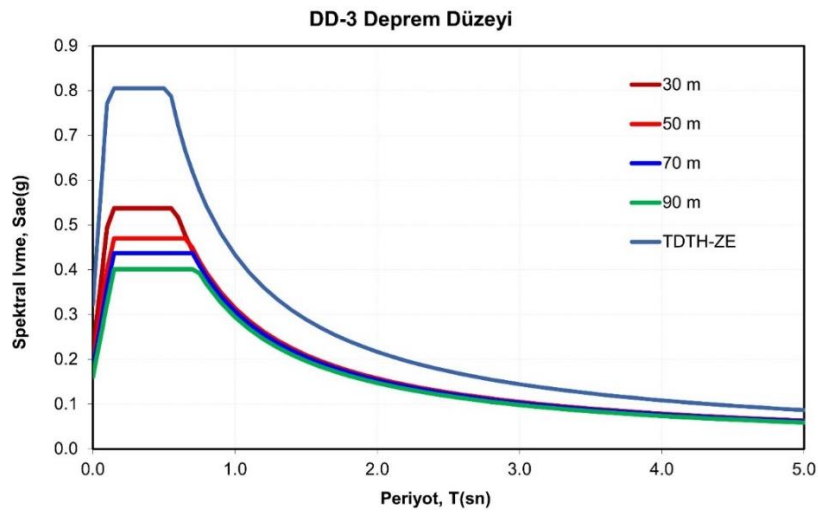
Şekil 16,17,18 ve 19 incelendiğinde DD-2, DD-3 ve DD-4 deprem düzeyleri ve ZE zemin sınıfı için deprem yönetmeliği kriterlerine göre oluşturulmuş spektrumun tüm periyot değerlerinde zemin davranış analizi sonucu elde edilen spektrumları güvenli tarafta kalarak kapsadığı belirlenmiştir. DD-1 deprem düzeyi için yönetmelik kriterlerine göre oluşturulan spektrumun orta ve uzun periyot aralığında zemin davranışını temsil etmekte yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Ayrıca 30 m, 50 m, 70 m ve 90 m derinlik değişimlerine göre elde edilen spektrumlar incelendiğinde kısa periyot bölgesinde spektrumlar arasında farklılık gözlemlense de özellikle orta ve uzun periyot aralığında bu tür zeminler için analiz sonuçlarını belirgin şekilde etkilemediği belirlenmiştir. Bu durumda genişliği fazla olan bina türü yapı projelerinde mühendislik taban kayasının belirlenmesi için bina temelinden itibaren en büyük bina genişliğinin üç katından ve kazıklı sistemlerde en uzun kazık boyundan daha az olmaması koşulu 30 m'den daha derin sondaj gerektiren proje sahaları için süre ve maliyet giderleri bakımından ek yük getirebilecektir.



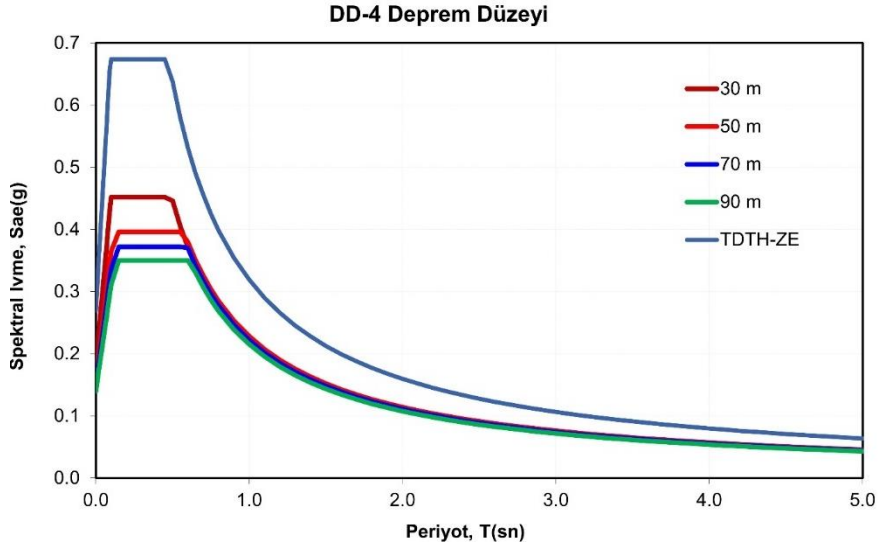
Şekil 16: DD-1 deprem düzeyi için ZDA sonucunda elde edilen zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi spektrumları ve TDTH-ZE spektrumunun karşılaştırılması



Şekil 17: DD-2 deprem düzeyi için ZDA sonucunda elde edilen zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi spektrumları ve TDTH-ZE spektrumunun karşılaştırılması



Şekil 18: DD-3 deprem düzeyi için ZDA sonucunda elde edilen zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi spektrumları ve TDTH-ZE spektrumunun karşılaştırılması



Şekil 19: DD-4 deprem düzeyi için ZDA sonucunda elde edilen zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi spektrumları ve TDTH-ZE spektrumunun karşılaştırılması

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, zemin temel etüt çalışmaları kapsamında standart penetrasyon testleri, jeofizik çalışmalar kapsamında sismik kırılma ve çok kanallı yüzey dalgalarının analizi çalışmaları yapılmış ve değerlendirmeler sonucunda TBDY-2018 Tablo 16.1'e göre ZF zemin sınıfı olarak tanımlanmış gerçek bir zemin profili kullanılarak zemin davranış analizleri gerçekleştirilmiştir. Proje sahası olarak İzmir ili, Konak ilçesi sınırlarında bulunan ve bölgenin karakteristik zemin profilini temsil eden bir alan seçilmiştir. Yapılan arazi değerlendirme çalışmalarının sonucunda zemin profilinin kayma dalgası hızının profil boyunca 200~280 m/sn aralığında değiştiği belirlenmiştir. Sismik ölçüm çalışmaları, TBDY-2018 Madde 16.5.2.3 (b) uyarınca 90 m derinlikte yaklaşık 260 m/sn kayma dalgası hızı değeri ile tamamlanmış ve zemin profili ZD zemin tabakası ile sonlandırılmıştır.

TBDY-2018, Madde 16.5.2.3 (a) maddesinde zemin davranış analizleri için serbest zemin modelinin oluşturulması için “mühendislik taban kayasının bina temelinden itibaren derinliği, en büyük bina genişliğinin üç katından daha az olmayacaktır” koşulunu şart koşturmaktadır. Bu koşulun özellikle genişliği fazla olan bina türü yapılar için uygulanması hem pratik olarak zor hem de ek maliyet gerektirmektedir. Profil derinliğinin zemin davranış analiz sonuçlarına etkileri dört farklı deprem düzeyi için incelenmiştir. İnceleme sonucunda standart tasarım deprem yer hareketi “DD-2”, sık deprem yer hareketi “DD-3” ve servis deprem yer hareketi “DD-4” için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları ve yönetmelik 2.3.3 maddesinde tanımlanan yerel zemin etki katsayıları kullanılarak ZE yerel zemin sınıfı için elde edilen elastik tasarım spektrumlarının davranışı güvenli tarafta kalarak temsil edebildiği belirlenmiştir.

Bu bulgular ışığında profil boyunca 200~280 m/sn kayma dalgası hızına sahip ve kayma dalgası hızı çok farklılık göstermeyen ancak zemin davranış analizlerini gerektiren zeminler için öneriler aşağıda sunulmuştur;

- Zemin davranış analizlerinin uygulanmasında profil derinliği 30 m'den daha az olmamak üzere TBDY-2018 Madde 16.5.2.3 (a) ile verilen “mühendislik taban kayasının bina temelinden itibaren derinliği, en büyük bina genişliğinin üç katından daha az olmayacaktır” koşuluna özellikle genişliği büyük olan yapılar dikkate alınarak bir üst sınır getirilmesi önerilmektedir.
- İleri performans hedefi değerlendirmesi gerektirmeyen ve yüksek yapı sınıfına girmeyen yeni yapılacak, yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik bina projelerinde “ZE” zemin sınıfı için elde edilen spektrumunun zemin davranış analizi yapılmadan kullanılması önerilmektedir.
- Hâkim periyodu 0.5 sn ve daha küçük olan yapıların tasarımı ve değerlendirilmesinde, zemin davranış analizlerinin yapılmasına gerek olmadan projenin yerel zemin sınıfı için elde edilen spektrumun kullanılması önerilmektedir.

Bu koşul Amerikan deprem yönetmeliği ASCE 7-16 (ASCE7-16 2017) Bölüm 20.3.1'de belirtilmektedir.

Gelecekteki Çalışmalar: Farklı zemin sınıfı, profili ve mühendislik kayası tanımları için parametrik olarak oluşturulacak zemin profilleri kullanılarak çalışmanın geliştirilmesi, profil derinliği için bir üst sınır önerilmesi ve hâkim periyodu 0.5 sn ve daha küçük olan yapıların zemin davranış analizlerinden muaf tutulması önerisinin genelleştirilmesi hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- ASCE7-16, (2017), *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*, American Society of Civil Engineers (ASCE), 203ss.
- Atik L.A., Abrahamson N., Bommer J.J., Scherbaum F., Cotton F., Kuehn N., (2010), *The variability of ground-motion prediction models and its components*, Seismological Research letters, 81(5), 794-801.
- Başarı E., (2011), *Kuzey-Doğu Bursa il merkezi zeminlerinin dinamik zemin davranış analizleri*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 13(1), 39-53.
- Bayrakçı S., Baran T., (2018), *Zemin dinamik davranışının eşdeğer lineer analiz yöntemi ile belirlenmesi*, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(1), 10-15.
- Çağlar N., Kırtel O., Vural İ., Sümer Y., Sarıbayrak A., (2020), *30 Ekim 2020 Mw 6.6 Ege Denizi Seferihisar (İzmir) depremi inceleme ve değerlendirme raporu*, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Deprem Çalışmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Sakarya, 1-27ss.
- Ceren K., Karakan E., (2020), *Zemin analizleriyle dinamik davranış özelliklerinin belirlenmesine yönelik pilot bir çalışma: Kahramanmaraş ili Üngüt Mahallesi örneği*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(1), 146-156.
- Chandler A.M., Lam N.T.K., Sheikh M.N., (2002), *Response spectrum predictions for potential near-field and far-field earthquakes affecting Hong Kong: soil sites*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22(6), 419-440.
- DBYBHY, (2007), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, T.C. Resmi Gazete, Sayı: 26454, Tarih: 6.3.2007, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/03/20070306-3.htm>, [Erişim 28 Mayıs 2019].
- Emre Ö., Özalp S., Doğan A., Özaksay V., Yıldırım C., Göktaş F., (2005), *İzmir yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Rapor No: 10754, Ankara.
- Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., (2013), *Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara.
- Hashash Y.M.A., Musgrove M.I., Harmon J.A., Ilhan O., Xing G., Numanoglu O., Groholski D.R., Phillips C.A., Park D., (2020), DEEPSOIL 7.0, user manual. Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Imai T., (1977), *P- and S-wave velocities of the ground in Japan*, Int Conf Soil Mech Found Eng, 9(2), 257-260.
- İMO, (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Eğitim Elkitabı, Açıklamalar ve Uygulama Örnekleri Kısım-I: Genel Konular, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.
- Kılıçer S., Özgan K., (2018), *Deprem yükü etkisindeki betonarme yapıların tasarımında yapı-zemin etkileşiminin incelenmesi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4(1), 1-10.
- Lee S.H.H., (1990), *Regression models of shear wave velocities in taipei basin*, Journal of the Chinese Institute of Engineers, 13(5), 519-532.
- Lilhanand K., Tseng W.S., (1987), *Generation of synthetic time histories compatible with multiple-damping design response spectra*, In Transactions of the 9th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, 17-21 August, Lausanne, Switzerland, Vol. K1, ss. 105-112.
- Özmen B., Pampal S., (2017), *Türkiye deprem bölgeleri haritalarının evrimi*, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- Özmen B., (2012), *Türkiye deprem bölgeleri haritalarının tarihsel gelişimi*, Türkiye Jeoloji Bülteni, 55(1), 43-55.
- Özşahin E., Eroğlu İ., (2018), *Erzincan Kentinde Yerel Zemin Özelliklerinin Deprem Duyarlılığına Etkisi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1), 41-57.
- PEER Center, (2013), PEER ground motion database, PEER NGA-West2 Database, 3.
- Seed H.B., Idriss I.M., (1970), *Analyses of ground motions at union bay, seattle during earthquakes and distant nuclear blasts*, Bulletin of the Seismological Society of America, 60(1), 125-136.
- Sieberg A., (1932), *Erdbebengeographie*. Band IV, Lieferung 3, Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Sönmezer Y.B., Akbaş S.O., Işık N.S., (2015), *Kırıkkale ili yerleşim alanı için pik ivme, zemin büyütme ve hakim titreşim periyodu özelliklerinin belirlenmesi*, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(4), 711-721.
- TBDY, (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, Sayı: 30364 (Mükerrer), Tarih: 18.03.2018, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>, [Erişim 28 Mayıs 2019].
- TDTH, (2019), *Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması*, AFAD, <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>, [Erişim 28 Mayıs 2019].
- Tsang H.H., Chandler A.M., Lam N.T.K., (2006), *Estimating non-linear site response by single period approximation*, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 35(9), 1053-1076.
- URL-1, (2021), *30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi Basın Bülteni*, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/30-ekim-2020-mw6-9-ege-denizi-izmir-depremi/> [Erişim 20 Mayıs 2021].
- URL-2, (1999), *İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı*, İzmir Büyükşehir Belediyesi, <http://www.izmir.bel.tr/izmirdeprem/index.html> [Erişim 28 Mayıs 2019].
- URL-3, (2021), *Tarihsel Depremler*, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/tarihsel-depremler/>, [Erişim 10 Haziran 2021].
- URL-4, (2021), *Aletsel Depremler (1900-2021)*, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>, [Erişim 10 Haziran 2021].
- USGS, (2020), *USGS Vs30 Map Viewer*, United States Geological Survey (USGS) <https://usgs.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8ac19bc334f747e486550f32837578e1> [Erişim 02 Haziran 2020].
- Vucetic M., Dobry R., (1991), *Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response*, Journal of Geotechnical Engineering, 117(1), 89-107.

Düzce İlinde İlkokulların İç ve Dış Ortamlarındaki Toz Örneklerinde PCB Düzeylerinin Belirlenmesi

Aslı Tekli¹, Seda Aslan Kılavuz^{1,*}, Zehra Bozkurt²

¹Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 41001, Kocaeli.

²Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce.

Özet

Sanayi, trafik ve konut bölgelerinin iç içe geçtiği Düzce ili hızla gelişmekte ve bu nedenle bölgede çevresel kirlilik yoğun olarak hissedilmektedir. Emisyon kaynaklarından çıkan hava kirlleticileri ilin coğrafi konumu sebebi dağılamamakta ve önemli sağlık riskleri oluşturmaktadır. Bu çalışmada bölgesel kirlilik dağılımı ve çeşitli emisyon kaynaklarını açıklayabilmek için farklı konumlarda toz örnekleri toplanmıştır. Çocuklar hava kirlleticileri açısından daha hassas risk grubunda yer alması nedeniyle örneklemeler için ilkokulların iç ve dış ortamları seçilmiştir. Toplanan toz örneklerinde PCB düzeyleri belirlenmiştir. Mekanik süpürme tekniği kullanılarak toplanan örneklerde PCB analizleri Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrometresi (GC/MS) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda dış ortam Σ PCB konsantrasyonları 0,737-22,307 ng/gr arasında olup, ortalama 3,626 ng/gr olarak bulunmuştur. İç ortam Σ PCB konsantrasyonları ise 17,17-294,22 ng/gr arasında olup, ortalama 66,89 ng/gr olarak bulunmuştur. İç ortam örneklerinde yüksek Σ PCB konsantrasyonları, iç ortam kaynaklarının katkısının ve dış ortamdaki taşınım yolu ile iç ortamlarda gerçekleşen birikimin etkisinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Dış ortam kaynaklarına göre yapılan değerlendirmede en yüksek konsantrasyonlar daha çok endüstriye yakın noktalarda elde edilmiştir. En düşük konsantrasyonlar ise kırsal örneklem noktalarında ölçülmüştür.

Anahtar Sözcükler

Düzce, Toz, PCB, Kirlilik Dağılım Haritaları

Determination of PCB Levels Indoor and Outdoor Dust Samples of Primary Schools in Düzce

Abstract

Düzce province, where industry, traffic and residential areas are intertwined, is developing rapidly and therefore environmental pollution is intensely felt in the region. Air pollutants from emission sources cannot be dispersed due to the geographical location of the province and pose important health risks. In this study, dust samples were collected at different locations in order to explain the regional pollution distribution and various emission sources. Because children are more sensitive to air pollutants, indoor and outdoor environments of primary schools were selected for sampling. PCB levels were determined in dust samples collected from indoor and outdoor environments of the primary schools in Düzce. PCB analyses were performed by using the Gas chromatograph/Mass Spectrometer (GC/MS) instrument. In the obtained results, outdoor Σ PCB concentrations were between 0.737 and 22.307 ng/gr, with an average of 3,626 ng/gr. Indoor Σ PCB concentrations were between 17.17 and 294.22 ng/gr, with an average of 66.89 ng/gr. High Σ PCB concentrations in indoor samples show that the contribution of indoor sources and the effect of accumulation in indoor environments by transport from the outdoor environments is greater. In the evaluation made according to outdoor sources, the highest concentrations were obtained mostly at points close to the industrial area. The lowest concentrations were measured at rural sampling points.

Keywords

Düzce, Dust, PCB, Pollution Distribution Maps

1. Giriş

Günümüzde insanoğlunun sanayileşmeye verdiği önemin artmasıyla birlikte çevre kirliliğinde de kayda değer artışlar yaşanmıştır (Gül vd. 2018). Özellikle endüstri devrimiyle beraber ciddi sağlık sorunlarına yol açan hava kirliliği, gelişen ve gelişmekte olan ülkeler için önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir (Bayram ve Dikensoy 2006). Hava kirliliği hava bileşimini değiştiren katı, sıvı ve gaz halde bulunabilen kirleticilerin, insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zarar verecek miktar veya sürede atmosferde bulunması olarak tanımlanabilir. Hava kirliliğini dış ortam ve iç ortam hava kirliliği olmak üzere iki kısma ayırmak mümkündür. Bulunulan ortam (iç veya dış) havasında hava kirleticilerinin miktarının artması, ortamın hava kalitesini azaltmaktadır (Cuci ve Polat 2015).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (262) 3033201 Faks: +90 (262) 3033003

E-posta: aslitekli95@gmail.com (Tekli A), sedaaslan@kocaeli.edu.tr (Kılavuz S.A)
zehrabozkurt@duzce.edu.tr (Bozkurt Z)

Gönderim Tarihi / Received : 02/06/2021

Kabul Tarihi / Accepted : 10/09/2021

İnsanlar zamanlarının çoğunu iç ortamlarda geçirmektedirler. Bu nedenle özellikle çocuklar ve yaşlılar için iç ortam kirleticilerine maruziyetle ilgili çalışmalar önem kazanmaktadır. İç ortam hava kalitesini dış ortamdan taşınan kirleticilerle birlikte, iç ortama özgü unsurlar da (mobilyalar, pencereler, boya, kalem vb. kullanılan materyaller) etkilemektedir. Bazı durumlarda kümülatif etki nedeniyle iç ortam hava kalitesi dış ortama göre daha kötü olabilmektedir. İç ortam hava kalitesini etkileyen en önemli kirleticiler gaz ve partikül kirleticilerdir. İç ortamdaki partiküller uzun süre kirleticileri depoladıklarından dolayı, gaz kirleticilere göre, insanların kirletici maddelere maruziyetinin tahmin edilmesi için daha uygundur. İç ortam havasında bulunan kirleticiler insan vücuduna soluma, yutma veya deriden direk emilim yoluyla girmektedir. İnsan vücuduna giren özellikle solunabilen partiküller başta akciğer hastalıkları olmak üzere, kirletici türüne göre kanser gibi çok ciddi sağlık problemlerine neden olabilmektedir (Whitehead vd. 2011; Mendell ve Heath 2005).

Genel olarak hava kirliliğinin temel bileşenleri, gaz kirleticiler ve partikül maddeler (uçuşan tozlar, aerosoller) olarak ayrılmış olsa da bir diğer etkenin yatay yüzeylere çökelmiş toz olduğu göz ardı edilmemelidir. Çökelmiş tozlar, dış etmenler ile tekrar havaya karışabilen partikül maddelerdir. Aynı zamanda, havada bulunan inorganik ve organik kirletici maddeler için depo görevi görmektedirler (Sofuoğlu 2016). İç ve dış ortamlarda çeşitli kaynaklardan gelen toz (partikül madde), insan sağlığını en çok etkileyen materyaldir (Acosta vd. 2014). Tozlar, ağır metaller, pestisitler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, poli klorlu bifeniller vb. gibi pek çok toksik kimyasalları içerebildiğinden, insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkileri vardır. Ayrıca, havaya, suya ve toprağa taşınabilirler, böylece tüm ekosistem tozun taşıdığı kirleticilerden ve bu kirleticilerin birikiminden etkilenebilir (Khairy vd. 2011).

Poliklorlubifeniller (PCB), çevre ortamlarındaki kalıcılıkları ve kanserojen yan ürünlere dönüşebilme potansiyellerinden dolayı hava kirliliğine sebep olan önemli organik bileşiklerdir (Aydın vd. 2015). PCB'ler başlangıçta endüstriyel amaçlarla üretilmiş fakat doğada kalıcı oldukları belirlendikten sonra pek çok ülkede üretimleri yasaklanmıştır. Ancak, PCB içeren kapasitör, trafo, hidrolik pompa, matbaa mürekkebi, boya, pestisit vb. ürünler günümüzde hala kullanıldığı için çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedirler (Seyran ve Erişir 2008). PCB'ler iç ortam havasında, dış ortam havasından daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. PCB içeren bileşenlere sahip floresan aydınlatma balastları gibi bazı elektrikli cihazların, iç ortam havasına PCB yayabileceği ileri sürülmüştür. Ayrıca PCB'ler, % 30'a kadar PCB içerebilen derz dolgu macunlarında plastikleştirici olarak kullanılmıştır. PCB'ler coğrafi olarak geniş bir alana yayılırlar ve tıpkı PAH'lar gibi canlı organizmaların yağ dokusunda birikerek insanlar ve doğal yaşam için toksik özellik göstermektedirler (Barro vd. 2009).

Bireylerin yetiştirilmesinde büyük rolü olan okullar yaşamımızın merkezi konumundadırlar (Öztürk ve Düzova 2011). Çağımızın en büyük sorunlarından biri olan hava kirliliği okullardaki personel ve öğrencilerin sağlık ve verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkiler hafif rahatsızlık veren belirtilerden ciddi ve sürekli rahatsızlıkların ortaya çıkmasına kadar uzanabilmektedir. İlköğretim yaşlarında olan çocuklarda, kirleticilerden kaynaklanan sağlık etkileri yetişkinlere göre daha fazla görülmektedir. Bu nedenle çocuklar, toplum içerisinde hassas alt gruplar arasında yer almaktadırlar (Sofuoğlu 2016). Son zamanlarda yapılan pek çok çalışmada, okullardaki hava kirliliğine maruz kalan çocuklarda istenmeyen sağlık etkileri gözlemlenmiştir. Hava kirliliğinin potansiyel etkileri arasında ise kişinin öğrenme kabiliyetini, sosyal gelişimini ve iletişim becerisini etkileyen nörolojik bozukluklar, davranış-duygu problemleri ve solunum problemleri yer almaktadır (Mohammadyan vd. 2010).

Tozlara, yüksek fiziksel aktivitelerinin ve yerle temaslarının fazla olması ayrıca beden kitle indekslerinin daha düşük olması nedeniyle en çok çocuklar maruz kalmaktadır (Sofuoğlu 2016). Havadaki kirletici etken maddeler, zamanla çökelp solunabilir tozlarda birikmektedirler. Sınıflarda biriken solunabilir tozların çocuklarda astım krizlerini arttırdığı ya da şiddetlendirdiği, astımlı çocuklarda bronşit belirtilerinin ortaya çıkmasını kolaylaştırdığı bilinmektedir (Sevencan vd. 2011). Okulların iç ve dış ortam hava kirletici seviyeleri, öğrencilerin sağlığını ve dolaylı olarak da öğrenme performanslarını etkilemektedir. Bu nedenle, çocukların gündelik yaşamlarının büyük bir bölümünü geçirdikleri okulların, çevresel kirlilik düzeylerinin incelenmesi oldukça önemlidir (Sofuoğlu 2016).

Evsel ısınmadan kaynaklanan çevresel kirlilik, endüstriyel ve trafik kaynaklı kirlilik ve coğrafi konumu dolayısıyla kirleticilerin bölgeye hapsolması nedeniyle Düzce ilinde çevresel kirliliğin izlenmesi ve sebep olabileceği olumsuz etkilerin araştırılması gerekmektedir. Yerleşim ve endüstri bölgelerinde toplum ve ekosistem üzerinde önemli etkileri olan kirleticilerin izlenmesi ve olası tehlikelere karşı önlemlerin alınmaması halk sağlığı ve ekolojik dengenin sağlanması için bir zorunluluktur.

Düzce İli gelişmekte olan bir ildir. Çevre kirliliğinin çözüme ulaşması için yapılacak planlamalarda, kirliliğinin boyutlarının ve sağlık etkilerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Kirleticilerin insan sağlığı üzerindeki etkileri incelendiğinde çocukların yetişkinlere göre daha fazla risk altında olduğu bilinmektedir. Çalışma kapsamında, Düzce ilinde bulunan 30 ilkokulun iç ve dış ortam solunabilir tozlarında PCB konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu kapsamda, alınan tozlardan elde edilen veriler ile Düzce'deki ilkokullardaki solunabilir tozlardaki PCB kirliliğinin boyutları, kaynakları ve bölge genelindeki dağılımın belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Düzce ili, Karadeniz Bölgesi'nde yer almakta olup yüzölçümü 2492 km²'dir ve deniz seviyesinden yüksekliği 150 m'dir. Düzce ilinde; Cumayeri, Akçakoca, Çilimli, Gölyaka, Gümüşova, Kaynaşlı, Yığılca ve Merkez ilçe dahil toplam sekiz ilçe bulunmaktadır. İlin genel ekonomik yapısı tarım, ticaret ve kısmen de olsa sanayiye dayanmaktadır. Düzce'ye ait 2019 yılı nüfus sayım sonuçlarına göre toplam 392.166 nüfusun %66'sı şehir merkezlerinde, %34'ü ise köylerde yaşamaktadır ([URL-1 2019](#)).

İl toprakları, kıyı kesimi dışında ortası çukur, çevresi dağlarla çevrilmiş alanlardan oluşmaktadır. Orta kesimdeki çukur alanda tarımsal üretim açısından büyük önem taşıyan Düzce Ovası yer alır ([URL-1 2019](#)). Düzce; İstanbul'u Ankara'ya bağlayan D-100 (E-80) Karayolunun ortasında, İstanbul'a 205 km ve Ankara'ya 241 km mesafede yer almaktadır. Zonguldak-Karadeniz Ereğlisi-Akçakoca'yı birbirine bağlayan ve Düzce Merkezde D-100 ile birleşen karayolu il merkezinin kuzeyinden geçmektedir. İl merkezinin güneyinden ise TEM Otoyolu geçmektedir. TEM Otoyolu üzerinden Kaynaşlı girişi, 21 km batısında da Gölyaka girişi bulunmaktadır ([Özaslan vd. 2001](#)). İl'de 113 km devlet Yolu, 72 km il Yolu, 41 km otoyol olmak üzere 226 km, Karayolları 1.Bölge Müdürlüğü'nün (İstanbul) sorumluluk ağı içerisinde yer alan 12 km Otoyolu ile birlikte Düzce İlindeki toplam yol uzunluğu 238 km'dir. Devlet ve il yollarının (otoyollar dahil) 196 km'si bitümlü sıcak karışım kaplamalı, 42 km'si sathi kaplamalı yoldur ([URL-2 2020](#)).

2.2. Örneklem İstasyonlarının Seçimi ve Örneklerin Toplanması

Çalışmada Düzce ili genelinde ilçeleri de kapsayacak şekilde belirlenen 30 okulun iç ve dış ortamlarından toz örnekleri toplanmıştır. Çalışma kapsamında örneklemelerin yapılabilmesi amacıyla Düzce İl Milli Eğitim Müdürlüğünden Akşemsettin İlkokulu, Avni Akyol İlkokulu, Azmimilli ilkokulu, Beyciler İlkokulu, Beyköy Ortaokulu, Cumhuriyet İlkokulu, Çamköy Fatma Gösterişli İlkokulu, Dokuzdeğirmen İlkokulu, Esenli İlkokulu, Fatih İlkokulu, Gümüşova İlkokulu, Hacıyakup ilkokulu, Hamidiye İlkokulu, Konuralp İlkokulu, Köprübaşı İlkokulu, Namık Kemal İlkokulu, Nasırlı İlkokulu, Nejdet Bıçakcıoğlu İlkokulu, Pakmaya Nimet Pısak İlkokulu, Rıza Malatyalı İlkokulu, Saçmalıpınar İlkokulu, Sancaklar İlkokulu, Sarıçökek İlkokulu, Şerefiye İlkokulu, Şıralık Vatan İlkokulu, Toki Mehmet Akif Ersoy İlkokulu, Yenimahalle İlkokulu, Yeşiltepe İlkokulu, 23 Nisan İlkokulu için gerekli izinler alınmıştır.

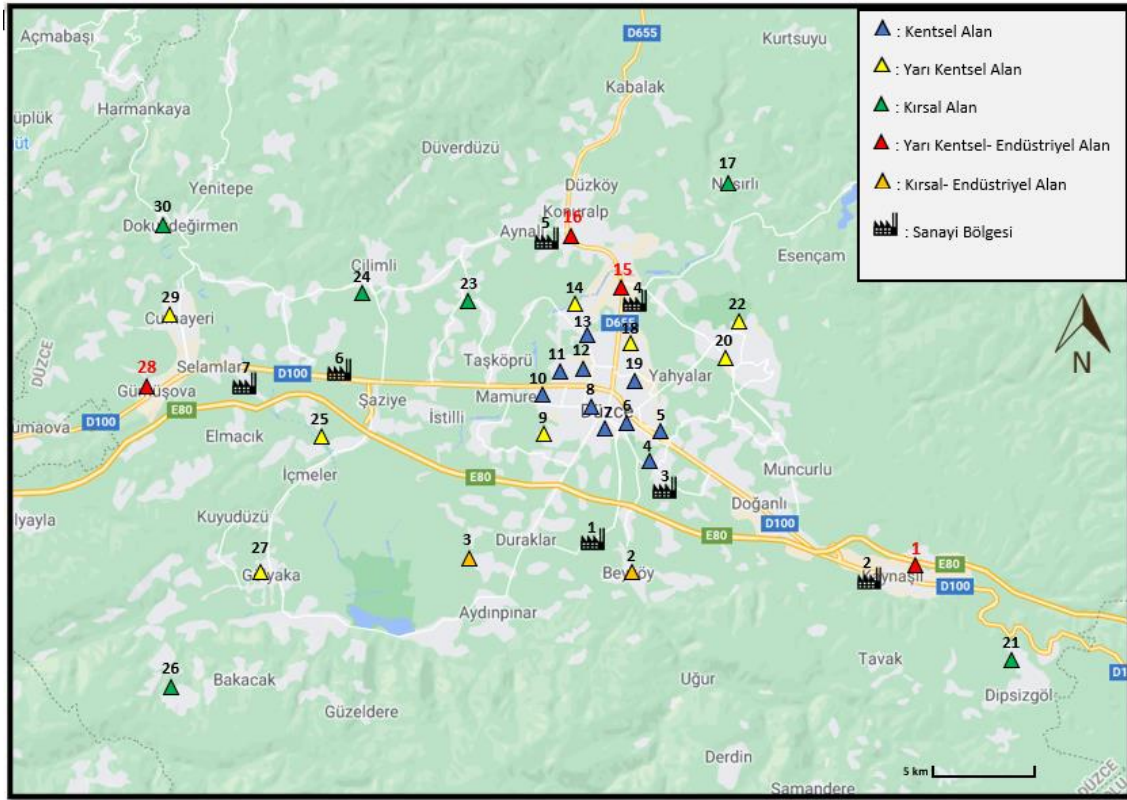
Örneklem yapılan okulların seçiminde kentsel, kırsal, yarı kentsel ve endüstriyel bölgeler dikkate alınmıştır. Endüstriyel bölgeler kırsal ve yarı kentsel bölgelerde bulunduğundan dolayı kırsal-endüstriyel ve yarı kentsel-endüstriyel olarak adlandırılmıştır. Seçilen 30 ilkokuldan 30 iç ortam, 30 dış ortam olmak üzere toplam 60 adet toz numunesi toplanmıştır. Dış ortam tozları okul bahçelerinden süpürge ve faras yardımıyla toplanmıştır. İç ortam tozları ise hem süpürge ve faras hem de elektrikli süpürge ile süpürülerek toplanmıştır. Örneklem noktalarından toplanan toz örnekleri, PCB analizleri için cam şişelerde -18°C' de muhafaza edilmiştir.

Çalışmada örneklem yapmak üzere seçilen ilkokulların bulunduğu bölgeler kentsel (KNT), kırsal (KRS), yarı kentsel (YK), kırsal-endüstriyel (KRS-E) ve yarı kentsel-endüstriyel (YK-E) bölge olmak üzere 5'e ayrılmıştır. Şekil 1'de yer alan haritada örneklem noktaları bulundukları bölgenin özelliklerine bağlı olarak farklı renklerde gösterilmiştir.

Bölgesel özelliklerine göre 5'e ayrılan Düzce ilinde kırsal yerleşim alanları, şehir merkezinden ve trafikten uzak, az nüfuslu köyleri ve daha çok yeşillik alanlara yakın bölgeleri temsil etmektedir. Düzce'deki kentsel yerleşim alanları belirlenirken örneklem noktasının kent merkezi ve yoğun yerleşim yerlerine yakınlığı, sanayi ve diğer hizmetler gibi tarım dışı faaliyetlerin gerçekleştirildiği bölgeler göz önünde bulundurulmuştur. Yarı Kentsel yerleşim alanları, şehir merkezinden uzak fakat yakınından D100, E80 gibi yollar geçen bölgeler olarak tanımlanmıştır. Kırsal ve yarı kentsel bölgelerde yakın konumda endüstriyel alanlar var ise bu noktalarda kırsal-Endüstriyel ve Yarı Kentsel-Endüstriyel olarak tanımlanmıştır. Bu noktalar, Düzce'de bulunan Organize Sanayi Bölgesi (OSB) 1. ve 2. Etap veya fabrikaların yakınında bulunan yerleşim alanlarını temsil etmektedir.

2.3. Örneklerin Hazırlanması

Deneyisel çalışmalara başlamadan önce, okullardan toplanan numunelerin içerdiği büyük boyutlardaki çöpler dikkatlice numunelerden ayrılmıştır. Daha sonra, numuneler sırasıyla 100 µm paslanmaz çelik eleğe konulup elek sallama cihazında elenmiştir. Elekten kaçmış olabilecek saç, kıl, tüy vb. cisimler cımbız ve pens yardımıyla tozların arasından ayıklanmıştır. Tüm numuneler elendikten sonra iç ve dış ortam tozları, amber cam viallere ayrı ayrı konulup etiketlenmiş ve analiz edilmek üzere -18°C derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.



Şekil 1: Örneklem noktalarının haritada gösterimi

2.4. PCB Analizleri

Bu çalışmada EPA öncelikli 209 adet PCB türlerinden çevresel örneklerde en çok bulunan 7 adet indikatör PCB'ye ek olarak 6 adet PCB türü (2,2',5-Trichlorobiphenyl (PCB 18), 2,4,4'- Trichlorobiphenyl (PCB 28), 2,4',5-Trichlorobiphenyl (PCB 31), 2,2',5,5'-Tetrachlorobiphenyl (PCB 52), 2,2',3,5'-Tetrachlorobiphenyl (PCB 44), 2,2',4,5,5'-Pentachlorobiphenyl (PCB 101), 2,2',3,4',5',6-Hexachlorobiphenyl (PCB 149), 2,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl (PCB 118), 2,2',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl (PCB 153), 2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl (PCB 180), 2,2',3,3',4,4',5-Heptachlorobiphenyl (PCB 170), 2,2',3,3',4,4',5,5'-Octachlorobiphenyl (PCB 194), 2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-PCB, Decachlorobiphenyl (PCB 209) belirlenmiştir. Analizlerde [US EPA 8270E \(2014\)](#), [US EPA 3600C \(1996\)](#), [US EPA 3550C \(2007\)](#), yöntemleri temelinde, iç ve dış ortam tozlarında PCB içeriğinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için laboratuvarında bir dizi çalışmalar gerçekleştirilmiş ve ilgili yöntemler örnek matrisimize uygun olarak modifiye edilmiştir. Laboratuvarında yapılan ön çalışmalar sonucunda belirlenen PCB analiz yöntemi aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

2.5. Ekstraksiyon ve Ön Zenginleştirme

Derin dondurucuda saklanan dış ortam toz örneklerinden 5'er gram, iç ortam toz örneklerinden 1'er gram hassas terazide tartılarak 45 ml'lik santrifüj tüplerine konulmuştur. Tartılan her bir örneğe yapılacak işlemler sırasındaki kayıpları belirlemek için PAH ve PCB vekil standartları eklenmiş ve 2 saat tüplerin ağzı kapalı şekilde buzdolabında bekletilmiştir. Daha sonra buzdolabında bekletilen örnekler 20 ml 1:1 oranında (Suprasolv) Aseton: Hekzan eklenmiştir. Santrifüj tüplerinde hazırlanan örneklerin kapakları sıkıca kapatılıp parfilm ile iyice sarılarak 1 gece buzdolabında bekletilmiştir. 1 gece bekletilen örnekler, zaman kaybetmeden dolaptan alınıp ultrasonik banyoya konulmuş ve tüplerin 2/3'üne gelecek şekilde saf su doldurulmuştur. Örnekler, ultrasonik banyoda 25°C'yi geçmeyecek şekilde 2 saat ekstrakte edilmiştir.

Ekstraksiyon işleminden sonra örnekler, santrifüj cihazında 3000 rpm hızında 15 dk santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonunda üstteki solvent santrifüj tüpünün dibinde biriken tozlara değiştirilmeden alınıp numaralandırılmış evaporatör balonlarına aktarılmıştır. Herhangi bir kayıp yaşanmaması için bu işlem 10 ml hekzan eklenerek 2 kez tekrarlanmıştır. Evaporatör balonundaki örnekler, evaporatörde 5 ml'ye uçurulmuş, daha sonra 2 kez hekzan eklenerek işlem tekrarlanmış ve balondaki örnek hekzana alınmıştır. 5 ml'ye uçurulan örnekler, saf azot gazı ile 2 ml'ye uçurularak ön zenginleştirme işlemi tamamlanmıştır.

2.6. Clean-Up (Temizleme) ve Son Zenginleştirme

Bu çalışmada, dış ve iç ortamlardan toplanan toz örneklerinde 2 farklı clean-up yöntemi kullanılmıştır. Dış ortam toz örneklerinin clean-up işlemi kartuş kullanılarak, iç ortam toz örneklerinin clean-up işlemi ise kolon kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Dış ortam örneklerinin clean-up (temizleme) işleminde, Agilent Technologies marka Bond Elute SI kartuşlar ve vakum manifold aparatı kullanılmıştır. Kartuşları yıkamak amacıyla toplam 25 ml Suprasolv Hekzan kullanılmıştır. Kartuş tam kurumadan ön zenginleştirme aşamasında 2 ml'ye uçurulan örnekler kartuşlara eklenmiştir. Kartuştan PCB'leri almak için toplam 25 ml Suprasolv Hekzan kullanılmıştır.

Clean-up işleminde elde edilen tüm örnekler evaporatörde 5 ml'ye uçurulmuştur. 5 ml hacimdeki PCB örnekleri saf azot altında 1 ml'ye uçurulmuştur. Daha sonra örnekler amber renkli viallere alınarak etiketlenmiş ve GC/MS'de analiz edilinceye kadar derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

İç ortam örneklerinin clean-up (temizleme) işlemi, cam yünü, florisil, alümina ve sodyum sülfat içeren kolonlar hazırlanarak gerçekleştirilmiştir. Cam yünü önceden Hekzan ile 1 saat ultrasonik banyoda temizlenmiş ve kurutulmuştur. Kuruyan cam yünü, kapaklı amber bir cam şişeye konularak desikatörde saklanmıştır. Ardından, Florisil 450°C'de 20 saat kül fırınında aktive edilmiştir. Alümina 450°C'de 20 saat kül fırınında aktive edilmiştir.

Kolon materyalinin deaktivasyonu için clean-up kolonu hazırlanmaya başlamadan 2 saat önce florisil ve alümina deaktif edildikçe desikatörde karanlık ortamda bekletilmiştir. Florisil %5 oranında, alümina %1,5 oranında ultra saf su ile deaktif edilmiştir.

Clean-up kolonunun hazırlanması amacıyla cam kolonlar kullanılmıştır. Kolonlar alttan üste doğru, 0,3 gram cam yünü, 1 gram deaktif edilmiş alümina, 1 gram florisil ve 1 gram sodyum sülfat ile doldurulmuştur. Kolon öncelikle 20 ml hekzan ile temizlenmiştir. Sodyum sülfatın üzeri tamamen kurumadan 2 ml'ye uçurulmuş örnek kolona eklenmiştir. 25 ml Hekzan ile PCB'ler alınmıştır. Clean-up aşamasından sonra PCB balonundaki örnek önce evaporatör ile 5 ml'ye, daha sonra azot altında 1 ml'ye uçurulmuştur. 1 ml hacimdeki örnekler, etiketlenmiş amber renkli viallere aktarılmıştır. Örnekler GC/MS'de analizlerine kadar -18°C derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

2.7. Verilerin Kalite Kontrol Çalışmaları

Yapılan çalışmada PCB analizleri için Agilent 6890 GC/5973MSD cihazı kullanılmıştır. Metot çalışmalarındaki ilk adım GC/MS'de ölçülecek olan bileşenleri cihazda tanımlamak, yüksek hassasiyette ölçülecek sıcaklık programını belirlemek ve hassasiyeti arttırmak için GC/MS'de kullanılacak SIM metodu için bileşenlerin m/z değerlerini tanımlamaktır. Bu amaçla PCB standart çözeltilerinden 0,01 ppm'lik çözeltiler hazırlanmıştır. GC/ECD ve GC/MS cihazları için uygun sıcaklık programları esas alınarak analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir.

PCB'lerin her bir örnek içerisindeki miktarlarının belirlenmesi için GC/MS'de her bir kirlenici parametrenin kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Kalibrasyon çalışmaları 5 noktalı olarak gerçekleştirilmiştir. PCB'lerin ölçülmesinde kullanılan cihaz ve örnek hazırlama yöntemlerinin kalite kontrolü amacıyla metot tayin limitleri, blank örnek analizi, kalibrasyon kontrolü analizleri tekrarlanabilirliği ve geri kazanım çalışmaları yapılmıştır.

GC/MS tayin sınırlarının belirlenmesi için (LOD) her grup için kalibrasyon noktalarının en küçüğü seçilerek 7 kez okutulmuştur. Elde edilen konsantrasyon sonuçlarının standart sapması alındıktan sonra 3 (Student t değeri) ile çarpılarak LOD değerleri elde edilmiştir. Tayin sınırı genellikle gerçek ölçümlerde çok düşük kaldığı için metot ölçüm sınırlarının belirlenmesi gerekir. LOQ (ölçüm sınırı) belirlemek için her grup için kalibrasyon noktalarının en küçüğü seçilerek 7 kez GC-MS'de okutulmuştur. PCB LOQ 0.6 ile 3 ppb arasında bulunmuştur.

Blank örnekleri, örneğin hazırlanmasında analiz sonuçları üzerinde herhangi bir kirlilik olup olmadığını belirlemek için kullanılmıştır. Blank örneği yerine sodyum sülfat kullanılmıştır. Her analiz setinde bir blank kullanılmış ve örneklerle aynı hazırlama yöntemleri uygulanmıştır. Arazi blank örneği için önceden hexan ve asetonla temizlenmiş yüzeye sodyum sülfat dökülmüş ve örnekle aynı şekilde süpürülerek toplanmış, sonrasında laboratuvar da aynı ekstraksiyon clean up işlemleri uygulanmıştır. Elde edilen veriler örnek verilerle karşılaştırılmış ve blank örneklerin günlük örneklere oranları belirlenmiştir. PCB bileşiklerinin çoğu blank örneklerinde görülmemiştir. Çok küçük bir yüzde olarak, bazı PCB türleri, laboratuvar blanklerinde örneklerin %5'inden az, arazi blanklerinde %10'dan az oranda ölçülmüştür. Veri analizinde, blank değerler örnek değerlerden çıkarılmıştır. Blank değerlere çok yakın bulunan sonuçlar veri analizinde kullanılmamıştır.

GC/MS sisteminin kalibrasyonunda bir değişiklik olup olmadığını belirlemek ve sistemin arka plan değerlerinde bir artış olup olmadığını görmek için, her 10 örnekte bir kalibrasyon için hazırlanan standartların ve kromatogramlardan elde edilen pik alan değerlerinin ilk kalibrasyon değerleri karşılaştırılmıştır. Alanlar arasında %30'luk bir fark gözlemlendiğinde kalibrasyonlar yenilenmiştir. %50'den fazla fark gözlemlendiğinde, kolon kesilip, iyon kaynağı temizlenmiş ve yeniden kalibre edilmiştir. Sistemler örneklemeden önce temizlendiğinden, örnekleme sırasında parçaların temizlenmesi ve değiştirilmesi gerekmez. Enjektör bölümündeki septum 25 örnekte bir değiştirilmiştir.

GC/MS'de ölçülen örneklerin analizinde bir hata olup olmadığını belirlemek için bazı örneklerde tekrarlanabilirlik çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla, bazı örnekler 5 kez okunmuş ve standart sapmalar belirlenmiştir. Elde edilen verilerde analizlerin tekrarlanabilirliği %10'un altında bulunmuştur.

Geri kazanım çalışmaları için iç ve dış ortam toz örneklerine standartlar eklenmiş ve toz örnekleri için uygulanan yöntemlerle aynı şekilde analiz edilmiştir. Duplicate geri kazanım verimleri %80 ile %112 arasında değişmiştir. Diğer taraftan, surrogate standartların geri kazanım oranları PCB'lerde %76-98 olarak bulunmuştur.

2.8. Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları

Çalışma kapsamında ölçülen kirlenici konsantrasyonlarının örnekleme bölgesindeki dağılımının belirlenebilmesi için coğrafi bilgi sistemleri yazılımı (ArcGIS 10.3) kullanılarak kirlenici dağılım haritaları oluşturulmuştur. Haritaların oluşturulması için konsantrasyon değerleri, doğal komşuluk interpolasyon (Natural Neighbor Interpolation) yöntemi kullanılarak örnekleme bölgesi için hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. PCB Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada örnekleme yapılan okulların iç ve dış ortamlarından alınan toz örneklerinde 2,2',5'-Trichlorobiphenyl (PCB 18), 2,4,4'-Trichlorobiphenyl (PCB 28), 2,4',5, -Trichlorobiphenyl (PCB 31), 2,2',5,5'-Tetrachlorobiphenyl (PCB 52), 2,2',3,5'-Tetrachlorobiphenyl (PCB 44), 2,2',4,5,5'-Pentachlorobiphenyl (PCB 101), 2,2',3,4',5,6'-Hexachlorobiphenyl (PCB 149), 2,3',4,4',5'-Pentachlorobiphenyl (PCB 118), 2,2',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl (PCB 153), 2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl (PCB 180), 2,2',3,3',4,4',5'-Heptachlorobiphenyl (PCB 170), 2,2',3,3',4,4',5,5'-Octachlorobiphenyl (PCB 194), 2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-PCB, Decachlorobiphenyl (PCB 209) PCB türleri belirlenmiştir. PCB'lerin çok fazla bileşeni olması nedeniyle, literatürdeki çalışmalarda, daha çok, indikatör PCB türleri (PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153, PCB180) belirlenmiştir. Bu PCB türlerine ek olarak bu çalışmada PCB 18, PCB 38, PCB 44, PCB 149, PCB 170, PCB 194 ve PCB 209 türleri de incelenmiştir. 30 farklı örnekleme noktasından toplanan dış ortam ve iç ortam toz örneklerine ait toplam PCB konsantrasyonları (Σ PCB), ortalama, medyan, standart sapma ve minimum-maksimum değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tanımlanamayan PCB türleri toplam, ortalama, standart sapma vb. hesaplamalara katılmamıştır. Elde edilen sonuçlarda dış ortam Σ PCB konsantrasyonları 0.737-22.307 ng/gr arasında olup, ortalama 3.626 ng/gr olarak bulunmuştur. İç ortam Σ PCB konsantrasyonları ise 17.17-294.22 ng/gr arasında olup, ortalama 66.89 ng/gr olarak bulunmuştur. Dış ortam örneklerinde PCB 153, 138, 170, 194, 209 türleri çoğu örnekte belirlenememiştir. İç ortam örneklerinde ise birçok PCB türü belirlenememiş olup, çoğu örnekte tanımlanabilen PCB türleri PCB 18, 52, 44 ve 170'dir.

Şekil 2'de tüm örnekleme noktalarındaki dış ortam ve iç ortam Σ PCB konsantrasyonları verilmiştir. Dış ortam toz örneklerinde en yüksek konsantrasyonlar yarı kentsel endüstriyel özellik gösteren Beyköy İlkokulunda (2 numaralı örnek), en düşük konsantrasyonlar ise kırsal özellik gösteren Yeşiltepe ilkokulunda (21 numaralı örnek) belirlenmiştir.

Beyköy ilkokulunun yakın çevresinde 1. ve 2. OSB'ler bulunmakta ve bu OSB'ler içerisinde tekstil, plastik, kimya, geri dönüşüm, ahşap vb. birçok endüstriyel tesis bulunmaktadır. Dolayısıyla bu noktadaki dış ortamda elde edilen yüksek konsantrasyonlar muhtemelen, bölgedeki endüstriyel emisyonlardan kaynaklanmaktadır.

Dış ortamda ikinci en yüksek Σ PCB konsantrasyonları kentin tam merkezinde bulunan Fatih ilkokulunda (6 numaralı örnek) bulunmuştur. Fatih ilkokulu tam şehir merkezinde ana yollara çok yakın hem şehir içi hem de şehir dışı trafiğinden yüksek oranda etkilenen ve birçok ticari yapıyla birlikte, konutların bulunduğu bir konumdur. Dolayısıyla bu noktadaki yüksek PCB konsantrasyonlarının nedeni kentsel emisyonlardır.

İç ortamdan alınan tozlarda ise en yüksek konsantrasyonlar Cumhuriyet İlkokulu (Örnek no: 22) ve Köprübaşı İlkokulundan (Örnek no: 25) elde edilmiştir. Cumhuriyet ilkokulu yarı kentsel bölgede olup yollardan nispeten uzak ve yerleşim sayısı az olan bir bölgedir, öte yandan büyük bir okul olup öğrenci sayısı 500'den yüksektir. Dolayısıyla bu noktadaki yüksek konsantrasyonları daha çok okul içi kaynaklar ve aktivitelerle birlikte, çocukların dışardaki tozları içeriye taşımasıyla oluşan birikimin etkilediği söylenebilir. Köprübaşı ilkokulu ise yarı kentsel bir bölgede olup, okul öğrencisi sadece 14 kişidir. Okula nispeten yakın konumda (5 km) ve kuzey batısında Gümüşova Sanayi sitesi bulunmaktadır. Bu sanayi sitesinde büyük ölçekli, kimya, plastik, yapı malzemeleri ve alüminyum fabrikaları bulunmaktadır. Dolayısıyla bu noktadaki yüksek PCB konsantrasyonlarının nedeni organize sanayi bölgesinde meydana gelen emisyonların, baskın kuzey batı rüzgarlarıyla bölgeye taşınmasıdır.

Şekil 2'de görüldüğü gibi dış ortam Σ PCB seviyeleri ortalama konsantrasyonlardan yüksek ve ortalamaya yakın olan bölgeler çoğunlukla kentsel bölgeler olmakla birlikte, endüstriye yakın olan kırsal ve yarı kentsel bölgelerde de yüksek PCB konsantrasyonları elde edilmiştir ($2>6>4>1>7>9>8>5>10>19>3>20>12>29$). Dış ortamda Σ PCB seviyeleri ortalama konsantrasyonlardan daha düşük olan bölgelerin ise daha çok kırsal ve yarı kentsel alanlar olduğu görülmektedir ($14>28>24>15>13>16>27>11>26>30>18>22>23>25>17>21$). Öte yandan YK-E bölgelerde bulunan 3 örnekte PCB konsantrasyonları ortalamanın altında kalmıştır.

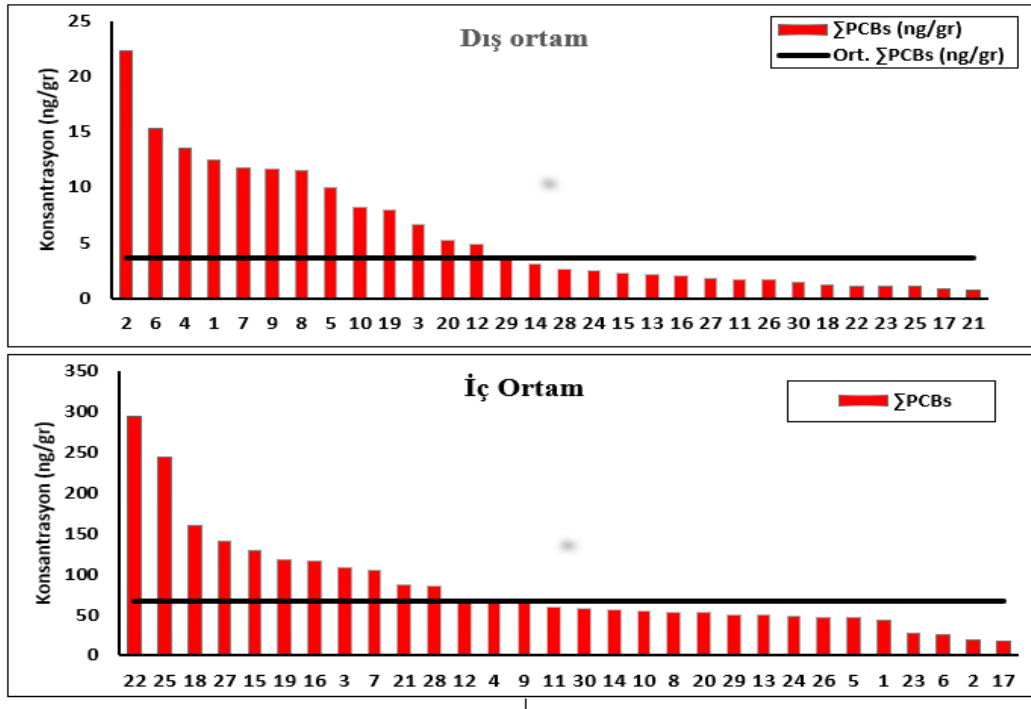
Şekil 2'de verilen iç ortam Σ PCB konsantrasyonlarına göre iç ortam Σ PCB seviyeleri ortalama konsantrasyonlardan yüksek ve ortalamaya yakın olan noktalar dış ortamın aksine daha çok YK, YK-E ve KRS-E bölgelerde görülmüştür. KNT ve KRS bölgelerindeki iç ortam konsantrasyonlarının ise genel olarak ortalamadan daha düşük olduğu görülmüştür.

Dış ortamdan farklı olan bu trend iç ortam kaynaklarının da etkisini ortaya koymuştur. Öte yandan YK-E ve KRS-E bölgelerdeki yüksek PCB konsantrasyonlarına dış ortamdaki yakın konumda bulunan endüstriyel emisyonların da etki ettiği düşünülmektedir.

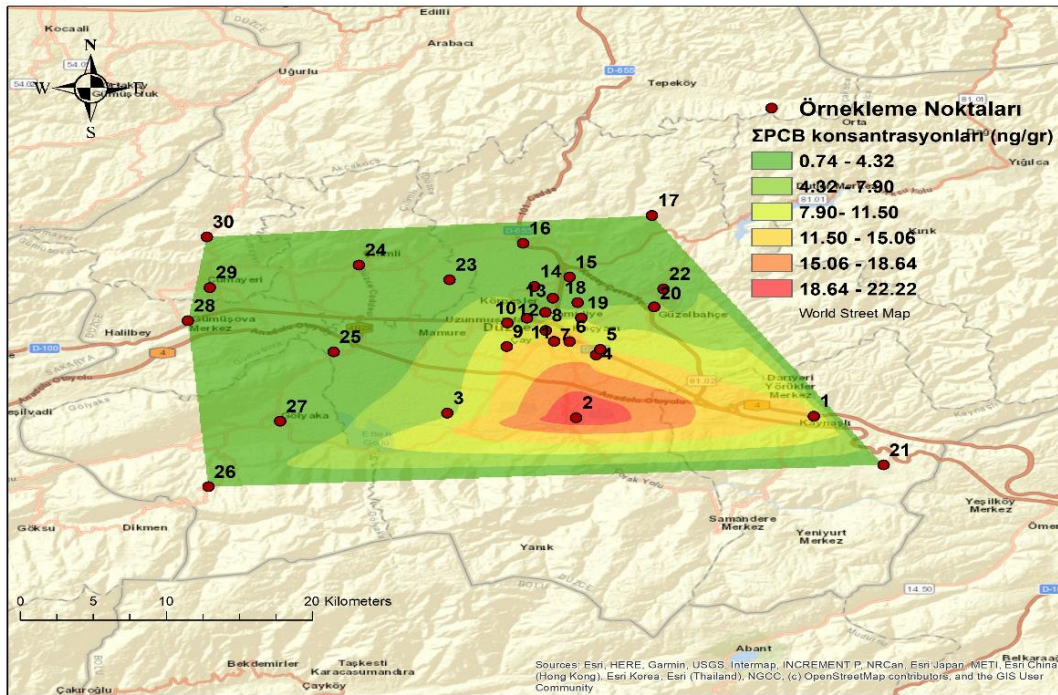
Şekil 3’de dış ortam Σ PCB dağılım haritası verilmiştir. Harita incelendiğinde en yüksek konsantrasyonların 1. ve 2. OSB’ye yakın kırsal ve yarı kentsel bölgeler olduğu görülmektedir. Öte yandan kent merkezinde de nispeten yüksek konsantrasyonlar görülmektedir. Kent merkezinden uzak kırsal ve yarı kentsel bölgelerde Σ PCB konsantrasyonlarının oldukça azaldığı görülmektedir. Düşük konsantrasyonların olduğu bazı bölgelerde yine bazı küçük çaplı endüstriler bulunmaktadır. Ancak bu endüstrilerin etkisi dağılım haritasında gözükmemektedir. Dolayısıyla Düzce’deki okulların dış ortam Σ PCB konsantrasyonlarını daha çok 1. ve 2. OSB’deki endüstri kuruluşlarından kaynaklanan emisyonların etkilediği söylenebilir.

Tablo 1: Dış ortam ve iç ortam toz örnekleri PCB konsantrasyonları (ng/gr)

DIŞ ORTAM														
	PCB18	PCB31 +28	PCB52	PCB44	PCB10 1	PCB14 9	PCB11 8	PCB15 3	PCB13 8	PCB18 0	PCB17 0	PCB19 4	Pcb209	Σ PCBs
ORT.	0,269	0,297	1,262	2,104	0,131	0,285	0,82	0,08	0,123	0,417	0,168	0,813	0,017	3,626
Std	0,48	0,648	0,822	3,107	2,256	0,559	1,276	0,107	0,152	0,336	0,156	0,623	0,006	5,493
Sapma														
Min	0,06	0,031	0,109	0,346	0,03	0,043	0,055	0,036	0,031	0,062	0,05	0,484	0,014	0,737
Max	1,53	2,285	2,976	8,281	8,557	2,292	5,178	0,347	0,446	1,253	0,427	1,365	0,025	22,307
KRS ort	0,065	0,084	0,693	ND	0,055	0,121	0,204	0,058	0,118	0,473	ND	0,484	0,019	1,26
KNT Ort	0,489	0,52	1,171	2,312	0,164	0,808	1,991	0,347	0,101	0,401	0,102	1,365	ND	7,126
YK Ort.	0,065	0,162	1,363	0,909	0,097	0,259	0,691	0,036	0,115	0,377	ND	ND	0,014	2,57
YK-E Ort	0,313	0,343	0,973	8,193	0,214	0,265	1,016	0,185	0,187	0,292	0,277	ND	ND	3,536
KRS-E Ort	ND	1,377	2,252	7,284	8,557	ND	2,006	ND	ND	0,818	ND	ND	ND	12,248
İÇ ORTAM														
ORT.	9,474	0,616	23,058	20,835	21,776	208,692	22,241	ND	5,42	2,446	5,451	ND	ND	66,89
Std														
SAPMA	9,096	9,096	ND	14,305	16,001	25,795	34,144	18,086	ND	ND	ND	2,005	ND	ND
Min	1,138	0,616	8,947	5,64	6,007	185,941	9,665	ND	5,42	2,446	2,512	ND	ND	17,173
Max	32,291	0,616	69,487	61,474	57,55	234,228	54,425	ND	5,42	2,446	8,893	ND	ND	294,22
KRS ort	11,796	0,616	20,891	10,713	ND	ND	ND	ND	ND	2,446	8,552	ND	ND	41,892
KNT Ort	10,815	ND	24,405	27,723	ND	ND	10,272	ND	5,42	ND	4,717	ND	ND	59,862
YK Ort.	8,237	ND	22,938	19,921	57,55	208,692	47,655	ND	ND	ND	5,789	ND	ND	105,47
YK-E Ort	6,583	ND	23,35	22,742	13,395	ND	16,941	ND	ND	ND	5,319	ND	ND	86,357
KRS-E Ort	14,25	ND	23,916	42,738	ND	ND	18,079	ND	ND	ND	4,462	ND	ND	46,03



Şekil 2: İç ve dış ortam toz örneklerinde ΣPCB konsantrasyonları (ng/gr)

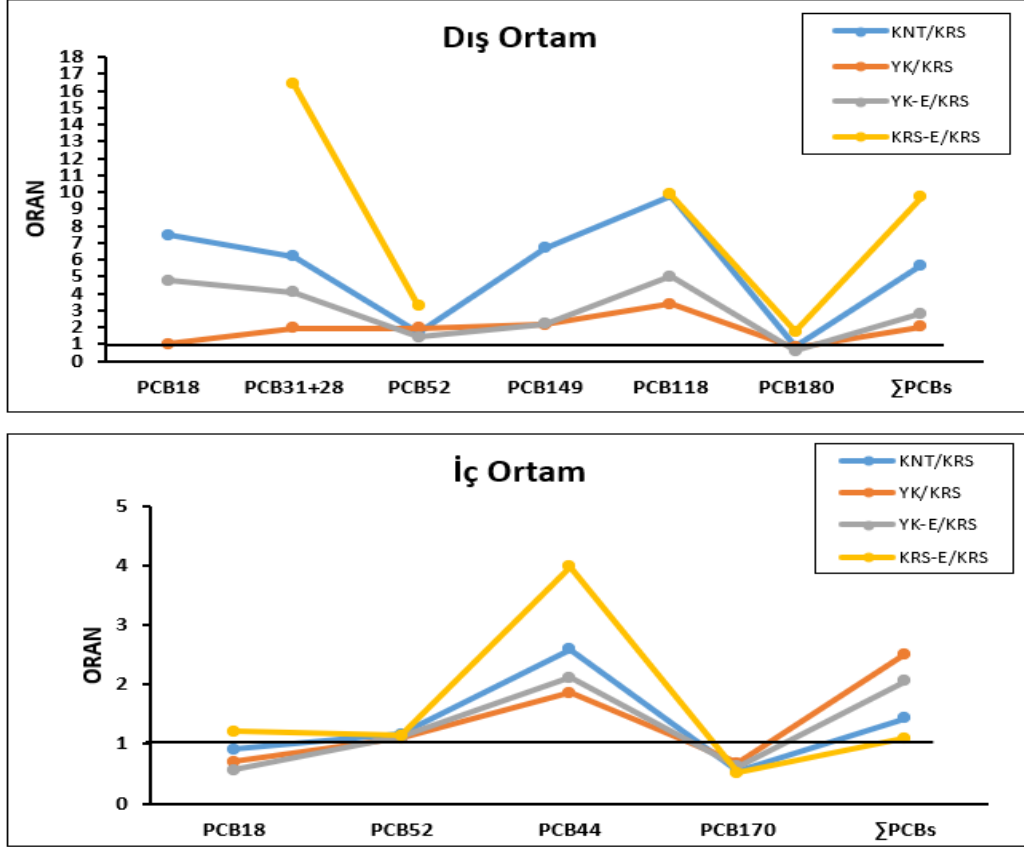


Şekil 3: ΣPCB dağılım haritası

Şekil 4'te dış ve iç ortam tozları için, örnekleme bölgesi özelliğine göre elde edilen PCB türevlerinin ortalama konsantrasyonlarının, kırsal bölgelere oranı verilmiştir. Oranlar hesaplanırken sadece belirlenebilen PCB türleri göz önünde bulundurulmuştur. Dış ortam örneklerinde genel olarak tanımlanabilen tüm PCB türlerinin tüm bölgelerde kırsal bölgelerden yüksek olduğu görülmektedir. Kırsal bölgeye en yakın oranların YK bölgeden elde edildiği görülmektedir. Kırsala en yakın oranların PCB52 ve PCB180 türlerine ait olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4'te verilen iç ortam oranlarında genel olarak Tüm örnekleme noktalarında ΣPCB konsantrasyonlarının kırsaldan nispeten yüksek olduğu, sadece KRS_E bölgenin kırsal bölgeye çok yakın olduğu görülmektedir. Oranlar, dış ortam oranlarından daha düşüktür. Ayrıca iç ortamda, dış ortama göre biraz daha farklı PCB türleri tanımlanmıştır.

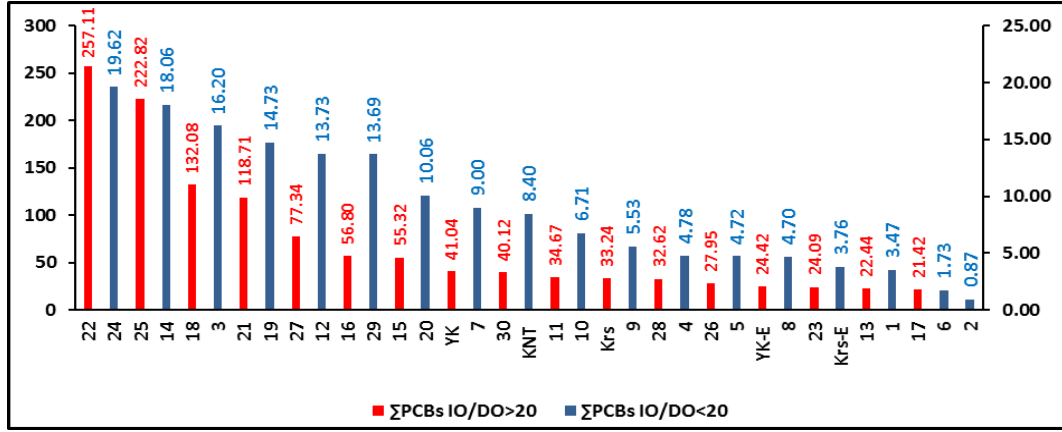
İç ortamda sadece PCB44'ün diğer bölgelerde kırsal bölgelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer PCB türleri (PCB 18,52,170) KNT, YK ve YK-E bölgelerde kırsala çok yakın veya daha düşüktür. Bu veriler, iç ortamdaki PCB kirliliğinin dış ortamdan daha çok iç ortamdan kaynaklandığını göstermektedir (Frederiksen vd. 2020). Frederiksen vd. (2020) yaptıkları çalışmada PCB44 bileşiğinin taze emisyonlardan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Dolayısıyla iç ortamda PCB 44'ün kırsala göre daha yüksek bulunması iç ortama özgü PCB kaynaklarının kırsal bölgelere daha fazla olmasıyla açıklanabilir.



Şekil 4: Dış ve iç ortam tozlarında tüm bölgelerin PCB konsantrasyonlarının kırsal konsantrasyonlara oranı

3.2. İç Ortam (IO) ve Dış Ortam (DO) PCB İlişkisi

İç ortamda ve dış ortamda genel olarak farklı PCB türlerinin tanımlanması ve iç ortamda birçok örnekte PCB türlerinin konsantrasyonlarının tanımlama limitlerinin altında ölçülmesi nedeniyle, iç ve dış ortam PCB oranları sadece Σ PCB konsantrasyonlarıyla değerlendirilebilmiştir. Σ PCB konsantrasyonları örneklerde tanımlanabilen PCB türlerinin toplanmasıyla hesaplanmıştır. Şekil 5'te her bir örnek noktası için iç ortam Σ PCB konsantrasyonlarının dış ortama oranı verilmiştir. Şekil 5'te iç ortam konsantrasyonlarının dış ortamdan oldukça yüksek olduğu görülmektedir. IO/DO oranı nispeten küçük olan (<5) örnekleme noktaları daha çok kentsel nokta olmakla birlikte, Yk-E noktalardan birinde de oranlar 1'e yakındır. Dolayısıyla kentsel noktalarda iç ortam Σ PCB kirliliğini iç ortam kaynakları yanında dış ortam kaynaklarının da belli düzeyde etkilediği söylenebilir. Öte yandan IO/DO oranı 1'den küçük tek nokta Krs-E özellikli 2 numaralı Beyköy ilkokuludur. Bu noktada dış ortam Σ PCB konsantrasyonları önceki bölümlerde de açıklandığı gibi en yüksek bulunmuştur. Dolayısıyla bu noktada iç ortam kirliliğine en önemli katkının dış ortamdaki endüstriyel emisyonlar olduğu düşünülmektedir. İç ortam örneklerinde yüksek Σ PCB konsantrasyonları, iç ortam kaynaklarının katkısının daha fazla olduğunu göstermektedir. Özellikle eski yapıların içerisindeki PCB içerikli materyaller, floresanlar vb., elektronik eşyalar vb. iç ortamdaki PCB kaynaklarıdır. Bu materyallerden kaynaklanan PCB emisyonları iç ortamda PCB birikimine neden olmaktadır. Literatürde okullarda yapılan bazı çalışmalarda da benzer sonuçlar bulunmuştur (Dai vd. 2016).

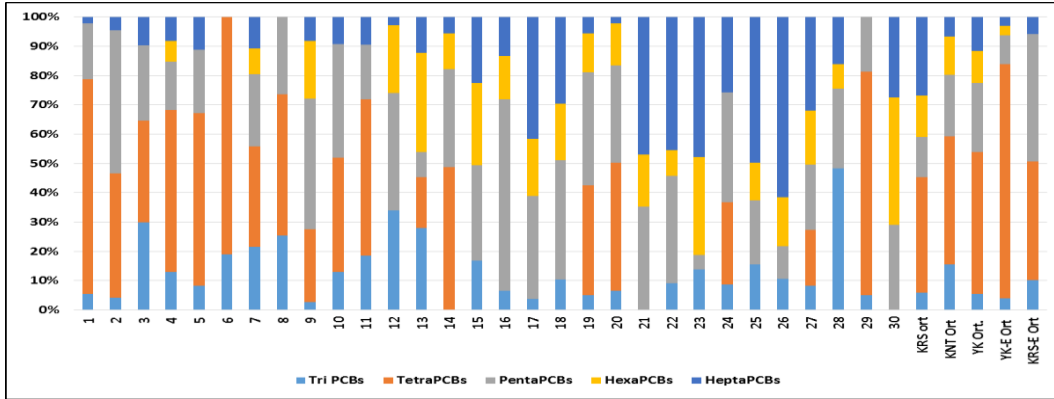


Şekil 5: IO/DO ΣPCB oranları

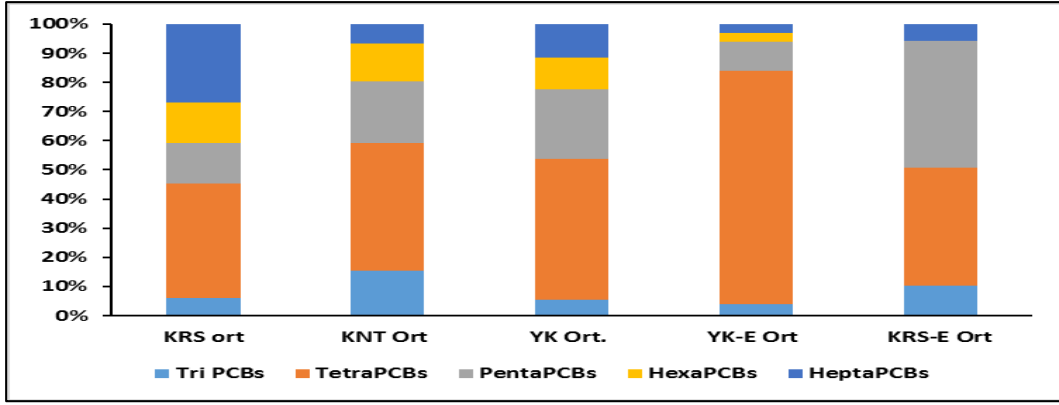
3.3. Dış Ortam PCB Profilleri

Şekil 6'da iç ortam örneklerinde ölçülen PCB türlerinin toplam PCB konsantrasyonlarına katkıları, Şekil 7'de ise bu konsantrasyonların bölgelere göre ortalama dağılımı verilmiştir. PCB'ler klor sayılarına göre gruplandırılmışlardır. TriPCBs 3 klorlu bileşikler, TetraPCBs, 4 klorlu bileşikler, PentaPCBs, 5 klorlu bileşikler, HexaPCBs 6 klorlu bileşikler, HeptaPCBs, 7 klorlu bileşikler göstermektedir. PCB'ler genellikle homolog gruplarına göre değerlendirilirler. Örnekleme noktalarındaki PCB homolog gruplarının profillerine baktığımızda dış ortamda en baskın grupların tetra penta grupları olduğunu görmekteyiz. 1-19 grubu kentsel ağırlıklı örnekleme noktalarında tetra ve penta türevlerinin oranı daha fazlayken, 20-30 arasındaki daha çok Krs, YK, Krs-E ve YK-E örneklerinde hepta gruplarının da katkısı görülmektedir. Düşük klorlu gruplar genellikle yapılardan, transformatörlerden vb. kaynaklanırken, yüksek klorlu türevler atık yakılması veya klorlu prosesler gibi endüstriyel emisyonlardan kaynaklanabilmektedir.

Şekil 7'de verilen bölge özelliklerine göre PCB gruplarının katkıları incelendiğinde tüm bölgelerde yaklaşık benzer profiller elde edilmiştir. Öte yandan Krs-E bölgede hexa klorlu gruplar belirlenememiş, YK-E bölgelerde ise tetra klorlu bileşikler daha yüksek oranda hesaplanmıştır. Endüstri emisyonları kendine has kirletici profilleri oluşturabilmektedir. O nedenle bu iki bölgedeki farklılığın endüstriyel emisyonlardan kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 6: Dış ortam örnekleme noktalarının PCB profilleri



Şekil 7: Dış ortam Bölgesel PCB profilleri

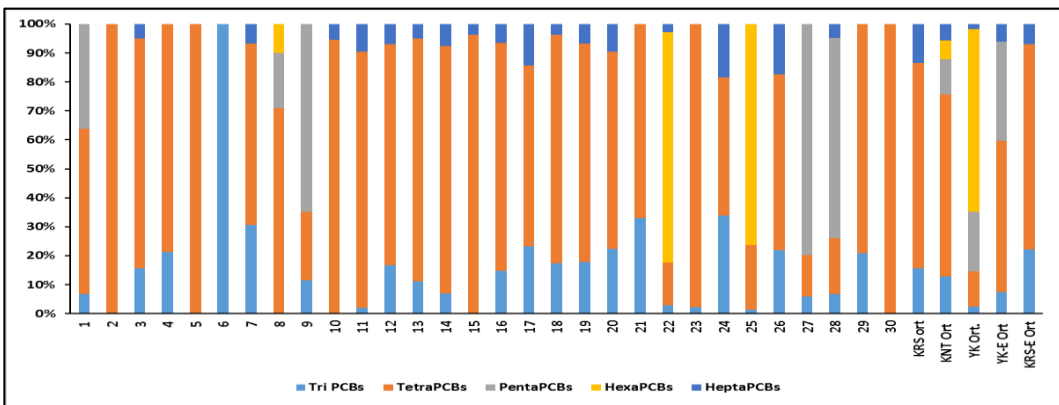
Her bir PCB türü ayrı ayrı değerlendirildiğinde dış ortamda örneklerin çoğunda belirlenen PCB türleri PCB 18, 31+28, 52, 44, 149 ve 180'dir. Bunlar içerisinde en yüksek konsantrasyonlar PCB 52 ve PCB 44'te belirlenmiştir.

3.4. İç Ortam PCB Profilleri

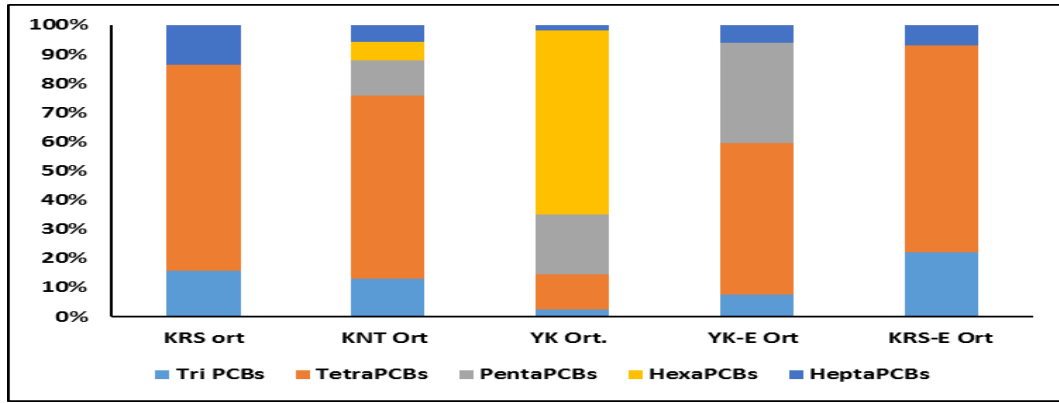
Şekil 8. de iç ortam örneklerinde PCB türlerinin toplam PCB konsantrasyonlarına katkıları, Şekil 9'da ise bu oranların bölgelere göre ortalama dağılımı verilmiştir. İç ortam örnekleme noktalarındaki PCB homolog gruplarının profillerine baktığımızda en baskın grupların tri ve tetra grupları olduğunu görmekteyiz. Öte yandan çok sınırlı sayıda örnekte penta gruplarının katkısı da görülmektedir (örnek no:1,9,27,28). Hexa grupları ise çok sınırlı sayıda örnekte baskın olarak görülmekle birlikte (örnek no:22,25) çoğu örnekte belirlenememiştir. Beş veya daha az klorlu PCB bileşikler ticari karışımlarda ve yapı materyallerinde kullanılmaktadır. Literatürde yapılan çoğu iç ortam çalışmalarında 5'ten daha az klorlu PCB türleri baskın olarak bulunmuştur. Dolayısıyla iç ortam PCB konsantrasyonlarına daha çok bina içi faktörler etki etmektedir denilebilir (Whitehead vd. 2013). Öte yandan 25 numaralı örnekte yüksek hekza gruplarının görülmesi, Örnekleme bölgesinin, yakınında bulunan Gümüşova OSB içerisindeki alüminyum, plastik vb. tesislerin emisyonlarından etkilendiğinin bir göstergesi olabilir.

Şekil 9'da verilen bölge özelliklerine göre PCB gruplarının katkıları incelendiğinde iç ortam örneklerinde Krs, ve Krs-E bölgelerin profillerinin birbirine benzer olup, tetra bileşiklerinin baskın olduğu ve tri ve hepta klorlu. bileşiklerinin de görüldüğü belirlenmiştir. Kentsel bölgede ise yine tetra klorlu PCB türleri baskın olup, tri, penta, hexa ve hepta klorlu PCB türlerinin de katkısı olduğu görülmektedir. Bu bulgular kentsel bölgede iç ortam kaynaklarının yanı sıra dış ortamdaki kaynakların da etkisini göstermektedir.

Her bir PCB türü ayrı ayrı değerlendirildiğinde iç ortamda örneklerin çoğunda belirlenen PCB türleri PCB 18, 52, 44, 170'dir. Bunlar içerisinde en yüksek konsantrasyonlar dış ortamla benzer şekilde PCB 52 ve PCB 44 için belirlenmiştir.



Şekil 8: İç ortam örnekleme noktalarının PCB profilleri



Şekil 9: İç ortam bölgesel PCB profilleri

4. Sonuç

Düzce, hızla gelişen ve çevresel kirliliğin yoğun olarak hissedildiği bir ildir. İlde sanayi, trafik ve konut alanları iç içe geçmiş durumdadır. Ayrıca, ilin coğrafi konumu sebebi ile kaynaktan çıkan kirleticilerin dağılamamakta ve önemli bir risk oluşturmaktadır. Çalışmada, bölgesel bir kirlilik değerlendirmesi yapabilmek ve olası risk durumunu açıklayabilmek için farklı konumlarda ve farklı özelliklere sahip 30 ilkokulun iç ve dış ortamların toz örnekleri toplanmıştır. Yapılan analizlerle toplanan örnekler için PCB konsantrasyonları belirlenmiştir. Her bir kirletici parametre için, kirlilik bölgelerinin izlenmesinde kolaylık sağlayan dağılım haritası oluşturularak ildeki mevcut durum değerlendirilmiştir.

PCB bulgularına göre en yüksek konsantrasyonlar daha çok endüstriye yakın noktalarda elde edilmiştir. İç ortam konsantrasyonları dış ortamdaki yüksek bulunmuştur. Birçok bölgede iç ortam PCB kaynaklarına daha çok bina yapısında ve içerisinde kullanılan ve ticari PCB içeren materyaller olduğu ortaya konmuştur. Yüksek PCB konsantrasyonlarının endüstriyel emisyonlarla önemli oranda ilişkisi olduğu görülmüştür. İç ortam PCB konsantrasyonları dış ortam PCB konsantrasyonlarından oldukça yüksek bulunmuş olup, daha çok iç ortam kaynaklarıyla ilişkilendirilmiştir. Kentsel ve endüstriye yakın noktalarda dış ortam PCB kaynaklarının da PCB seviyelerini etkilediği görülmüştür. PCB profilleri iç ve dış ortamda homolog grup olarak daha çok 5 ve 5'ten az klorlu PCB gruplarının hem iç hem de dış ortamda daha baskın olduğunu göstermiştir. İç ortamda 5'ten fazla klorlu PCB homolog grubu nadiren görülmüştür. Dış ortamda ise özellikle endüstriyel bölgelerde hekza ve hepta klorlu PCB'ler görülmüştür. Bu durum dış ortam endüstri emisyonlarıyla açıklanmıştır. İç ortam ve dış ortam PCB profilleri literatürle uyumlu bulunmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2019.06.02.997).

Kaynaklar

- Acosta J.A., Faz A., Kalbitz K., Jansen B., Martinez-Martinez S., (2014), *Partitioning of Heavy Metals Over Different Chemical Fraction in Street Dust of Murcia (Spain) as a Basis for Risk Assessment*, Journal of Geochemical Exploration, 144, 298-305.
- Aydın M.E., Aydın S., Bedük F., Tekinay A., (2015), *Atıksuların Sulamada Kullanımı: Toprak ve Üründe Kalıcı Organik Kirleticiler*, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 20(2), 99-110.
- Barro R., Regueiro J., Llompert M., Garcia-Jares C., (2009), *Analysis of Industrial Contaminants in Indoor Air: Part 1. Volatile Organic Compounds, Carbonyl Compounds, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Polychlorinated Biphenyls*, Journal of Chromatography A, 1216(3), 540-566.
- Bayram H., Dikensoy Ö., (2006), *Hava Kirliliği ve Solunum Sağlığına Etkileri*, Tüberküloz ve Toraks Dergisi, 54(1), 80-89.
- Cuci Y., Polat E., (2015), *Gaziantep'in Trafik Kaynaklı Hava Kirliliğinin Belirlenmesi*, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2), 1-11.
- Dai Q., Min X., Weng M., (2016), *A review of polychlorinated biphenyls (PCBs) pollution in indoor air environment*, Journal of the Air & Waste Management Association, 66 (10), 941-950.
- Frederiksen M., Andersen H., Haug L., Thomsen C., Broadwell S.L., Egsmose E.L., Kolarik B., Gunnarsen L., Knudsen L.E. (2020), *PCB in serum and hand wipes from exposed residents living in contaminated high-rise apartment buildings and a reference group*, International Journal of Hygiene and Environmental Health, 224, 113430, doi: 10.1016/j.ijheh.2019.113430.
- Gül H.K.A., Birgül A., Kurt Karakuş P.B., (2018), *Ev Tozunda Bulunan Ağır Metallerin İnsan Sindirim Sisteminin Değişik Basamaklarında Biyolojik Olarak Alınabilirliği*, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(3), 235-245.
- Khairy M.A., Barakat A.O., Mostafa A.R., Wade T.L., (2011), *Multielement Determination by Flame Atomic Absorption of Road Dust Samples in Delta Region, Egypt*, Microchemical Journal, 97(2), 234-242.

- Mendell M.J., Heath G.A., (2005), *Indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature*, Indoor Air, 15(1), 27–52.
- Mohammadyan M., Alizadeh-Larimi A., Etemadinejad S., Latif M. T., Heibati B., Yetilmezsoy K., Dadvand P., (2017), *Particulate Air Pollution at Schools: Indoor-Outdoor Relationship and Determinants of Indoor Concentrations*, Aerosol and Air Quality Research, 17(3), 857–864.
- Özaslan M., Erşahin G., Akkahve D., Sabuncu A., (2001), *Düzce İli Raporu*, Devlet Planlama Teşkilatı, Bölgesel Gelişme ve Yapısal Uyum Genel Müdürlüğü, Yayın No. DPT: 2578, Düzce, 62ss.
- Öztürk B., Düzovalı G. (2011), *Okullarda Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri*, X. Ulusal Teisat Mühendisliği Kongresi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 13–16 Nisan, İzmir, ss.1715-1723.
- Seyran A., Erişir M., (2008), *Poli Klorlu Bifeniller ve Sağlık Üzerine Etkileri*, Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 22(1), 34–40.
- Sevencan A.C., Sevencan F., Vaizoğlu S., Güler Ç., (2011), *Ankara'da Bir İlköğretim Okulunun İç ve Dış Çevresel Özelliklerinin Değerlendirilmesi*, Genel Tıp Dergisi, 21(1), 11-15.
- Sofuoğlu S.C., (2016), *İç Hava Kirlleticileri ve İnsan Sağlığına Etkileri*, Tesiat Mühendisliği, 153, 33-44.
- URL-1, (2020), Düzce İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Faaliyet Raporu 2019, <https://duzce.tarimorman.gov.tr/Menu/21/Faaliyet-Raporu> [Erişim 16 Kasım 2020].
- URL-2, (2020), *Ulaşım*, T.C. Düzce Valiliği, <http://www.duzce.gov.tr/> [Erişim 16 Kasım 2020].
- U.S. EPA., (1996), *Method 3600 (SW-846): Cleanup*, Washington, DC.
- U.S. EPA., (2007), *SW-846 Test Method 3550C: Ultrasonic Extraction*, Washington, DC.
- U.S. EPA., (2014), *Method 8270E (SW-846): Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/ Mass Spectrometry (GC/MS)*, Washington, DC.
- Whitehead T., Metayer C., Buffler P., Rappaport SM., (2011), *Estimating exposures to indoor contaminants using residential dust*, J Expo Sci Environ Epidemiol, 21, 549–64.
- Whitehead T.P., Brown F.R., Metayer C., Park J.S., Does M., Dhaliwal J., Petreas M.X., Buffler P.A., Rappaport S.M., (2013), *Polychlorinated Biphenyls in Residential Dust: Sources of Variability*, Environmental Science & Technology, 48(1), 157–164.

Lojistik Regresyon ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Orman Yangını Risk Modellemesi: Muğla-Milas Örneği

İlker Atmaca^{1,*}, Masoud Derakhshandeh², Özge Işık Pekkan³, Mehtap Öznen Kavlak³, Yavuz Selim Tunca³, Saye Nihan Çabuk⁴

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 66900, Yozgat.

²İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34310, İstanbul.

³Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri A.B.D., 26555, Eskişehir.

⁴Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü, 26555, Eskişehir.

Özet

Orman yangınları önemli bir çevre sorunu olmakla beraber tüm ekosistem ve içerisindeki insan ve hayvan yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Türkiye’de son 20 yılda yaşanan 46.669 orman yangınında toplamda 192.734 hektar orman alanı zarar görmüştür. Bu yangınların ortaya çıkış nedenlerinde ise ilk sırada ihmâl-kaza bulunmaktadır. Bu nedenle meydana gelen orman yangınlarının sıklığını en aza indirmek ve zararları önlemek için yangın riski olan alanların belirlenerek, yangın öncesinde, sırasında ve sonrasında alınacak önlemler için hazırlıklı olunması gerekmektedir. Bu çalışmada Muğla ili Milas ilçesi için orman yangını riskini modellemede Lojistik Regresyon (LR) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmıştır. Topoğrafik özellikler, meşcere verileri ve kültürel veriler dikkate alınarak, bu faktörlerin yangınların oluşumu ile ilişkisi araştırılmıştır. LR ile yangın risk tahmininin doğruluk analizleri ve farklı özelliklerdeki alanların yangın riskleri Alıcı Çalışma Karakteristiği (ROC) ve Hosmer-Lemeshow testi ile incelenmiştir. Lojistik Regresyon yöntemi ile elde edilen bulgular doğrultusunda CBS ortamında bir orman yangını risk haritası oluşturulmuştur. Burada orman yangını riski “1” çok düşük riskli ve “5” çok yüksek riskli olmak üzere beş seviyede değerlendirilmiştir. Ortaya çıkan orman yangını risk haritasında, çalışma alanında bulunan toplam orman alanlarının %16’sının yüksek ve çok yüksek risk sınıfında bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Orman Yangını, Yangın Risk Haritalandırması, Lojistik Regresyon, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Milas (Muğla)

Forest Fire Risk Modeling Using Logistic Regression and Geographic Information Systems: A Case Study in Muğla - Milas

Abstract

Forest fires are an important environmental problem, they negatively affect the entire ecosystem and human and animal life in it. In Turkey 192.734 hectares of forest area has been damaged in 46.669 forest fires in the last 20 years. Negligence-accident is the primary cause of these fires. For this reason, in order to minimize the frequency of forest fires and prevent damages, areas with fire risk should be determined and it is necessary to be prepared for the precautions to be taken before, during and after the fire. In this study, Logistic Regression (LR) and Geographic Information Systems (GIS) were used to model the forest fire risk for the Milas province in Muğla. Considering the topographic features, stand data and cultural data, the relationship of these factors with the occurrence of fires was investigated. Accuracy analyzes of fire risk estimation with LR and fire risks of areas with different properties were examined by Receiver Operating Characteristic (ROC) and Hosmer-Lemeshow test. In line with the findings obtained by the LR method, a forest fire risk map was created in the GIS environment. Here, forest fire risk is evaluated at five levels, with “1” very low risk and “5” very high risk. In the resulting forest fire risk map, it was concluded that 16% of the total forest areas in the study area are in high and very high risk classes.

Keywords

Forest Fire, Fire Risk Mapping, Logistic Regression, Geographical Information Systems, Milas (Muğla)

1. Giriş

Ormanlar, ekolojik dengenin korunmasında önemli rolü olan doğal kaynaklardır. Bir ormanın verimliliği, bulunduğu bölgedeki ekolojik koşulların en belirgin göstergesidir. Ekolojik dengenin bozulması ve ormanların yok olmasındaki temel sebeplerinden biri ise orman yangınlarıdır (Ager vd. 2011).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (354) 2421001 Faks: +90 (354) 2421005

Gönderim Tarihi / Received : 13/06/2021

E-posta: ilker.atmaca@bozok.edu.tr (Atmaca İ),
mderakhshandeh@gelisim.edu.tr (Derakhshandeh M),
ozgeisikpekan@eskisehir.edu.tr (Pekkan Ö.),
mehtapozenen@eskisehir.edu.tr (Kavlak M.Ö), yst@eskisehir.edu.tr (Tunca Y.S), sncabuk@eskisehir.edu.tr (Çabuk S.N)

Kabul Tarihi / Accepted : 24/09/2021

Yangınlar, ormanların büyümesini ve yenilenmesini sağlayan ekolojik döngüye yardımcı olabilirler ancak, şiddeti ve yanma derinliği yüksek orman yangınları toprağı, havayı ve ormana komşu yerleşim alanlarındaki insan yaşamını olumsuz etkiledikleri için önemli bir çevre sorunudur (Patz vd. 2014; Modugno vd. 2016).

Günümüzde yaşanan yangınların sıklığını en aza indirmek ve yangınlardan kaynaklanan hasarı önlemek için yangın risk ve tehlike sınıflarının belirlenmesi gerekmektedir. Yangın risk ve tehlikesi farklı iki kavramdır. Yangın riski, değişik insan faaliyetleri ya da yıldırım gibi doğal herhangi bir nedenin etkisiyle yangın çıkma olasılığıdır (Neyişçi vd. 1999). Yangın tehlikesi ise belirli bir alanda yangının başlama, yayılma ve kontrole karşı direncini etkileyen faktörlerin toplamını ifade eder (McArthur 1976).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile yangın tehlike alanlarının tespiti, modellenmesi, yangın risk haritalarının oluşturulması ve bunlara bağlı olarak yangınların önceden tahmin edilmesi, yangın söndürme çalışmalarının planlanması, yangın sonrası oluşan zararın tespiti gibi işlemler sistemli ve sağlıklı bir şekilde yapılabilmektedir (Cleve vd. 2008; Finney 2007). Literatürde yangın riski haritalarının oluşturulmasında kullanılan analizlerdeki girdiler konusunda fikir birliği olmadığı görülmüştür. Örneğin Massada vd. (2009) yangın riskini analiz etmek için girdi olarak yanıcı madde ve topografya girdilerini, hava durumu verilerini ve insan faaliyetleri verilerini incelemişlerdir. Chuvieco vd. (1996) yangın tehlikesi endeksini tahmin etmek için yanıcı madde tipi, sıcaklık, nem, kompaktlık, bitki nemi (dead surface fuel moisture), topografya ve insan aktivitesini dikkate almışlardır. Kavlak vd. (2021) ise CBS ortamında orman yangını risk haritası oluşturmak için topoğrafik özellikler, meşcere özellikleri ve insan kaynaklı faktörleri kullanmışlardır. Literatürde yer alan çalışmalar değerlendirildiğinde, orman yangını riskinin tahmin edilmesinde yaygın olarak bitki örtüsü (yanıcı madde miktarı), topoğrafik özellikler (yükseklik, bakı ve eğim), iklim özellikleri ve insan faktörü dahil olmak üzere birçok farklı kriterin kullanıldığı görülmektedir (Brown ve Davis 1973; Novo 2020; Parajuli 2020; Gheshlaghi 2020; Xu vd. 2006). Bu kriterler kullanılarak büyük ölçekli alanların ve bölgelerin yangın olasılıklarını ortaya çıkarmak ve haritalamak için kullanılan yöntemler ise çeşitlilik arz etmektedir. Kernel yoğunluğu analizi (Koutsias vd. 2004), çok ölçütlü değerlendirme analizi (Sarı 2020), yapay zekâ kullanımı (Zhang vd. 2019) frekans oranlama (Gai vd. 2011) ve lojistik regresyon (Deng vd. 2013) bunlardan birkaçıdır. Bununla birlikte, lojistik regresyon bu yöntemler arasında esnek yapıda olması sebebiyle en yaygın kullanılanıdır (Goldarag vd. 2016; Pan vd. 2016; Milanovic vd. 2020; Chen 2018; Zhang vd. 2010).

Dünya genelinde orman yangınları, tüm teknolojik ve insan gücü desteğine rağmen artış göstermektedir (Garcia-Martinez 2013). Doğal ve beşerî sebeplerden meydana gelen orman yangınlarında en başta Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Avustralya ve Akdeniz ülkeleri gelmektedir (Diaz vd. 2021). Ülkemizde ise orman yangınlarıyla ilgili istatistik bilgilerin tutulmaya başlandığı 1937 yılından 2020 yılına kadar toplam 108 bin 786 orman yangını çıktığı ve toplam 1 milyon 956 bin 426 ha orman alanının zarar gördüğünü tespit edilmiştir. 2020 yılı içerisinde meydana gelen toplam 3399 orman yangınının 260'ı Muğla ve Antalya illerinde görülmüş ve en fazla orman yangınının çıktığı iller olmuşlardır (URL-1 2021). 2021 yılının Temmuz ve Ağustos aylarında ülke genelinde eşzamanlı birçok orman yangını yaşanmış, Muğla ilinde yaşanan yangınlarda il orman varlığının yaklaşık %8'ini oluşturan toplam 66.874 ha orman alanı zarar görmüştür (URL-2 2021).

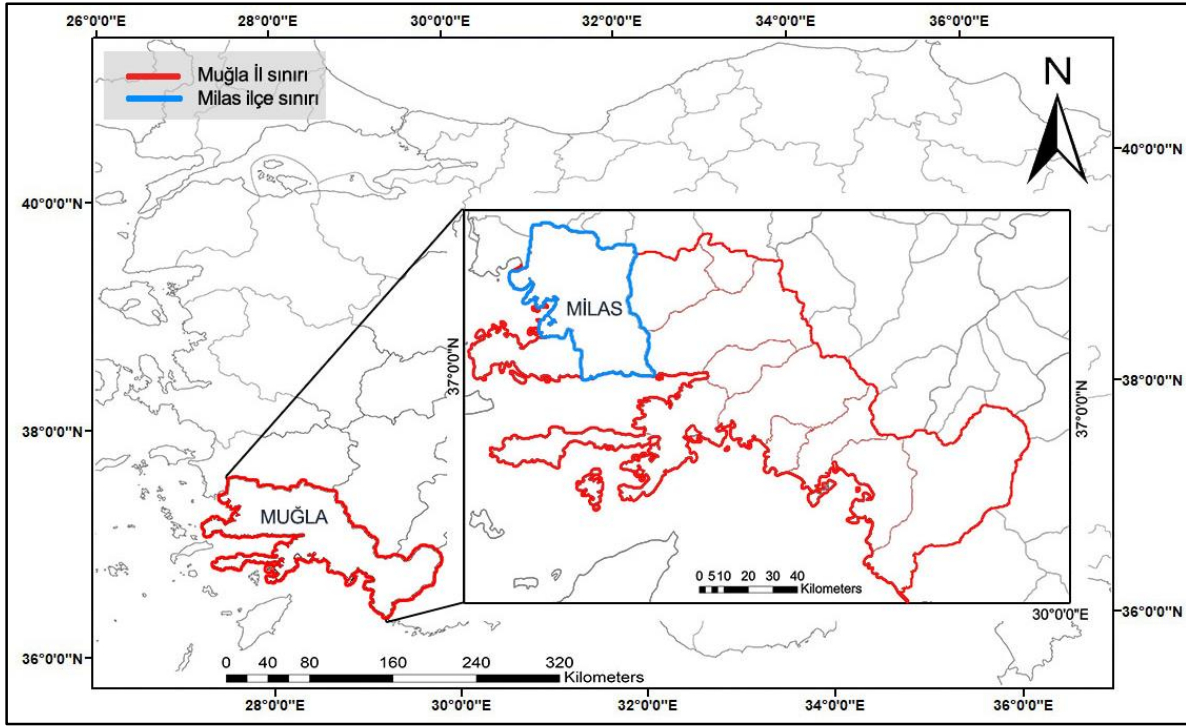
Ülke genelinde yaşanan orman yangınlarının %38'inin çıkış nedeni belirlenemezken, %19'unun ihmal-kaza, %32'sinin doğal sebepler, %11'inin kasıt sonucu çıktığı tespit edilmiştir (URL-1 2021; URL-3 2019). Buradan yola çıkılarak, orman yangınına duyarlı alanların tespit edilmesi ve risk haritalarının oluşturulması gerekliliğinin, ormanların korunması açısından büyük önem arz ettiği kanısına varılabilir.

Bu çalışmanın amacı Muğla ili Milas ilçesi sınırları içinde bulunan orman alanları için orman yangını oluşumunu etkileyen temel faktörleri LR yöntemi ile belirlemek ve CBS aracılığıyla yangın risk sınıflarını içeren bir risk haritası oluşturmaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, güneybatı Anadolu'da 37°00'-37°30' kuzey enlemleri ile 27°30'-28°30' doğu boylamları arasında yer alan Muğla ili Milas ilçesidir (Şekil 1). Yükseklik deniz seviyesinden başlayıp 1.200m'ye kadar çıkmaktadır. İklimsel açıdan yazların sıcak ve kurak, kışların ılık ve yağışlı geçtiği Akdeniz iklim kuşağındadır. Yaz aylarında ortalama sıcaklık 32° C ile 34° C arasında olmakla birlikte 40° C'yi aştığı günler de bulunmaktadır. Çalışma alanında bulunan bitki türlerinin dağılımı incelendiğinde Kızılçam (*Pinus brutia*) (%91,4), Karaçam (*Pinus nigra*) (%2,1), Fıstık Çamı (*Pinus pinea*) (%6,4) ve Ardıç (*Juniperus*), Ceviz (*Juglans*), Okaliptüs (*Eucalyptus*) gibi yaprak döken bitkilerin (%0,1) bulunduğu görülmektedir. Milas ilçesindeki toplam orman alanı 829.309 ha olup, il yüzölçümünün yaklaşık %66'sını ve Türkiye orman varlığının %4'ünü kapsamaktadır (URL-1 2021) Bu alanın çalışma alanı olarak seçilmesinde, 2000 – 2020 yılları arasındaki 20 yıllık süreçte, yıllık ortalama 49 yangın olayının yaşanmış olması ve bu yangınlarda yıllık ortalama 294 ha alanın yanmış olmasının yanı sıra mevcut ağaç türlerinin yangına duyarlı yapıda olmaları önemli rol oynamıştır (URL-1 2021; URL-3 2019).



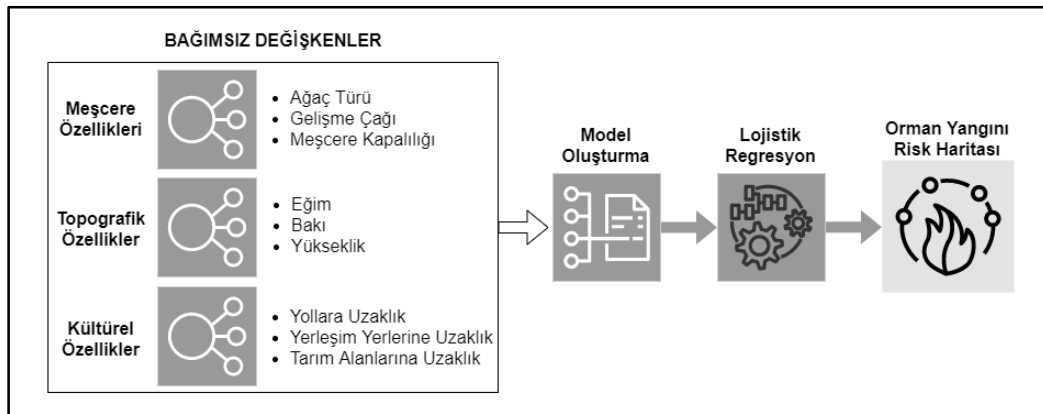
Şekil 1: Çalışma alanının coğrafi konumu

2.2. Materyal

Çalışma kapsamında risk haritalarını üretmek için, risk oluşumunda veya yangın riskini artırmada etkili olan faktörlerin ve bu faktörlerle bağlantılı verilerin elde edilmesi gerekmektedir. Ağaç tipi, gelişme çağı, meşcere kapalılığı gibi meşcere verileri ve yola uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık, tarım alanlarına uzaklık gibi kültürel özellikleri belirlemek için 1/25.000 ölçekli sayısal meşcere haritası Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiş olup, topoğrafik özellikleri belirlemek için Alaska Uydu Tesisi (ASF) web sayfasından indirilen Alos Palsar Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) kullanılmıştır (URL-4 2020). Ayrıca Orman Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 2017 – 2019 yılları arasında yaşanmış olan yangınların nokta verilerinden faydalanılmıştır.

2.3. Yöntem

Lojistik Regresyon bir veya birden fazla bağımsız değişkeni bulunan ve bir sonucu belirlemek için kullanılan bir istatistik yöntemidir (Stoltzfus 2011). Farklı türde doğal tehlikelerin tahmini için kullanılan en popüler çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden birisi olan LR, bir olayı (bağımlı değişken) ve olayın oluşumunda etkili olan bir dizi bağımsız değişken arasındaki ilişkileri araştırır (Pham vd. 2018). Çalışma kapsamında orman yangın risk modellemesinde LR yöntemi kullanılmıştır. Çalışma yöntemini özetleyen iş akış diyagramı Şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 2: Yönteme ilişkin iş akış diyagramı

Lojistik Regresyon modeli kullanarak orman yangını risk tahmininde bulunabilmek için hem yangın hadisesinin yaşandığını ifade eden “var” hem de yangın hadisesi yaşanmadığını ifade eden “yok” verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum ikili (binary) problem olarak ifade edilmektedir ve formüle edildiğinde, LR, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında yangının varlığına (1) ve yokluğuna (0) dayalı olarak doğrusal bir ilişki kurmaktadır. Bu durumda, model aşağıdaki şekilde formüle edilir.

$$y = \alpha + b_1.x_1 + b_2.x_2 + \dots + b_n.x_n$$

(1)

$$P_j = 1 / 1 + e^{-y}$$

Denklemdaki y, yangının meydana gelme olasılığı (1) veya gelmeme olasılığı (0), α modelin sabit değeri, b_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) model katsayıları, x_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) bağımsız değişkenler kümesini ifade etmektedir. P_j 0 ile 1 arasında değişmekte olup her bir pikselinde yangın oluşma olasılığını ifade etmektedir.

2.3.1. Bağımlı Değişkenler

Çalışma kapsamında kullanılan bağımlı değişken, yangın noktalarıdır. Yangın noktalarının koordinatlarına ilişkin bilgileri içeren veri tabanı, Orman Genel Müdürlüğü’nden sağlanmıştır. Çalışma dönemi (2017–2019) boyunca gerçekleşen toplamda 3 yıla ait 107 yangın noktasını içermektedir. Modelde kullanılan bağımlı değişkenler, yangın çıkma durumuna göre “var” ya da “yok” biçiminde ikili (binary) şekilde kullanılmıştır. Yangın olayının yaşandığı alanlarda yangın varlığını belirtmek için bu alanlara “varlık” noktaları ismi verilmiştir ve “1” ile kodlanmıştır. Yangın olayının yaşanmadığı alanlara ise “yokluk” noktaları ismi verilmiştir ve “0” ile kodlanmıştır.

2.3.2. Bağımsız Değişkenler

Çalışma kapsamında kullanılan bağımsız değişkenler, literatürdeki çalışmalar incelenerek belirlenmiştir ve Tablo 1’de görülmektedir. Bu açıklayıcı değişkenler, yangın riskiyle ilgili farklı faktörleri temsil etmektedir. Faktörler, yangın oluşumunda doğrudan veya dolaylı bir etkiye sahip olmalarına göre tercih edilmiştir.

Tablo 1: Bağımsız Değişkenler

Faktör	Bağımsız Değişken Adı	Bağımsız Değişken Sınıfları
Meşcere	Ağaç türü	Karaçam / Kızılçam / Fıstık Çamı / Diğer yaprak dökkenler
	Gelişme çağı	A (a, ab) / B (b, bc) / C (c, cd) / D (d) / E (e) / K
	Meşcere kapalılığı	0 (<%10) / 1 (%11-%40) / 2 (%41-%70) / 3 (%70<)
Topoğrafik Yapı	Eğim	%5 / %10 / %15 / %35 / %100
	Bakı	-1° / 22° / 67° / 112° / 157° / 202° / 247° / 292° / 337° / 360°
	Yükseklik	0-200m / 201-400m / 401-600m / 601-800m / 801-1000m / 1001-1200m / 1201-1400m / 1401-1600m / 1601m<
Kültürel Yapı	Yollara uzaklık	0-50m / 51-100m / 101-200m / 201-300m / 301-400m / 401m<
	Yerleşim yerlerine uzaklık	0-50m / 51-100m / 101-200m / 201-300m / 301-400m / 401-500m / 501-1000m / 1001-1500m / 1501m<
	Tarım alanlarına uzaklık	0-50m / 51-100m / 101-200m / 201-300m / 301-400m / 401-500m / 501-1000m / 1001-1500m / 1501m<

Belirlenmiş faktörlerden meşcerenin gösterdiği özellikler, orman yangınlarının çıkması ve yayılmasını biçimlendiren en önemli özelliklerdendir. Literatürdeki birçok çalışmada yanıcı madde tipi olarak adlandırılan meşcere özellikleri, ağaç türü, gelişme çağı ve meşcere kapalılık durumlarına göre yangın başlangıç noktalarını ve yangın davranışlarını belirleyen en önemli unsurlardandır (Kavlak vd. 2021; Bilgili 2014; Karabulut vd. 2013; Akkaş vd. 2008; Butler vd. 2007; Viegas 2004). Topoğrafya özellikleri de orman yangınlarının çıkması ve yayılmasını biçimlendiren diğer önemli özelliklerdendir. Eğim ve yükseklik değerlerindeki artış ve azalışlar yangının yayılma oranı üzerinde etkili iken bakı da yanıcı maddelerin güneş ışınlarına maruz kalma derecelerini belirlediği için yangın oluşumu için önemlidir (Xiangwei vd. 2011; Hernandez-Leal vd. 2006; Dupuy 1995; Van Wagner 1988). Yola uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık ve tarım alanlarına uzaklık verilerinden oluşan kültürel yapı özellikleri ise doğrudan orman yangınlarıyla bağlantılı olmalarından dolayı çalışmadaki önemli bağımsız değişkenlerdendir (Pais vd. 2020; Rogan 2006; Jaiswal 2002; Chuvieco ve Congalton 1989).

Bu çalışmada orman yangınına etkileyen faktörler meşcere, topoğrafik yapı ve kültürel yapı gibi dinamik olmayan yani zamana bağlı olarak değişmeyen katmanlardan oluşmaktadır. Orman yangınlarının oluşumu ve yayılmasında etkili olan diğer faktörlerden bazıları: rüzgâr hızı, yağış miktarı, bağıl nem değeri, güneşlenme süresidir ve bu değişkenler anlık değişim gösteren dinamik faktörlerdir. Bu çalışmada statik yapıda olan faktörler kullanılmış olup, anlık değişim gösterebilen dinamik faktörler dahil edilmemiştir.

Tablo 2: Lojistik regresyon sonuç tablosu

	Coeff b	s.e.	Wald	p-value	Exp(b)	lower	upper
Constant	0.036153	1.131141	0.001022	0.047502	1.036815		
Gelişme çağı	0.386409	0.156144	8.953786	0.003407	1.34886	1.08369	1.9986
Meşcere kapallılığı	-0.56716	0.244768	6.132466	0.020496	0.577435	0.351024	0.916286
Eğim	-0.04826	0.030431	2.739784	0.012739	0.968359	0.89771	1.011445
Bakı	0.958323	0.367156	7.359643	0.009051	2.607319	1.269611	5.354485
Yükseklik	-0.00203	0.000975	2.849742	0.037751	0.997976	0.99607	0.999885
Yerleşim yerlerine uzaklık	0.000187	6.41E-05	9.684312	0.003766	1.000187	1.000062	1.000314
Yollara uzaklık	0.000145	4.9E-05	9.31084	0.003194	1.000145	1.000049	1.000242
Tarım alanlarına uzaklık	0.000429	0.000164	11.2915	9.21E-05	1.000429	1.000327	1.000962

Lojistik regresyon testi sonucunda elde edilen p (olasılık) değeri, bağımsız ve bağımlı değişkenler arasında "korelasyon yok" şeklindeki sıfır hipotezini test eder (Garson 2008). P değeri anlamlılık düzeyinden düşüğe (genellikle 0,05 kullanılır), model veriler ile uyumludur şeklinde yorumlanmaktadır (Johnson ve Gutsell 1994). Tablo 2 incelendiğinde p değerlerinin tamamının 0.05 ten küçük olduğu görülmektedir. Bu da modelde kullanılan tüm değişkenlerin, yangın riski hesaplanmasında, model için bir anlamının olduğunu ifade etmektedir.

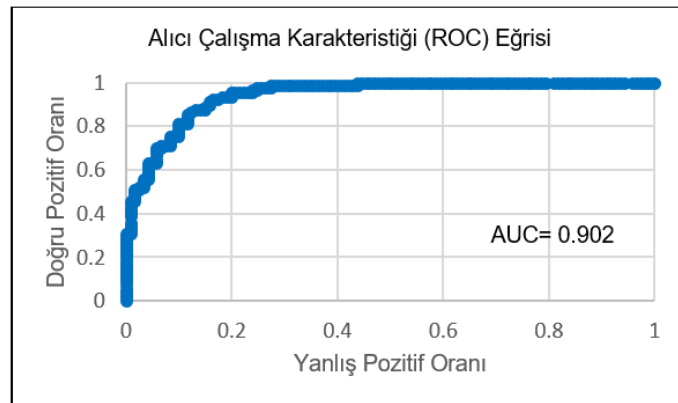
Lojistik regresyonun performansını değerlendirmek için literatürdeki standart yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu yaklaşımlardan birisi Wald istatistiğidir ve modeldeki bireysel katsayıların önemini test etmek için kullanılmaktadır (Bewick vd. 2005). Bir diğer yaklaşım olan Hosmer-Lemeshow testi ise risk tahmin modellerinde sıklıkla kullanılmaktadır ve LR modelleri için uygunluğun iyiliğini (goodness of fit) gösteren istatistiksel bir testtir (Hosmer vd. 1997; Hosmer ve Lemeshow 2000).

Çalışma kapsamındaki her bir değişkenin önemi, 0.05 anlamlılık düzeyinde Wald testi (Legendre ve Legendre 1998) kullanılarak değerlendirilmiştir. Buna göre modelde kullanılan tüm bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişken üzerinde etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tahmin edilen yangın oluşma olasılığının gerçek yangın oluşumuyla uyumlu olup olmadığını test etmek için Milas Orman İşletme Müdürlüğü'nden elde edilen yangın noktaları kullanılarak sonuçların doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Hosmer ve Lemeshow uygunluk testine göre eğitim verileri için tahmin edilen ve gözlemlenen olaylar arasındaki doğruluk değeri 0.89 (%89 doğruluk), doğrulama verileri için ise 0.86 (%86 doğruluk) sonuçlarına ulaşılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3: Eğitim ve doğrulama veri setlerinin lojistik regresyon olasılık tablosu

Gözlemlenen	Tahmin edilen							
	Eğitim				Doğrulama			
	Yangın	Varlık	Yokluk	Doğruluk	Yangın	Varlık	Yokluk	Doğruluk
	Varlık	71	6	0.89	Varlık	58	7	0.87
	Yokluk	8	48	0.88	Yokluk	8	41	0.85
	Toplam	79	54	0.89	Toplam	66	48	0.86

Alıcı çalışma karakteristiği (ROC) eğrisi ve iki bileşeni (duyarlılık ve özgüllük) kullanılarak, eğri altında kalan alan (AUC) aracılığı ile modelin başarı oranı hesaplanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: Lojistik regresyonun alıcı çalışma karakteristiği (ROC) grafiği

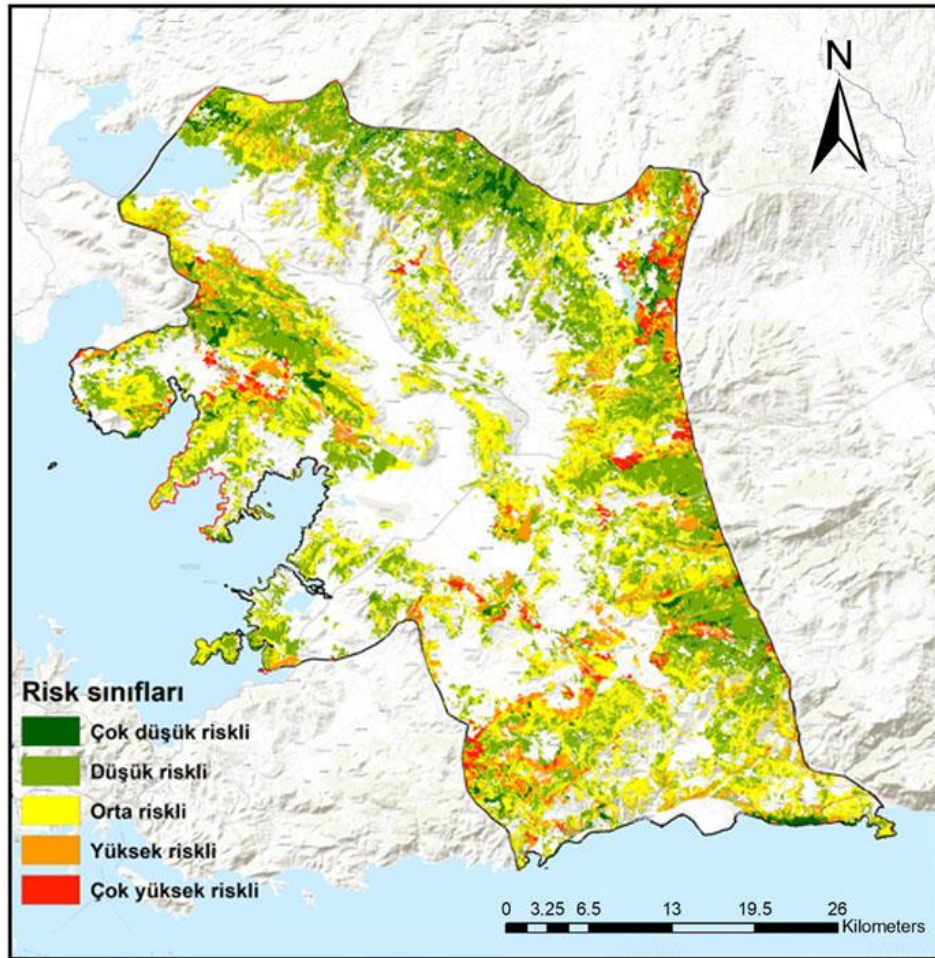
Model veri kümesinin ROC değeri modelin tahmin oranını ve gelecekteki olayları ne kadar iyi veya kötü öngördüğünü ifade etmektedir. Buna göre AUC değeri açısından, < 0.6 zayıf, 0.6 - 0.7 ortalama, 0.7 - 0.8 iyi, 0.8 - 0.9 çok iyi ve > 0.9 mükemmel model performansı olarak değerlendirilmektedir (Hanley ve McNail 1982). Şekilde görüldüğü gibi ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) 0.902 değerine sahiptir bu da testin performansının mükemmel olarak nitelendirilebileceği anlamına gelmektedir.

3.2. Yangın risk haritasının oluşturulması

Yangın risk haritası oluşturmak için, tüm bağımsız değişkenler CBS ortamında katmanlara dönüştürülmüştür. Lojistik regresyon modellemesi ise Bölüm 2’de belirtilen yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yangın olasılığı cut-off (kesme) noktaları (Hein ve Weiskittel 2010) kullanarak ikili 0-1 verilerine dönüştürülmüş ve kesme değerinden büyük veya ona eşit değerlere sahip noktalar yangın risk bölgesi olarak kabul edilirken, cut-off değerinin altında değerlere sahip olan noktalar yangın riski olmayan yerler olarak kabul edilmiştir. Regresyonun cut-off (kesme) değeri 0.346’dır. Denklem 2’de formüle edilmiş olan regresyon denklemi, Tablo 2’den elde edilen değerlere göre ArcGIS 10.7 ortamında map algebra aracı Tablo 1’de belirtilmiş olan “bağımsız değişken sınıf değerleri” kullanılarak mekansallaştırılmıştır.

$$y = 0.036153 + (0.386409 \times \text{gelişme çağı}) + (-0.56716 \times \text{meşcere kapahlığı}) + (-0.04826 \times \text{eğim}) + (0.958323 \times \text{bakı}) + (-0.00203 \times \text{yükseklik}) + (0.000187 \times \text{yerleşimlere uzaklık}) + (0.000145 \times \text{yollara uzaklık}) + (0.000429 \times \text{tarım alanlarına uzaklık}) \quad (2)$$

Üretilen harita doğal kırılma sınıflandırması (Jenks) yöntemi ile beş risk sınıfına ayrılmıştır bunlar: çok düşük risk, düşük risk, orta risk, yüksek risk ve çok yüksek risk şeklindedir (Şekil 5).



Şekil 5: Lojistik regresyon yöntemi ile elde edilen orman yangını risk haritası

Ortaya çıkan risk haritasındaki alansal dağılım incelendiğinde toplam orman alanının %4’ünün çok yüksek riskli, %12’sinin yüksek riskli olduğu, %34’ünün orta riskli, %42’sinin düşük riskli, %8’inin çok düşük riskli ve alanlar olduğu görülmüştür.

4. Sonuç ve Tartışma

Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Lojistik regresyon kombinasyonu, orman alanlarının yangına duyarlılıklarının belirlenmesi ve yangın riski modelinin oluşturulmasında kullanılan güvenilir yöntemlerden biridir. İki yanıtı bir değişkenin bir veya daha fazla bağımsız değişkenle olan ilişkisini çözümleyen bir model kullanılarak orman yangınlarının, eğim, bakı, yükseklik, meşcere gelişme çağı, meşcere kapallılığı, yollara uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık ve tarım alanlarına uzaklık gibi değişkenlerle etkileşimlerini irdeleyen bir orman yangını risk haritası ortaya konulmuştur.

Modele göre oluşturulan risk haritasının, orman yangınlarına son derece hassas bir coğrafyada bulunan Muğla ili Milas ilçesi için orman yangınları ile mücadele ve yangından etkilenme olasılığı yüksek olan alanlar hakkında bilgi düzeyinin artırılması konularında katkı sağlayabileceği düşünülebilir.

29 Temmuz 2021 tarihinde başlayan ve Milas ilçesinin de dahil olduğu 9 ilçeyi etkileyen orman yangınında Muğla ilinde toplamda 66.874 ha, Milas ilçesinde ise 8.480 ha orman alanı yangından zarar görmüştür (URL-4 2021). Bunlara ek olarak yaşam alanları orman olan yaban hayatı ve ormana yakın alanlardaki yerleşim yerleri de yangından etkilenmiştir. Yangın tehlikesi bulunan birçok yerleşim yeri tahliye edilmiş, yangına maruz kalan yerleşimlerdeki birçok yapı hasar görmüş ya da kullanılamaz hale gelmiştir. Yaşanmış olan bu durum yangınların sıklığını en aza indirmek ve yangınlardan kaynaklanan hasarları önlemek için yangın risk ve tehlike sınıflarının belirlenmesi gerekliliğini net bir şekilde ortaya koymuştur.

Bu çalışmada kurgulanan lojistik regresyon modeli, eğimin, yüksekliğin, meşcere kapallığının, yollara, yerleşim yerlerine ve tarım alanlarına uzaklıkların yangınlarla yüksek anlamlı korelasyona (ilişkiye) sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Buna göre eğim faktörü yangının yayılma oranını etkilemektedir. Çalışma alanında yüksek eğimli alanlardan ziyade düşük eğimli alanlarda yangın izleri gözlemlenmiştir. Bu durum düşük eğimlerin tarımsal kullanım için uygun olmaları ve bu alanlarda başlayan yangınların orman alanlarına nüfuz etmelerinden kaynaklanabilmektedir (Jaiswal vd. 2002; Dong vd. 2005).

Yükseklik faktörü, yangın sezonunun uzunluğunu ve arazi örtüsünü etkilemektedir (Pyne vd. 1996). Daha yüksek sıcaklık ve daha düşük yağış nedeniyle, düşük rakımlı alanlarda orman yangını olma olasılığı daha yüksektir. Bu sonuçlar, Setiawan vd. (2004) ve Dong vd. (2005) gibi benzer araştırmaların bulgularıyla da tutarlılık göstermektedir.

İnsan faaliyetleri, insanların neden olduğu yangınların konumları ile mekânsal ilişkilere sahiptir. Yollara uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık gibi kültürel faktörler bu alanlara yakın yerlerde ortaya çıkan orman yangınları ile yakından ilişkilidir. Milas ilçesinde orman varlığının fazla olması, kaçınılmaz bir şekilde insan faaliyetleri ile orman alanlarının temas halinde bulunmalarına neden olmakta ve bu durum orman yangını olasılığını yükseltmektedir. Kalabokidis vd. (2002) ve Dong vd. (2005)'nin çalışmaları da buna paralellik göstermektedir.

İklim verileri, dinamik bir yapıda olmaları, toprak nemi, bitki canlılık değerleri gibi verilerin ise istenilen detay seviyesinde bulunmaması sebebiyle modele dahil edilmemiştir. Ancak bu verilerin de uygun detay seviyelerinde LR modeline eklenmesi ile dinamik bir harita oluşturularak model kalitesini artırılabilir. Orman alanlarının topoğrafik özellikleri, meşcere özellikleri, yerleşim yerlerine ve yollara uzaklıkları gibi değişkenler 10 – 25 yıllık bir sürede değişim gösterebilir (Zglobicki vd. 2016; Nuissl ve Siedentop 2021) bu yüzden bu verilerin belirli zaman aralıklarında güncellenerek değişkenler arasındaki ilişkilerin revize edilmesi de risk sınıflarındaki değişimlerin takip edilmesi açısından gereklidir.

Bu çalışma, lojistik regresyon modellemesi ve coğrafi bilgi sisteminin orman yangını risk bölgelerinin belirlenmesi ve dolayısıyla yönetimi için uygun olduğunu göstermektedir. CBS ve envanter verileriyle birleştirilmiş lojistik regresyon yöntemi, orman yangını riskini etkileyen her bir faktör analize dahil edildiğinde, yangın riski haritalaması için faydalı olacaktır. Bu bağlamda ortaya koyulan orman yangını risk haritası, yangınları ve hasarlarını en aza indirmek için yangın yönetiminde yararlı bir araç olacak ve karar vericilerin yüksek yangın riski olan yerleri belirlemeleri ve bu alanları etkili bir şekilde yönetmelerine olanak sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Ager A.A., Vaillant N.M., Finney M.A., (2011), *Integrating fire behavior models and geospatial analysis for wildland fire risk assessment and fuel management planning*, Journal of Combustion, 2011, 572452, doi: 10.1155/2011/572452.
- Akkaş M.E., Bucak C., Boza Z., Eronat H., Bekereci A., Erkan A., Cebeci C., (2008), *Büyük orman yangınlarının meteorolojik veriler ışığında incelenmesi*, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ege Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No 36, Urla, İzmir.
- Bewick V., Cheek L., Ball J., (2005), *Statistics Review 14: Logistic Regression*, Critical Care, 9(1), 112-118.
- Bilgili E., (2014), *Orman Koruma Dersi Geçici Ders Notları* (Yayınlanmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, ss.13–56.
- Brown A.A., Davis K., (1973), *Forest Fire: Control And Use*, New York: McGraw-Hill.
- Butler B.W., Anderson W.R., Cathpole E.A., (2007), *Influence of slope on fire spread rate*, The fire environment innovations, management, and policy; conference proceedings, ss.75-83.
- Catry F.X., Rego F.C., Moreira F., (2009), *Modeling and mapping wildfire ignition risk in Portugal*, International Journal of Wildland Fire, 18, 921–931.
- Chuvieco E., Salas J., (1996), *Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS*, International Journal of Geographical Information Science, 10(3), 335-340.

- Chen D., (2018), *Prediction of Forest Fire Occurrence in Daxing'an Mountains Based on Logistic Regression Model*, Forest Resources Management, 1, 116-122.
- Chuvieco E., Congalton R.G., (1989), *Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping*, Remote Sensing Environment 29(2), 151–158.
- Cleve C., Kelly M., Kearns F.R., Moritz M., (2008), *Classification of the wildland–urban interface: a comparison of pixel-and object-based classifications using high-resolution aerial photography*, Computers, Environment and Urban Systems, 32(4), 317-326.
- Deng O., Su G.F., Huang Q.Y., Li Y.Q., (2013), *Forest fire risk mapping based on spatial logistic model of northeastern china forest zone*, Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem, ss.181-192.
- Diaz J., Martinez J., Alvarez A., Banque M., Birkmann J., Feldmeyer D., Vayreda J., (2021), *Characterizing forest vulnerability and risk to climate-change hazards*, Frontiers in Ecology and the Environment, 19(2), 126-133.
- Dong X., Li-min D., Guo-fan S., Lei T., Hui W., (2005), *Forest fire risk zone mapping from satellite images and gis for baihe forestry bureau, Jilin, China*, Journal of Forestry Research, 16(3), 169–174.
- Dupuy J.L., (1995), *Slope and fuel load effects on fire behaviour: laboratory experiments in pine needles fuel beds*, International Journal of Wildland Fire, 5(3), 153-164.
- Finney M.A., (2007), *A computational method for optimising fuel treatment locations*, International Journal of Wildland Fire, 16(6), 702–711.
- Gai C., Weng W., Yuan H., (2011), *GIS-Based Forest Fire Risk Assessment and Mapping*, Proceedings of the 2011 Fourth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, 15-19 April, Kunming and Lijiang City, China, ss. 1240-1244.
- Garcia-Martinez E., Chas M., Touza J., (2013), *Forest fires in the wildland–urban interface: a spatial analysis of forest fragmentation and human impacts*, Applied Geography, 43, 127-137.
- Garson D., (2008), *Logistic Regression: Statnotes*, North Carolina State University, 33ss.
- Gheslughli A., Feizizadeh H. B., Blaschke T., (2020), *GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic*, Journal of Environmental Planning and Management, 63(3), 485– 495.
- Goldarag J.F., Mohammadzadeh A., Ardakani A.S., (2016), *Fire risk assessment using neural network and logistic regression*, Journal of the Indian Society of Remote Sensing volume 44, 885–894.
- Hein S., Weiskittel A.R., (2010), *Cutpoint analysis for models with binary outcomes: a case study on branch mortality*. European Journal of Forest Research, 129, 585–590.
- Hosmer D.W., Lemeshow S., (2000), *Applied Logistic Regression*, Wiley, New York, 392ss.
- Hosmer D.W., Hosmer T., Le Cessie S., Lemeshow S., (1997), *A comparison of goodness-of-fit tests for the logistic regression model*, Statistics in Medicine, 16(9), 965-980.
- Hanley J.A., McNeil B.J., (1982), *The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve*, Radiology, 143(1), 29-36.
- Hernandez-Leal P.A., Arbelo M., Gonzalez-Calvo A., (2006), *Fire risk assessment using satellite data*, Advances in Space Research, 37(4), 741-746.
- Jaiswal R.K., Mukherjee S., Raju K.D., Saxena R., (2002), *Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4(1), 1-10.
- Johnson E.A., Gutsell S.L., (1994), *Fire frequency models, methods and interpretations*, 25, 250–277.
- Kalabokidis K., Konstantinidis P., Vasilkos C., (2002), *GIS analysis of physical and human impact on wildfire patterns*. Forest fire research and wild land fire safety 2nin İçinde (Viegas D., Ed.), Millpress, Rotterdam.
- Karabulut M., Karakoç A., Gürbüz M., Yakup K., (2013), *Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Başkonuş Dağında (Kahramanmaraş) Orman Yangını Risk Alanlarının Belirlenmesi*, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 6(24), 171–179.
- Kavlak M.O., Çabuk S.N., Çetin M., (2021), *Development of forest fire risk map using geographical information systems and remote sensing capabilities: Ören case*, Environmental Science and Pollution Research, 28, 33265–33291.
- Koutsias N., Riva J., Cabello F., Renault N., (2004), *Mapping wildfire occurrence at regional scale*, Remote Sensing of Environment, 92(3), 363-369.
- Legendre P., Legendre L., (1998), *Numerical Ecology*, Elsevier, 1006ss.
- Massada A.B., Radeloff V.C., Stewart S.I., Hawbaker, T.J., (2009), *Wildfire risk in the wildland-urban interface: a simulation study in Northwestern Wisconsin*, Forest Ecology and Management, 258, 1990-1999.
- McArthur A.G., (1976), *Fire Danger Rating Systems*, FAO Consultation on Fires in the Mediterranean Region, Rome.
- Milanovic S., Markovic N., Pamucar D., Gigovic L., Kostic D., (2020), *Forest fire probability mapping in Eastern Serbia: Logistic regression versus random forest method*, Forests, 12(1), 5, doi: doi.org/10.3390/f12010005.
- Modugno S., Balzter H., Cole B., Borrell P., (2016), *Mapping regional patterns of large forest fires in wildland–urban interface areas in Europe*, Journal of Environmental Management, 172, 112-126.
- Neyişçi T., Ayaşlıgil Y., Ayaşlıgil T., Sönmezşık S., (1999), *Yangına Dirençli Orman Kurma İlkeleri*, TMMOB Orman Müh. Odası Yayın No:21, Ankara, 140ss.
- Novo A., Farinas-Alvarez N., Martinez-Sanchez J., Gonzalez-Jorge H., Fernandez-Alonso J.M., Lorenzo H., (2020), *Mapping forest fire risk—a case study in Galicia (Spain)*, Remote Sensing, 12(22), doi: 10.3390/rs12223705.
- Nuissl H., Siedentop S., (2021), *Urbanisation and land use change*, Sustainable land management in a European Context'in İçinde (Weith, T., Barkmann, T., Gaasch, N., Rogga, S., Strauß, C., Zscheischler, J., Eds.), Springer, Cham, ss.75-99.
- Pais S., Aquilue N., Campos J., Sil A., Marcos B., Martinez-Freiria F., Dominguez J., Brotons L., Honrado J.P., Regos A., (2020), *Mountain farmland protection and fire-smart management jointly reduce fire hazard and enhance biodiversity and carbon sequestration*, Ecosystem Services, 44, 101143, doi: 10.1016/j.ecoser.2020.101143.
- Pan J., Wang W., Li J., (2016), *Building probabilistic models of fire occurrence and fire risk zoning using logistic regression in Shanxi Province, China*, National Hazards, 81, 1879–1899.
- Parajuli R.R., (2020), *Citizen disaster science education for effective disaster risk reduction in developing countries*, Geoenvironmental Disasters, 7(1), 12, doi: 10.1186/s40677-020-00150-2.

- Patz J.A., Frumkin H., Holloway T., (2014), *Climate Change: Challenges and Opportunities for Global Health*, Jama, 312(15), 1565-1580.
- Pham B.T., Prakash I., (2018), *Machine Learning Methods of Kernel Logistic Regression and Classification and Regression Trees for Landslide Susceptibility Assessment at Part of Himalayan Area, India*, Indian Journal of Science and Technology, 11(12), 1-10, doi: 10.17485/ijst/2018/v11i12/99745.
- Pyne S.J., Andrews P.L., Laven R.D., (1996), *Introduction To Wildland Fire*, Wiley, Toronto, 808ss.
- Rogan J., Miller J., (2006), *Integrating GIS and remotely sensed data for mapping forest disturbance and change*, Understanding Forest Disturbance and Spatial Pattern: Remote Sensing and GIS Approaches, ss.133-172.
- Sarı F., (2020), *Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS*, Forest Ecology and Management, 480(15), 118644, doi: 10.1016/j.foreco.2020.118644.
- Setiawan I., Mahmud A., Masnsor S., Shariff A., Nuruddin A., (2004), *GIS-grid-based and multi-criteria analysis for identifying and mapping peat swamp forest fire hazard in Pahang, Malaysia*, Disaster Prevention and Management, 13(5), 379-386.
- Stoltzfus J. C., (2011), *Logistic regression: a brief primer*, Academic Emergency Medicine, 18(10), 1099-1104.
- URL-1, (2021), *Ormancılık istatistikleri 2017-2020*, Orman Genel Müdürlüğü, <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/resmi-istatistikler>, [Erişim 7 Mayıs 2021].
- URL-2, (2021), *Büyükşehir'den Yangın Mağdurlarına Destek*, Muğla Büyükşehir Belediyesi Resmî Web Sayfası, <https://www.mugla.bel.tr/haber/buyuksehirden-yangin-magdurlarina-destek>, [Erişim 2 Eylül 2021].
- URL-3, (2019), *Orman Yangınlarıyla Mücadelede Yenilikçi Yaklaşımlar Grubu Çalışma Belgesi*, Tarım Orman Şûrası, <http://www.tarimormansurasi.gov.tr/Sayfa/Detay/1416>, [Erişim 7 Mayıs 2021].
- URL-4, (2021), *Sayısal yükseklik modeli (DEM)*, Alaska Uydu Tesisi (ASF), <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>, [Erişim 5 Mayıs 2021].
- Van Wagner C.E., (1988), *Effect of slope on fires spreading downhill*, Canadian Journal of Forest Research, 18(6), doi: doi.org/10.1139/x88-125.
- Viegas D.X., (2004), *A mathematical model for forest fires blowup*, Combustion Science and Technology, 177(1), 27-51.
- Xiangwei C., Long S., Qiangxue W., Shujing W., Dao G., Haiqing H., (2011), *Response characteristics and prospect of forest fire disasters in the context of climate change in China*, College of Forestry, Northeast Forestry University.
- Xu D., Dai L., Shao G., Tang L., Wang H., (2005), *Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for baihe forestry Bureau, Jilin, China*, Journal of Forestry Research, 16, 169-174.
- Zglobicki W., Gawrysiak L., Baran-Zglobicka B., (2016), *Long-term forest cover changes, within an agricultural region, in relation to environmental variables, Lubelskie province, Eastern Poland*, Environment and Earth Sciences, 75, 1373, doi: 10.1007/s12665-016-6195-z.
- Zhang Y., Xin J., Mu L., Jiao Z., Liu H., Liu D., (2019), *A deep learning based forest fire detection approach using UAV and YOLOv3*, 2019 1st International Conference on Artificial Intelligence, ss. 1-5, doi: 10.1109/ICIAI.2019.8850815.
- Zhang Z.X., Zhang H.Y., Zhou D.W., (2010), *Using GIS spatial analysis and logistic regression to predict the probabilities of human-caused grassland fires*, Journal of Arid Environments, 74(3), 386-393.

Yanmış Alanların Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI ile Tespiti ve Analizi: Çanakkale/Gelibolu Orman Yangını

Beyza Yılmaz^{1*}, Mehveş Demirel¹, Filiz Bektaş Balçık¹

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul.

Özet

Son yıllarda artan orman yangınları bitki örtüsüne ve birçok canlıya ciddi zararlar vermektedir. Uzaktan algılama teknolojisi ve bazı algoritmalar orman yangını sonrası arazinin durumunu incelemek ve çeşitli analizler yapmak için kullanılmaktadır. Farklı özelliklere sahip uydu görüntüleri (Sentinel, Landsat, MODIS, SPOT, vb.), yangın hasarlarını belirlemek ve yanmış alanların haritalarını üretmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 6 Temmuz 2020 tarihinde Çanakkale ili Gelibolu ilçesinde meydana gelen orman yangını, Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI uydu görüntüleri ve uzaktan algılama indeksleri kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma bölgesine ait orman yangını öncesi ve orman yangını sonrası görüntüler ile Yanmış Alan İndeksi (BAI), Normalize Edilmiş Nem İndeksi (NDMI), Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR) ve Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) hesaplanmıştır. Yangın sonrası tahrip olmuş orman alanını hesaplamak amacıyla yangın öncesi ve sonrası için hesaplanan indekslerin farkları alınmıştır. Hata matrisi ile doğruluk değerlendirme için genel doğruluk, kullanıcı doğruluğu, üretici doğruluğu ve Kappa istatistiği hesaplanmış ve doğruluk değerlendirme sonuçları karşılaştırılarak Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI için performans değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda hem Landsat-8 OLI hem de Sentinel-2 MSI için en doğru indeksin Fark Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (dNDVI) olduğu bulunup Kappa sonuçları sırasıyla 0.94 ve 0.95 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler

Yanmış Orman Alanı, Sentinel-2 MSI, Landsat-8 OLI, Uzaktan Algılama İndeksleri, Doğruluk Değerlendirmesi

Detection and Analysis of Burned Areas with Sentinel-2 MSI and Landsat-8 OLI: Çanakkale / Gelibolu Forest Fire

Abstract

Recently, increasing wildfires have caused severe damage to vegetation and many living creatures. Remote sensing technologies and various algorithms are used to determine and analyze the burned forest areas. Different remotely sensed images such as Sentinel-2 MSI, Landsat, MODIS, SPOT were used to determine forest fire damage and to produce maps for burned areas. In this study, the 6 July 2020 dated wildfire that occurred in the Gallipoli district of Çanakkale province has been analyzed by using Sentinel-2 MSI and Landsat-8 OLI satellite images. Burned Area Index (BAI), Normalized Moisture Index (NDMI), Normalized Burn Ratio (NBR), and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were calculated with the pre and post-fire satellite images of the study area. The differences of the pre and post-fire indices were calculated to determine the burned forest area. Error matrix was produced for accuracy assessment. Overall accuracy, user accuracy, producer accuracy, and Kappa statistics were calculated, and performances were evaluated for different sensors and different indices by comparing the accuracy assessment results. The highest accuracy results were achieved with Differenced Normalized Difference Vegetation Index (dNDVI) for both Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI images, and Kappa statistic results were obtained as 0.94 and 0.95, respectively.

Keywords

Burned Forest Area, Sentinel-2 MSI, Landsat-8 OLI, Remote Sensing Indices, Accuracy Assessment

1. Giriş

En büyük doğal afetlerden biri olan orman yangınları ekosistem dengesizliğine ve yapısal hasara yol açar (Liu vd. 2010). Son yıllarda iklim değişiklikleriyle birlikte sık ormanlık alanlarda farklı sebeplerden dolayı orman yangını olasılığı artmıştır. Bu sebepten orman yangınlarının izlenmesi ve yangın sonrası değişimlerin tespit edilmesi sürdürülebilir çevre yönetimi için büyük önem taşımaktadır (Chung vd. 2019). Yangınlar dünyadaki birçok orman sisteminde sıklıkla gözlenmektedir ancak özellikle Akdeniz tipi ekosistemler için daha yaygındır. Orman yangınları ekolojik açıdan incelendiğinde ağaç topluluklarının hastalıklar, böcekler, rüzgâr ve don olayları gibi diğer tehlikelerden daha fazla tahrip olmasına neden olur. Yüzbinlerce yıllık gelişim sürecinde, bu ekosistemler yangınlara uyum yeteneklerini geliştirerek var olmaya devam etmişlerdir (Gonçalves ve Sousa 2017).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (212) 2853809 Faks: +90 (212) 2856587

Gönderim Tarihi / Received : 27/05/2021

E-posta: beyzayilmaz158@hotmail.com (Yılmaz B), mehvesdmrl96@gmail.com (Demirel M)

Kabul Tarihi / Accepted : 05/10/2021

bektasfi@itu.edu.tr (Bektaş Balçık F)

Akdeniz bölgesinde yer alan Türkiye'de yıllık orman yangınlarının sayısı çok fazladır ve anında müdahale ve sonrasında iyileştirme çalışmaları bölgenin çevresel zenginlikleri ve iklim özelliklerinin korunması için büyük önem taşımaktadır. Uzaktan algılama teknolojisi yanmış alanları yüksek doğrulukla ve hızlı tespit ederek sürdürülebilir çevresel izleme ve yönetimi için analiz yapmaya katkıda bulunmaktadır. Singh (1989)'e göre değişim tespiti, bir nesnenin veya olgunun durumundaki değişimleri farklı zamanlar için belirleme tekniğidir. Genel olarak, değişim tespiti, zamansal sonuçları nicel olarak analiz etmek için çok zamansal veri setlerinin kullanılmasını gerektirir (Lu vd. 2004). Değişim tespiti yöntemini kullanarak yanmış alanları belirlemek için birçok uzaktan algılama indeksi geliştirilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır (Marino ve Hajnsek 2013). Orman yangınından sonra, uydu görüntüleri, tahrip olmuş alanın yüksek doğruluk ile haritasını üretmek için önemli bir role sahiptir (Chen vd. 2015). Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI gibi orman yangınlarından sonra / sırasında yanmış alanları belirlemek için orta mekansal çözünürlüğe sahip farklı uzaktan algılanmış veriler kullanılmıştır. Navarro vd. (2017), Ağustos 2016'da Madeira yangınlarını değerlendirmek için Sentinel-2A uydusundan gelen görüntüleri kullanmışlardır. Yangın sonrası için NDVI, Yeşil Normalize Fark Bitki İndeksi (GNDVI), NBR ve kırmızı kenar bantları kullanılmıştır. Yangın sonrası koşulları değerlendirmek için kırmızı kenar bantları (NDVIreXn) kullanarak Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksini hesaplamışlardır. Sentinel-2A MSI görüntülerini kullanarak yanmış alanı ayırt etmek için NDVIreXn'in en iyi indeks olduğu önceki araştırma bulgularını teyit etmektedir.

Çolak ve Sunar (2018), İzmir ilinde Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI ile yanmış alanların haritalarını üretmek ve sonuçları değerlendirmek için sınıflandırma yöntemi kullanmışlardır. Sonuç olarak farklı yanmış alan indeksleri; BAI, Termal Normalleştirilmiş Yanma Oranı İndeksi (NBRT) ve Orta Kızılötesi Yanmış Alan İndeksi (MIRBI) yanmış ve yanmamış alanları doğru bir şekilde ayırt etmek için analiz edilmiş ve Sentinel-2 MSI verileri (10 m) ile Landsat-8 OLI verilerinden daha iyi performans sağlandığı belirtilmiştir.

Quintano vd. (2018), 11 Ağustos 2015 tarihinde Sierra Gata'da (orta-batı İspanya) bulunan büyük bir orman yangınında (yaklaşık 8000 hektar) yangın hasarını değerlendirmek için Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI uydularını karşılaştırmışlardır. Bunun için yangın öncesi ve sonrası NBR görüntülerini hesaplamışlardır. Sonuçlar, Landsat-8 OLI ile üretilen yanma şiddeti haritalarının, hasar derecesinin (κ istatistik = 0.80) ve orman yangını acil durum müdahalesinde mekansal dağılımının yeterli bir değerlendirmesini sunduğunu göstermiştir.

Chung vd. (2019), Nisan 2019'da Güney Kore, Gangwon Eyaleti, Gangneung'un iğne yapraklı ormanında orman yangınının neden olduğu hasarı değerlendirmek için Sentinel-2 MSI görüntüleriyle çalışarak 2018 ve 2019'un aynı döneminde yaygın olarak kullanılan NDVI ve NBR indeksleri ile yangından etkilenen alanları doğal olarak değişen alandan ayırmışlardır. Kappa istatistiklerini hesaplayarak NDVI indeksinin daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Liu vd. (2020), Landsat-8 OLI görüntülerini kullanarak Amerika Birleşik Devletleri, güneydoğu Avustralya ve Avrupa'da yanmış orman alanını yanmamış alandan Orta Kızılötesi Yanmış Alan İndeksi (MIRBI), Termal Normalize Yanma Oranı İndeksi (NBRT), Yakın Kızılötesi-Kısa Dalga Kızılötesi NIR-SWIR-Sıcaklık Versiyonu 2 (NSTV2), NDVI, Küresel Çevre İzleme Endeksi (GEMI), NBR, BAI, Normalleştirilmiş Fark SWIR (NDSWIR), Orta Kızılötesi Bispektral İndeks gibi indeksler kullanarak ayırmak istemişlerdir. Sonuç olarak, tüm veri setlerinde elde edilen deneysel sonuçların Normalize edilmiş Yanmış Oran SWIR (NBRSWIR) değişim tespiti yönteminin yanmış alanların tespitinde açık ara avantajları olduğunu doğruladığını bulmuşlardır. Ardından NBR, NSTV2, NBRT, MIRBI ve NDSWIR dahil olmak üzere tipik yangın indeksi tabanlı değişim tespiti yöntemleri izlediğini vurgulamışlardır.

Garcia-Llamas vd. (2019), Ağustos 2017'de 9.939 hektarın yandığı İspanya'nın kuzeybatısında bulunan Cabrera sıradağlarında meydana gelen orman yangınında yangın hasarını değerlendirmek için Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI uydu görüntülerini kullanarak dNDVI ve dNBR indekslerini hesaplamışlardır. NBR indeksinin yanma şiddetini değerlendirmede kırmızı ve NIR bantlarına ve termal bilgilere dayanan indekslere göre daha etkili olduğunu doğrulamışlardır. Yüksek çözünürlüklü Sentinel-2 MSI görüntüleri, Landsat-8 OLI görüntülerine kıyasla NBR tabanlı indekslerin daha iyi sonuç gösterdiğini vurgulamışlardır.

Kesgin Atak ve Tonyaloğlu (2020), İzmir Karabağlar'da yanmış ve yanmamış alanları ayırt etmek için spektral indekslerin performansını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Landsat-8 OLI ve Sentinel-2A uyduları kullanılarak yangın öncesi ve sonrası görüntüler için NDVI, Atmosfere Dirençli Bitki İndeksi (ARVI), (NBR ve NBR2) iki versiyonu ve BAI indeksleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak NBR2, NDVI ve ARVI indekslerinin yanmış alanları yüksek doğruluk ile ayırt edebildiği belirtilmiştir.

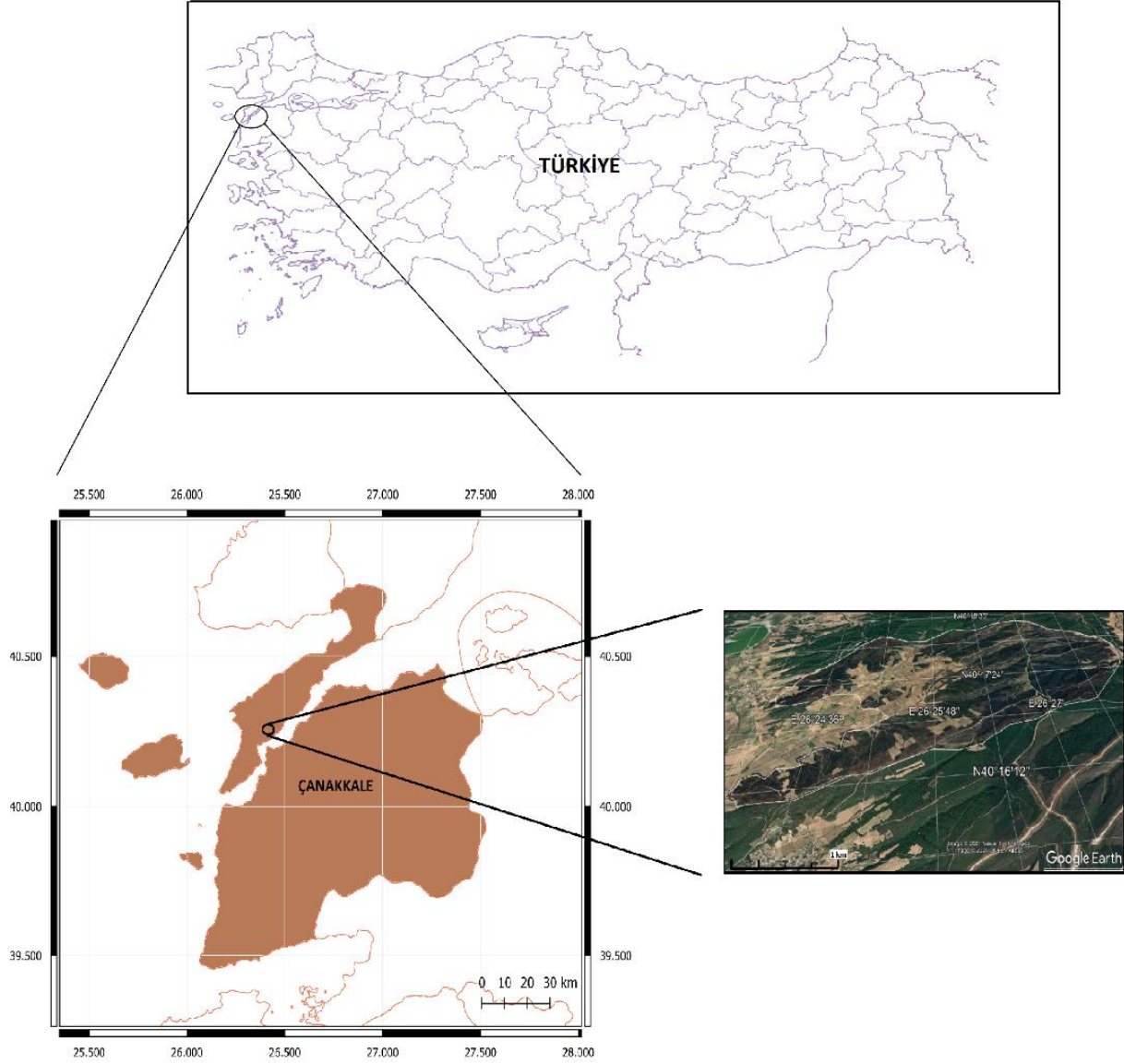
Bu çalışmanın amacı, Çanakkale ili Gelibolu ilçesinde 6 Temmuz 2020 yılında meydana gelen ve yaklaşık 1247 (ha) (12,47 km²) alanın tahrip olmasına sebep olan orman yangını sonrası Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI uydu görüntüleri ile tahrip olmuş alanın tespit edilmesidir. Çalışmada, yangın öncesi ve sonrası görüntüleri ile hesaplanan NBR, NDVI, BAI ve NDMI uzaktan algılama indeksleri ile çalışmada kullanılan indekslerin ve kullanılan uzaktan algılama verilerinin performanslarına ait değerlendirme yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, yanmış orman alanını belirlemek için yangın öncesi ve yangın sonrası Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI görüntüleri kullanılarak farklı uzaktan algılama indekslerinin ve farklı algılayıcıların performanslarını değerlendirmek için çeşitli analizler yapılmıştır.

2.1.Çalışma Alanı ve Materyal

Çalışma bölgesi olarak Çanakkale, Gelibolu Yarımadasında bulunan Yalova Köyü ve Ilgardere İlçesi arasında kalan ormanlık bölge seçilmiştir (Şekil 1). Yangın ormanlık alan civarında bulunan ekili tarım arazilerine (buğday, arpa, yulaf, çavdar, susam, fasulye, nohut tarlalarına) ve Gelibolu ormanlık alanının bir kısmına zarar vermiştir.



Şekil 1: Çalışma alanı

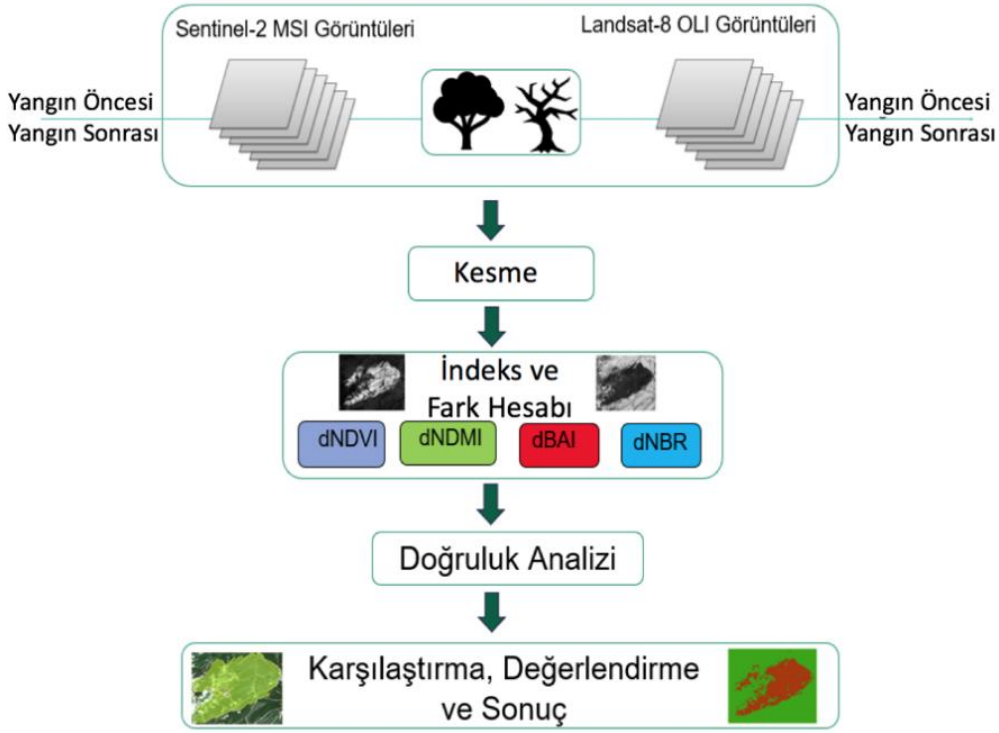
Bu çalışmada iki farklı algılayıcı kullanılmıştır. Algılayıcılardan, Sentinel-2 MSI, 10 m, 20 m ve 60 m mekansal çözünürlüğe sahip 13 spektral bant içerir (Chung vd. 2019). Bu bantlar elektromanyetik spektrumun 443-2190 nm aralığında bulunmaktadır. 290 m çerçeve genişliği vardır. Bu bantlar 10 m mekansal çözünürlüğe sahip olan dört görünür ve yakın kızılötesi-1 bant, 20 m mekansal çözünürlüğe sahip kırmızı kenar, yakın kızılötesi-2 ve kısa dalga kızılötesi bant ve 60 m mekansal çözünürlüğe sahip üç atmosferik düzeltme bandı şeklindedir. Bu uydunun öncelikli görevlerinden bir tanesi de arazi örtüsü ve kullanımına ilişkin haritalama işlemleridir (Dereli 2019). Diğer algılayıcı, Landsat-8 OLI, 30 m mekansal çözünürlüğe sahip 11 spektral bant içerir (100 m - termal, 15 m pankromatik). Landsat-8 OLI; 30 m mekansal çözünürlüğe sahip Kıyı/ Aerosol (0,433- 0,455 μm), Mavi (0,450-0,510 μm), Yeşil (0,530-0,590 μm), Kırmızı (0,640-0,670 μm), Yakın Kızılötesi (0,850- 0,880 μm), Kısa Dalga Kızılötesi (1,570-1,650 μm), Kısa Dalga Kızılötesi (2,100-2,290 μm) ve Sırrus (1,360-1,380 μm) bandına sahiptir. Özellikle uzun zamanlı değişimleri izlemek için önemli bir veri kaynağıdır (Mert vd. 2016). Sentinel-2 MSI için 29 Haziran 2020 ve 16 Temmuz 2020'de ve Landsat-8 OLI için 29 Haziran 2020 ve 15 Temmuz 2020'de olmak üzere iki çift görüntü üzerinde çalışıldı. Landsat 8 OLI ve Sentinel-2 MSI özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. NIR yakın kızılötesi, SWIR kısa dalga kızılötesi anlamlarına gelmektedir.

Tablo 1: Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI kullanılan bant özellikleri

LANDSAT-8 OLI			
Spektral Bantlar	Dalgaboyu (nm)	Piksel Boyutu (m)	Radyometrik Çözünürlük
1 (Kıyı/Aerosol)	430-455	30	16
2 (Mavi)	450-510	30	16
3 (Yeşil)	530-590	30	16
4 (Kırmızı)	640-670	30	16
5 (NIR)	850-880	30	16
6 (SWIR1)	1570-1650	30	16
7 (SWIR2)	2100-2290	30	16
8 (Pankromatik)	500-680	15	16
9 (Sırrus)	1360-1380	30	16
10 (TIRS) 1	10600-11190	100	16
11 (TIRS) 2	11500-12510	100	16
SENTINEL-2 MSI			
Spektral Bantlar	Dalgaboyu (nm)	Piksel Boyutu (m)	Radyometrik Çözünürlük
1 (Kıyı/Aerosol)	443	60	12
2 (Mavi)	490	10	12
3 (Yeşil)	560	10	12
4 (Kırmızı)	665	10	12
5 (Bitki Kırmızı Kenar)	705	20	12
6 (Bitki Kırmızı Kenar)	740	20	12
7 (Bitki Kırmızı Kenar)	783	20	12
8 (NIR)	842	10	12
8A (NIR)	865	20	12
9 (Su Buharı)	945	60	12
10 (SWIR-Sırrus)	1375	60	12
11 (SWIR1)	1610	20	12
12 (SWIR2)	2190	20	12

2.2. Yöntem

Uzaktan algılama teknolojisi ile orman yangını sonrası yanmış alanların tespiti hızlı ve yüksek doğruluk ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, ücretsiz olarak kullanılan Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI görüntüleri kullanılarak yanmış orman alanı farklı uzaktan algılama indeksleri ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 2). Orman yangının öncesi ve sonrasına ait görüntüler kullanılarak yanmış alanları belirlemek için ilk önce yangın öncesi ve sonrası olmak üzere Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI görüntüleri elde edilmiştir. Bu görüntülere kesme işlemi uyguladıktan sonra literatür araştırması sonuçlarına göre seçilen çeşitli indekslerle işleme tabi tutulmuştur. Sonrasında yangın öncesi ve yangın sonrası hesaplanan indeks görüntülerinin farkları belirlenmiştir. Bu fark indekslerinin her iki algılayıcı için ayrı ayrı doğruluk değerlendirme analizleri hata matrisleri ile yapılmış olup en sonunda karşılaştırma ve değerlendirmeler yapılarak sonuca ulaşılmıştır.



Şekil 2: Akış şeması

2.2.1 Uzaktan Algılama İndeksleri

Yanmış alanları belirlemek için spektral indekse dayalı yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Liu vd. 2020). Bu çalışmada Tablo 2’de görüldüğü gibi Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI uydu görüntüleri kullanılarak yanmış alanı belirlemek için Yanmış Alan İndeksi (BAI), Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Normalize Edilmiş Nem İndeksi (NDMI), Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR), Fark Yanmış Alan İndeksi (dBAI), Fark Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (dNDVI) Fark Normalize Edilmiş Nem İndeksi (dNDMI), Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (dNBR) seçilmiştir. Bu fark indeksleri yangın öncesi ve sonrası değişimi belirlemek için kullanılmıştır.

Tablo 2: Seçilmiş uzaktan algılama indeksleri

Kısaltma	Spektral indeks	Formül	Eşitlik
NDVI	Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi	$(NIR-RED)/(NIR+RED)$	(1)
BAI	Yanmış Alan İndeksi	$1/((0.1+RED)^2+(0.06+NIR)^2)$	(2)
NBR	Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti	$(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)$	(3)
NDMI	Normalize Edilmiş Nem İndeksi	$(NIR-MIR)/(NIR+MIR)$	(4)
dNDVI	Fark Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi	$NDVI_{önce} - NDVI_{sonra}$	(5)
dBAI	Fark Yanmış Alan İndeksi	$BAI_{önce} - BAI_{sonra}$	(6)
dNBR	Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti	$NBR_{önce} - NBR_{sonra}$	(7)
dNDMI	Fark Normalize Edilmiş Nem İndeksi	$NDMI_{önce} - NDMI_{sonra}$	(8)

NDVI, yakın kızılötesi ışığın sağlıklı bitki örtüsü ile kaplı alanlarda yüksek yansımalarının aksine, yeşil bitki örtüsünün güçlü görünür kırmızı ışığı absorbe etmesinden yararlanan en bilinen ve en çok kullanılan indekslerden biridir. Bitki örtüsü yangın nedeniyle zarar gördüğünde NDVI değerleri önemli ölçüde azalır. Bu nedenle yanmış alanlar için doğru sonuçların elde edilebileceği etkili bir yöntemdir (Fornacca vd. 2018).

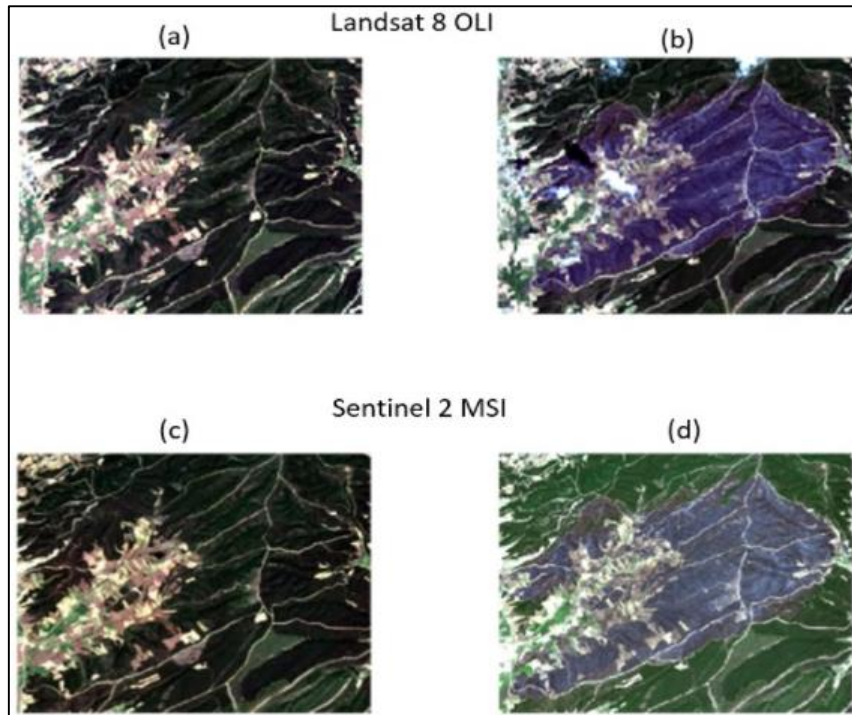
NDVI değeri -1'e yaklaşırsa bitki örtüsü azalmış 1'e yaklaşırsa bitki örtüsü artmış demektir. BAI yangından etkilenen arazi alanlarını belirlemek için spektrumun kırmızı ve NIR kısmındaki yansıma değerlerini kullanır ve formülü gereği negatif değer alma şansı yoktur. NBR, bir yangından sonra ortaya çıkan bitki örtüsündeki değişikliklere, yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantlarındaki nem içeriğine duyarlıdır (Miller ve Thode 2007). Sağlıklı bitki örtüsü, NIR'de çok yüksek bir yansıma, spektrumun SWIR kısmında düşük yansıma gösterir. NBR değerinin yüksek olması sağlıklı bitki örtüsü anlamına gelmektedir (Keeley 2009). NBR değer aralığı -1 ila 1'dir. Normalize Edilmiş Nem İndeksi (NDMI), NDVI ile benzer şekilde hesaplanır, ancak kırmızı dalga boyları yerine kısa dalga kızılötesi (SWIR) kullanır. NDMI, su stresi sorunları olan yeşil alan veya tarım alanlarını anında belirlemeyi mümkün kılar. NDMI da -1 ile 1 arasında değer alır ve 1'e yaklaştığında yeterli suyun olduğunu, su stresinin olmadığını ifade eder. NIR ile karşılaştırıldığında, SWIR bölgede yansıtımdaki azalma doku suyunun emilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle indeks değeri bitki örtüsünün su içeriğini hesaplamak için kullanılabilir.

2.2.2 Doğruluk Değerlendirmesi

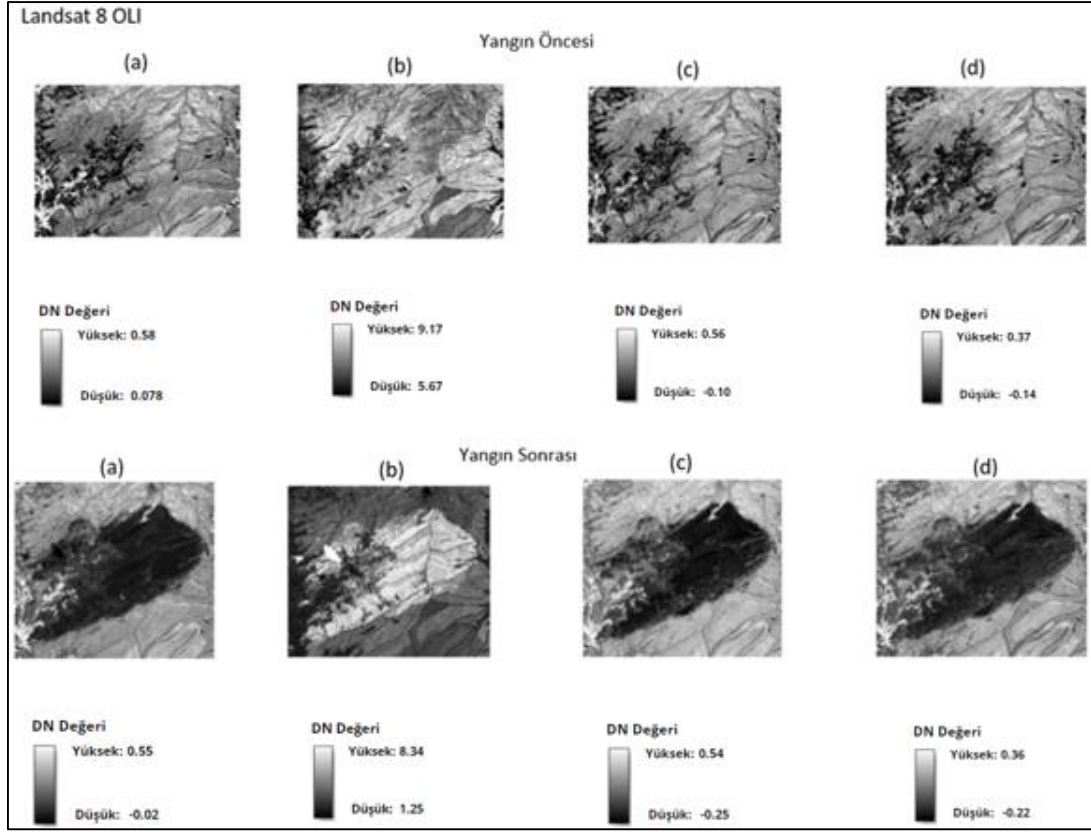
Tüm işlemlerden sonra sonuçların tematik doğruluğunu belirlemek için doğruluk değerlendirme analizi yapmak önemlidir. Doğruluk değerlendirme, piksellerin doğru arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarına ne kadar doğru atandığının değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Rwanga ve Ndambuki 2017). Bu çalışmada, hesaplanan indekslerin tematik doğruluğunu belirlemek için hata matrisi yöntemi kullanılmıştır. Hata matrisi, referans verilerine göre o kategoriye karşılık gelen piksel sayısını ifade eden satırlar ve sütunlar içeren bir kare matristir (Flasse vd. 2005). Kullanıcı Doğruluğu (KD), Üretici Doğruluğu (ÜD), Genel Doğruluk (GD) ve Kappa İstatistiği oluşturulan hata matrisi kullanılarak hesaplanmaktadır.

3. Bulgular

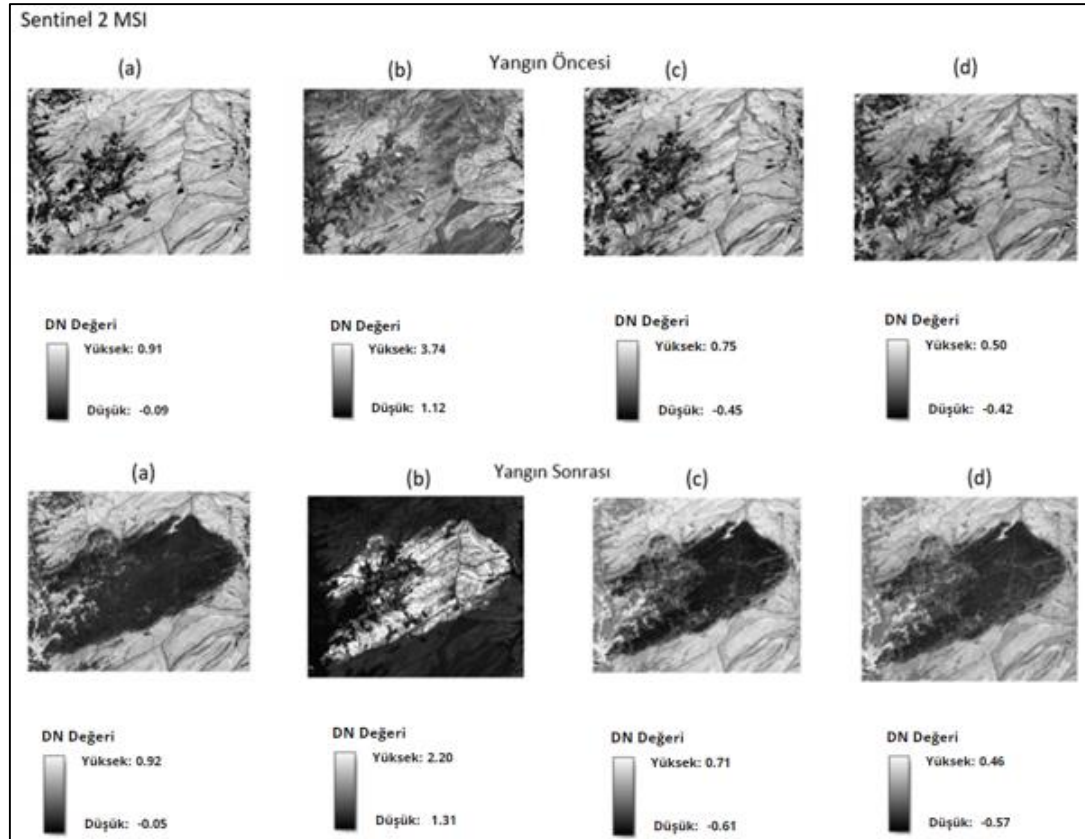
Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI uyduları kullanılarak Çanakkale / Gelibolu orman yangını sonrası tahrip olmuş alan tespit edilmiş ve farklı yöntemler ile farklı verilerin performansları doğruluk değerlendirme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yangında hasar gören bölgeleri tespit etmek için sırasıyla kırmızı ve NIR, NIR ve SWIR, NIR ve MIR, kırmızı ve NIR bantlarından NDVI, NBR, NDMI, BAI indeksleri hesaplanmıştır. Şekil 3'te Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI için yangın öncesi ve sonrasına ait gerçek renk görüntüleri gösterilmiştir. Şekil 4'te Landsat-8 OLI ve Şekil 5'te Sentinel-2 MSI için orman yangını öncesi ve sonrası için hesaplanan uzaktan algılama spektral indekslerinin sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 3: Landsat-8 OLI ve Sentinel 2 MSI kesme görüntüleri a) yangın öncesi c) yangın öncesi b) yangın sonrası d) yangın sonrası



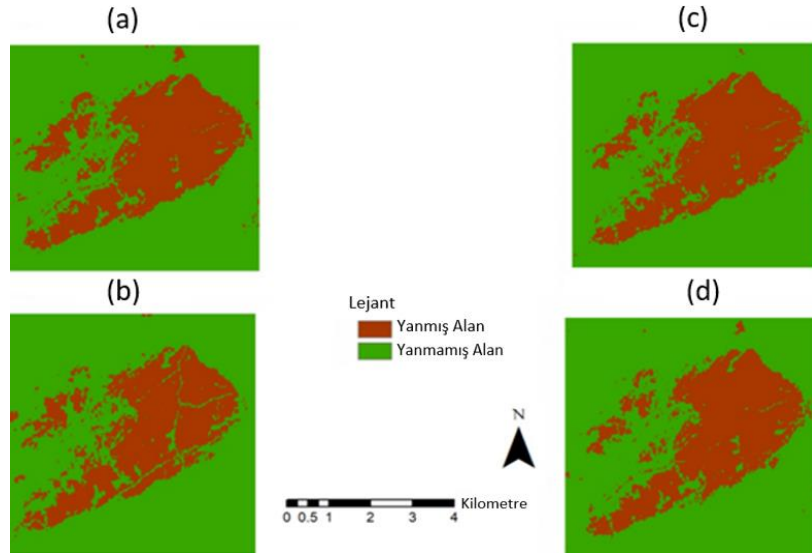
Şekil 4: Landsat-8 OLI spektral yanma indeksleri a) NDVI b) BAI c) NBR d) NDMI



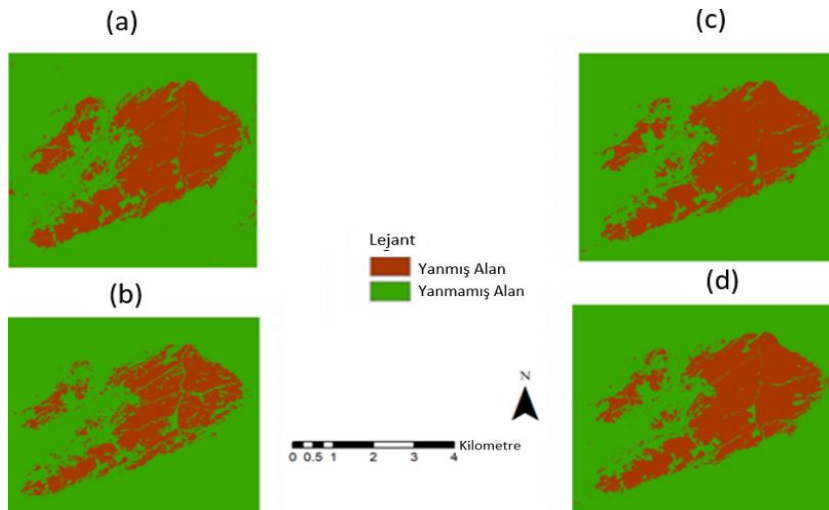
Şekil 5: Sentinel 2 MSI spektral yanma indeksleri a) NDVI b) BAI c) NBR d) NDMI

Yangın öncesi ve sonrası Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI görüntüleri ile hesaplanan indeksler görsel olarak yorumlandığında yanmış alanların sahip olduğu yansıtım değerinin BAI indeksi için yangın öncesine göre daha yüksek (beyaz renkli), diğer hesaplanan indeksler NDVI, NBR ve NDMI için ise daha düşük değerlere (koyu renkli) sahip olduğu gözlenmiştir. BAI indeksinin değerlerinin diğer indekslerden yüksek olduğu gözlenmiştir. NDVI indeksi öncesi ve sonrası için değer aralığı yaklaşık -1 ile 1 arasında elde edilmiştir. NDVI değerinin yangın sonrası negatife düşmesinin nedeni ise yangından dolayı bitki örtüsünün zarar görmüş olmasıdır çünkü NDVI değeri -1'e yaklaşırsa bitki örtüsü azalmış, +1'e yaklaşırsa bitki örtüsü artmış demektir. Aynı şekilde NBR değeri yangın sonrası negatife düşmüştür çünkü sağlıklı bitki örtüsü azalmıştır. NDMI değerinin negatife düşmesinin nedeni ise su ve nem kaybından dolayı su stresi oluşmuştur.

Yangından zarar görmüş alanların tespit edilmesi için yangın öncesi ve yangın sonrası görüntülerinden hesaplanan indekslerin farkları alınarak dNDVI, dNBR, dNDMI ve dBAI indeksleri seçilen bölge için elde edilmiştir. Şekil 6'da Landsat-8 OLI ve Şekil 7'de Sentinel-2 MSI için fark indeksleri gösterilmiştir. Yanmış orman alanının yanmamış alanlardan ayırt edilebilmesi için yoğunluk dilimleme (density slicing) sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, amaç yanmış alanların en yüksek doğrulukla belirlendiği algılayıcı ve indeksi belirlemektir. Bu sebepten, yoğunluk dilimleme yöntemi kullanılarak elde edilen fark indeks görüntüleri yanmış alanlar ve yanmamış alanlar olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Yoğunluk dilimleme yöntemi görsel yorumlama ve görüntü histogram değerlerini dikkate alarak gerçekleştirilmiş ve her bir fark indeksi ve algılayıcı için belirlenen farklı eşik değerler ile yanmış alanlar diğer alanlardan ayırt edilmiştir. Bu değerlendirme esnasında yanmış orman alanına ait Maxar Teknoloji tarafından elde edilen yüksek çözünürlüklü Google Earth görüntüleri referans olarak kullanılmıştır.



Şekil 6: Landsat-8 OLI için fark indeksleri a) dNDVI b) dBAI c) dNBR d) dNDMI



Şekil 7: Sentinel-2 MSI için fark indeksleri a) dNDVI b) dBAI c) dNBR d) dNDMI

Elde edilen fark görüntülerinin doğruluk değerlendirmesi işlemi hata matrisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Doğruluk değerlendirmesi için rastgele dağılıma sahip bölgeyi ve tespit etmek istediğimiz iki kategoriyi homojen olarak temsil edecek 50 yanmış alan ve 50 yanmamış alan için olmak üzere toplam 100 test noktası seçilerek hesaplanan tüm fark indeksleri ve iki farklı algılayıcı için hata matrisleri oluşturulmuştur. Kullanıcı Doğruluğu, Üretici Doğruluğu, Genel Doğruluk ve son olarak Kappa istatistiği için hesaplanan değerler Tablo 3'te gösterilmiştir. Elde edilen doğruluk değerlendirme sonuçlarına göre dNDVI, hem Landsat-8 OLI hem de Sentinel-2 MSI için en yüksek genel doğruluk ve Kappa istatistiği değerine sahip indeks olarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre Landsat-8 OLI için en yüksek doğruluk değeri 0.94 ve Kappa değeri 0.95 olarak hesaplanmıştır. Sentinel-2 MSI görüntüsünden elde edilen sonuçlara göre dNDVI genel doğruluk değeri 0.96 ve Kappa değeri 0.95 olarak hesaplanmıştır. En düşük genel doğruluk değeri Landsat-8 OLI için dNBR ile 0.82 ve Sentinel-2 MSI için dBAI ile 0.83 olarak bulunmuştur. Kappa istatistiği değerleri ise 0.81 dNBR (Landsat-8 OLI) ve 0.81 dBAI (Sentinel-2 MSI) olarak hesaplanmıştır. En yüksek kullanıcı doğruluğu yanmış alanlar için hem Landsat-8 OLI hem de Sentinel-2 MSI için dNDVI ile 0.94 olarak hesaplanmıştır. Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI için en yüksek üretici doğruluğu ise yanmış alanlar için dNDVI ile 0.96 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak seçilen indeksler arasında seçilen bölge için yanmış orman alanını en yüksek doğruluk ile belirleyen indeks dNDVI olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuç [Kesgin Atak ve Tonyaloğlu \(2020\)](#) İzmir Karabağlar yangını için Landsat-8 OLI verileri ile gerçekleştirmiş oldukları çalışma ile desteklenmektedir. dNDVI indeksi ile yüksek doğruluk elde edilmesinin en önemli sebebi seçilen çalışma bölgesi bitki örtüsünde meydana gelen hasarın (yeşil bitkinin azalması ya da tamamen ortadan kalkması) en doğru şekilde kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar ile ifade edilmesidir. Elde edilen hata matrisi ile hesaplanan dNDVI doğruluk değerlendirme sonuçlarına göre ise Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI görüntülerinin çok benzer performans gösterdikleri belirlenmiştir. Genel doğruluk ve Kappa istatistiği değerlerinde dNDVI için sadece 0.01'lik bir fark ile Sentinel-2 MSI görüntüsünün performansının daha yüksek olduğu görülmüştür. Diğer indeksler için sonuçları değerlendirdiğimizde Landsat-8 OLI için en düşük genel doğruluk ve Kappa değeri dNBR indeksi ile hesaplanırken Sentinel-2 MSI için en düşük değerler dBAI için elde edilmiştir.

Tablo 3: Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI için doğruluk değerlendirmesi sonuçları

Landsat-8 OLI ve Sentinel 2 MSI Fark İndeksleri için Doğruluk Değerleri						
Landsat-8 OLI	Kullanıcı Doğruluğu		Üretici Doğruluğu		Genel Doğruluk	Kappa Doğruluğu
	Yanmış	Yanmamış	Yanmış	Yanmamış		
dNDVI	0.94	0.96	0.96	0.94	0.95	0.94
dNBR	0.72	0.92	0.73	0.9	0.82	0.81
dBAI	0.78	0.94	0.8	0.92	0.86	0.84
dNDMI	0.74	0.96	0.76	0.94	0.85	0.83
Sentinel-2 MSI	Kullanıcı Doğruluğu		Üretici Doğruluğu		Genel Doğruluk	Kappa Doğruluğu
	Yanmış	Yanmamış	Yanmış	Yanmamış		
dNDVI	0.94	0.98	0.96	0.96	0.96	0.95
dNBR	0.84	0.94	0.86	0.92	0.89	0.87
dBAI	0.68	0.98	0.69	0.96	0.83	0.81
dNDMI	0.78	0.96	0.8	0.94	0.87	0.85

Doğruluk değerlendirmesi işleminden sonra Google Earth üzerinden Maxar Teknoloji tarafından elde edilmiş yüksek mekansal çözünürlüklü veri üzerinden sayısallaştırma ile elde edilen yanmış alan sınırı farklı indeksler ile Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI görüntülerinden elde edilen yanmış alan değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen değerler Tablo 4'te gösterilmiştir. Referans veri ile elde edilen yanmış alan sınırı 12.47 km² olarak hesaplanmıştır. Referansa en yakın alan değeri hem Landsat-8 OLI hem de Sentinel-2 MSI için dNDVI indeksi ile elde edilmiştir. Sonra sırasıyla dNBR ve dNDMI'nın takip etmesiyle beraber son olarak dBAI'nın referans ile en farklı alan değerine sahip olduğu gözlenmiştir. İndekslerin farkı ile hesaplanan alanların her iki görüntü için de referans veriden üretilen alan değerinden düşük olduğu tespit edilmiştir.

Alan fark sonuçları incelendiğinde Landsat-8 OLI kullanılarak hesaplanan dNDVI indeksi ile referans veriye en yakın yanmış alan değerine ulaşıldığı belirlenmiştir. Alan karşılaştırması sonucunda diğer kullanılan tüm indeksler için en iyi performans Landsat-8 OLI verisi ile elde edilmiştir.

Tablo 4: Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI için referans ve fark indeksleri alan sonuçları

	Referans (km ²)	dBAI (km ²)	Fark (km ²)	dNDVI (km ²)	Fark (km ²)	dNDMI (km ²)	Fark (km ²)	dNBR (km ²)	Fark (km ²)
Landsat-8 OLI (km²)	12.47	9.75	2.72	11.25	1.22	10.19	2.28	10.52	1.95
Sentinel-2 MSI (km²)	12.47	7.83	4.64	10.85	1.62	9.83	2.64	10.09	2.38

Bu çalışmada, ücretsiz olarak elde edilen farklı çözünürlük özelliklerine sahip iki farklı uydu görüntüsünün performansları seçilen farklı indeksler için yanmış orman alanının belirlenmesi için test edilmiştir. Çalışmada iki farklı yöntem ile doğruluk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Hata matrisi kullanılarak elde edilen doğruluk değerlendirme sonuçları her iki algılayıcı için birbirine çok yakın çıkmıştır. Değerlere bakıldığında Sentinel-2 MSI görüntüsü daha yüksek bir performansa sahiptir. Referans veri ile yapılan alan karşılaştırmasında ise Landsat-8 OLI verisinin yanmış alanı daha doğru belirlediği tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

Dünyanın en önemli doğal zenginlik kaynağı ormanlardır. Orman yangınları çok değerli ekolojik ve çevresel faydaya sahip orman alanları için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Uzaktan algılama sürdürülebilir yangın yönetimi ve orman yangınları sonrası tahrip edilmiş alanların yüksek doğrulukla tespit edilmesi için yaygın olarak kullanılan etkili bir yöntemdir. Yanmış alanı tespit etmek için farklı spektral indeksler kullanılabilir. Bu çalışmada, 6 Temmuz 2020 tarihinde Çanakkale ili Gelibolu ilçesinde meydana gelen orman yangını sonucunda yanan alanı Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI uydu görüntüleri ile tespit etmek ve haritalarını üretmek için literatürde yaygın olarak kullanılan indeksler kullanılmıştır. Seçilmiş spektral indekslerin (BAI, NDVI, NDMI ve NBR) ve iki farklı algılayıcının (Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI) orman yangını sonrası yanmış alanı yanmamış alanlardan ayırma kapasitesi doğruluk değerlendirmesi yöntemleri ile analiz edilmiştir. Yanarak tahrip edilmiş orman alanı en yüksek doğruluğa sahip dNDVI yöntemi ile Landsat-8 OLI ile 11.25 km² ve Sentinel-2 MSI ile 10.85 km² bulunmuştur.

Sonuç olarak, özellikle ücretsiz olarak elde edilen uzaktan algılama görüntüleri yanmış alanların tespitinde ve analizinde büyük bir öneme sahiptir. Bu analizler bölgede meydana gelen tahribatın büyüklüğü, şiddeti ve dağılımı hakkında yüksek doğruluğa sahip bilgi üretimine imkan verir. Yanmış alanların izlenmesi ve belirlenmesi, yangın sırasında etkili müdahale ve yangın sonrası hasar görmüş alanların yeniden ağaçlandırılması çalışmaları için uzaktan algılama görüntüleri büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, orman yangını tespitinde uzaktan algılama uygulamaları, hızlı ve güvenilir sonuçlar için daha yaygın kullanılmalıdır.

Kaynaklar

- Chen G., Metz M.R., Rizzo D.M., Meentemeyer R.K., (2015), *Mapping burn severity in a disease-impacted forest landscape using Landsat and ASTER imagery*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 40(2015), 91-99.
- Chung, M., Jung, M., & Kim, Y., (2019), *Wildfire damage assessment using multi-temporal Sentinel-2 data*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 42(3/W8), 97-102.
- Çolak E., Sunar A.F., (2018), *Remote sensing & GIS integration for monitoring the areas affected by forest fires: A case study in Izmir, Turkey*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences-ISPRS Archives, 42(3W4), 165-170.
- Dereli M., (2019), *Sentinel-2A uydu görüntüleri ile Giresun il merkezi için kısa dönem arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(2), 361-368.
- Flasse S., (2005), *Remote sensing and GIS accuracy assessment*, The Photogrammetric Record, 20(111), 306-307.
- Fornacca D., Ren G., Xiao W., (2018), *Evaluating the best spectral indices for the detection of burn scars at several post-fire dates in a mountainous region of northwest Yunnan, China*, Remote Sensing, 10(8), 1196, doi: 10.3390/rs10081196.
- García-Llamas P., Suárez-Seoane S., Fernández-Guisuraga J. M., Fernández-García V., Fernández-Manso A., Quintano C., Taboada A., Marcos E., Calvo L., (2019), *Evaluation and comparison of Landsat-8, Sentinel-2 and Deimos-1 remote sensing indices for assessing burn severity in Mediterranean fire-prone ecosystems*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 80(2019), 137-144.
- Gonçalves A.C., Sousa A.M.O., (2017), *The fire in the mediterranean region: a case study of forest fires in Portugal*, Mediterranean Identities - Environment, Society, Culture, Prof. Borna Fuerst-Bjeliš (Ed.), ss. 305-335. doi:10.5772/intechopen.69410.
- Keeley J.E., (2009), *Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage*, International Journal of Wildland Fire, 18(1), 116-126.

- Kesgin Atak B., Tonyaloğlu E., (2020), *Evaluating spectral indices for estimating burned areas in the case of Izmir/Turkey*, Eurasian Journal of Forest Science, 8(1), 49-59.
- Liu Y., Stanturf J., Goodrick S., (2010), *Trends in global wildfire potential in a changing climate*, Forest Ecology and Management, 259(4), 685-697.
- Liu S., Zheng Y., Dalponte M., Tong X., (2020), *A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data*, European Journal of Remote Sensing, 53(1), 104-112.
- Lu D., Mausel P., Brondízio E., Moran E., (2004), *Change detection techniques*, International Journal of Remote Sensing, 25(12), 2365-2401.
- Marino A., Hajnsek I., (2013), *A change detector based on an optimization with polarimetric SAR imagery*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 52(8), 4781-4798.
- Mert A., Aksan ř., Özkan U., Özdemir İ., (2016), *Landsat-8 OLI uydu görüntüsünden çıkarılan arazi çeşitliliği ile kuş türü zenginliği arasındaki ilişkiler*, Turkish Journal of Forestry 17(1), 68-72.
- Miller J.D., Thode A.E., (2007), *Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR)*, Remote Sensing of Environment, 109(1), 66-80.
- Navarro G., Caballero I., Silva G., Parra P.C., Vázquez Á., Caldeira R., (2017), *Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 58(2017), 97-106.
- Quintano C., Fernández-Manso A., Fernández-Manso O., (2018), *Combination of Landsat and Sentinel-2 MSI data for initial assessing of burn severity*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 64(2018), 221-225.
- Rwanga S., Ndambuki J., (2017), *Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS*, International Journal of Geosciences, 8(04), 611-622.
- Singh A., (1989), *Digital change detection techniques using remotely sensed data*, International Journal of Remote Sensing, 10(6), 989-1003.

Delphi Yöntemi Kullanarak Afet Sonrası Geçici Barınma Alanı Seçimi ve Planlaması Ölçütlerinin Belirlenmesi: İzmir/Seferihisar Örneği

Hande Dayanır¹, Ali Kemal Çınar^{2,*}, Yenal Akgün³, Özşen Çorumluoğlu⁴

¹İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Dönüşüm Anabilim Dalı, 35620, İzmir.

²Çiğli Belediyesi, 35630, İzmir.

³Yaşar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 35100, İzmir.

⁴İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 35620, İzmir.

Özet

Afet sonrası geçici barınma alanlarının gerekli ölçütlere uygun olarak yer seçimlerinin yapılması ve vaziyet planlarının tasarımı, afet ve risk yönetimi çalışmalarının en önemli konularındandır. Türkiye’de bu konu Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) tarafından koordine edilmektedir. AFAD tarafından 2015 yılında ilan edilen “Geçici Barınma Merkezlerinin Kurulması, Yönetilmesi ve İşletilmesi Hakkında Yönerge” ulusal ölçütleri büyük ölçüde tanımlasa da, uluslararası literatürdeki kadar detaylandırılmamış ve ölçütler önemlerine göre derecelendirilmemiştir. Ayrıca, AFAD tarafından İzmir ili için önerilmiş olan afet sonrası geçici barınma alanlarının, ulusal ve uluslararası mevzuata ve literatürdeki çalışmalarda önerilen ölçütlere uygunluğunun değerlendirilmesi de bilinebildiği kadarıyla henüz yapılmamıştır. Bu kapsamda çalışmanın ilk amacı, afet sonrası geçici barınma alanlarının yer seçimi, planlama ve tasarımına dair ölçütlerin Delphi yöntemi kullanılarak derlenmesi, gruplanması, tanımlanması ve derecelendirilmesidir. Delphi yöntemi ile ortaya konan yer seçim-planlama ölçütleri listesi yardımıyla İzmir için önerilmiş olan afet sonrası geçici barınma alanlarının uygunluk analizinin yapılması çalışmanın bir diğer amacıdır. Delphi yöntemi ile yapılan üç aşamalı panel sonucunda oluşan ölçütler listesine göre, İzmir’de sınırlı sayıda alanın gereklilikleri karşılayabildiği tespit edilmiştir. Bu alanlardan biri olan Seferihisar2 alanının neden en uygun alan olduğu açıklanmış, yine Delphi yöntemi ile elde edilen tasarım-uygulama ölçütlerine dayanarak alan üzerinde örnek bir konteyner-kent vaziyet planı yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Afet Sonrası Geçici Barınma Alanları, Delphi Yöntemi, Konteyner-kent Tasarımı

Post-Disaster Temporary Shelter Area Selection and Planning by Using Delphi Method: Izmir/Seferihisar Case

Abstract

Site selection of the post-disaster temporary shelter areas and their site plan designs constitute one of the most important issues of disaster and risk management studies. In Turkey, the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) coordinates this research. Although the "Directive on the Establishment, Management and Operation of Temporary Shelter Centers" released by AFAD in 2015 mostly defines the national criteria, it is not as detailed as the regulations revealed in the international literature. Moreover, the criteria announced in this directive are not ranked according to their importance. As another important gap, convenience of the post-disaster temporary shelter areas suggested by AFAD for the province of Izmir has not been yet evaluated according to the national and international legislations. In order to meet these gaps, the first aim of this study is to compile, group, define and rank the criteria for the site selection and planning of post-disaster temporary shelter areas using Delphi method. The second aim of the study is to analyze the convenience of the post-disaster temporary shelter areas, which were suggested for Izmir by AFAD, using the site selection/planning criteria put forward by the Delphi method. According to the criteria list formed as a result of the three-stage Delphi panels, it has been determined that a limited number of areas in Izmir can meet the requirements. It has been explained why Seferihisar2, one of these areas, is the most suitable area, and a sample container-city site plan has been made on the area based on the design/implementation criteria obtained with the Delphi method.

Keywords

Post-disaster Temporary Shelter Areas, Delphi Method, Container-city Design

1. Giriş

Dünya çapında her yıl binlerce insan doğal afetlerden etkilenmektedir. Yaşanan afetlerden sonra ortaya çıkan ihtiyaçlara bakıldığında barınma unsurunun -özellikle de afetzedelerin düzenlerini tekrar kurabilmeleri için güvenli barınma alanlarının sağlanmasının- afet yönetimi açısından öncelikli bir konu olduğu açıktır.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (232) 5206000 Faks: +90 (232) 3769969

Gönderim Tarihi / Received : 12/05/2021

E-posta: handedayanir@gmail.com (Dayanır H), alikemal35@gmail.com (Çınar A.K)

Kabul Tarihi / Accepted : 28/10/2021

yenal.akgun@yasar.edu.tr (Akgün Y), ozsen.corumluoglu@ikc.edu.tr (Çorumluoğlu Ö)

Bu konu, Türkiye'nin de büyük çoğunluğunun, deprem başta olmak üzere, afet riski taşıması sebebiyle bizler için yaşamsal derecede önemli konuların başında gelmektedir. Türkiye'de afet ve risk yönetimine dair konular, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) tarafından koordine edilmektedir. AFAD tarafından 04.11.2015'te yayımlanan "Geçici Barınma Merkezlerinin Kurulması, Yönetilmesi ve İşletilmesi Hakkında Yönergesi" (AFAD 2015) hâlihazırda geçici barınma alanlarının yer seçimi ve tasarımı konusunda Türkiye'deki en önemli kılavuz belge durumundadır. Yönergede belirli standartlar ortaya kosa da, yer seçim, planlama ve diğer ölçütler uluslararası literatürdeki kadar detaylandırılmamış, ölçütler önemlerine göre derecelendirilmemiştir. AFAD yönergesi dâhil, daha önceki araştırmalarda ele alınmış olan bir dizi ölçüt listesini Delphi yöntemiyle derleyerek bu eksikliğe cevap aramak bu çalışmanın motivasyonlarından biridir.

Ege Bölgesi ve İzmir il merkezinin kurulduğu alan, Türkiye'deki birçok bölge gibi depremsellik açısından oldukça risklidir. Tarih boyunca bu alan büyük depremlerden etkilenmiş, can kayıpları ve büyük yıkımlar ile karşılaşmıştır. Özellikle günümüzde İzmir Körfezi kıyısında kalan ve il nüfusunun büyük çoğunluğunun yaşadığı ilçelerde, zemin etkisi ve yapısal problemlerden kaynaklı yüksek riskler halen sürmektedir. Bu riskler, 30 Ekim 2020 tarihinde İzmir-Seferihisar Körfezi açıklarında gerçekleşen Mw=6.6 büyüklüğündeki Ege Denizi Depremi ile kendisini tekrar göstermiş, afet yönetimi ve planlamasının önemini tekrar gündeme taşımıştır (AFAD 2020).

İzmir'de afet ve risk yönetimi çalışmalarını düzenlemek için AFAD tarafından 2019 yılında İzmir Afet Müdahale Planı (TAMP-İzmir) yayımlanmıştır. Bu plan kapsamında tüm ilçeler için "Afet Sonrası Toplanma Alanları" ilan edilmiş olmasına rağmen, "Afet Sonrası Geçici Barınma Alanları" bilinebildiği kadarıyla halen kesinleşmemiştir (AFAD 2019). Bu konudaki tek güncel çalışma, AFAD İzmir İyileştirme Şube Müdürlüğü uzmanlarınca yürütülmüş Geçici ve Acil Barınma Alanları (GABA) çalışmasıdır (AFAD 2017). GABA kapsamında önerilen afet sonrası geçici barınma alanları incelendiğinde, belirlenen alanların coğrafi ve altyapı özelliklerinin ulusal ve uluslararası ölçütlere göre kapsamlı bir şekilde analiz edilmediği görülmektedir. Bu çalışmanın diğer bir motivasyonu da literatürdeki bu eksiği doldurmaktır.

Özetlenecek olursa, bu çalışmanın ilk amacı afet sonrası geçici barınma alanlarının yer seçimi, planlama ve tasarımına dair AFAD ve çeşitli akademik çalışmalarca ortaya konmuş olan bir dizi ölçüt listesinin Delphi yöntemi kullanılarak derlenmesi, detaylandırılması ve derecelendirilmesidir. Çalışmanın ikinci amacı ise, Delphi yöntemi ile üç aşamalı bir çalışma sonunda ortaya çıkan ölçütler listesi yardımıyla İzmir için önerilmiş olan afet sonrası geçici barınma alanlarının yeterliliklerinin analiz edilmesidir.

Çalışmada Delphi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, araştırılan konunun uzmanlarından görüş ve değerlendirme alabilmek amacıyla, uzmanlara birbirinin devamı niteliğinde gönderilen anket turları sonuçlarına dayanan bir tahmin süreci olup, bir çeşit karar verme yöntemidir (Linstone ve Turoff 1975; Hsu ve Sandford 2007). Çalışmada Delphi yönteminin tercih edilme sebebi ise, bu yöntemin uzman görüşlerine dayanan bir karar verme süreci olması ve çalışmaya konu olan ölçütlerin belirlenmesi, gruplanması ve derecelendirilmesinde uzman kararlarına ihtiyaç duyulmasıdır. Literatürdeki birçok çalışmada afet sonrası geçici barınma/toplanma alanları yer seçim ölçütleri, önceki bir araştırma ya da mevzuattan hazır olarak alınarak kullanılmıştır. Ancak bu çalışma, öncelikli olarak literatürdeki ölçütler listelerinden ve ilgili mevzuattan yararlanarak geçici barınma alanlarının yer seçimi ve planlamasına dair ölçütler listesini yeniden oluşturmakta, bu listeyi yer seçim-planlama ve tasarım-uygulama ölçütleri olarak gruplamakta ve ölçütleri de önemlerine göre derecelendirmektedir. Tüm bu işlemleri yapabilmek için de uzman görüşlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Delphi yöntemi kapsamında çalışmada altı uzmanın görüşlerine başvurulmuştur. Bu uzmanların ikisi üniversitelerden, ikisi İzmir'deki belediyelerden, ikisi de AFAD'dan seçilmiştir. Bu üç aşama süresince değerlendirmeler dijital araçlar ile çevrim içi olarak yapılmış, uzmanlar bir araya gelmemiş, birbirlerinden etkilenmeleri önlenmiştir. Her etap sonucunda ortaya çıkan sonuçlar, uzmanlarla teker teker paylaşılmış ve yeni/ilave yorumları istenmiştir. Çalışma sonunda yer seçim-planlama ölçütleri açısından yeterlilikleri en iyi sağlayan alanda, yine Delphi yöntemi ile elde edilen tasarım-uygulama ölçütlerine dayanarak ve AFAD tarafından gerçekleştirilmiş örnek projelerin ana tasarım ölçütleri kullanılarak bir konteyner-kent vaziyet planı yapılmış, ilgili ölçütlerin uygunluğu uygulamalı olarak kontrol edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma temel olarak beş bölümden oluşmaktadır. Girişi takip eden ikinci bölümde afet sonrası geçici barınma alanlarının yer seçimi ve planlamasına dair literatür incelenmiştir. Üçüncü bölümde afet sonrası geçici barınma alanlarının seçim, planlama ve tasarımında kullanılan ulusal ve uluslararası standartlar ortaya konmuştur. Dördüncü bölüm, Delphi Yönteminin uygulama etaplarına ayrılmıştır. Beşinci bölümde ise uygun özelliklere sahip bir bölgede barınma alanı tasarımı yapılırken nelere dikkat edilmesi gerektiği Seferihisar2 pilot çalışması özelinde açıklanmaya çalışılmıştır. Böylece bir geçici barınma alanının üst ölçekten alt ölçeğe kadar yer seçim, planlama ve tasarım ölçütleri ortaya konmaya çalışılmıştır. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları tartışılmıştır.

2. Afet Sonrası Geçici Barınma Alanlarına İlişkin Literatür Çalışmaları

Bu çalışmada afet sonrası geçici barınma alanlarına dair literatür üç ana başlıkta incelenmiştir: İlk başlık, geçici barınma alanlarının yer seçimlerinin yapılmasına dair çalışmalardır.

Bu çalışmalar hem kent ya da bölge ölçeğinde geçici barınma alanı olarak kullanılabilen en uygun alanların bulunmasına, hem de var olan alanların ulusal ve uluslararası ölçütlere uygunluğunun analizine odaklanır. Bu konuda kullanılan çeşitli model ve yöntemler de bu bölümde anlatılmıştır. İkinci başlık afet sonrası geçici barınma alanlarının yer seçim ve planlama ölçütlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalardır. Genelde çeşitli afet tipleri ve bölgesel şartlara göre oluşturulmuş ölçüt listelerinin derlemesi ya da yeni ölçüt setlerinin üretilmesini içerir. Son başlık ise afet sonrası geçici barınma birimlerinin tasarımına odaklanan çalışmalardır.

Afet sonrası geçici barınma alanlarının yer seçimine dair var olan literatüre bakıldığında, bu konunun afet yönetiminin en önemli konularından birisi olduğu, ulusal ve uluslararası çok sayıda çalışmaya konu olduğu görülmektedir. Dünyanın birçok ülkesinde afet sonrası acil/geçici barınma alanlarının seçimi ve planlanması için çalışmalar yapılmış ve bu konu ile ilgili çeşitli modeller oluşturulmuştur. Bu çalışmalar Tablo 1’de şu şekilde özetlenmiştir:

Tablo 1: Geçici barınma alanlarının seçimi ile ilgili yapılan önceki çalışmalar

Yazar	Yıl	Ülke	Problem	Yöntem
Kongsomsaksakul vd.	2005	ABD	Sel/Geçici barınma alanı yer seçimi	Genetik algoritma/ÇKKV (Çok kriterli karar verme)
Kelly	2005	Global	Geçici barınma alanı yer seçimi	Vaka analizi ve literatür taraması
Yiğitcanlar vd.	2005	Türkiye	Geçici barınma alanı yer seçimi	Karar destek modeli
Kar ve Hodgson	2008	ABD	Geçici barınma alanı yer seçimi	CBS tabanlı model
El-Anwar vd.	2009	ABD	Kasırğa/Geçici barınma alanı yer seçimi	Matematiksel model
Ablenado-Rosas vd.	2009	Meksika	Geçici barınma alanı yer seçimi	Matematiksel model
Beyatlı	2010	Türkiye	Geçici barınma birimi tasarımı	Vaka analizi ve literatür taraması
Youssef vd.	2011	Mısır	Geçici barınma alanı yer seçimi	CBS tabanlı model
Demirci ve Karakuyu	2011	Türkiye	Geçici barınma alanı yer seçimi	CBS tabanlı model
Liu vd.	2011	ABD	Geçici barınma alanı yer seçimi	CBS tabanlı model ve saha çalışması
Erkal ve Değerliyurt	2011	Türkiye	Geçici barınma alanı yer seçimi	Vaka analizi ve literatür taraması
Li vd.	2012	ABD	Kasırğa/Geçici barınma alanı yer seçimi	Matematiksel model
Chu ve Su	2011/2012	Çin	Deprem/Geçici barınma alanı yer seçimi	AHP ve TOPSIS/ÇKKV
Tong vd.	2012	Çin	Sel/Geçici barınma alanı yer seçimi	AHP ve CBS tabanlı model
Cheng ve Yang	2012	Çin	Geçici barınma alanı yer seçimi	Matematiksel model
Wei vd.	2012	Çin	Geçici barınma alanı yer seçimi	Matematiksel model
Omidvar vd.	2013	İran	Geçici barınma alanı yer seçimi	ÇKKV ve CBS tabanlı model
Karaman	2014	Türkiye	Geçici barınma alanı yer seçimi	CBS tabanlı model
Karaman vd.	2014	Türkiye	Geçici barınma alanı yer seçimi	CBS tabanlı model
Karaman ve Erden	2014	Türkiye	Geçici barınma alanı yer seçimi	AHP/ÇKKV ve CBS tabanlı model
Rezaei	2014	Türkiye	Geçici barınma alanı yer seçimi	AHP/ÇKKV ve CBS tabanlı model
Tucker vd.	2014	Sri Lanka	Geçici barınma birimi tasarımı	Vaka analizi
Soltani vd.	2014/2015	İran	Geçici barınma alanı yer seçimi	Delphi
Bayram vd.	2015	Türkiye	Geçici barınma alanı yer seçimi	Matematiksel model
Kılıcı vd.	2015	Türkiye	Deprem/Geçici barınma alanı yer seçimi	Matematiksel ve CBS tabanlı model
Roh vd.	2015	İngiltere	Geçici barınma alanı yer seçimi	AHP/ÇKKV
AFAD	2016	Türkiye	Geçici barınma alanı yer seçimi	Vaka analizi
Uzut	2016	Türkiye	Geçici barınma birimi tasarımı	Vaka analizi ve literatür taraması
Fan vd.	2017	Çin	Geçici barınma alanı yer seçimi	Matematiksel model
Zhao vd.	2017	Çin	Geçici barınma alanı yer seçimi	Matematiksel model
Şentürk ve Erener	2017	Türkiye	Deprem/Geçici barınma alanı yer seçimi	AHP/ÇKKV ve CBS tabanlı model
Nasution	2017	Endonezya	Geçici barınma birimi tasarımı	Vaka analizi ve literatür taraması
Junian ve Azizifar	2018	İran	Deprem/Geçici barınma alanı yer seçimi	AHP/ÇKKV ve CBS tabanlı model
Trivedi	2018	Hindistan	Geçici barınma alanı yer seçimi	DEMATEL/ÇKKV
Çınar vd.	2018	Türkiye	Acil toplanma ve geçici barınma alanı analizi	CBS tabanlı model
Erdin vd.	2018	Türkiye	Acil toplanma alanı analizi	CBS tabanlı model
Zengin Çelik vd.	2018	Türkiye	Acil toplanma alanı analizi	CBS tabanlı model ve vaka analizi
Bartusiak ve Said	2018	ABD	Geçici barınma birimi tasarımı	Vaka analizi
Gerdan ve Şen	2019	Türkiye	Acil toplanma ve geçici barınma alanı analizi	Vaka analizi

Tablo 1'in devamı

Yazar	Yıl	Ülke	Problem	Yöntem
Tuncel	2019	Türkiye	Geçici barınma birimi tasarımı	Vaka analizi ve literatür taraması
İBB	2020	Türkiye	Geçici barınma alanı yer seçimi	CBS tabanlı model
Ömürgönülşen ve Menten	2021	Türkiye	Geçici barınma alanı yer seçimi	Bulanık TOPSIS/ÇKKV
Erdin vd.	2021	Türkiye	Acil toplanma alanı analizi	CBS tabanlı model
Yalaz	2021	Türkiye	Geçici barınma birimi tasarımı	Vaka analizi ve literatür taraması

Tablo 1'de sunulan ve geçici barınma alanı yer seçimi/tasarımı odaklı çalışmalarda, afet sonrası problemlerin çözümü olarak kullanılan yöntemlerin farklılaştığı görülmektedir. Bu çalışmaların bazılarında tek bir çözüm/karar verme yöntemi kullanılırken, bazı çalışmalarda ise bütünlükli yöntemler/modeller önerilmiştir.

Afet sonrası geçici barınma alanlarının yer seçiminde önemli sayıda çalışma çeşitli matematiksel modellerden yararlanmıştır. Örnek olarak, Kongsomsaksakul vd. (2005), El-Anwar vd. (2009), Ablenado-Rosas vd. (2009), Li vd. (2012), Wei vd. (2012), Fan vd. (2017) ve Zhao vd. (2017) çalışmalarında, farklı ülkelerde çeşitli afetlerden etkilenen bir yerleşimde kurulabilecek geçici barınma alanlarının sayılarını ve yerlerini belirleyebilen matematiksel modeller ortaya koymuşlardır. Bayram vd. (2015) ve Kılıcı vd. (2015) ise çalışmalarında bu modelleri Türkiye'deki farklı bölgeler için oluşturmuşlardır. Bu çalışmalarda konu alınan afetler değişkenlik göstermektedir. Örneğin Kongsomsaksakul vd. (2005) baraj kaynaklı sel riskini konu edinirken, El-Anwar vd. (2009) ve Li vd. (2012) kasırga riskini, Kılıcı vd. (2015) ise deprem riskini konu edinmiştir. Tüm bu modeller, belirlenen ölçütler çerçevesinde mevcut kentsel dokudan bağımsız olarak, geçici barınma alanlarının ideal potansiyel lokasyonunu bulmaya odaklanmıştır.

Afet sonrası planlama konusunu Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı yöntemler kullanarak inceleyen birçok ulusal ve uluslararası çalışma da vardır. Bunlara örnek olarak Kar ve Hodgson (2008), Youssef vd. (2011), Tong vd. (2012), Demirci ve Karakuyu (2011), Karaman (2014), Karaman vd. (2014), Rezaei (2014), Şentürk ve Erenler (2017) ve Junian ve Azizifar (2018)'in çalışmaları sayılabilir. Bu çalışmalar da genel olarak yine bir pilot alan çalışması üzerinde belirlenen ölçütlere en uygun geçici barınma alanı yer seçimi konusuna odaklanmış olup, aralarında entegre model kurarak ÇKKV yöntemlerinden faydalananlar bulunmaktadır.

Literatürde var olan birçok çalışma ise en uygun geçici barınma yeri seçimi problemini çözmek adına ÇKKV yöntemlerinden yararlanmıştır. Chu ve Su (2011), Omidvar vd. (2013), Karaman ve Erden (2014), Roh vd. (2015), Trivedi (2018) ve Ömürgönülşen ve Menten (2021) bu çalışmalara örnek gösterilebilir. Afet sonrası geçici barınma alanlarının yer seçim ölçütlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar, konu hakkındaki literatürün bir başka ayağını oluşturmaktadır. Söz konusu geçici barınma alanların kent içinde doğru konumlandırılması ve farklı afet tiplerine, iklime ve sosyal yapıya uygun planlanması açısından bu çalışmalar oldukça önemlidir. Afet sonrası geçici barınma alanları için yer seçimi modelleri (bir kısmı ÇKKV kullanmıştır) öneren birçok çalışma, modele esas olacak yer seçim ölçütleri de önermektedir. Liu vd. (2011), Chu ve Su (2011, 2012), Cheng ve Yang (2012), Kılıcı vd. (2015) ve Omidvar vd. (2013) bu çalışmalara örnek olarak gösterilebilir. Bu çalışmaların temel amacı ölçüt listesi oluşturmak değildir ancak özellikle Omidvar vd. (2013)'ün çalışması görece kapsamlı bir ölçüt listesi de önerir. Kelly (2005) ve Soltani vd. (2014, 2015)'in çalışmaları tamamen ölçütlerin kapsamlı bir şekilde oluşturulmasına odaklanmış olup, Soltani vd. yöntem olarak Delphi tekniğini kullanmıştır. Bunun yanında bazı çalışmalar ise sadece ölçütlerin afet ve ülke özelliklerine göre belirlenmesine odaklanmıştır.

Türkiye'de de afet yönetimi ve afet sonrası toplanma/ barınma alanlarının belirlenmesi konusu özellikle son yıllarda daha yoğun şekilde çalışılır hale gelmiştir. Özellikle AFAD, bu konudaki çalışmalara öncülük etmektedir. AFAD'ın Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) kapsamında oldukça nitelikli çalışmalar üretilmiştir. Örnek olarak Karaman (2014)'ün İstanbul'daki Afet Sonrası Geçici Barınma Alanlarının Tespitine Yönelik Model Geliştirilmesi çalışması verilebilir. Bunun yanında AFAD'ın Şanlıurfa'daki geçici barınma projelerini anlattığı raporu (AFAD 2016) yine önemli bir kaynaktır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin geçici barınma ve toplanma alanlarının belirlenmesi (İBB 2020) projesi de yine kamu kurumlarının güncel çalışmalarına örnek gösterilebilir.

Kurumlar dışında çeşitli araştırmacıların da bu konuda çalışmaları vardır. Örneğin, Maral (2016), Çınar vd. (2018), Gerdan ve Şen (2019) AFAD tarafından ilan edilmiş acil toplanma ve geçici barınma alanlarının ölçütlere uygunluğunu analiz ederken; Erdin vd. (2018) toplanma alanlarının belirlenmesindeki ölçütlerin neler olduğunu tartışmıştır. Zengin Çelik vd. (2018) ve Erdin vd. (2021), toplanma alanlarının güvenlik ve ulaşım ölçütlerine uygunluğunu değerlendirirken, Yiğitcanlar vd. (2005) ise afet sonrası geçici yerleşim alanlarının yer seçiminde dikkat edilmesi gereken noktaları ve ölçütleri çeşitli yöntemler ile değerlendirmiş, bir karar destek modeli ortaya koymuştur. Erkal ve Değerliuyurt (2011) ise konuyu tüm Türkiye ölçeğinde genel olarak ele almıştır.

Afet sonrası geçici yerleşim alanlarının tasarımındaki bir diğer önemli konu da geçici barınma alanlarının ve yaşam birimlerinin tasarımıdır. Bu konu, afetin tipine, coğrafya, iklimsel/ kültürel şartlara ve ekonomiye bağlı olarak oldukça değişkenlik gösterebilir. Tucker vd. (2014), Nasution (2017), Bartusiak ve Said (2018)'in geçici barınma birimi tasarımı üzerine çalışmaları bu konuda bir yurtdışı örneği iken, Beyatlı (2010), Uzut (2016), Tuncel (2019) ve Yalaz (2021) ise Türkiye'den örnekler olarak sayılabilir.

3. Afet Sonrası Barınma Alanlarının Seçimine ve Tasarımına dair Ulusal ve Uluslararası Standartlar

Afet sonrası geçici barınma alanlarının yer seçiminde ve tasarımında kullanılan ulusal ve uluslararası standartlar şu şekilde özetlenebilir:

- **AFAD'ın 04.11.2015 sayılı Geçici Barınma Merkezlerinin Kurulması, Yönetilmesi ve İşletilmesi Hakkında Yönergesi'ne (AFAD 2015)** göre geçici barınma alanları aşağıdaki standartları sağlamalıdır:
 - Yer Seçimi:
 - Geçici barınma merkezlerinin, dış tehdit ve tehlikelere karşı korunabileceği, ayrıca kontrol ve koordinasyonun sağlanabileceği yerleşim yerlerine yeterli yakınlıkta olması,
 - Kurulacağı alanın; elektrik, su ve kanalizasyonun şehir şebekesine bağlanmasına elverişli bölgelerde olması,
 - Nüfusun artması halinde yeni konteyner/çadır yerleştirilebilmesi amacıyla kapasite genişletmeye uygun olması,
 - Zemin etüdünün yapılmış olması,
 - Yağmur suyu havzasından en az 3 metre yüksekte olması,
 - Eğim derecesinin %2 ile %6 oranında olması,
 - Hâkim rüzgârın düşünülmesi esastır.
 - Uygulama ve Diğer Standartlar:
 - Okul, kreş, market, ibadet alanları, sağlık merkezleri, psiko-sosyal destek hizmet merkezi, spor tesisleri, çamaşırhane, içme suyu atık su arıtma tesisleri, oyun parkları, kurs alanları gibi tesislerin kurulumu için merkezin kapasitesine ve hizmet ölçeğine göre yer planlamasının yapılması,
 - Ana yolların genişliğinin en az 15 metre, ara yolların genişliğinin ise en az 10 metre yapılması,
 - Konteyner/çadırlar ile giriş kapısı arasında en az 8 metre mesafe bulunması,
 - Merkezin girişine güvenlik kontrollü nizamiye yapılması,
 - Ana yollarının asfalt ya da parke taşı döşenmesi,
 - Konteyner ve toplu çadırlar dışındaki çadırlarda tek bir ailenin barındırılması,
 - Çadır ya da konteynerler için kişi başına düşen kapalı alanın 3.5-4.5m² arasında olması,
 - Konteynerlerin yerden yüksekliğinin 30 cm olması,
 - Çadır ya da konteyner, tüm birimlere elektrik ulaştırılabilmesi,
 - Çadır ya da konteynerlerin iklim şartlarına ve yangın standartlarına uygun malzemeden üretilmesi, TSE normlarına uygun olması esastır.
- **GABA Yer Seçimi Ölçütleri:** AFAD İzmir, İyileştirme Şube Müdürlüğü tarafından afet sonrası geçici barınma alanı etütlerinin yapıldığı ve potansiyel alanların incelenmiş olduğu çalışma olup, **AFAD (2015)** yönergesi ile benzerlikler taşımaktadır (**AFAD 2017**):
 - Yer Seçimi:
 - Yerleşim alanları içerisinde veya yerleşim alanlarına mümkün olduğu kadar yakın olmalı,
 - Yüzölçümü en az 35.000 m² olmalı,
 - Elektrik, su ve kanalizasyonun şehir şebekesine bağlanmaya elverişli bölgelerde olmalı,
 - Yeterli su olmalı (içmek, yemek pişirmek, sağlıklı koşullarda temizlenmek için),
 - Eğim en çok %7'yi geçmemeli (tercihen %2 ile %4 arasında olmalı),
 - Toprağın cinsi kazıya ve suyu geçirmeye uygun olmalı ve drenajı sağlanmalı,
 - Ağır vasıtaların her türlü hava şartlarında ulaşabileceği bir yol olmalı, eğer bir yol inşa etmek gerekiyorsa toprak ve arazi tipi buna uygun olmalı,
 - Fay hattı, heyelan, sel baskını, kaya düşmesi gibi afet riski taşıyan yerler seçilmemeli,
 - Yağmur mevsiminde birikmesi beklenen yağmur suyu havzasından en az 3 metre yukarıda olmalı,
 - Bitki örtüsü ve mevcut kullanım durumu çadır ve konteyner kurulumuna engel olmamalı,
 - Tarımsal alan olmamasına dikkat edilmeli,
 - Mümkünse kamu arazisi olmalı.
 - Uygulama ve Diğer Standartlar:
 - Halkın barınacağı yerlere hafif vasıtalar ulaşabilmeli,
 - Hizmetlerin ve iç ulaşımın etkin ve verimli bir şekilde gerçekleşmesi sağlanmalı.

- **Sphere Projesi-Afetle Mücadelede Asgari Standartlar ve İnsani Yardım Sözleşmesi:** Bir barınma alanının en ince ayrıntısına kadar ne gibi ölçütlere sahip olması gerektiğinin açıklanmış olduğu projedir. Bu ölçütler arasında afet sonrası geçici barınma alanında afetzedelere verilecek olan yiyeceklerin besin değerlerinden, alanın drenaj ve katı atık kontrolünün ne şekilde olması gerektiğine kadar her detay mevcut bulunmaktadır ([Sphere Association 2018](#)).
- Yer Seçimi/Stratejik Planlama:
 - Seçilecek yer mevcut afetzede sayısını barındırmaya elverişli olmalıdır. Nüfusun artması ve ihtiyaç duyulması halinde alanı genişletme imkânı olmalıdır,
 - Yerleşim yeri potansiyel tehlikelerin uzağında ve mevcut risklerin asgariye indirildiği güvenli alanlarda olmalıdır; deprem, toprak kayması, volkanik faaliyetler, sel ya da şiddetli rüzgarlar gibi doğal afet riskleri düşünülmelidir,
 - Yerleşim yeri afetten kaynaklanan atıklardan uzakta olmalı, hastalık ya da kirlilik ile önemli vektör risklerine maruz olmamalıdır,
 - Şehirdeki zarar görmemiş temel hizmetlere erişim sağlanmalı; okullar, sağlık tesisleri, güvenli oyun alanları gibi yerlere ulaşım sağlanmalıdır,
 - Yerleşim alanlarına erişim, yerel yol alt yapısının durumu ve ulaşım olanaklarına yakınlık, olası yardımın sağlanması sırasındaki kullanım (ağır vasıtaların alana ulaşabilmesi, gerekirse yapılabilmesi) gibi durumlar analiz edilmelidir,
 - Havalimanları, liman ve garlara yakınlık analizi yapılmalıdır,
 - Yüzey suyu drenajı, arazi şartlarının da izin verdiği ölçüde yerinde yapılmalıdır. Yeterli drenaj ve erozyon kontrol önlemleri alınamadığı sürece eğim % 5'in üzerinde olmamalı ya da yeterli drenaj sağlamak için % 1' in altında olmamalıdır (ideal %2-4),
 - Sürekli su temini sağlamak için kentin su şebekesi öncelikli olmak üzere gerekli kaynaklara bağlantı sağlanmalıdır,
 - Sürekli elektrik temini sağlamak için kent şebekesi öncelikli olmak üzere, güneş panelleri kurularak yerel elektrik enerjisi üretilmelidir,
 - Kent kanalizasyon ağlarına bağlantı varsa bu alanlar tercih edilmeli, yoksa yeterli fosseptik sistemi kurulmalıdır.
- Tasarım/Uygulama:
 - Alanın afet sonrası barınma fonksiyonlarına cevap verebilmesi için verimli işleyen ve ilgili standartları karşılayabilecek bir vaziyet planı tasarımı hazırlanmalıdır,
 - Tüm barınakların temel hizmetlere güvenli erişiminin sağlanmalıdır,
 - Yerleşim planı topoğrafyaya uygun, doğal çevreye en az zarar verecek şekilde yapılmalıdır,
 - Etkilenen tüm bireylerin kişi başına minimum kapalı alanı (konteyner/çadır) of 3.5 m² olmalıdır,
 - Yerleşim alanında kişi başına altyapı, yollar, sıhhi tesisat, okullar, işyerleri, su sistemleri, güvenlik/yardım tesisatı, marketler, depolama tesisleri, barınak yerleri dâhil en az 45 m² düşmelidir. Toplu hizmetler yerleşim alanı dışında mevcut ise veya ek tesisler ile sağlanabiliyorsa minimum kullanılabilir yüzey alanı kişi başına 30 m² olmalıdır,
 - Yangın riski açısından yerleşim alanında her 300 metrede bir 30 metre yangın emniyet şeridi ayrılmalıdır. Yan yana binaların çökmesini önlemek için her hane arasında en az 2 metre (tercihen yapının iki katı yüksekliğinde) mesafe olmalıdır,
 - İnşaat tasarımı iklim koşullarına uyumlu, rüzgar yüküne dayanıklı ve soğuk iklimlerde kar yükünü karşılıyor olmalıdır. Depreme karşı direnç ve zemin taşıma şartları teknik uzmanlar tarafından tespit edilmeli, toplu merkezler için yapıların ek yüklere ve artan doğal afet risklerine dayanıklılığı, örneğin zemin, ara duvarlar, çatılar vs. değerlendirilmelidir,
 - Su ve sanitasyon hizmetleri, sağlık tesisleri, okullar, rekreasyon alanları, ibadet yerleri, pazarlar ve geçim kaynağı faaliyetlerin sürekliliği için kullanılan hizmet alanlarına güvenli erişim sağlanmalıdır,
 - Cinsiyet, farklı yaş grupları ve aileler arasında gerektiği kadar ayrı alan ve mahremiyet olmalı; alanda engelli çözümleri gerçekleştirilmelidir,
 - Afetten etkilenen insanların aşına olduğu barınak çözümleri ve materyallerinin kullanılması, mümkünse kültürel, ekonomik ve sosyal olarak sürdürülebilir materyaller teşvik dilmelidir,
 - Optimal termal rahatlık, havalandırma ve koruma sağlamak için her mevsimde özel iklim koşullarına erişim olmalıdır,
 - Mümkün yerlerde ağaç ve diğer bitkiler korunmalı, toprak erozyonu riski azaltılmalı ve gölge sağlanmalıdır,
 - Alanda yenilenebilir enerji, geri dönüşüm, geri kazanım gibi sürdürülebilir uygulamalar hayata geçirilmelidir.

4. Delphi Yönteminin Uygulanması

Delphi tekniğinin adını Eski Yunan'da geleceğe ilişkin kehanetlerde bulunan bir kâhinin yaşadığı yerden aldığı bilinmektedir. Delphi tekniği, 1950'li yıllarda ABD'de RAND firmasında çalışan Norman Dalkey ve Olaf Helmer adındaki iki araştırmacı tarafından özellikle askeri konulara ilişkin çıkarımda bulunmak amacıyla geliştirilmiş olup, yönetim, tıp, askeri konular, mühendislik, mimarlık, planlama, eğitim gibi çeşitli alanlardaki bilimsel araştırmalarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Delphi tekniği, araştırılan konunun uzmanlarından görüş ve değerlendirme alabilmek amacıyla, uzmanlara birbirinin devamı niteliğinde gönderilen anket turları sonuçlarına dayanan bir tahmin süreci olup, bir çeşit sistematik karar verme yöntemidir (Linstone ve Turoff 1975; Hsu ve Sandford 2007). Yöntem üç temel özelliğe sahiptir: katılımda gizlilik, grup tepkisinin istatistiksel analizi ve kontrollü geri besleme (Dalkey ve Helmer 1963). Yöntemin önemli özelliklerinden biri, benzer durumlara ilişkin görüş farklılıklarının olduğu ortamlarda uzlaşma sağlama aracı ve karar almayı kolaylaştıran bir süreç olarak kullanılmasıdır. (Dalkey ve Helmer 1963; Şahin 2001). Yöntemin çıkış noktasında ortada ya fikir birliğinin sağlanamadığı bir konunun ya da konuyla ilgili bilgilerin tam olarak toplanamadığı bir durumun olması beklenmekte olup, "belli bir konuda birçok görüş ve düşünce tek bir görüşten daha anlamlıdır" ilkesine dayanmaktadır (Yurt ve Kadioğlu 2019).

Delphi tekniğin bazı avantajları ve kısıtlı yönleri olduğundan söz edilebilir. Avantajlı yöne örnek olarak ardışık anketlerin kullanılması ve analizlere ilişkin katılımcılara geri beslemede bulunulması, katılımcılara kendi görüşlerini ve diğer katılımcıların görüşlerini yeniden gözden geçirme fırsatı verilmesi ve uzlaşmaya yönelik adım atılmasına olanak tanınması verilebilir. Ayrıca uzmanlar yüz yüze toplantı yapmalarına gerek kalmadan (zaman, mekân, maliyet, salgın, vd.), ardışık çevrimiçi çalışmalar boyunca anonim kalabilmekte ve grup baskısı azaltılabilmektedir. Yöntemin kısıtlı yönlerine örnek olarak katılımcıların çalışmaya başlangıçta katılıp, sonradan ayrılmaları, katılımda gizlilik ilkesinden fire verilmesi (istemeden de olsa kişi/grupları tanımlayıcı soru/cevap) ve uzlaşma için uğraşılırken fazlaca anket sorusu/turu üretilerek sürecin uzaması (bazen karmaşık hale gelmesi) verilebilir (Şahin 2001; Yurt ve Kadioğlu 2019).

Buradan hareketle, çalışmanın bu aşamasında afet sonrası geçici barınma alanlarının seçimi ve değerlendirilmesinde yararlanılacak ölçütlerin belirlenmesine yönelik, uzmanların yapacağı öznel değerlendirmeye dayalı üç aşamalı bir Delphi paneli yürütülmüştür. Çalışmada altı uzmanın görüşlerine başvurulmuştur. Bu uzmanların ikisi üniversitelerden, ikisi İzmir'deki belediyelerden, ikisi de AFAD'dan seçilmiştir. Bu panelin ilk turu, geçici barınma alanlarının yer seçim-planlama ve tasarım-uygulama ölçütlerinin belirlenmesine; ikinci turu, belirlenen yer seçim ölçütlerinin gruplanmasına, önem ve ağırlıklarının atanmasına ayrılmıştır. Üçüncü tur ise belirlenen ölçütler ve ağırlıklar kullanılarak, İzmir ilinde AFAD tarafından belirlenmiş olan geçici barınma alanlarının puanlanması ve alanların tek tek yeterliliklerinin değerlendirilmesini kapsamaktadır.

Delphi panelinin ilk turunda, altlık olarak kullanılabilecek ham ölçütler listesi Soltani vd. (2015) in makalesindeki, yine bir Delphi paneli sonucu oluşturulmuş olan tablolardan alınmıştır. Bu liste Tablo 2'deki ölçütler sütununda görülebilir. Soltani vd. (2015)'in çalışmasında üretilen ölçütler listesine bakıldığında, hem geçici barınma alanlarının yerlerinin belirlenmesine, hem de bu alanda oluşturulacak geçici barınma birimlerinin tasarımına yönelik olduğu görülmüştür. Ayrıca bazı ölçütlerin Türkiye şartlarında birleştirilebileceği de fark edilmiştir. Bu sebeple, uzman panelistlerden, ölçütleri "yer seçim-planlama" ya da "tasarım-uygulama" olarak sınıflandırmaları (her iki aşamada da bulunması gereken ölçütler belirtilmiştir) ve birbirine benzer ya da ilişkili olabilecekleri birleştirmeleri istenmiştir. Sınıflandırma çalışması sürecinin ne şekilde ilerlediği Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Afet sonrası geçici barınma alanı ölçütleri belirleme/girdiler-Delphi 1.tur

No	Ölçütler	Sınıflandırma
1	Altyapı-mevcut/kurulacak	Yer seçim-Planlama / Tasarım-Uygulama
2	Arazi drenajı	Tasarım-Uygulama
3	Arazi eğimi	Yer seçim-Planlama
4	Barınak tipi/modeli	Tasarım-Uygulama
5	Barınma için öngörülen süre	Tasarım-Uygulama
6	Bitki örtüsü	Yer seçim-Planlama
7	Çevresel durum	Yer seçim-Planlama
8	Çiftlik/hayvancılık alanları	Mevcut arazi kullanım ile benzer olduğu için birleştirilebilir
9	Ekolojik durum	Çevresel durum ile benzer olduğu için birleştirilebilir
10	Ekonomik boyut	Tasarım-Uygulama
11	Elektrik altyapısı	Altyapı-mevcut yerine kullanılabilir
12	Erişilebilirlik	Yer seçim-Planlama
13	Erken uyarı sistemi	Tasarım-Uygulama
14	Etki bölgesine yakınlık	Yer seçim-Planlama
15	Etkilenen sayısı	Yer seçim-Planlama
16	Fiziksel özellikler ve çevrenin durumu	Erişilebilirlik ve Çevresel durum ile benzer olduğu için birleştirilebilir
17	Güvenlik ve koruma	Yer seçim-Planlama
18	Hâkim rüzgâr yönü	İklim özellikleri ile benzer olduğu için birleştirilebilir
19	Hidrolojik/meteorolojik tehlikeler	Yer seçim-Planlama
20	İkincil tehlikelere uzaklık	Yer seçim-Planlama
21	İklim özellikleri	Tasarım-Uygulama

Tablo 2'nin devamı

No	Ölçütler	Sınıflandırma
22	İletişim hizmetleri	Altyapı-kurulacak ile benzer olduğu için birleştirilebilir
23	İnsani yardım/kamusal hizmetler	Tasarım-Uygulama
24	Jeolojik tehlikeler	Yer seçim-Planlama
25	Kamuoyu/halkoyu	Tasarım-Uygulama
26	Kirletici unsurlara uzaklık	Yer seçim-Planlama
27	Kot/Rakım	Tasarım-Uygulama
28	Kültür, gelenek ve nüfusun kompozisyonu	Kamuoyu/halkoyu ile benzer olduğu için birleştirilebilir
29	Kültürel miras durumu	Yer seçim-Planlama
30	Mevcut arazi kullanım	Yer seçim-Planlama
31	Mülkiyet	Yer seçim-Planlama
32	Sağlık tesislerine yakınlık	Yer seçim-Planlama
33	Su kaynakları	Altyapı-mevcut yerine kullanılabilir
34	Tarım alanları	Mevcut arazi kullanım ile benzer olduğu için birleştirilebilir
35	Uygun büyüklük/kapasite	Yer seçim-Planlama / Tasarım-Uygulama
36	Yağış	İklim özellikleri ile benzer olduğu için birleştirilebilir
37	Yapı koruma standartları	Tasarım-Uygulama
38	Yerel malzemeler	Tasarım-Uygulama
39	Yol ağlarına yakınlık	Erişilebilirlik ile benzer olduğu için birleştirilebilir
40	Zemin geçirgenliği	Yer seçim-Planlama

Uzmanların sınıflandırma çalışması sonrası yer seçim-planlama aşaması için altyapı-mevcut ölçütünün elektrik ve su altyapıları olarak ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğine dair uzman görüşü dikkate alınarak 19 adet ölçüt belirlenmiştir. Tasarım-uygulama ölçütlerine ise [Soltani vd. \(2015\)](#)'in çalışmasında olmayan, ancak [Sphere \(2018\)](#) ve [AFAD \(2015\)](#)'in yayınladığı ölçütler listesinde olan “sürdürülebilirlik”, “vaziyet planı (yerleşim tasarımı)” ve “yollar” eklenerek 16 ölçüt başlığı elde edilmiştir. Böylece Delphi panelinin ilk turu tamamlanmıştır. Bu noktada şunu hatırlatmak gerekir: Her uzman, ilgili ölçüte dair dikkat edilmesi gereken noktaları, notları veya sayısal değerleri not olarak tablolara eklemiştir. Bu notlar zaman zaman uzman görüşüne dayansa da bazı durumlarda AFAD, Sphere raporlarındaki kesinleşmiş veya yerel hükümlere uygun olarak oluşturulmuştur. Bu notların birleşmiş, netleşmiş ve ortak kabul edilmiş halleri Tablo 3 ve 5'te verilmiştir. Delphi panelinin 2. turu, belirlenen ölçütlerin gruplandırılmasını ve önem derecelerinin belirlenmesini için bir tablo oluşturulmasını amaçlar. Bu turda önem derecesi sıralaması, 3 puan en yüksek, 1 puan en düşük olacak şekilde yapılmıştır. Farklı uzmanların görüşlerinin ortalaması alınmış, bu ortalamalar, yine uzmanların uzlaşmaları dâhilinde tam sayıya yuvarlanarak kullanılmıştır. Bir diğer önemli nokta olarak ölçütlerin tanımı, dikkat edilmesi gereken noktalar ve sayısal değerler Tablo 3'ün tanım sütununa eklenmiştir.

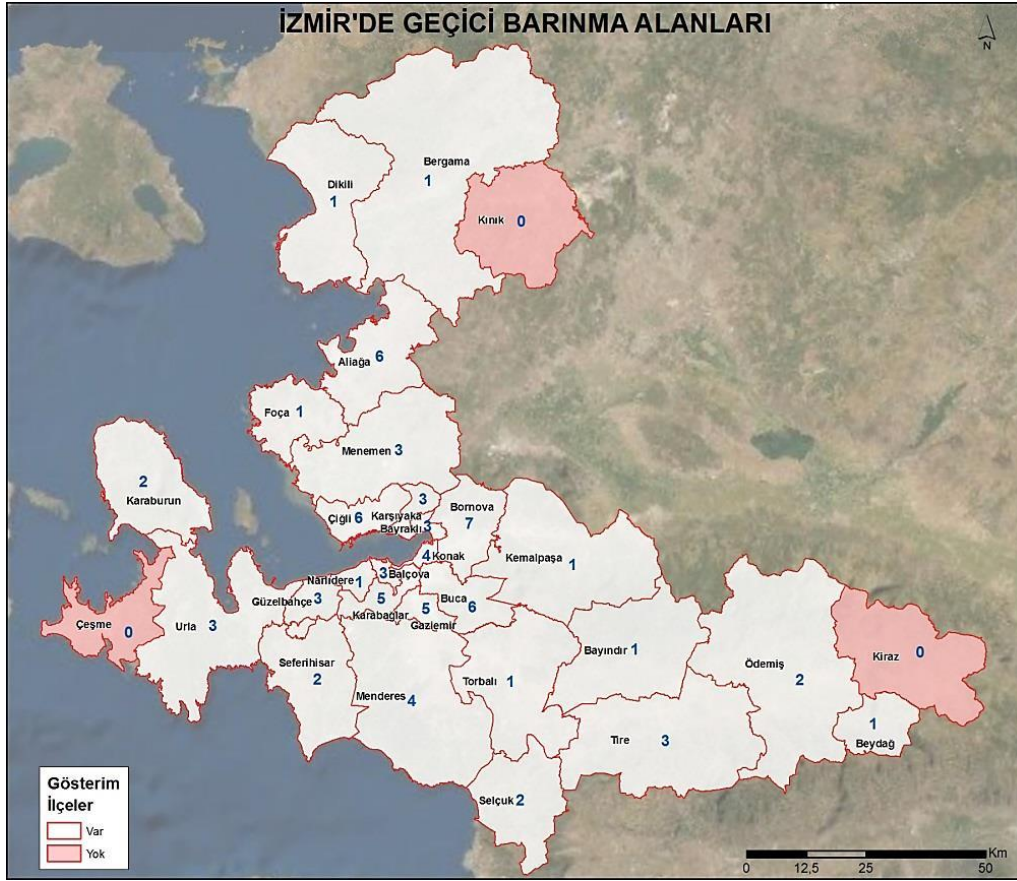
Tablo 3: Afet sonrası geçici barınma alanı seçim ölçütleri belirleme/tanım ve önem derecesi-Delphi 2.tur

Ana Kategori	No	Ölçütler	Tanım	Önem Derecesi (3>2>1)
Yerleşilebilirlik analizi	1	Arazi eğimi	%2-8 arası eğime sahip alanlar yerleşim açısından uygundur.	3
	2	Bitki örtüsü	Çalılar, çim ve ağaçlar gölge yarattıkları, tozu ve erozyonu önledikleri için, alanların yeterli bitki örtüsüne sahip olmaları beklenmektedir.	2
	3	Çevresel durum	Alanlar ekolojik/çevre koruma bölgeleri içinde/yakınında olmamalıdır.	2
	4	Kültürel miras durumu	Alanlar kültürel/kentsel koruma bölgeleri içinde/yakınında olmamalıdır.	2
	5	Mevcut arazi kullanım	Alanın üzerinde mevcut ruhsatlı yapı olmaması; imar durumunun uygun olması; tarım alanı, çiftlik/hayvancılık alanı olmaması gerekir.	3
	6	Mülkiyet	Alanın güncel mülkiyet durumu bilinmeli, kamu mülkiyetinde olanlar tercih edilmelidir.	3
	7	Zemin geçirgenliği	Zeminin geçirgenliğini ve yüzey suyunun drenajı önemli ölçütlerdendir.	2
Altyapı/Hizmet imkanları	8	Elektrik altyapısı	Aydınlatma ve enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için, alanların şehrin elektrik altyapısına yakın olması önerilmektedir.	2
	9	Erişilebilirlik	Alanların ulaşılabilir olması ve yol ağlarına yakınlık önemli faktörlerdendir.	3
	10	Etki bölgesine yakınlık	Alanların coğrafi dağılımı, afetzedelerin hızlıca erişebileceği biçimde planlanmalıdır.	2
	11	Etkilenen sayısı	Alanların seçiminde olası bir afet durumunda etkilenen bölge ve afetzede sayısı dikkate alınmalıdır. Etkilenen nüfus büyüklüğü ve bölgesi olarak ilçe düzeyi ele alınmıştır.	2
	12	Güvenlik ve koruma	Afetzedelerin güvenlik ve korunma ihtiyaçlarını karşılamak için, alanların polis/jandarma karakollarına uygun uzaklıkta yer seçmesi önerilmektedir.	1
	13	Sağlık tesislerine yakınlık	Alanların sağlık merkezlerine yakın konumlanmasına dikkat edilmelidir.	1
	14	Su kaynakları	İçme suyu, kullanım suyu, yangın musluğu ve kanalizasyon hizmetlerinin sağlanabilmesi için alanlar şehrin su ve kanalizasyon altyapısından bağlantı alabilecek konumda olmalıdır.	2
	15	Uygun büyüklük/kapasite	Alanların fiziksel büyüklüğü, barındıracağı afetzede ve barınma birimi ile altyapı/hizmetlerin verilebilecek büyüklükte olmalıdır. AFAD ölçütlerine göre minimum alan büyüklüğü 35000 m ² olarak değerlendirilmiştir.	3

Tablo 3'ün devamı

Ana Kategori	No	Ölçütler	Tanım	Önem Derecesi (3>2>1)
Afet riskini azaltma	16	Hidrolojik/meteorolojik tehlikeler	Alanlar dere yatakları, suyolları, su kanalları ve sele/tsunami'ye maruz bölgelerden uzakta yer seçmelidir.	3
	17	İkincil tehlikelere uzaklık	Alanlar risk potansiyeli taşıyan yüksek binalardan, yanıcı ve patlayıcı malzemelerden, tehlikeli kimyasallardan, radyoaktif maddelerden, yüksek gerilim hatlarından; havaalanı, demiryolu, otoyol gibi afetin tekrarı olasılığında ikincil tehlike yaratacak tüm unsurlardan uzakta yer seçmelidir.	2
	18	Jeolojik tehlikeler	Alanlar fay hatlarından, heyelan, çökme, kayma, zemin sıvılaşması, obruk, bataklık gibi risk içeren bölgelerden uzakta yer seçmelidir.	3
	19	Kirletici unsurlara uzaklık	Alanlar insan sağlığı ve bulaşıcı hastalık riskini önlemek için kimya tesisi, rafineri, çöplük, açık kanalizasyon, arıtma tesisi, mezbaha, ahır ve diğer kirlilik yaratan unsurlardan uzakta yer seçmelidir.	2

Delphi panelinin 2. turunda ortaya çıkan nihai ölçüt listesi tüm uzmanlarca da onaylandıktan sonra, tüm barınma alanlarının ve ölçütlerin karşılaştığı listeye önem sırasına göre puan verilmiş, bu puanlama uzmanlara da onaylatılmıştır. İlgili ölçütü sağlayamayan geçici barınma alanı ise o ölçütten 0 puan almıştır. Bu puanlama, panelin 3. turunu oluşturmaktadır. Puanlamaya referans olan ve AFAD tarafından belirlenen 83 adet geçici barınma alanının ilçe düzeyinde sayıları Şekil 1'de verilmiştir. Bu şekle bakıldığında Çeşme, Kınık ve Kiraz ilçelerinde belirlenen herhangi bir alan olmadığı da görülmektedir.



Şekil 1: İzmir'de ilçelere göre geçici barınma alanı sayıları

Bu turun neticesinde AFAD'ın belirlediği geçici barınma alanlarının uygunluğuna dair bir sıralama ortaya çıkmıştır. Bu sıralamaya göre, ölçütlere uyma puanı en yüksek alanların yer aldığı ilçeler Seferihisar ve Çiğli olmuştur. Seferihisar ilçesi içindeki "seferihisar2" alanı ise en uygun alan olarak belirlenmiştir. Bu alan "sağlık tesislerine yakınlık" ölçütü dışındaki tüm ölçütlerden tam puan almıştır. Bu alanı puan olarak takip eden "Seferihisar1" alanı ise "sağlık tesislerine yakınlık" ölçütüne ve "uygun büyüklük/ kapasite" ölçütlerini sağlamamaktadır. Seferihisar ve Çiğli ilçelerinin geçici barınma alanlarının puanlaması Tablo 4'te verilmiştir. İzmir ili için belirlenen 83 adet geçici barınma alanının puanlama tablosunun, baskıya uygun olmayacak kadar uzun olması sebebiyle sadece bu iki ilçe örneği paylaşılmıştır.

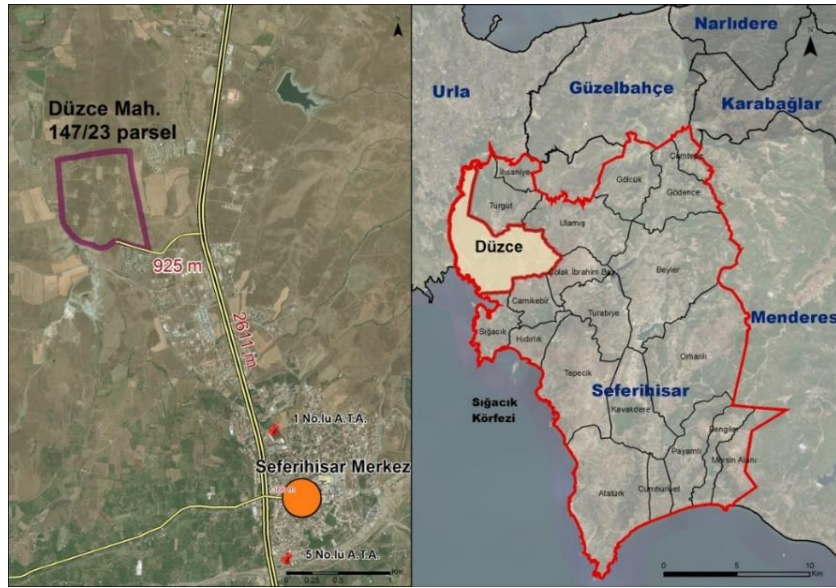
Tablo 4: Çiğli ve Seferihisar ilçelerindeki geçici barınma alanlarının puanlaması-Delphi 3.tur

Ölçüt No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Toplam
Puan (Maks)	3	2	2	2	3	3	2	2	3	2	2	1	1	2	3	3	2	3	2	43
İlçe	Alan																			
Çiğli	Alın	3	0	0	2	3	3	0	2	3	2	2	1	1	2	3	0	2	0	29
	cigli1	3	0	2	2	3	3	0	2	3	2	2	1	1	2	0	3	2	3	36
	cigli2	3	0	2	2	3	3	2	2	3	2	2	1	1	2	0	3	2	3	38
	cigli3	3	2	2	2	0	3	2	2	3	2	2	1	1	2	0	3	2	3	37
	cigli4	3	2	2	2	3	3	2	2	0	2	2	1	1	2	0	3	2	3	37
	cigli5	3	2	2	2	0	3	2	2	3	2	2	1	1	2	3	3	2	3	38
Seferihisar	seferihisar1	3	2	2	2	3	3	2	2	3	2	2	1	0	2	0	3	2	3	39
	seferihisar2	3	2	2	2	3	3	2	2	3	2	2	1	0	2	3	3	2	3	42

5. Seferihisar Geçici Barınma Alanında Vaziyet Planı ve Konteyner Kent Tasarımı

5.1. Seferihisar 2 Alanının Özellikleri

Delphi 3.tur paneli sonucu yapılan puanlama ile belirlenen alanda vaziyet planı tasarımına geçmeden önce, alana dair fiziksel bilgiler sıralanmıştır. Seferihisar İlçesi, Düzce Mahallesi, 147 ada 23 parselde bulunan, kamu mülkiyetinde olan alan (seferihisar2) 633.000 m² büyüklüğündedir. Alan Adnan Menderes Havaalanı'na 29.8 km, Basmane Gar'ına 35.9 km, Alsancak Limanı'na 38 km, otoyol girişine ise 16.2 km; Seferihisar-İzmir yoluna 925 m, Seferihisar kavşağına 2.6 km, Seferihisar ilçe merkezine 2.9 km, Seferihisar 1 no'lu acil toplanma alanına 2.1 km, 5 no'lu acil toplanma alanına ise 3.2 km uzaklıktadır (Şekil 2, Şekil 3).

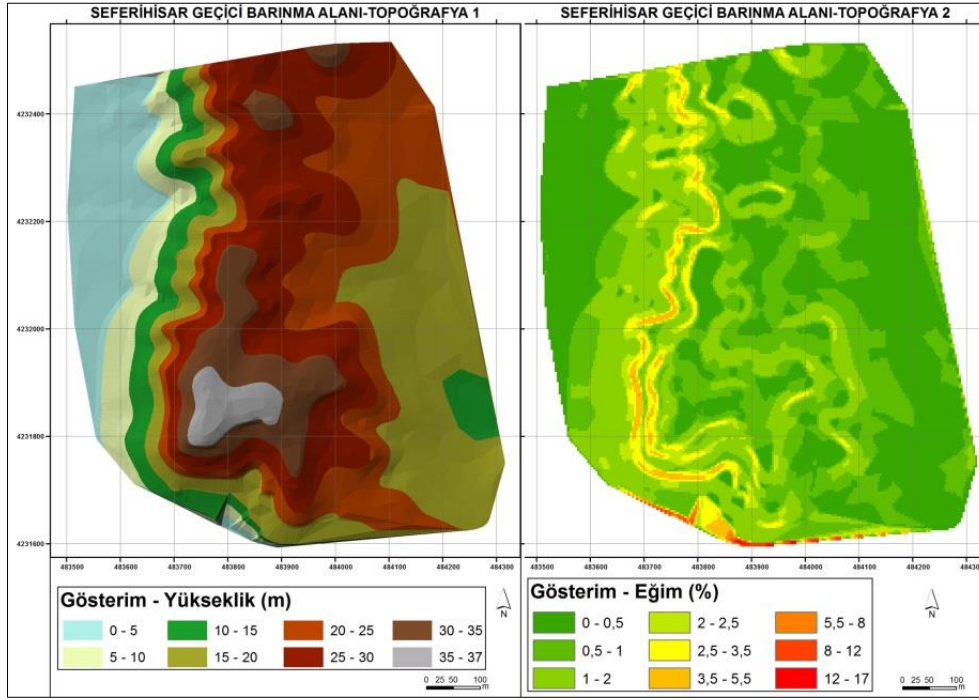


Şekil 2: Seferihisar2 alanının konumu



Şekil 3: Seferihisar2 alanından görünüm

Alanda herhangi bir tarımsal faaliyete ve yoğun ağaç dokusuna rastlanmamıştır. Yakın çevresinde konut yerleşimleri ve ilçe merkezi yer aldığı için, temel altyapı unsurlarının yeterli olduğu gözlenmiştir. Alanın topoğrafyası incelendiğinde eğimin fazla olduğu bölümün arazinin küçük bir kısmını kapladığı, genelinin ise barınma alanı kurulmasına uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca, eğim fazlalığı bulunan bölgenin arazinin orta kısmında olması, arazi içerisinde gerekli hafriyat ve dolgu işlemleri ile yerleşimi mümkün kılmaktadır. Alanda kotlar 5m'den başlayarak 37m kotuna kadar çıkmaktadır (Şekil 4). Alanın topoğrafik özellikleri, ileriye dönük vaziyet planı tasarımı çalışmaları için önemli bir veri olarak ele alınmıştır.



Şekil 4: Seferihisar2 alanının topoğrafik analizleri

5.2. Seferihisar 2 Alanında Vaziyet Planı ve Konteyner Kent Tasarımı

Bu bölümde çalışmanın önceki bölümlerinde tamamlanan analizler sonucu geçici barınma alanı olarak kullanılabileceği belirlenen Seferihisar2 alanında vaziyet planı ve tasarım adımlarına geçilmiştir. Geçici barınma alanının vaziyet planı ve barınma birimlerinin tasarımında da, yine Delphi panelinde elde edilmiş ve Tablo 5'te sıralanmış ölçütler tasarım girdileri olarak kullanılmıştır.

Uzmanların sınıflandırma çalışması sırasında, [Soltani vd. \(2015\)](#)'in çalışmasında olmayan, ancak [Sphere \(2018\)](#) ve [AFAD \(2015\)](#)'in yayınladığı rapor/yönergelerde yer alan başlıklar (Sürdürülebilirlik, Vaziyet planı (yerleşim tasarımı) ve Yollar) ve bazı ölçütlerin netleşmesi için ilave tanımlar ilgili tabloya eklenmiştir. Bu ek ölçüt/tanımlardan AFAD'ın 2015 tarihinde yayınladığı "Geçici Barınma Merkezlerinin Kurulması, Yönetimi ve İşletilmesi Hakkında Yönerge"de yer alanlar şöyle sıralanabilir:

- Yollar: ana yolların genişliğin en az 15 metre, ara yolların genişliğinin ise en az 10 metre olmalıdır,
- Yapı koruma standartları: konteynerlerin yerden yüksekliğinin 30 cm olmalıdır,
- Uygun büyüklük/kapasite: barınma birimi için kişi başına düşen kapalı alanın 3.5-4.5m² arasında olmalıdır.

[Sphere Projesi \(2018\)](#) kapsamında yararlanılan ölçüt/tanımlar da şunlardır:

- Sürdürülebilirlik: alanda yenilenebilir enerji, geri dönüşüm, geri kazanım gibi uygulamalar hayata geçirilmelidir,
- Vaziyet planı: Alanın afet sonrası barınma fonksiyonlarına cevap verebilmesi için verimli işleyen ve ilgili standartları karşılayabilecek bir vaziyet planı tasarımı hazırlanmalıdır,
- Uygun büyüklük/kapasite: yerleşim alanında kişi başına düşen alanın en az 45 m² olmalıdır,
- Yapı koruma standartları: yangın riski açısından her 300 metrede bir 30 metre yangın emniyet şeridi ayrılmalı; yan yana binaların çökmesini önlemek için her hane arasında en az 2 metre (tercihen yapının iki katı yüksekliğinde) mesafe olmalıdır.

Tüm bu unsurların eklendiği nihai tasarım-uygulama ölçütler listesi Tablo 5'te görülebilir.

Tablo 5: Afet sonrası geçici barınma alanı tasarım-uygulama ölçütleri ve tanımları

No	Tasarım-Uygulama Ölçütleri	Tanım
1	Altyapı-kurulacak	a) Aydınlatma ve enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için alanda elektrik altyapısı kurulmalıdır. b) İçme suyu, kullanım suyu, yangın musluğu ve kanalizasyon hizmetlerinin sağlanabilmesi için alanda su ve kanalizasyon altyapısı kurulmalıdır. c) Alanda telefon ve diğer iletişim altyapı kurulmalıdır.
2	Arazi drenajı	Yüzey suyunun birikmesini önleyecek drenaj sistemi kurulmalıdır.
3	Barınak tipi/modeli	Seçilecek barınma biriminin maliyetinin düşük olması, farklı iklim koşullarına uyum sağlayabilmesi, montajının kolay ve hızlı olabilmesi, tasarım/mekânsal esnekliğe/çeşitliliğe sahip olması gerekir.
4	Barınma için öngörülen süre	Geçici barınma için bir süre öngörülüyorsa, bu süre proje yönetim sürecinde değerlendirilmeli ve tüm kararlar bu doğrultuda alınmalıdır.
5	Ekonomik boyut	Uygulama aşamasına geçilmeden önce maliyet analizi ve tedarik/satın alma/etaplama planları tamamlanmalıdır.
6	Erken uyarı sistemi	Yaşanabilecek olası bir afet durumunda barınan nüfusu ve görevlileri uyararak yönlendirecek erken uyarı sistemi kurulmalıdır.
7	İklim özellikleri	Yağış, güneşlenme, hakim rüzgarlar gibi yerel iklim özellikleri analiz edilmelidir.
8	İnsani yardım hizmetleri	Alanda barınma ihtiyacının yanı sıra kamusal ve insani yardım hizmetleri de verileceğinden, bu fonksiyonların karşılığı alan/tesislere karar verilmelidir.
9	Kamuoyu/halkoyu	Alanda barınacak nüfusun sosyal, kültürel ve demografik özellikleri bilinmeli ve tasarım sürecinde göz önünde bulundurulmalıdır.
10	Kot/Rakım	Arazi kotlarının analizi, alanın fiziksel tasarımını ve vaziyet planı/barınma birimi uygulamalarını etkilediğinden dolayı önemlidir.
11	Sürdürülebilirlik	Alanda yenilenebilir enerji, geri dönüşüm, geri kazanım gibi uygulamalar hayata geçirilmelidir.
12	Uygun büyüklük/kapasite	Alanın yerleşilebilirliğe uygun net büyüklüğünün analizi, konumlandırılacak barınma ve diğer kamusal kullanım birimlerinin sayısı/kapasitesine karar verilebilmesi için önemlidir. Ayrıca barınma birimi için kişi başına düşen kapalı alanın 3.5-4.5m ² arasında olması; yerleşim alanında kişi başına düşen alanın ise en az 45 m ² olması gerekir.
13	Vaziyet planı	Alanın afet sonrası barınma fonksiyonlarına cevap verebilmesi için verimli işleyen ve ilgili standartları karşılayabilecek bir vaziyet planı tasarımı hazırlanmalıdır.
14	Yapı koruma standartları	Tüm barınma ve kamusal kullanım birimleri TSE, Yangın Yönetmeliği ve Deprem Yönetmeliğine uygun olmalıdır. Konteynerlerin yerden yüksekliği 30 cm olmalıdır, her birim arasında en az 2 metre (tercihen yapının iki katı yüksekliğinde) mesafe olmalıdır. Yangın riski açısından her 300 m de bir 30 m yangın emniyet şeridi ayrılmalıdır.
15	Yerel malzemeler	Alandaki tüm uygulamalarda mümkün olduğunca yerel materyaller/malzemeler tercih edilmelidir.
16	Yollar	Alanın kendi içindeki erişilebilirliğinin sağlanması için yolların tasarımı/kademelenmesi önem taşımaktadır. Ana yol genişliği en az 15m, ara yol genişliği ise en az 10m olmalıdır.

Geçici barınmayı sağlayacak olan birimlerin uyması gereken ölçütler arasında; maliyetinin düşük olması, farklı iklim koşullarına uyum sağlayabilmesi, montajının kolay ve hızlı olabilmesi, depolamasının kolay olması ve küçük bir alandan büyük faydalar elde edilebilmesi hızlıca sayılabilir. Bu noktada konteynerler zorlu iklim koşullarına ve yangına dayanım gösterebilmeleri, nakliye ve depolanmalarının kolay olması ve afetzedelerin ihtiyaç duyduğu mekânsal esnekliği sunabilme nitelikleri sebebiyle başlıca afet sonrası geçici barınma birimi olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada da geçici barınma birimi olarak konteyner kullanımı tercih edilmiştir.

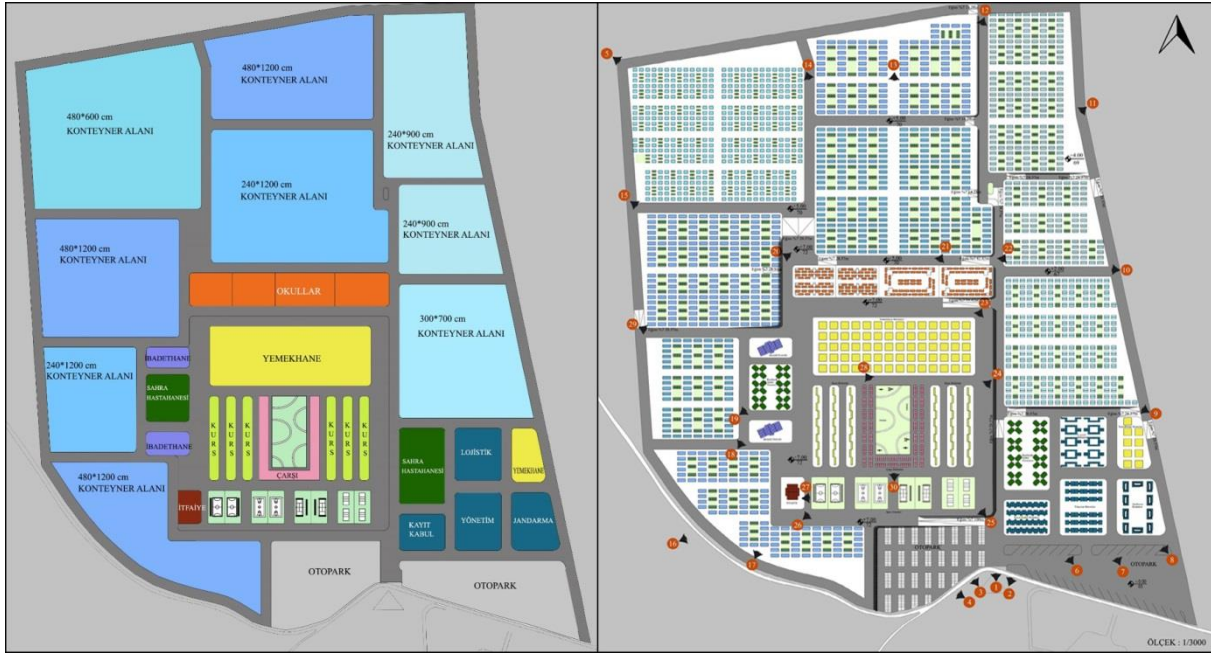
Konteyner planları yapılmadan, önceki örnekler incelenmiş ve barınması planlanan aile tiplerinin hangi ölçülere sahip konteynerleri kullanması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca konteyner planlarını oluşturma aşamasında TÜİK'in yapmış olduğu "İstatistiklerle Aile bültenlerinden" de (aile tipleri ve hane halkı sayıları) yararlanılmıştır (TÜİK 2019). Barınma birimlerinde kullanılacak olan konteynerler tasarlanırken 240*900*260 cm, 240*1200*260 cm, 300*700*260 cm, 480*600*260 cm ve 480*1200*260 cm ölçülerinde olan konteynerler kullanılmıştır. Tuvalet ve mutfak birimleri, konteyner içinde değil, dışarıda bulunan ortak alanlarda çözülmüştür.

Çalışmanın son bölümünde, Delphi panelinden elde edilen tasarım-uygulama ölçütleri, Sphere Projesi ve AFAD tarafından Türkiye'de daha önce kurulmuş olan çadır kentler ile konteyner kentlerin mekânsal tasarımı referans alınarak (AFAD 2016), Seferihisar pilot yerleşim alanına bir vaziyet planı çalışması yapılmıştır (Şekil 5).

Bu vaziyet planı, kamusal kullanım alanlarını merkeze alarak, barınma alanlarının bu ortak alanların çevresinde kurgulanmasını amaçlayan bir bölgelemeye sahiptir. Alanın ana yola bakan güney bölgesi otoparklara ve alanın idari merkezine ayrılmış, kayıt/ kabul, yönetim, jandarma birimleri, sağlık birimlerine ait birimlerin bir kısmı, lojistik ve yemekhane birimleri hemen otoparkın arkasına konumlandırılmıştır. Arazinin diğer bir alt bölgesi, merkezde yer alan ve ortak kullanım alanlarını içeren bölümdür. Bu alt bölgede okullar, yemekhane, ibadethane, sahra hastanesi, çarşı, kurs alanları, itfaiye, spor alanları ve çocuk oyun alanlarının yerleşimi yapılmıştır. Barınma alanları ise merkez ortak alanların çevresini sarak araziye yayılmıştır. Her bir birim arasında 3.5m boşluk bırakılmış, barınma birimlerini oluşturan her bir mahalleyi çevreleyen ara yollar 11m, arazi çevresinde de 15m'lik ana yol tasarlanmıştır. Bu yol matrisi sayesinde alan içi ulaşımın sağlanması amaçlanırken, barınma alanının da nitelikli parselasyonu sağlanmıştır.

Barınma birimleri mahallelerden oluşacak şekilde tasarlanmış olup, tuvalet, duş ve çamaşırhane birimleri de her bir mahallenin ortak alanında çözülmüştür. Ayrıca yalnızca ortak alanda değil her bir mahallede de yeşil alan bulunmasına önem verilmiştir.

Alanın fonksiyonel bölgelemesi ve vaziyet planı sonuçlandırılmadan önce uzmanların görüşleri alınarak vaziyet planının son hali verilmiştir. Tüm birimlerin yerleştirilmesi neticesinde İzmir-Seferihisar konteyner-kentinde 13.794 kişinin barınması, 1.056 kişinin de barınma merkezinde personel olarak çalışması planlanmıştır. Tüm ihtiyaç duyulan birimleri oluşturmak için toplamda 6.637 adet konteyner kullanılmıştır. Bu miktarın 4.936 tanesi barınma birimi konteynerleri için, 316 tanesi yönetim birimi konteynerleri için, geri kalan 1.385 tanesi de ortak kullanım alanlarında ihtiyaç duyulan konteyner birimleri için kullanılmıştır.



Şekil 5: Konteyner kent bölgeler şeması (solda), vaziyet planı (sağda)

6. Sonuç ve Tartışma

Yaşanan afetlerden sonra ortaya çıkan ihtiyaçlara bakıldığında barınma unsuru afet yönetimi açısından öncelikli bir konudur. Bu çalışma kapsamında afet sonrası geçici barınma alanlarının yer seçimi, planlaması ve tasarımına dair AFAD ve çeşitli akademik çalışmalarca ortaya konmuş olan bir dizi ölçütler listesi, Delphi yöntemi kullanılarak derlenmiş, detaylandırılmış ve derecelendirilmiştir.

Makalenin metodolojik açıdan literatürdeki önceki çalışmalar ile benzer yanı, ilgili araştırmalarda sıklıkla kullanılan ÇKKV yöntemlerinde ölçütlerin derecelendirilmesi/ağırlıklandırılması adımları stokastik yöntemler ile yapılırken (Chu ve Su 2011; Omidvar vd. 2013; Karaman ve Erden 2014; Trivedi 2018; Ömürgönülşen ve Menten 2021), bu makalede Delphi turları üzerinden tamamlanmasıdır. Çalışmanın bu anlamda farklı yönü ise alternatiflerin değerlendirilmesinde diğer çalışmalar yine seçtikleri ÇKKV metodolojisine bağlı adımları uygularken, bu makalede aynı karar verme sürecinin bir puanlama tablosu ile hesaplanmasıdır (Delphi 3.tur/Tablo4).

Literatürdeki birçok çalışmada afet sonrası geçici barınma alanlarının yer seçimine dair ölçütler seti önceki bir araştırmadan ya da mevzuattan hazır olarak alınarak kullanılmıştır. Makalenin bu çalışmalardan ilk farkı, öncelikli olarak hazır bir ölçüt seti kullanmayarak, literatürdeki ölçütlerden ve ilgili mevzuattan yararlanarak yeni, daha kapsamlı ve Türkiye'ye özgü bir ölçüt seti önermesidir. Oluşan bu seti, yer seçim-planlama ve tasarım-uygulama ölçütleri olarak gruplaması ve önemlerine göre derecelendirmesi de çalışmanın bir diğer özgün katkısıdır. Literatürdeki birçok çalışma, sadece yer seçim-planlama ölçütlerini kullanarak afet sonrası geçici barınma alanlarının yer seçimini yapmayı önerir. Ancak tasarım-uygulama ölçütlerinin de işin içine katılması ile daha kapsamlı bir yer seçimi önerisinin ortaya çıkacağı açıktır.

Çalışmada oluşan ölçütler listesi ve tanımları, Türkiye şartlarına, özellikle de deprem kaynaklı afetlere uygun bir yer seçimi ve planlama rehberi oluşturmaktadır. Oluşturulan ölçütler listesi literatürdeki yayınlardaki, ulusal ve uluslararası yönergelerdeki ölçütler listeleri ile karşılaştırılmış, ilgili tüm ölçütlerin listeye dâhil edilmesine dikkat edilmiştir. Elde edilen ölçütler listesinin önceki akademik ve kurumsal (AFAD, Sphere vb.) çalışmalarda ifade edilenlere göre avantajı, hem Türkiye şartlarına uygun olması, hem de listenin birçok ölçüt listesinden derlenmesinden dolayı kapsamlı olmasıdır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise, AFAD tarafından İzmir için geçici barınma alanı olarak önerilmiş alanlar, yer seçim-planlama ölçütleri üzerinden uygunluk analizine tabi tutulmuştur. Böylelikle önerilen alanların hangi ölçütlere uyup uymadığı, en uygun alanların hangi ilçelerde bulunduğu ortaya konmaya çalışılmıştır. Analiz sonuçlarına göre birçok alan mülkiyet, arazi eğimi, altyapı-mevcut gibi temel ölçütleri sağlamakla beraber; birçoğu mevcutta yapılı çevre içerisinde bulunmaları (mevcut arazi kullanım), uygun büyüklük/kapasite ölçütünü karşılayamamaları ve diğer faktörler sebebi ile elenmiştir. İncelenen toplam 83 alandan hiçbirisi tüm ölçütleri karşılayamamaktadır. Sadece “seferihisar2” alanı sağlık tesislerine yakınlık dışındaki ölçütlere uygunluk göstermektedir. Bu kapsamda Seferihisar’da (seferihisar2), Delphi panelindeki uzman görüşleri, AFAD’ın 2015 yönergesi/saha çalışmaları ve Sphere Projesi gibi uluslararası çalışmalar da göz önünde bulundurularak oluşturulan tasarım uygulama ölçütlerini temel alan, pilot bir konteyner kent tasarımı yapılmıştır. Arazinin konteyner kent yerleşimine uyumlu vaziyet tasarımını yapabilmek için topoğrafik özellikleri analiz edilmiş ve arazi görsellerinden faydalanılmıştır. Vaziyet planı tasarımı insani yaşam şartlarına, aile durumlarına, sosyal ve diğer ihtiyaçlara cevap verecek şekilde konteyner tipleri belirlenerek organize edilmiştir. Böylece bir afet sonrası geçici barınma alanının üst ölçekten alt ölçeğe kadar yer seçim, planlama ve tasarım süreci ortaya konmaya çalışılmıştır.

Kuşkusuz olası bir afet durumunda İzmir kentinin ihtiyaç duyacağı geçici barınma alanı sayısı daha fazla, coğrafi dağılımı ise daha dengeli olmalıdır. Afet sonrası barınma alanlarının sadece konum olarak belirlenmesi, alanın kullanım stratejilerinin belirlenmesi açısından yeterli değildir. Her bir alanın kullanım senaryolarının hazırlanması ve bu senaryolara uygun olarak planlanması da oldukça önemlidir. Makalenin bir diğer kısıtlı yönünün Delphi panelinin 3. Turu olduğu düşünülmektedir. İzmir’deki 83 potansiyel alanın, ilgili ölçüt ve önem derecelerine göre puanlandığı (Tablo 4) yer seçim aşaması yerine, ÇKKV yöntemlerinden birisinin seçilerek kullanılması, çalışmanın yöntemine katkı sağlayabilir. Delphi ve ÇKKV yöntemlerinin entegre çalışacağı bir model, karar verme sürecinin performansını artırılabilir. Bu nokta gelecek çalışmalarda dikkate alınmalıdır.

Buna ilaveten ileride yapılacak çalışmalarda; ölçütler listeleri farklı afet türlerine ve coğrafi/iklimsel bölgelere göre özelleştirilebilir. Böylece Türkiye’nin farklı coğrafi/ iklimsel/kültürel bölgeleri-kentleri için uygun barınma alanları tasarlanabilir. Bunun yanında, verilen alanın büyüklüğü, eğimi, barınma birim sayısı gibi sayısal değerlere uygun olarak alanda vaziyet planı önerileri yapabilecek parametrik karar destek araçları üretilebilir.

Kaynaklar

- Ablenado-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, (2015), *Geçici Barınma Merkezlerinin Kurulması, Yönetimi ve İşletilmesi Hakkında Yönerge*, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/2310/files/Gecici_Barinma_Merkezlerinin_Kurulmasi_Yonetimi_Isletilmesi_Yonerge.pdf [Erişim 12 Ocak 2021].
- AFAD, (2016), *Geçici Barınma Merkezlerinin Kurulumu*, <https://cdn2.beun.edu.tr/imid/egitim/gecici-barinma-merkezlerinin-kurulumu.pdf> [Erişim 05 Ağustos 2021].
- AFAD, (2017), *GABA Yer Seçimi Kriterleri*, AFAD İyileştirme Şube Müdürlüğü, İzmir.
- AFAD, (2019), *TAMP-İzmir*, <https://izmir.afad.gov.tr/tamp-izmir-2019> [Erişim 07 Aralık 2020].
- AFAD, (2020), *30 Ekim 2020 Sisam Adası Mw 6.6 Depremi Raporu*, <https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=2065> [Erişim 18 Temmuz 2021].
- Bartusiak J., Said H., (2018), *Post-disaster interim shelter using manufactured housing units: Analysis of systems and supply in the United States*, Construction Research Congress 2018: Safety and Disaster Management, doi: 10.1061/9780784481288.049.
- Bayram V., Tansel B.Ç., Yaman H., (2015), *Compromising system and user interests in shelter location and evacuation planning*, Transportation Research, 72, 146-163.
- Beyatlı C (2010), *Acil Durum Barınakları ve Bir Barınak Olarak Acil Durum Konteyneri Öneri Modeli*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Cheng H., Yang X.K. (2012), *A comprehensive evaluation model for earthquake emergency shelter*, Proceedings of the 9th Asia Pacific Transportation Development Conference, ss. 412–422, doi: 10.1061/9780784412299.0050.
- Chu J., Su Y., (2011), *Comprehensive evaluation index system in the application for earthquake emergency shelter site*, Advanced Materials Research, 156, 79-83.
- Chu J., Su Y., (2012), *The Application of TOPSIS Method in Selecting Fixed Seismic Shelter for Evacuation in Cities*, Systems Engineering Procedia, 3, 391–397.
- Çınar A.K., Akgün Y., Maral H., (2018), *Afet sonrası acil toplanma ve geçici barınma alanlarının planlanmasındaki faktörlerin incelenmesi: İzmir-Karşıyaka örneği*, Planlama, 28(2), 179-200.
- Dalkey N.C., Helmer O., (1963), *An experimental application of the Delphi method to the use of experts*, Management Science, 9(3), 458-467.
- Davis J., Lambert R., (2002), *Engineering in Emergencies: A Practical Guide for Relief Workers*, Second Edition, RedR/IT Publications, London, 728ss.
- Dayanır H., (2019), *Afet Sonrası Barınma Alanlarının Mekânsal Analizi ve Seferihisar Örneğinde Konteyner Kent Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İzmir.
- Demirci A., Karakuyu M., (2011), *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, 8, 983-993.

- Erdin H.E., Zengin Çelik H., Sılaydın Aydın M.B., Partigöç N.S., (2018), *Afet ve acil durumlar sonrası halkın toplanma alanlarına ilişkin kriterlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi yönteminin oluşturulması, İzmir kenti örneği*, AFAD-UDAP Çalışması, Proje No: UDAP-G-16-08, Ankara.
- Erdin H.E., Sılaydın Aydın M.B., Partigöç N.S., Zengin Çelik H., Palazca A., Horoz, Ç., (2021), *Kent içi yol kademelenmesinin afet durumunda toplanma alanlarının erişilebilirliğine etkisi açısından irdelenmesi*, Academic Platform Journal of Engineering and Science, 9-1, 103-111.
- Erkal T., Değerliyurt M., (2011), *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.
- Gerdan S., Şen A., (2019), *Afet ve acil durumlar için belirlenmiş toplanma alanlarının yeterliklerinin değerlendirilmesi: İzmit örneği*, İDEALKENT, 10(28), 962-983.
- Hsu C., Sandford B., (2007), *The Delphi Technique: Making Sense of Consensus*, Practical Assessment, Research and Evaluation, 12, 10, doi: doi.org/10.7275/pdz9-th90.
- İBB (2020), *İBB toplanma ve geçici barınma alanları’nı belirledi*, <https://www.ibb.istanbul/arsiv/36384/ibb-toplanma-ve-gecici-barinma-alanlarini-bel> [Erişim 12 Ağustos 2021].
- Junian J., 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.
- Kar B., Hodgson M.E., (2008), *A GIS-based model to determine site suitability of emergency evacuation shelters*, Transactions in GIS, 12(2), 227-248.
- Karaman H., (2014), *İstanbul’da Afet Sonrası Geçici Barınma Alanlarının Tespitine Yönelik Model Geliştirilmesi*, AFAD Ulusal Deprem Araştırma Programı Projesi, AFAD-UDAP-Ç-12-03, <https://deprem.afad.gov.tr/icerik?id=10&menuId=100>.
- Karaman H., Erden T., (2014), *Net earthquake hazard and elements at risk (NEaR) map creation for city of Istanbul via spatial multi-criteria decision analysis*, Natural Hazards, 73, 685-709.
- Karaman H., Rezaei S., Kalkan K., Konukçu B.E., Erden T., (2014), *Afet Sonrası En Uygun Geçici Barınma Alanlarının CBS ile Tespiti*, V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim, İstanbul.
- Kelly C., (2005), *Checklist-based Guide to Identifying Critical Environmental Considerations in Emergency Shelter Site Selection, Construction, Management and Decommissioning*, Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, Geneva, 34ss.
- Kılıç F., Kara B.Y., Bozkaya B., (2015), *Locating temporary shelter areas after an earthquake: a case for Turkey*, European Journal of Operational Research, 243, 323-332.
- 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, 715-729.
- Linstone H.A., Turoff M., (1975), *The Delphi method: techniques and applications*, Addison-Wesley, Reading, MA, 620ss.
- Liu Q., Ruan X., Shi P., (2011), *Selection of emergency shelter sites for seismic disasters in mountainous regions: Lessons from the 2008 Wenchuan Ms 8.0 Earthquake, China*, Journal of Asian Earth Sciences, 40(4), 926-934.
- Maral H., (2016), *Afet sonrası geçici yerleşim yerlerinin planlanmasında üst ölçekli planlama: Karşıyaka örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Gediz Üniversitesi, İzmir.
- Nasution, İ., (2017), *Doğal Afetler Sonrasında Kullanılacak Geçici Barınak Tasarımı Üzerine Bir Çalışma: Endonezya – Sinabung Örneği*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3(2), 93-111.
- Omidvar B., Baradaran-Shoraka M., Nojavan M., (2013), *Temporary site selection and decision making methods: a case study of Tehran, Iran*, Disasters, 37(3), 536-553.
- Ömürgönülşen M., Menten C., (2021), *Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Ankara İli İçin Olası Afet Sonrası Geçici Barınma Alanlarının Seçimi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1), 159-175.
- Rezaei S., (2014), *Developement of a decision support model for the optimum shelter location following a disaster*, MSc. Thesis, İstanbul Technical University, Graduate School of Science, Engineering and Technology, İstanbul, Turkey.
- 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.
- Soltani A., Ardalan A., Darvishi Bolorani A., Haghdooost A., Hosseinzadeh-Attar M.J., (2014), *Site selection criteria for sheltering after earthquakes: a systematic review*, PLOS Currents Disasters, 2014,6, doi: 10.1371/currents.dis.17ad1f98fb85be80785d0a81ced6a7a6.
- Soltani A., Ardalan A., Darvishi Bolorani A., Haghdooost A., Hosseinzadeh-Attar M.J., (2015), *Criteria for Site Selection of Temporary Shelters after Earthquakes: a Delphi Panel*, PLOS Currents Disasters, 7, doi: 10.1371/currents.dis.07ae4415115b4b3d71f99ba8b304b807.
- Sphere Association (2018), *The Sphere Handbook: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response*, Fourth edition, Geneva, Switzerland, <http://www.sphereproject.org/handbook/> [Erişim 25 Ağustos 2020].
- Şahin A.E., (2001), *Eğitim araştırmalarında Delphi tekniği kullanımı*, Hacettepe Üniversitesi Eğitim Bilimleri Dergisi, 20, 215-220.
- 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.
- 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, ss.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.
- Tucker S., Gamage A., Wijeyesekera C., (2014), *Some design aspects of sustainable post-disaster housing*, International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment, 5(2), 163-181.

- Tuncel A., (2007), *Mobil konutlarda iç mekân organizasyonu ve mobil mekânların tarihsel gelişim süreci*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TÜİK, (2019), *İstatistiklerle Aile*, <https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=33730> [Erişim 5 Ekim 2020].
- Uzut H., (2016), *Deprem sonrası geçici barınma ünitelerinin görsel ve yarışma proje örnekleri üzerinden incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Wei L., Li W., Li K., Liu H., Cheng L., (2012), *Decision support for urban shelter locations based on covering model*, *Procedia Engineering*, 43, 59–64.
- Yalaz E.T., (2021), *Afet sonrasında yapılan geçici konut örneklerinin ve yapı sistemlerinin değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- 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.
- Yurt S., Kadioğlu H., (2019), *Delfi Uzlaşısı Tekniğinin Hemşirelikte Kullanımı*, *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi*, 16(1), 48-53.
- 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.
- Zengin Çelik H.Z., Silaydın Aydın M.B., Partigöç N.S., Erdin H.E., (2018), *Deprem riskleri bağlamında toplanma alanlarının güvenlik kriterleri temelinde değerlendirilmesi: Bayraklı (İzmir) örneği*, *ISHAD 2018, 2nd International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management*, Sakarya.
- Zhao L., Li H., Sun Y., Huang R., Hu Q., Wang J., Gao F., (2017), *Planning emergency shelters for urban disaster resilience: an integrated location-allocation modeling approach*, *Sustainability*, 9(11), 2098, doi: doi.org/10.3390/su9112098.

GRACE Misyonu ve GLDAS Modeli ile Su Kütlesi Değişimlerinin İzlenmesi ve İklimsel Faktörlerin Değişimlere Etkisi: Konya Havzası Örneği

Emel Zeray Öztürk^{1,*} 

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

Özet

Son yıllarda gözlemlenen iklim değişimleri, su kaynaklarının etkin kullanımını gerektirmektedir. Bu bakımdan sürdürülebilir su yönetimi için izlenen politikalar, su hareketliliğinin sürekli izlenmesini zorunlu kılmaktadır. Su kaynaklarının takibini, trend kestirimlerini ve su alanlarındaki değişimin görselleştirilmesine yönelik harita üretimini, son yıllarda uzaktan algılama teknolojisi ile gerçekleştirilebilmek mümkündür. Özellikle uydu gravimetrisi ve global hidrolojik modellerin entegrasyonu ile bu çalışmalar görece hızlı ve düşük maliyetle yürütülebilmektedir. Bu çalışmada GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) uydu misyonu ve GLDAS (Global Land Data Assimilation System) kara hidroloji model verileri kullanılarak Konya havzasının bulunduğu bölgede su kütlesi değişimleri (TWSA: Total Water Storage Anomaly) irdelenmiştir. Ayrıca iklim değişimlerinin sonuçlar üzerindeki kısa ve uzun dönemdeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, 2002-2020 yılları arasında çalışma bölgesindeki yeraltı su kütlesi (YSK) ve buna bağlı olarak toplam su kütlesi değişimlerinin uzun dönemde negatif yönlü trende sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, TWSA ile iklim değişkenlerinden sıcaklık ve yağış faktörlerinin iki ve üç aylık gecikme dönemlerinde yüksek korelasyona sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar Sözcükler

GRACE, GLDAS, İklim Değişimi, Su Kütlesi Değişimleri

Monitoring Total Water Storage Changes with GRACE Mission and GLDAS Model and Effect of Climatic Factors on These Changes: Case Study in Konya Basin

Abstract

The climate changes observed in recent years require the efficient use of water resources. In this respect, policies followed for sustainable water management necessitate continuous monitoring of water mobility. In recent years, it is possible to produce maps for the monitoring of water resources, trend estimations and visualization of changes in water areas, with remote sensing technology. Especially with the integration of satellite gravimetry and global hydrological models, these studies can be carried out relatively quickly and at low cost. In this study, water storage changes (TWSA: Total Water Storage Anomaly) in the region of Konya basin were evaluated using the GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) satellite mission and GLDAS (Global Land Data Assimilation System) data. In addition, the short and long term effects of climate changes on the results have been investigated. The results show that between 2002 and 2020, groundwater and, accordingly, the total water storage changes have a negative trend in the long term, in the study area. Additionally, it can be deduced that TWSA and climatological variables including precipitation and temperature have a high correlation at 2- and 3-month lags.

Keywords

GRACE, GLDAS, Climate Change, Water Storage Changes

1. Giriş

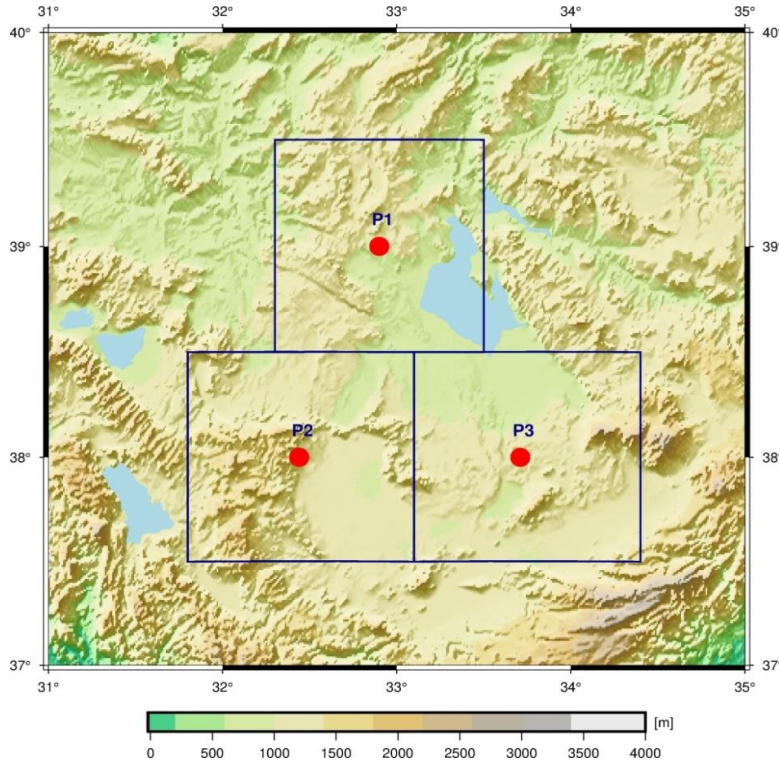
Dünyamızın yaklaşık 2/3'ü su ile çevrilidir. Yerküredeki tüm su miktarının %97.5'ini tuzlu su oluşturmaktadır. Geriye kalan %2.5'i ise her canlının yaşamını sürdürülebilmesi için gerekli olan tatlı sudan oluşmaktadır. Ulaşılabilir tatlı su miktarı bu derecede kısıtlı iken, yaşanabilecek olası bir kuraklık; enerji, çevre, ekonomi ve sağlık gibi pek çok alanda ciddi problemleri ortaya çıkaracaktır. Son yıllarda görülen ekstrem hava koşulları, artan nüfus ve bilinçsizce açılan kuyular, özellikle yeraltı sularının büyük oranda tüketilmesine ve aynı zamanda kirletilmesine neden olmuştur (Frappart ve Ramilien 2018; Wada vd. 2010). Su kaynaklarının uzun dönemde korunması için verimli, sürdürülebilir bir su yönetimi şarttır. Bunun için su kaynaklarının doğru yöntemlerle değerlendirilmesi ve analizi gerekmektedir (Famiglietti vd. 2011; Jiao vd. 2015; Öztürk vd. 2018).

Özellikle yeraltı sularının izlenmesinde geleneksel yöntemlerden biri olan kuyulardan su seviyelerinin ölçülmesi ve izlenmesi yüksek doğruluklu veri sağlasa da pratikte daha yüksek maliyet ve zaman kaybına yol açmaktadır (Yin vd. 2018). Ayrıca açılan kuyular homojen dağılım göstermemekte ve pek çok noktada gözlemler yetersiz kalabilmektedir. 2002 yılında hayata geçirilen GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) uydu misyonu ile su kütlesi düşey değişimlerinin (TWSA: Total Water Storage Anomaly) bölgesel ve global ölçekte gözlemleri yapılabilmektedir (Rodell vd. 2009; Tapley vd. 2004; Akyılmaz vd. 2016; Godah vd. 2018). $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ konumsal çözünürlüğüne sahip GRACE/GRACE-FO verilerinin, veri merkezlerince yayınlanan Seviye-2 çözümleri ve yine GRACE/GRACE-FO verilerinden türetilen mascon çözümleri, TWSA değişimlerini vererek toprak nemi, kar suyu eşdeğeri, bitki yüzey suyu ve yeraltı su kütlesi (YSK) bileşenlerini içeren toplam değişimi yansıtmaktadır (Frappart ve Ramillien 2018; Scanlon vd. 2016). Uydu gravimetrisi yöntemiyle elde edilen GRACE veri setleri ile bu toplam değişimler çevrimiçi aylık periyotlarla yayınlanmaktadır ve bu sayede pratik olarak takip edilebilmektedir (Öztürk vd. 2020; Öztürk 2020). GLDAS (Global Land Data Assimilation System), zamana bağlı YSK değişimlerinin tahmininde kullanılan başka bir veri setidir (Rodell vd. 2004). 0.25° konumsal çözünürlüğe sahip olan GLDAS verileri ile aylık periyotlarla toprak nemi, bitki yüzey suyu, kar suyu eşdeğeri gibi bileşenlerdeki değişimleri ayrı ayrı incelemek mümkündür. GRACE ve GLDAS gibi iki farklı veri setinin kullanılmasıyla yer altı su kütlesinin zamana bağlı değişimleri elde edilebilmektedir (Moghim 2020). Bir çalışma bölgesinde, hidrolojik model ve uzaktan algılama ile elde edilen kestirimlerle yapılan kontroller, yeraltı su değişimi uygulamalarında daha yüksek doğruluğa ulaşmayı hedeflemenin yanında, yersel gözlemler için de yardımcı veri niteliğindedir (Yin vd. 2020).

Bu çalışmada amaç, Konya havzasını büyük oranda içeren çalışma bölgesinde GRACE CSR 6. versiyon Seviye-2 çözümleri ve GSFC mascon çözümleri ile GLDAS verileri kullanılarak su kütlesi değişimlerinin konum, zaman ve iklim parametrelerine bağlı değişimini incelemektir. Toplam su değişimlerini içeren GRACE ve yüzey sularına ilişkin büyüklükler içeren GLDAS'ın çalışma bölgesinde birlikte irdelenmesi, YSK değişimleri hakkında bilgi vermektedir. Yağış ve sıcaklık gibi iklim parametrelerinin su kütlesi değişimlerini hangi zaman aralığında nasıl etkilediği çalışmanın önemli bulgularındandır. Elde edilen sonuçlar hidroklomatik süreçlerin dikkate alınarak, bölgedeki su kaynakları için risk yönetiminin dinamik yaklaşımlarla yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

2. Çalışma Bölgesi ve Veri

Çalışma bölgesi, Konya Kapalı havzasının büyük kısmını içermektedir. Şekil 1'de çalışma bölgesi ve sınırları görülmektedir. Çalışma alanı ile sınırlar, GSFC (Goddard Space Flight Center) tarafından üretilen mascon çözümleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışma alanındaki P1, P2 ve P3 ile gösterilen noktalar, mascon merkezleridir ve 3 alt bölgeyi temsil etmektedirler. Bölgede tarım faaliyetleri devam etmekte olup ekim alanları büyük önem arz etmektedir (Yılmaz 2010).



Şekil 1: Üç alt alandan oluşan çalışma bölgesi

Bölgede geniş bir akarsu ağı bulunmamakla birlikte, yağış miktarları da tarım için yetersiz kalabilmektedir. Bu durum, artan su ihtiyacının yeraltı sularından karşılanmasına yol açmaktadır (Doğdu vd. 2007). Küresel iklim değişimi, su kaynaklarının bilinçsiz tüketimi vb. gibi etmenler de göz önüne alındığında bölge için su seviyelerinin sürekli izlenmesi, sürdürülebilir su yönetimi için oldukça önemlidir (Bulduk vd. 2008; Göçmez vd. 2008; Üstün vd. 2010).

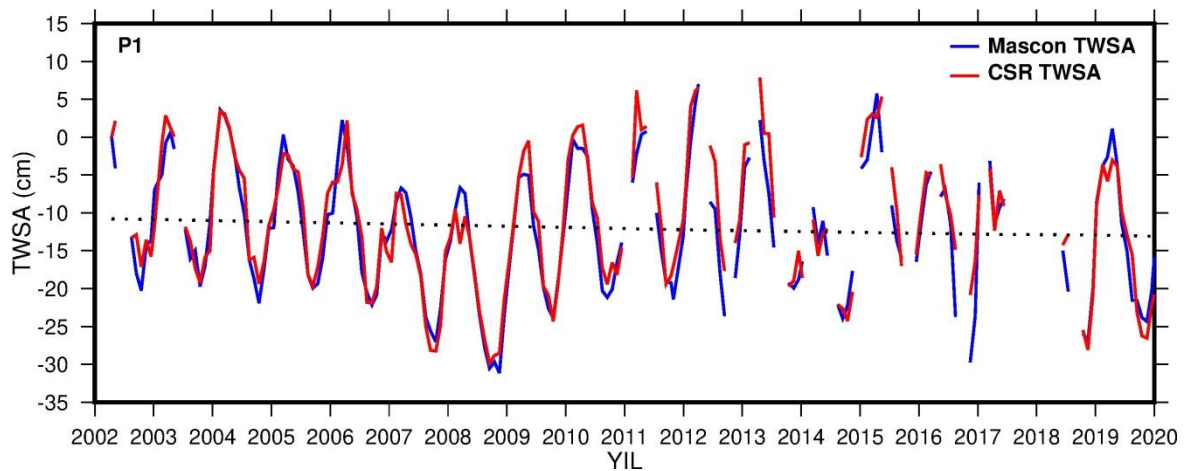
Çalışmada GRACE, GRACE-FO ve GLDAS veri setleri kullanılmıştır. 2002 yılında fırlatılan ve 15 yıl aktif olan GRACE ikiz uyduları yeryüzündeki zaman ve konuma bağlı gravite değişimlerini gözlemlemiştir. GRACE uydu çiftinin süresini tamamlamasıyla görevi GRACE-FO misyonu devralarak 2018 yılından günümüze gravite değişimlerini gözlemlemektedir. Yeryüzündeki dinamik kütle dağılımından kaynaklanan bu gravite değişimlerini büyük oranda tetikleyen su kütlesinin hareketidir. Özellikle mevsimsel su kütlesi değişimlerinin etkili olduğu bu veriler ile uzun dönemli su kütlesi değişim trendlerini de incelemek mümkündür. Toprak nemi, bitki örtüsü yüzey suyu, biriken kar, yüzey ve yeraltı suyu değişiminden oluşan bu su kütlesi değişimleri çalışmada mascon TWSA ve CSR TWSA olarak ifade edilmiştir.

Çalışma periyodu 2002-2020 yılları arası olup, aylık GRACE CSR 6. versiyon Seviye-2 çözümleri ve GSFC mascon çözümleri kullanılmıştır. Veri setindeki bazı aylarda bulunan boşluklar ekstra bir hataya sebebiyet vermemek için doldurulmamış ve mevcut veriler kullanılmıştır. GSFC mascon verileri (<https://ccar.colorado.edu/grace/gsfsc.html>) adresinden, CSR Seviye-2 çözümleri ise (<http://icgem.gfz-potsdam.de/series>) adresinden temin edilebilmektedir. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ve NASA (National Aeronautics and Space Administration) işbirliğiyle üretilen GLDAS, 1948 yılından bu yana meteorolojik değişkenleri, hidrolojik bileşenleri ve radyasyonu içeren aylık küresel veriler sunmaktadır. Bu çalışmada GLDAS-2 ürününden elde edilen karasal su kütlesi değişimleri (TWSA) ve aylık yağış ve sıcaklık değişimleri kullanılmıştır.

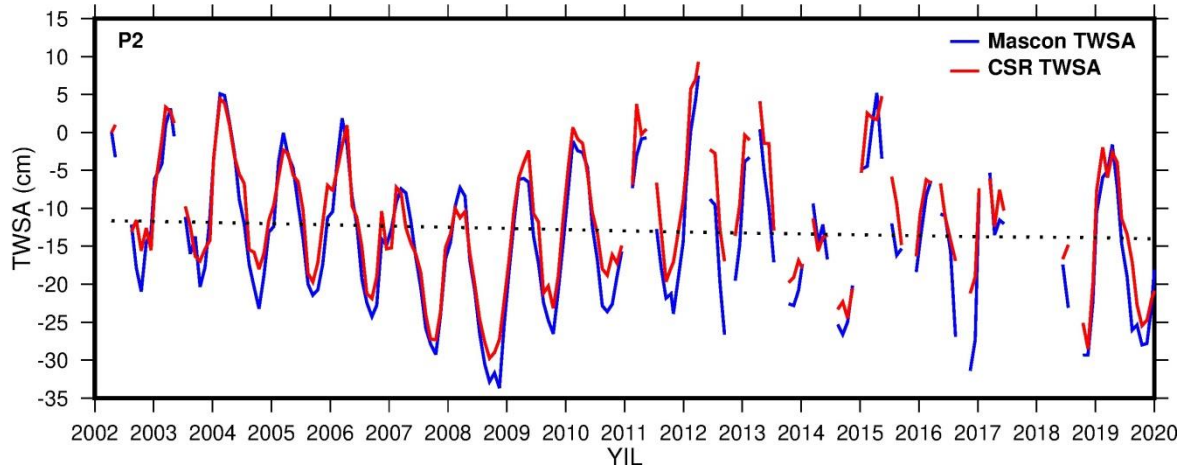
GLDAS TWSA, bitki örtüsü yüzey suyu, kar suyu eşdeğeri ve toprak nemi değerlerinden oluşmaktadır. GLDAS veri setleri (<https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/GLDAS/>) adresinde mevcuttur.

3. Araştırma ve Tartışma

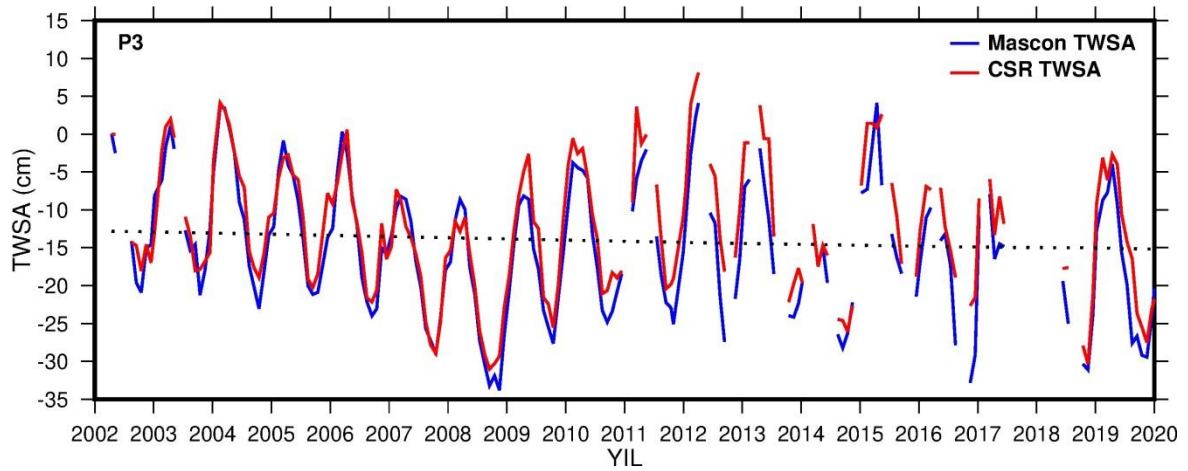
Çalışma bölgesindeki üç alt bölgenin eşdeğer su kalınlığı değerleri hesaplanarak Şekil 2, 3 ve 4'te gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde, 2004 öncesi ve 2011 sonrasında bazı boşluklar görülmektedir. Bunlar, GRACE verilerindeki boşluklardır ve eşdeğer su kalınlığı değişimi sonuçlarında yapay bir etki bırakmaması için enterpolasyon uygulanmamıştır. GRACE misyonu ile elde edilen mascon ve CSR sonuçlarının birbiriyle tutarlı olduğu görülmektedir. Her üç bölge için de eşdeğer su kalınlığı değişimi sonuçları, 2006 sonrası düşüş, 2009 sonrası artış ve 2015 sonrası tekrar düşüş gösterme eğilimindedir. Uzun dönemli değişim trendinin ise P1, P2 ve P3 bölgeleri için sırasıyla ~ 2.5 cm, ~ 2.6 cm ve ~ 2.5 cm düşüş gösterdiği gözlenmiştir. Trend değerleri, mascon ve CSR çözümlerinden elde edilen değerlerin ortalamasını yansıtmaktadır. TWSA'deki minimum değer her üç bölge için de Kasım 2008 ve Kasım 2020 yıllarında görülürken, maksimum değer Nisan 2012 yılında gözlenmiştir. Alt bölgeler ayrı ayrı incelendiğinde, bölgelerdeki değişimin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, 2002–2020 yıllarını kapsayan 18 yıllık çalışma periyodu boyunca bölgedeki eş değer su kalınlığındaki değişim miktarlarının, bölgede oluşan birikim miktarlarından daha fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 2: P1 bölgesinde GRACE TWSA değişimleri (kırmızı, mavi) ve ortalama trend (siyah)

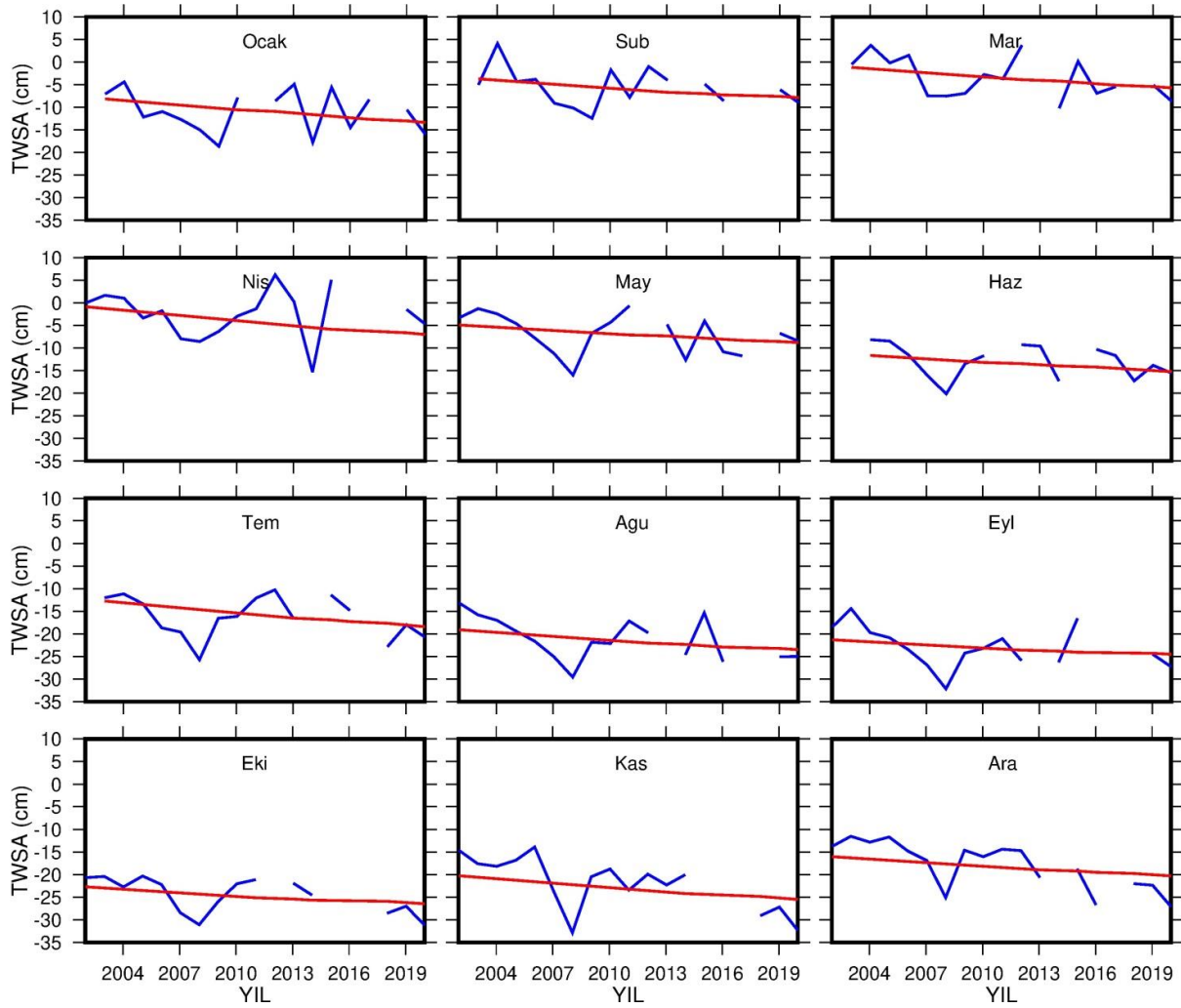


Şekil 3: P2 bölgesinde GRACE TWSA değişimleri (kırmızı, mavi) ve ortalama trend (siyah)



Şekil 4: P3 bölgesinde GRACE TWSA değişimleri (kırmızı, mavi) ve ortalama trend (siyah)

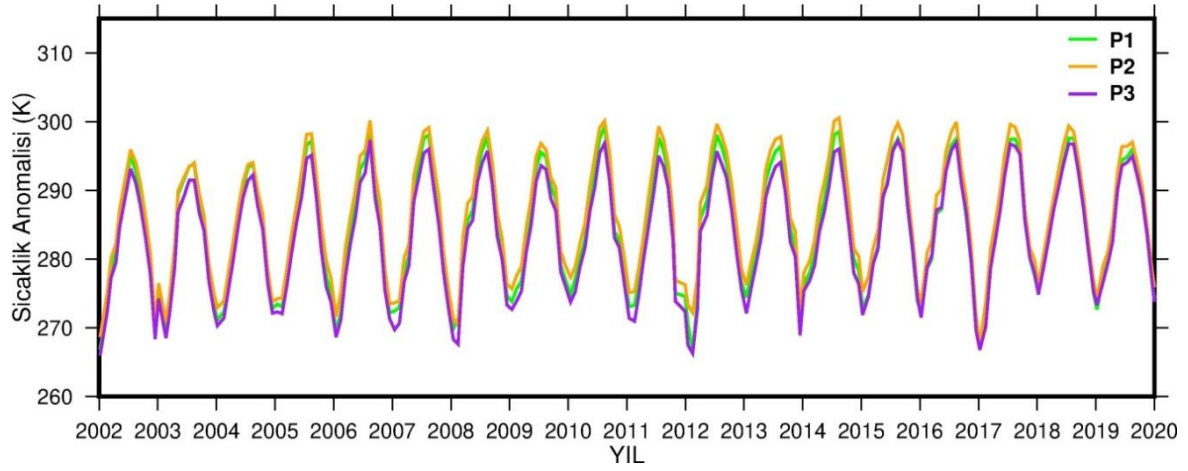
Bölgedeki eş değer su kalınlığının tüm aylara göre tahmini değişimini gösteren ortalama değerler Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 2, 3 ve 4'teki araştırma periyodu boyunca görülen değişim trendi, Şekil 5'teki grafiklere de yansımaktadır. TWSA değişimlerinin, yağış etkisiyle bazı yıllarda Şubat, Mart ve Nisan aylarında pozitif değerler gösterdiği ve diğer tüm aylarda bu değişimlerin negatif değerlerde olduğu görülmektedir. TWSA yıllık değişimlerindeki trend eğiliminde en yüksek düşüş ~ 5.8 ve ~ 5.7 cm ile sırasıyla Nisan ve Temmuz aylarında görülürken, en az düşüş ~ 3.2 cm ile Eylül ayında görülmektedir. Bu durum, 2002–2020 yılları arasındaki zaman diliminde bu ayların öncesindeki aylarda görülen yağış miktarı ve sıcaklığa dikkat çekmektedir.



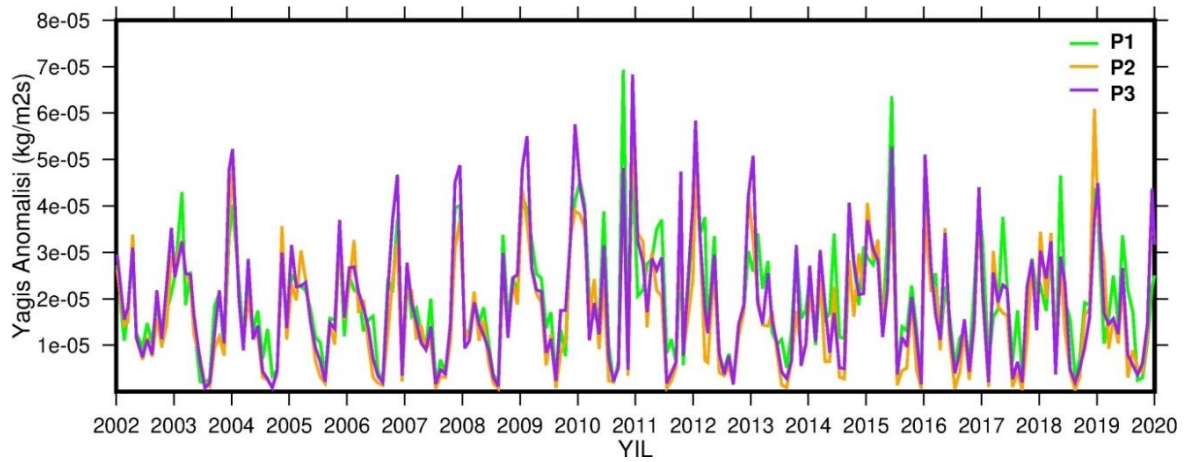
Şekil 5: Mascon verisi ile elde edilen P1, P2 ve P3 için 12 aylık ortalama TWSA değişimi (mavi) ve trend değerleri (kırmızı)

Çalışmada sıcaklık ve yağış anomaly değerleri GLDAS NOAH M.2.1 modelinden elde edilmiştir (https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/GLDAS/GLDAS_NOAH025_M.2.1/). Belirlenen çalışma periyodu için sıcaklık ve yağış anomalileri zaman serileri Şekil 6 ve 7’de verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, sıcaklık anomaly değişimlerinde mevsimsel etki yoğun olarak görülmektedir. 2012 ve 2017 yıllarında sıcaklık değerlerinde düşüş görülse de, uzun dönemli bileşen, çalışma periyodu boyunca sıcaklıklardaki artışa işaret etmektedir. Şekil 7’de görülen yağış anomaly değerleri, genel olarak yağışların her yıl, yıl sonunda artış gösterdiğini ve bir sonraki yıl sonuna kadar azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, Şekil 5’te yansıtılan Kasım ayındaki TWSA değerlerinde görülen maksimum düşüşü kanıtlar niteliktedir.

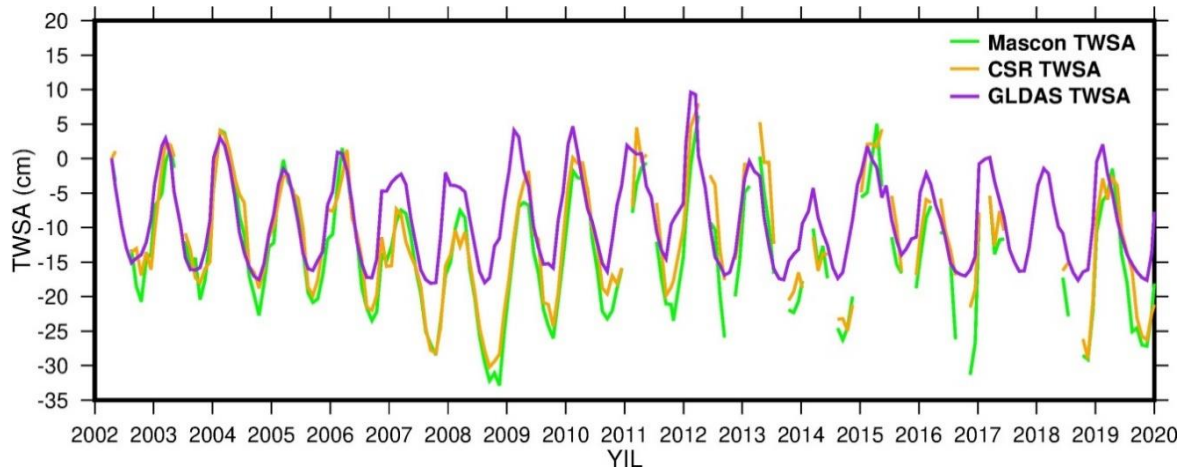
Bitki örtüsü yüzey suyu, kar suyu eşdeğeri ve toprak nemi değerlerinden oluşan GLDAS TWSA verilerinin ortalama zaman serileri Şekil 8’de mascon ve CSR TWSA zaman serileri ile birlikte verilmiştir. Şekilden anlaşıldığı üzere, mascon ve CSR TWSA değerleri birbiriyle oldukça yakın ve tutarlı bir davranış sergilemektedir. Öte yandan, GLDAS TWSA çalışma periyodu boyunca daha durağan bir trende sahipken, mascon ve CSR TWSA değerleri 2007–2011 ve 2013–2020 arası aşağı yönlü bir hareket göstermektedir. YSK’nın dikkate alındığı GRACE TWSA (mascon ve CSR) değerlerinin, YSK’nın dikkate alınmadığı GLDAS TWSA değişimlerinden farklı olarak negatif yönlü bir davranış sergiliyor oluşu, YSK değişimlerinin de azalan bir trende sahip olduğuna işaret etmektedir. Dolayısıyla, 2002–2020 yılları arasında çalışma bölgesinde YSK’da kayda değer bir azalma olduğu rahatlıkla ifade edilebilir.



Şekil 6: P1, P2 ve P3 bölgelerindeki sıcaklık anomalileri



Şekil 7: P1, P2 ve P3 bölgelerindeki yağış anomalileri



Şekil 8: GRACE (yeşil, turuncu) ve GLDAS (mor) ile elde edilen ortalama su kütlesi değişimleri

Artan hava sıcaklığı ve buharlaşma, iklim değişikliğinin bir sonucudur ve bu parametreler su kütlesi değişimleri üzerinde doğrudan etkilidir. Yapılan çalışmada, araştırma bölgesindeki su kütlesi değişimleri üzerindeki bu iklim parametrelerinin etkisi araştırılmış, kısa ve uzun vadeli etkileri değerlendirilmiştir. Sıcaklık anomalileri ile mascon TWSA değişimi arasındaki korelasyon değerleri Tablo 1’de, yağış anomalileri ile mascon TWSA değişimi arasındaki korelasyon değerleri ise Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1: Tüm bölgeler için 0 gecikme, 1 ay, 2 ay ve 3 aylık gecikmelerde mascon TWSA ile sıcaklık anomalileri arasındaki ilişki

Bölge	Korelasyon			
	0 gecikme	1 aylık gecikme	2 aylık gecikme	3 aylık gecikme
P1	-0.31	-0.66	-0.82	-0.76
P2	-0.34	-0.68	-0.84	-0.76
P3	-0.34	-0.68	-0.84	-0.77

Tablo 2: Tüm bölgeler için 0 gecikme, 1 ay, 2 ay ve 3 aylık gecikmelerde mascon TWSA ile yağış anomalileri arasındaki ilişki

Bölge	Korelasyon			
	0 gecikme	1 aylık gecikme	2 aylık gecikme	3 aylık gecikme
P1	0.23	0.43	0.48	0.40
P2	0.25	0.50	0.60	0.53
P3	0.18	0.43	0.55	0.51

Tablo 1’de görüldüğü üzere, tüm alt bölgelerde yükselen sıcaklık ile mascon TWSA anomalileri arasında ters korelasyon söz konusudur. Diğer bir deyişle, sıcaklık artış gösterirken TWSA değerlerinde düşüş gözlenmektedir. Her üç bölge için de, artan sıcaklık değerlerinin en büyük etkisi 2 aylık gecikmede görülmektedir. 2 aylık gecikmelerdeki korelasyon değerlerinin 0 aylık gecikmenin (gecikmesiz) neredeyse üç katı olduğu söylenebilir. Tablo 2’deki yağış sonuçlarına ilişkin en yüksek korelasyon yine tüm alt alanlarda 2 aylık gecikme dönemlerinde görülmektedir. Bu durumda her iki parametrenin de TWSA anomalileri üzerindeki maksimum etkisi yaklaşık 2 aylık gecikme ile ortaya çıkmaktadır. Tablo 1 ve 2’deki değerlere göre, yağış ve sıcaklık anomalileri 2 aylık gecikme döneminden sonra en fazla 3 aylık gecikme döneminde etkili olmuştur.

4. Sonuç

Her coğrafya için şiddet seviyesi farklılık gösterse de, su kaynaklarındaki tükenme ve çevresel bozulmanın sonuçları tüm dünya için ortak bir endişedir. Su riskine karşı savunmasızlık; gerekli tedbirlerin alınmaması, nüfus artışı, doğal ya da insan eliyle yapılan müdahaleler ve yanlış yönetim ile artmaktadır. Doğru ve sürdürülebilir bir su yönetimi için, başta gelişmekte olan ülkeler olmak üzere, birçok ülkede yeterli ve geçerli gözlem ve araştırmaların yapılması gerekmektedir. Bu çalışma, uydu misyonu ve uzun dönemli su analizi modellerinin su kütlesi değişimlerini izlemedeki rolünü göstermektedir. Özellikle, kuraklıkla ilişkili risklerin yeterince vurgulanmadığı ve sınırlı gözlemlerin olduğu bölgelerde bu araçların kullanımı oldukça önemlidir.

Çalışmada, Konya kapalı havzasındaki iklim değişikliğinin etkileri ile birlikte su kütlesi değişimlerinin zamansal ve konumsal özellikleri incelenmiştir. Ek olarak, GLDAS’tan hesaplanan TWSA ile GRACE’den hesaplanan mascon ve CSR TWSA verileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, GRACE’den elde edilen mascon ve CSR TWSA verilerinin tüm alt alanlar içinde uyumlu ve tutarlı davranış sergilediğini göstermektedir. Eşdeğer su kalınlığı değişimindeki uzun dönemli bileşenin P1, P2 ve P3 bölgeleri için sırasıyla ~ 2.5 cm, ~ 2.6 cm ve ~ 2.5 cm düşüş gösterdiği gözlenmiştir. Biriken kar, toprak nemi ve bitki yüzey suyu modellerindeki değişimi kapsayan GLDAS TWSA ile biriken kar, toprak nemi ve bitki yüzey suyu modellerindeki değişime ek olarak YSK değişimini de kapsayan GRACE TWSA verilerinin birlikte değerlendirilmesiyle, 2002–2020 yılları arasında çalışma bölgesindeki YSK değişiminin negatif yönde olduğu tespit edilmiştir. Mascon TWSA verileri ay bazında incelendiğinde, en yüksek düşüşün Kasım ve Aralık aylarında gerçekleştiği görülmektedir. Özellikle yağış grafikleri de bu sonucu destekler niteliktedir.

Araştırma bölgesinde, sıcaklık ve yağış iklim parametrelerinin su kütlesi değişimlerine kısa ve uzun vadeli etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sıcaklık ve yağışlar, 2 aylık gecikme döneminden sonra su kütlesi değişimleri ile en yüksek korelasyonu göstermektedir. Bu sonuç, iklim değişikliğinin uzun vadeli etkilerinin iyi tanımlanması, buna göre gözlemlerin sürdürülmesi ve tedbirlerin hayata geçirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır.

Teşekkür

Yazar, yayınlanan GRACE ve GLDAS aylık veri setleri için NASA ve GSFC'ye, makalenin değerlendirme sürecine zaman ayırarak katkı sunan hakemlere teşekkür eder.

Kaynaklar

- Akyılmaz, O., Üstün A., Aydın C., Arslan N., Yağcı O., Doğanalp S., Güney C., (2016), *Yakın Yer Uyduları Yardımıyla Yüksek Çözünürlüklü Gravite Alanı Belirleme ve Bölgesel Kütle Değişimlerinin İzlenmesi*, TÜBİTAK ARDEB 1001 Araştırma Projeleri, Proje No: 113Y155, Proje Sonuç Raporu.
- Bulduk A., Horasan Ö.R., Tekdere M., Solak N., (2008), *Konya Kapalı Havzasının 16/2-a Alt Havzasında Yeraltı Suyu ve Seviye Değişimleri*, Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyu ve Kuraklık Konferansı, Bildiri Kitabı, 11-12 Eylül, Konya, ss.125-134.
- Doğdu M.S., Toklu M.M., Sağnak C., (2007), *Konya Kapalı Havzası'nda Yağış ve Yeraltı Suyu Değerlerinin İrdelenmesi*, I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, Bildiri Kitabı, 11-12 Nisan, İstanbul, ss. 394-402.
- Famiglietti J.S., Lo M., Ho S.L., Bethune J., Anderson K.J., Syed T.H., Swenson S.C., de Linage C.R., Rodell M., (2011), *Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley*, Geophys Res Lett, 38(3), L03403, doi: 10.1029/2010GL046442.
- Frappart F., Ramillien G., (2018), *Monitoring groundwater storage changes using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Satellite Mission: a review*, Remote Sensing, 10(6), 829, doi: 10.3390/rs10060829.
- Godah W., Szelachowska M., Öztürk E.Z., Krynski J., (2018), *On the contribution of physical height changes estimated with the use of GRACE satellite mission data to the modernization of a national vertical system*, In AGU Fall meeting abstracts (Vol. 2018, pp. G13B-0525).
- Göçmez G., Genç A., Karakoca A., (2008), *Konya Kapalı Havzası Yeraltısu Seviye Değişiminin İstatistiksel Değerlendirilmesi*, Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyu ve Kuraklık Konferansı, Bildiri Kitabı, 11-12 Eylül, Konya, ss. 98-107.
- Jiao J.J., Zhang X., Liu Y., Kuang X., (2015), *Increased water storage in the Qaidam Basin, the North Tibet plateau from GRACE gravity data*, Plos One, 10(10): e0141442, doi: 10.1371/journal.pone.0141442.
- Moghim S., (2020), *Assessment of water storage changes using GRACE and GLDAS*, Water Resources Management, 34(2), 685-697.
- Öztürk E.Z., Godah W., Abbak R.A., (2018), *Analysis of De-correlation filters performance for estimating temporal mass variations determined from GRACE-based GGMs over Konya basin*, FIG Congress 2018, Embracing our smart world where the continents connect: enhancing the geospatial maturity of societies, May 6-11, İstanbul, Turkey.
- Öztürk E.Z., Godah W., Abbak R.A., (2020), *Estimation of physical height changes from GRACE satellite mission data and WGHM over Turkey*, Acta Geodaetica et Geophysica, 55(2), 301-317.
- Öztürk E.Z., (2020), *Uydu Gravimetrisi İle Fiziksel Yükseklik Değişimlerinin Belirlenmesi ve Analizi: Türkiye ve Grönland Örneği*, Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Rodell M., Houser P.R., Jambor U., Gottschalk J., Mitchell K., Meng C.J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J.K., Walker J.P., Lohmann D., Toll D., (2004), *The global land data assimilation system*, Bull Am Meteorol Soc, 85(3), 381-394.
- Rodell M., Velicogna I., Famiglietti J.S., (2009), *Satellite-based estimates of groundwater depletion in India*, Nature, 460(7258), 999-1002.
- Scanlon B.R., Zhang Z., Save H., Wiese D.N., Landerer F.W., Long D., Longuevergne L., Chen J., (2016), *Global evaluation of new GRACE mascon products for hydrologic applications*, Water Resour Res, 52(12), 9412-9429.
- Tapley B.D., Bettadpur S., Ries J.C., Thompson P.F., Watkins M.M., (2004), *GRACE measurements of mass variability in the earth system*, Science, 305(5683), 503-505.
- Üstün A., Tusat E. Yalvaç S., (2010), *Preliminary Results of Land Subsidence Monitoring Project in Konya Closed Basin Between 2006-2009 by Means of GNSS Observations*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 10(6), 1151-1157.
- Wada Y., Beek L.P.H.V., Kempen C.M.V., Reckman J.W.T.M., Vasak S., Bierkens M.F.P., (2010), *Global depletion of groundwater resources*, Geophys Res Lett, 37(20), 114-122.
- Yılmaz M., (2010), *Karapınar Çevresinde Yeraltı Suyu Seviye Değişimlerinin Yaratmış Olduğu Çevre Sorunları*, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 2(2), 145-163.
- Yin W., Hu L., Zhang M., Wang J., Han S.C., (2018), *Statistical downscaling of GRACE-derived groundwater storage using ET data in the North China plain*, J Geophys Res-Atmos, 123(11), 5973-5987.
- Yin W., Li T., Zheng W., Hu L., Han S.C., Tangdamrongsub N., Sprlak M., Huang Z., (2020), *Improving regional groundwater storage estimates from GRACE and global hydrological models over Tasmania, Australia*, Hydrogeology Journal, 28(5), 1809-1825.

İzmit Körfezi ve Çevresinde Bina Yoğunluk ve Sıvılaşma Yayılımının Mekânsal Analizi

Arzu Erener^{1,*}, Metin Aşçı², Gül Gülsoy³, Aydın Üstün⁴, Muhammed Ali Güvenaltın⁴,
Erman Şentürk¹, Sefa Yalvaç⁵, Fatma Canaslan Çomut⁶, T. Serkan Irmak²,
Haluk Konak¹, Pakize Küreç Nehbit¹, Efdal Kaya⁷, Burak Kotan¹, Selin Öye¹

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41000, Kocaeli.

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 41000, Kocaeli.

³Kocaeli Derince Belediyesi, İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, 41900, Derince, Kocaeli.

⁴Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06100, Ankara.

⁵Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane.

⁶Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 20000, Denizli.

⁷İskenderun Teknik Üniversitesi, Harita ve Kadastro, İskenderun, 31200, Hatay.

Özet

2017 yılı Aralık ayından itibaren KOÜ Harita Mühendisliği Bölümü'nün yürütücülüğü ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin desteği ile "Çok Bandlı InSAR ve GNSS Tekniği ile Doğu Marmara (İzmit Körfezi) Düşey Yönlü Yer Değiştirmelerin İzlenmesi, Zemin Çökmeleri ile Bina Yoğunluğu ve Sıvılaşma İlişkisinin Araştırılması" başlıklı ve 117Y155 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında İzmit körfez bölgesinde risklerin tespiti için çalışmalara başlanmıştır. Bu bağlamda, proje kapsamında yapılan bina yoğunluk analizleri ve sıvılaşmanın körfez bölgesi çevresindeki mekânsal dağılımı CBS ortamında bütünlük olarak ele alınarak mekânsal dağılımları incelenmiştir. Zemindeki yüke ait bilgi çıkarımı için binaların 3. boyutu dikkate alınarak bina katlarının mekânsal dağılımları mekânsal otokorelasyon çalışmaları ile irdelenmiştir. Mekansal otokorelasyon analizlerinden Lokal Moran's I istatistikleri dikkate alınmıştır. Ayrıca körfez ve çevresinde görülen sıvılaşma potansiyeli 0-3 m, 3-6 m, 6-9 m, 9-12m'den 33-35 m derinlikleri için oluşturulmuştur. Sıvılaşma potansiyel eşiklerine göre, farklı derinlikler için, sıvılaşma değerleri kategorize edilerek sıvılaşma alanları ve riskli bölgeler tanımlanmıştır. Sonuç olarak sıvılaşma risk alanlarında bulunan bina tespitleri yapılmıştır. Çalışma; ileriye yönelik doğal afetlere karşı sürdürülebilir önlemlerin alınması, yapılaşma hızı ve yoğunluğu için önlem planlarının hazırlanması, Gölçük ve İzmit Körfez çevresinde bina ve zemin sıvılaşmalarının mevcut durumunun belirlenmesi, risk taşıyan alanlarda mühendislik tedbirlerinin alınarak yapı ve can güvenliğinin sağlanması ve afet değerlendirmelerinde altlık oluşturması açısından önem arz etmektedir.

Anahtar Sözcükler

İzmit Körfezi, Sıvılaşma, Bina Kat Yoğunluğu, Mekânsal Otokorelasyon

Spatial Analysis of Building Density and Liquefaction Spread in Izmit Bay and its Surroundings

Abstract

Since December 2017, with the support of Kocaeli Metropolitan Municipality and with the leadership of Kocaeli University Geomatic Department, TÜBİTAK project numbered 117Y155 and titled "Monitoring of Vertical Displacements in East Marmara (Izmit Bay) with Multi-Band InSAR and GNSS Techniques, Investigation of the Relationship Between Ground Collapse and Building Density and Liquefaction" studies have been initiated to determine the risks in the Izmit Bay area. In this context, the spatial distribution of the building density analyzes and the spatial distribution of liquefaction around the gulf region were handled and integrated in the GIS environment within the scope of the project. The spatial distributions of the building floors were examined by spatial autocorrelation studies, taking into account the 3rd dimension of the buildings for the extraction of information about the load on the ground. Among the spatial autocorrelation analysis, Local Moran's I statistics were taken into consideration comparatively. In addition, the liquefaction potential observed around the bay and its surroundings is evaluated for 0-3 m, 3-6 m, 6-9 m, 9-12 m from 33-35 m depths. Liquefaction areas and risky areas are defined by categorizing liquefaction values for different depths according to liquefaction potential thresholds. As a result, buildings in liquefaction risk areas were determined. The study is important in terms of taking sustainable precautions against future natural disasters, preparing precaution plans for the speed and density of construction, determining the current situation of building and ground liquefaction around Gölçük and Izmit Bay, taking engineering measures in risky areas and providing building and life safety and creating a basis for disaster assessments.

Keywords

Izmit Bay, Liquefaction, Building Floor Density, Spatial Autocorrelation

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (262) 3033253, Fax: +90 (262) 3031033

Gönderim Tarihi / Received : 09/06/2021

E-posta: arzu.erenar@kocaeli.edu.tr (Erener A), masci@kocaeli.edu.tr (Aşçı M),

Kabul Tarihi / Accepted : 03/11/2021

ggulsoy@derince.bel.tr (Gülsoy G), aydinustun@hacettepe.edu.tr (Üstün A),

guvenaltinali@gmail.com (Güvenaltın M.A), erman.senturk@kocaeli.edu.tr (Şentürk E),

sefayalvac@gmail.com (Yalvaç S), Fatma.C.comut@afad.gov.tr (Canaslan Çomut F),

irmakts@kocaeli.edu.tr (Irmak T.S), hkarak@kocaeli.edu.tr (Konak H), pakize.kurec@kocaeli.edu.tr (Küreç Nehbit P),

efdal.kaya@iste.edu.tr (Kaya E), bkotan19@gmail.com (Kotan B), selinoeye@gmail.com (Öye S)

1. Giriş

Gevşek, suya doygun durumdaki taneli zeminlerin taşıma kapasitelerini kaybederek, depremin oluşturduğu, deprem dalgalarının etkisiyle sıvı gibi davranış göstermesine zemin sıvılaşması denilmektedir. Sıvılaşma, ilk olarak 1964 yılında meydana gelen Alaska'daki 29 Nisan 1964' de ($M_w=9.2$) Good Friday ve 16 Haziran 1964' de Japonya'daki Niigata ($M_s=7.5$ Mw) depremiyle dikkat çekmiştir.

Bu iki depremde sıvılaşmadan dolayı yapılarda meydana gelen ani oturmalar, yanal yayılmalar, ötelenmeler, devrilmeler, taşıma gücü kayıpları oluşmuştur. Sıvılaşma ilk kez 1965'de Arthur Cassangroid tarafından bu depremlerden sonra ortaya konulmuştur. Bu depremlerden sonra geçen 50 yıl içinde çok sayıda araştırmacı tarafından sıvılaşma konusu incelenmiştir. Seed ve Idriss (1971) çalışmalarında 1964 yılındaki Alaska ve Niigata depreminden sonra Standart Penetrasyon Test (SPT) değerine bağlı basit bir ampirik yöntemle dayalı sıvılaşma direnci hesabı geliştirmiştir. Iwasaki vd. (1982) çalışmasında zemin sıvılaşması için basit kategori ve indeks geliştirmiştir. Potansiyel indeks PL yardımıyla sıvılaşma analizi değerlendirilmesi yapılmıştır. Seed vd. (1985) tarafından enerji oranları baz alınarak SPT ile sıvılaşma ilişkisi incelenmiştir. 1971 yılında yapılan çalışma revize edilerek, sıvılaşma ilişkisini gösteren eğri iyileştirilmiştir. Ulusay vd. (2000) son depremlerde Türkiye'de gözlemlenen sıvılaşma ve Ege Bölgesi sıvılaşma potansiyelini değerlendirmiştir. Youd vd. (2001), Seed ve Idriss (1971) yılında SPT değerine bağlı basit sıvılaşma hesabını iyileştirmiş ve uygulamaya sunmuşlardır. Sönmez (2003) sıvılaşma potansiyeli olan alanların sıvılaşma duyarlılık haritalarının hazırlanması amacı ile Bursa'nın İnegöl İlçesinde sıvılaşma değerlendirmesi yaparak sıvılaşma indekslerine ait kategorilerin eksiklerinin giderilmesine yönelik araştırma yapmıştır. Çetin vd. (2004) çalışmalarında zeminlerin sıvılaşma potansiyellerini incelemiş; mevcut yükler altında zeminlerin sıvılaşma potansiyelini araştırılmışlardır. Saygılı vd. (2007) tarafından 1999 Kocaeli ve Tayvan Depremi verileri kullanılarak Genel Regresyon Sinir Ağları (GRNN) modeli ile çalışma alanlarında sıvılaşmanın olup olmadığının anlaşılması için model çalışması yapmışlardır. Idriss ve Boulanger (2006, 2008) çalışmalarında sıvılaşma potansiyelini güvenlik faktörüne göre değerlendirmişlerdir.

17 Ağustos 1999 depreminin sonucu, zemin sıvılaşma potansiyelinin binalarda ne kadar büyük ölçüde hasar meydana getirebileceğini göstermiştir (Barka 1999; İÜ 1999; Demirtaş 1999; Demirtaş 2000; Efe 2000; Yüksel vd. 2000; ODTU 2000; Efe ve Demirci 2001; Aşçı vd. 2003; Bray vd. 2004; Erdik vd. 2004; Karakaş 2005; Anastasopoulos ve Gazetas 2007; Aşçı vd. 2007; Aydan vd. 2008; Ulusay vd. 2008; Demirtaş vd. 2008). Yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu, sıkışmamış gevşek durumdaki kumlu-siltli zemin yapılarının, sıvılaşma potansiyeli yüksektir. Kuzey Anadolu Fay Hattının Marmara Denizi'nin güneyi boyunca uzandığı bölgede hem sismik aktivite çok yüksek ve hem de zemin koşulları yapılaşma için son derece elverişsizdir. Buna rağmen, 2000'li yıllardan itibaren yeni kurulan organize sanayi bölgeleri ile birlikte; bölgenin nüfus, yapılaşma ve kat yoğunluğunda hızlı bir artış yaşanmıştır. Dayanaksız ve sıvılaşma potansiyeli yüksek alüvyal sahalarda yapılaşmanın ve kat yoğunluğunun zamanla artması da, zemin deformasyon olasılığını güçlendiren unsurlardan biri olarak görülmektedir. Bu nedenle, aktif fay zonunda bulunan, sağlam olmayan alüvyal zemin üzerine kontrolsüz yapılaşmış bu gibi bölgelerin yüzey ve bina deformasyonlarının izlenmesi ve risk bölgelerinin tespiti, erken uyarı imkânlarının geliştirilebilmesi, can ve mal kaybının önlenmesi veya etkilerinin azaltılması bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda literatürde farklı çalışmalar yer almaktadır. Bray vd. (2017) tarafından 17 Ağustos 1999 depreminde binaların sıvılaşma ve zemin yumuşamasına bağlı olarak oturmuş, yanal ötelenmiş, dönmüş ve sonuç olarak yıkıldığı tespit edilmiştir. Arel ve Önalp (2012) Adapazarı 1999 Marmara depreminde sıvılaşmaya bağlı hasarın büyük olduğu Sakarya nehri tarafından yaklaşık 7000 yıldır taşınarak çökelen düşük plastisiteli veya plastik olmayan ince taneli zeminlerin, tıpkı kumlu zeminlerde olduğu gibi, yüksek sıvılaşma potansiyeli olduğunu ortaya koymuştur ve bu tür zeminlerin sıvılaşmaya bağlı oturmalarla sebep olduğunu tespit etmiştir. Erken vd. (2004) tarafından depremler sırasında zeminlerin sıvılaşması ve taşıma gücü kayıpları konusu çalışılmıştır. Erken vd. (2004) bu çalışmalarında, öncelikle kum, silt ve killerin deprem yükleri altında nasıl bir davranış göstereceği üzerinde durmuşlardır. Bray ve Dashti (2014) tarafından sığ temelli binaların sıvılaşmadan kaynaklanan hareketlerini tahmin etmek için öneriler yapılmıştır. Ishihara ve Yoshimine (1992), sığ temelli bir yapıyı destekleyen toprakların sıvılaşması, önemli bina yerleşimi ve hasarı oluşturabildiği için sıvılaşma sonrası, tek boyutlu (1D) konsolidasyon oturmasını tahmin etmek için ampirik prosedürleri incelemiştir.

Binalar yer deformasyonundan kaynaklı hareketlere duyarlıdır. Bu nedenle sıvılaşmadan kaynaklı zemin davranışının ve üzerinde bulunan yapı bloklarının mekânsal olarak haritalanması ve gözlemlenmesi bina riskinin önceden tahmini için gereklidir. Bu bağlamda TÜBİTAK tarafından desteklenen bu çalışma kapsamında, bina yoğunluk analizleri ve sıvılaşmanın körfez bölgesi çevresindeki mekânsal dağılımı CBS ortamında bütünlük olarak ele alınıp mekânsal dağılımları incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı ve Yeri

Türkiye, tektonik açıdan aktif bir bölgede yer almaktadır. Deprem riski yüksek bölgelerden biri olan İzmit Körfezinde en önemli tektonik yapıyı Kuzey Anadolu Fay Sistemi tanımlar.

İzmit Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolu üzerinde yer almaktadır ve bu yapı bir seri basenlerden oluşmaktadır. İzmit Körfezi'ne boşalan nehirler jeolojik süreç içerisinde Gölcük, Hersek, Kavaklı deltalarını ve Sapanca Gölü ile İzmit Körfezi arasındaki geniş ve uzun alüvyon düzlüğünü oluşturmuştur. Doğu Marmara Körfezi kıyı bölgesi yüzey çökelti dağılımında, bölgenin kuzeyinde kıyılar dar bant halinde kum ve çakıllı kum ile kaplıdır.

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı bölümünde meydana gelen Marmara depremi Yalova Değirmendere, Gölcük, Karamürsel, İzmit ve Adapazarı başta olmak üzere İstanbul, Bolu ve Düzce'de de etkili olmuştur. 7.5 Mw büyüklüğünde gerçekleşen Kocaeli/Gölcük merkezli deprem ile resmi raporlara göre, 17.118 kişi ölmüş, 50.000 kişi yaralanmıştır (USGS 2005).

17 Ağustos 1999 depremi delta alanında önemli çökmelere neden olmuştur. Ford Otosan yerleşkesinin güneyinden geçen Kavaklı fayı boyunca 2.35 metreye varan düşey atımlar meydana gelmiştir. Ayrıca Gölcük doğu sahilinde çökmeler oluşmuştur. Bu normal faylanmalar alansal bir çökme üretmiş ve Kavaklı sahili yer yer sular altında kalarak, kıyı çizgisinde geniş bir alanda değişimler olmuştur. Deprem öncesi ve sonrası batimetrik ölçümler kıyı yakınlarının 2-6 metre arasında çöktüğünü göstermektedir. Denize yakın alanlar ve kıyıya yakın yapılar su altında kalmıştır (İTÜ 1999; Barka 2001; Özer vd. 2005; URL1 2016; Aşçı vd. 2007; Gürsu 2008). Deprem sonucu konutlarda meydana gelen hasar ve yerleşim birimlerine göre hasar durumu AFAD tarafından hazırlanan raporda sunulmuştur (Özmen 2000). Depremi takiben İTÜ, Boğaziçi, Kocaeli Üniversitesi, Ankara Üniversitesi, ODTÜ, Kandilli Rasathanesi ve TÜBİTAK ve AFAD'ın yaptıkları çalışmaya göre özellikle Adapazarı, Gölcük ve Yalova'da meydana gelen hasarların başlıca sebebinin zemin problemlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir (İÜ 1999; Efe ve Demirci 2001).

Bölgenin, İstanbul, Adapazarı, Gebze, Bursa gibi önemli sanayi merkezlerine yakınlığı, Gebze TEM Otoyolu ve E-5 Karayolu'nun geçtiği kara, deniz ve demiryolunun kesiştiği önemli bir kavşak alanında bulunması, kurulan organize sanayi bölgeleri ve yeni açılan sanayi alanları ile birlikte deprem sonrası nüfus hızla artmaya başlamıştır. Nüfus artışı yapılaşma ve bina yoğunluğuna da yansımıştır. Yapılaşma yoğunluğunun arttığı intersismik dönemde, alüvyal alanlardaki çökme hareketlerinin devam ettiği ve deprem anında sıvılaşma potansiyeli ile birleşerek yıkıcı sonuçlar doğurabildiği görülmüştür. Bu kapsamda sıvılaşma alanlarının mekânsal tespiti ve bina yoğunluk alanlarının sıvılaşma alanları ile entegre değerlendirilmesi oldukça önemlidir.

Şekil 1 İzmit körfezi, körfeze dökülen nehir ağlarını ve körfez çevresi yapı dağılımını göstermektedir. Çalışmada sıvılaşma çalışmalarının alansal dağılım gösterdiği bölgeler ele alınmıştır. Bu kapsamda daha çok körfezin kuzey doğu ve doğu uç bölgelerine odaklanılmıştır. Kocaeli iline ait il-ilçe sınırları haritası (.shp) ve polygon veri türünde bina verileri (.shp) analizler kapsamında ele alınmış olup, binalara ait veri tabanında 2012 yıllarında kayıtlarının yapıldığı tahmin edilen bina kat değerleri kullanılmıştır. Sıvılaşma analizi çalışmalarında, inceleme alanında yer alan 1287 farklı sondaj kuyusuna ait veriler elde edilmiş ve farklı derinlikler için incelemeler yapılmıştır. İnceleme derinliği 0-35 m arası seçilmiştir.



Şekil 1: Çalışma alanı İzmit Körfezi, bina ve nehir ağı dağılımı

2.2. Uygulama

Bina yoğunluğu kentsel planlama ve arazi yönetimi için oldukça önemli bir kavram olup, bir alandaki bina konsantrasyonu (miktarı) olarak tanımlanmaktadır. İnşa edildiği arazi alanında kullanılan taban alanı miktarı ölçüsüdür. Geleneksel ölçüm ve teknikleri zaman alıcı ve pahalı olduğu için kentsel dağılım, bina yoğunluğu gibi bilimsel çalışmalar haritalama ve görüntüleme CBS ve uzaktan algılama alanına yönelmiştir (Yang ve Liu 2005; Haack ve Rafter 2006; Xiao 2006; Pan vd. 2008; Jat 2008).

Çalışma kapsamında bina verileri zemin üstü kat değerlerine ait mekânsal otokorelasyon (SA) analizleri değerlendirilerek verilerin mekânsal deseninin başka bir deyişle mekânsal dağılımının (kümelenme, rastlantısal, dağınık) analizi amaçlanmıştır. Coğrafyanın birinci yasasına göre "her şey diğer her şeyle ilişkilidir, ancak yakın şeyler uzak şeylerden daha ilişkilidir" (Tobler 1970). Birbirine yakın olan alanlar birbirine benziyorsa, SA'nın pozitif olduğu söylenebilir. Negatif SA, benzer olmayan komşu alanlar için geçerlidir ve rastgele desenler SA göstermez (Mitra 2009). SA teknikleri global ve lokal olmak üzere ikiye ayrılır.

Global SA tekniklerinde seçilen örneklemin dağılımına ait tek bir endeks değeri ve tek bir z- istatistik değeri hesaplanır. Moran I endeksi (Moran's I index) ve Geary'nin C oranı (Geary's C ratio) global SA tekniklerindendir. Lokal SA tekniklerinde veriler arasında benzer değişken değerlere sahip olan noktaların oluşturduğu kümelerin konumlarının tespit edilmesi amacıyla noktaların dağılımına ait genel bir değerlendirme yerine nokta verilerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi tercih edilir. Bu teknikte örnekleme seçilen her nokta için ayrı ayrı endeks değeri ve z-istatistik değerleri hesaplanır. Getis-Ord G* lokal istatistiği ve Anselin lokal Moran'ın I istatistiği (Getis ve Ord 1992; Moran 1948) lokal SA tekniklerindendir.

Bina nokta verilerine ait değişken değerlerinin (zemin üstündeki kat sayıları) incelenmesi hedeflendiği için bu çalışmada Anselin Lokal Moran'ın I İstatistiği (Cluster and Outlier Analizi) kullanılmıştır. Anselin lokal Moran'ın I istatistiği Formül 1 kullanılarak hesaplanır:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X}) \quad (1)$$

Yukarıda ki formülde; n örneklemdaki nokta sayısı, $w_{i,j}$, i noktası ve j noktası arasındaki yakınlık ilişkisini veren mekânsal ağırlık değeri, x_i , i noktasındaki değişken değeri, $\bar{X}$, değişkene ait ortalama değeridir.

$$E[I_i] = - \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} \quad (2)$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2$$

Bu denklemde; I_i , i noktası için hesaplanan Anselin lokal Moran'ın I istatistik değeri, $E(I_i)$, i noktası için beklenen Anselin lokal Moran'ın I istatistik değeri, $V(I_i)$, i noktası için Anselin lokal Moran'ın I istatistiği varyans değeridir.

Anselin lokal Moran'ın I istatistiği z-istatistik değeri tüm noktalar için:

$$z_{ii} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (3)$$

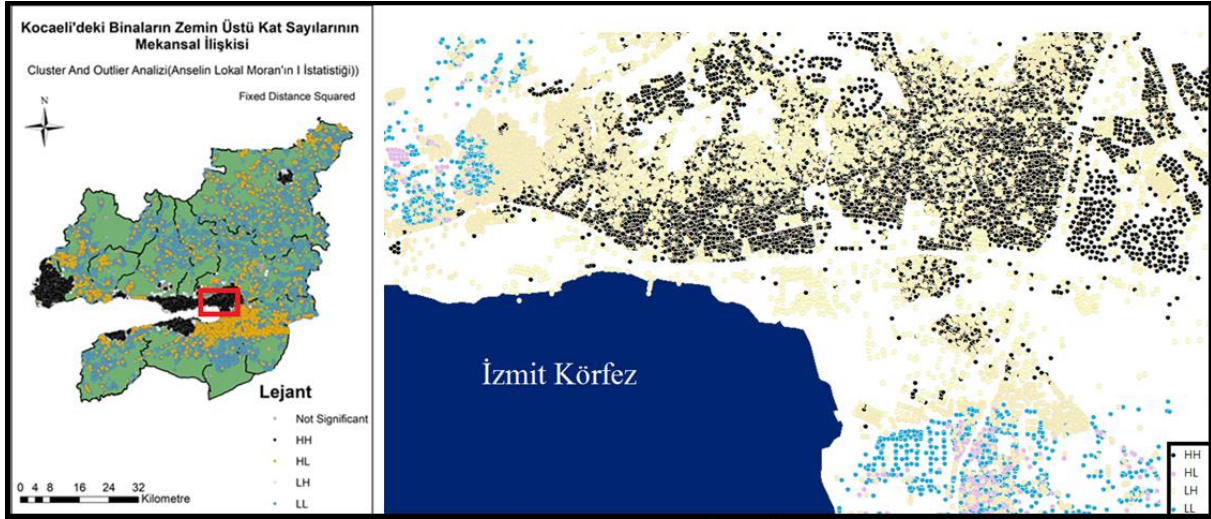
şeklinde hesaplanır. Verilerin değerlendirme sonuçları istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıkları hipotez testi ile sınanır.

Sıfır Hipotezi (H0), incelenen noktaya ait değişken değerleri ile bu noktaya yakın noktaların değişken değerleri arasında herhangi bir ilişki yoktur. Alternatif Hipotez (HA), incelenen noktaya ait değişken değerleri ile bu noktaya yakın noktaların değişken değerleri arasında bir ilişki vardır şeklindedir. Sıfır hipotezinin reddedildiği durumda mekânsal dağılımın rastlantısal olmadığı kabul edilir; reddedilmediği durumda ise mekânsal dağılımın rastlantısal olduğu sonucuna ulaşılır. Sıfır hipotezinin belirlenen güven düzeyinde reddedilmesi yani alternatif hipotezinin kabul edilmesi için; $|z_i| \geq z_{\alpha}$, koşulunu sağlaması gerekir (z_{α} normal dağılım için α güven düzeyindeki eşik değeridir).

Binalara ait veri tabanında 2012 yıllarında kayıtlarının yapıldığı tahmin edilen bina kat değerleri kullanılmıştır. Mekânsal analizlere başlamadan önce poligon veri türünde bulunan bina verisi nokta verisine dönüştürülmüştür. Nokta verileri ve Kocaeli il-ilçe sınırları haritası birlikte açılarak zemin üstü kat değerleri için çıktı haritaları oluşturulmuştur.

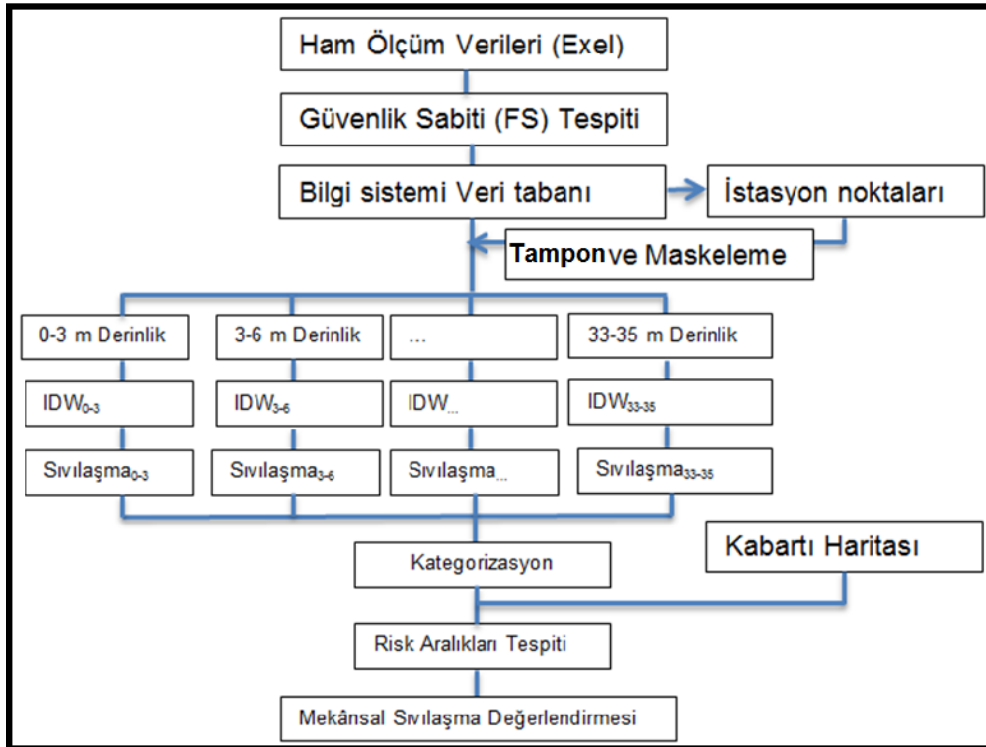
Analizde kullanılan Anselin Lokal Moran's I İstatistiği sonucunda hesaplanan z-istatistik değerlerine göre HH, HL, LH, LL noktaları tespit edilmiştir. HH, istatistiksel olarak anlamlı yüksek değer kümelerini, LL düşük değer kümelerini, HL yüksek bir değer için öncelikle düşük değerlerle çevrili olduğu aykırı değeri, LH düşük değer için yüksek değerlerle çevrili olduğu aykırı değeri tanımlamaktadır.

Şekil 2'ye göre HH değerleri incelendiğinde Darıca, Körfez (doğu kesmi), Derince ve İzmit (Kuzey) ilçeleri için körfez kıyıları, Gölcük kuzey doğu kesiminde yüksek katlı binaların kümelendiği görülmektedir. LL değerleri ise az katlı bina kümelerini göstermekte, daha çok kıyı kesiminden uzak yüksek bölgelerde bu kümeleşmelerin yaygın olduğu izlenmiştir. HL değerleri yüksek bir binanın az katlı binalarla çevrili olduğu aykırı yapıları sunmaktadır. Başiskele körfez kuzey kesimi ve Kartepe kuzey batı kesimlerinde bu kümelenmelere rastlanmaktadır.



Şekil 2: Bina zemin üstü katları Anselin Lokal Moran's I dağılımları

Sıvılaşma analizi çalışmalarında, inceleme alanında yer alan sondaj kuyusuna ait veriler elde edilmiş ve farklı derinlikler için ölçümler tamamlanmıştır. Ölçümler 0 m ile 35 m derinlikleri aralığında yapılmıştır. Yapılan çalışmaya ait akış şeması verilmiştir (Şekil 3). Buna göre önce excel ortamında elde edilen ölçüm değerleri bilgi sistemine atılarak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Veri tabanında 0-3 m, 3-6 m, 6-9 m, 9-12 m, ..., 30-33 m, 33-35 m derinlik alanları için sıvılaşma ölçümleri düzenlenmiş ve ölçüm noktaları koordinat bilgilerine göre mekansal olarak CBS ortamına aktarılmıştır. Daha sonra ölçülen her bir derinlik aralığı için istasyon ölçüm noktaları etrafında maskeleme için tampon alanı belirlenmiştir. Bu alanın dışında enterpolasyon yapılarak sıvılaşma alanları mekansal olarak haritalanmıştır. Enterpolasyon için ters ağırlık mesafe (IDW) yöntemi kullanılmıştır. IDW tekniği enterpole edilecek yüzeyde yakındaki noktaların uzakdaki noktalara göre daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayandırılır. Yani, tahmini yapılacak bilinmeyen nokta, komşu civardaki noktaların uzaklığı ve büyüklüğünün bir fonksiyonudur. Enterpolasyon için kullanılan örneklem noktalarının, bilinmeyen noktada önem ve etkisi, mesafenin artması ile azalır (Shepard 1968; Lu ve Wong 2008).



Şekil 3: Sıvılaşma çalışması akış şeması

Tablo 1: Sıvılaşma potansiyeli risk aralıkları (Sönmez 2003)

GF (FS) ¹	SP (LP) ²
$FS \geq 1.2$	Sıvılaşma Riski Yok
$1.2 > FS \geq 1.0$	Düşük Sıvılaşma Riski
$1.0 > FS \geq 0.95$	Orta Sıvılaşma Riski
$0.95 > FS \geq 0.85$	Yüksek Sıvılaşma Riski
> 0.85	Çok Yüksek Sıvılaşma Riski

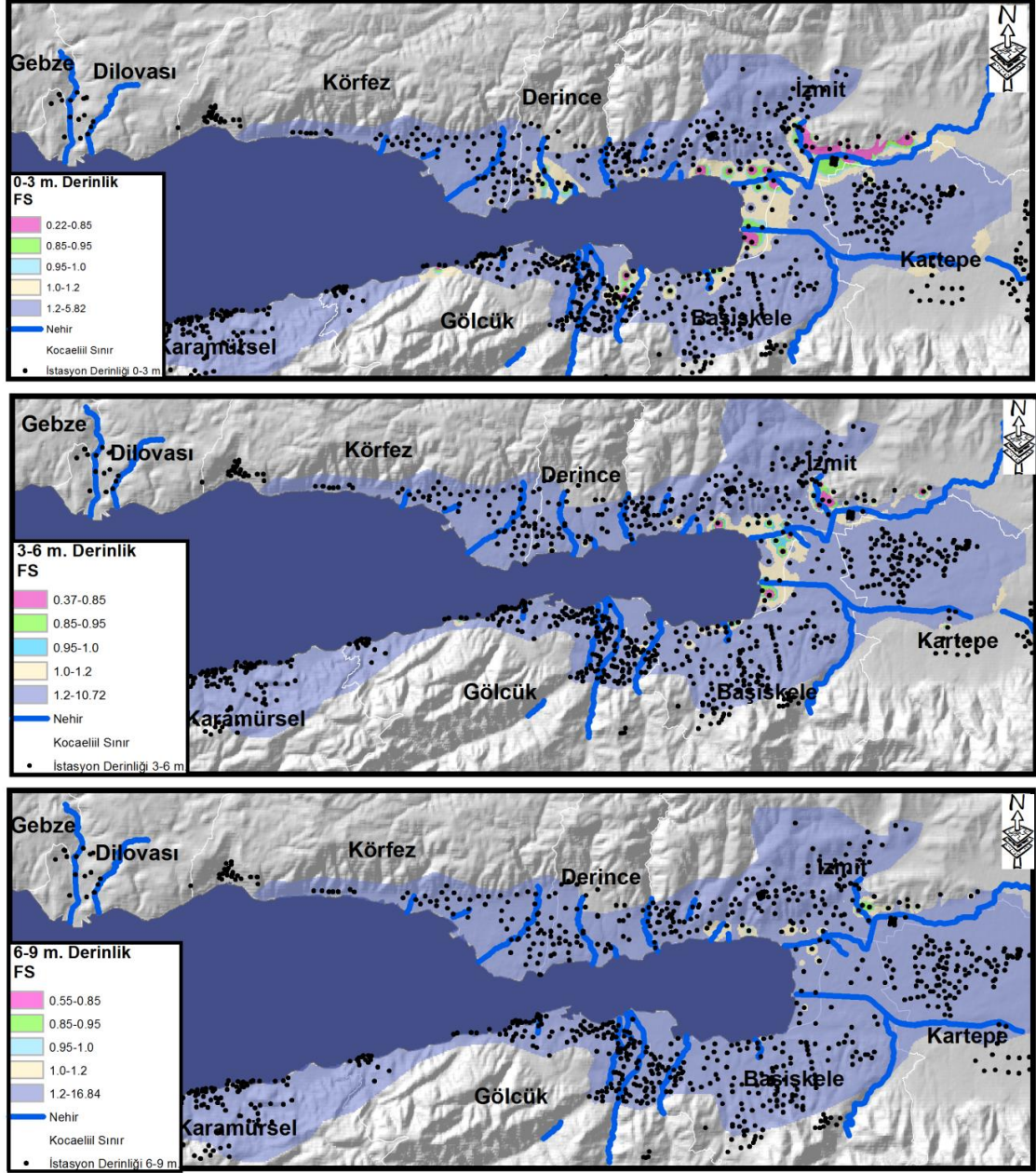
¹ GF (FS):Güvenlik Faktörü (Factor of safety)² SP (LP): Sıvılaşma Potansiyeli (Liquefaction potential)

Çalışma sonunda 13 farklı derinlik alanı için geçerli sıvılaşma haritaları oluşturulmuştur. Güvenlik Faktörü (FS) değerleri Shuvankar vd. (2018) ve Sönmez (2003)'e göre tanımlanan sıvılaşma potansiyel eşiklerine göre kategorize edilerek sıvılaşma alanları tanımlanmıştır. Sıvılaşma potansiyel eşik değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. Buna göre değer aralıkları sıvılaşma potansiyeline ve güvenlik faktörüne göre 5 farklı kategoriye ayrılmıştır. Her derinlik aralığı için kullanılan istasyon kuyuları dağılımları 2.5 boyutlu topoğrafya üzerine oturtularak risk haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4).

Çalışma sonunda elde edilen sıvılaşma haritaları değerlendirildiğinde 9 m'ye kadar olan derinlik bölgelerinde sıvılaşmaların gözlemlendiği, fakat 9 m'den büyük derinlikler için sıvılaşma alanlarının bulunmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle gözlemlenen sıvılaşma alanları farklı derinlikler için Şekil 4'de sunulmuştur. İnceleme alanındaki bina temellerinin oturduğu zeminlerde meydana gelen basınç soğanları dikkate alınarak sıvılaşma analizleri bu derinliklere göre yapılmıştır. Basınç soğanı derinliği temel tipi ve kat adedine göre değişmektedir. Bu derinlikler dışında zemin üzerine gelen yükleri güvenle taşıyabilmektedir. Bu derinliklerin içinde kalan bölgelerde ise zemin emniyet gerilmesi aşılabacağından temel zemini üzerindeki binalar için risk taşıyacaktır (Ardıç 2006). İnceleme alanındaki zeminlerin gözenekliği yüksek olduğundan bina yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda bölgesel anlamda da zemin yenilmeleri oluşabilecektir.

0-3 m derinlik için elde edilen güvenlik katsayısı değerleri 0.25 ile 6.14 aralığında değişim göstermektedir. Etki alanı diğer derinliklere göre daha yaygın ve büyüktür. İzmit ilçesinde; Körfez kıyı kuzey doğu uç Körfez, Karabaş ve Kozluk Kemalpaşa mahallelerinde ayrıca Alikahya Cumhuriyet, Alikahya Fatih ve Alikahya Atatürk mahallelerinde yüksek riskli ve riskli bölgeler gözlenmiştir (Şekil 4). Körfez kıyı doğu bölgesinde Sanayi mahallesinde, ayrıca Gölcük ilçesi güney bölgede Sahil, Sepetlipınar ve Yazlıkyeni mahallelerinde riskli alanlar tespit edilmiştir. 3-6 m ve 6-9 m derinlik için güvenlik katsayısı değerleri sırası ile 0.37 ile 10.72 ve 0.55-16.84 aralığında değişmektedir. 3-6 m derinlik için Körfez kıyı kuzey doğu uç bölgesinde, Körfez ve Kozluk Kemalpaşa mahallelerinde ayrıca daha kuzey iç kesimlerde ise Alikahya Cumhuriyet mahallesinde riskli alanlar gözlenmiştir. 6-9 m derinlikte ise kuzey iç kesimlerde Alikahya Cumhuriyet mahallesinde riskli alanlar gözlenmiştir.

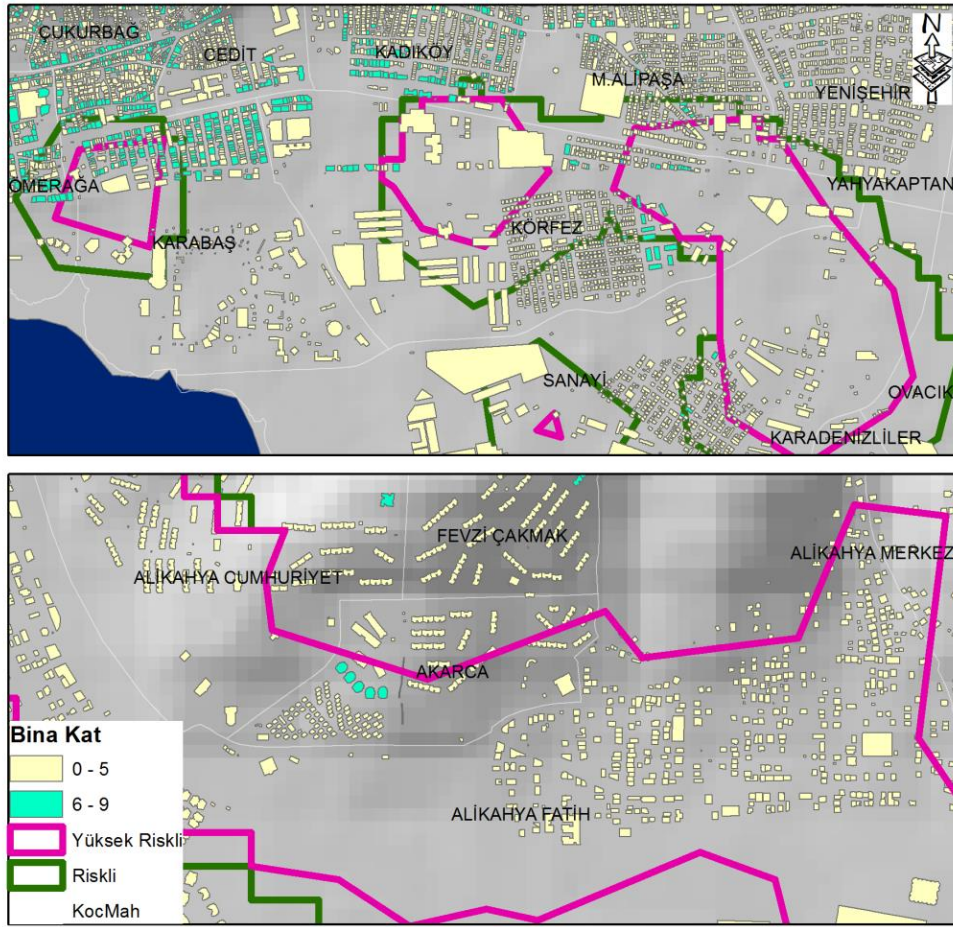
Sıvılaşma alanları daha yaygın olarak 0-3 m derinliklerde gözlemlendiği için, bu derinlik için oluşturulan risk haritası bina envanteri ile örtüştürülmüştür. Bina envanterinde bulunan 115574 bina, değerlendirme alanına düşmektedir. Sıvılaşma riski çok yüksek (0.20-0.85), yüksek (0.85-0.95), orta (0.95-1), düşük (1-1.2) ve risksiz (1.2 ve üstü) bölgeler için bina sorgulamaları yapılmış ve risk altında bulunan alanlardaki binalar ve kat oranları tespit edilmiştir. Yapılan sorgulamalardan elde edilen sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.



Şekil 4: 0-3, 3-6 ve 6-9 m derinlikler alanlarında sivilaşma riski haritaları (AsterGDEM verisinden üretilen kabartı harita üzerine bindirilmiştir)

Tablo 2: Sıvılaşma risk aralıkları ve bina örtüşmeleri

Sıvılaşma Risk aralığı 0-3 m	Alan (hm ²)	Toplam bina sayısı	Kat aralığı	5 kat ve altı bina sayısı	6 kat ve üstü bina sayısı
0.20-0.85 (Yüksek Riskli)	74.73	2836 (%2.43)	1-17	2698	138
0.85-0.95 (Riskli)	106.54	2161 (%1.76)	1-11	2006	155
0.95-1 (Orta Riskli)	89.03	1704 (%1.30)	1-11	1551	153
1-1.2 (Düşük Riskli)	407.53	12784 (%10.54)	1-15	12061	723
1.2 ve üstü (Risksiz)	1915.31	98049 (%83.97)	1-15	95455	2594



Şekil 5: Sıvılaşma riski bulunan alanlar ile bina kat dağılımları

0-3 m derinlik için, çok yüksek sıvılaşma riskine sahip alanlar ile bina envanteri örtüştürüldüğünde %4.19 bina yüksek riskli ve riskli bölge içine düşmektedir. 2836 (%2.43) binanın çok yüksek sıvılaşma riski bulunan alana girdiği gözlenmiştir (Tablo 2). Bu binalar mesken, kamu, işyeri türündedir. Kat yüksekliği 1 ile 17 arasında değişmektedir. Yaklaşık 138 bina 6 kat ve üstü yüksekliğine sahiptir. Riskli alanlara düşen 2161 (%1.76) bina bulunmakta olup, yaklaşık 155'i, 6 kat ve üstü yüksekliğine sahiptir. Bu bölgede kat yükseklikleri 1 ile 11 arasında değişmektedir. Orta riskli bölge içine 1704 bina düşmektedir. Bu binalar 1 ile 11 kat arasında değişim göstermekte olup, 723'ü 6 kat ve üstü yüksekliğe sahiptir. Çalışma alanı içine düşen binaların %94.51'i ise düşük riskli ve risksiz alanlardadır. Yüksek riskli ve riskli sıvılaşma alanı içine düşen binalar ve kat dağılımları Körfez bölgesi ve Alikahya bölgesi için Şekil 5'de sunulmuştur. Bu alanlar için ağırlıklı olarak 5 kat ve altı binaların alanda dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca riskli alanlarda bina yoğunluğunun genelde düşük seyrettiği, iş yeri türünde büyük yapılar yanında, mesken tanımlanan orta ve küçük yapılaşmaların dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir.

3. Sonuç

Binalar yer deformasyonundan kaynaklı hareketlere duyarlıdır. Bu nedenle sıvılaşmadan kaynaklı zemin davranışının ve üzerinde bulunan yapı bloklarının mekânsal olarak haritalanması ve gözlemlenmesi bina riskinin önceden tahmini için gereklidir. Bu bağlamda TÜBİTAK tarafından desteklenen bu çalışma kapsamında, bina yoğunluk analizleri ve sıvılaşmanın körfez bölgesi çevresindeki mekânsal dağılımı CBS ortamında bütünleşik olarak ele alınarak mekânsal dağılımları incelenmiştir. Binanın zemine uyguladığı yük, bina yoğunluk haritalamaları ile alansal değişimler olarak tanımlanabilir. Zemindeki yüke ait bilgi çıkarımı için binaların 3. boyutu dikkate alınarak bina katlarının mekânsal dağılımları mekânsal korelasyon çalışmaları ile irdelenmiştir. Mekansal korelasyon analizlerinden Lokal Moran's I istatistikleri dikkate alınmıştır. Anselin Lokal Moran'ın I İstatistiği sonucunda HH değerleri incelendiğinde Darıca, Körfez (doğu kesmi), Derince ve İzmit (Kuzey) ilçeleri için körfezin kuzey kıyıları, Gölcük kuzey doğu kesiminde yüksek katlı binaların kümelenildiği görülmektedir. LL değerleri ise az katlı bina kümelerini göstermekte olup, daha çok kıyı kesiminden yüksek olan bölgelerde bu kümeleşmelerin yaygın olduğu izlenmiştir. Ayrıca körfez ve çevresinde görülen sıvılaşma potansiyeli 0-3 m, 3-6 m, 6-9 m, 9-12 m' den 33-35 m derinlikleri için oluşturulmuştur. Sıvılaşma potansiyel eşiklerine göre, farklı derinlikler için, sıvılaşma değerleri kategorize edilerek sıvılaşma alanları ve riskli bölgeler tanımlanmıştır. 0-3 m derinlikli alanlarda ise çalışma odağı olan körfez kıyı alanlarında sıvılaşma riski gözlemlendiği için bu risk alanları dikkate alınarak yapılaşma ve sıvılaşma dağılımı örtüştürülerek değerlendirilmiştir. 0-3 m derinlik için, çok yüksek sıvılaşma riskli alanlar ile bina envanteri örtüştürüldüğünde % 4.19 bina yüksek riskli ve riskli bölge içine düşmektedir. 2836 (%2.43) binanın çok yüksek sıvılaşma riski bulunan alana girdiği gözlenmiştir. Bu binalar mesken, kamu, işyeri türündedir. Kat yüksekliği 1 ile 17 arasında değişmektedir. Yaklaşık 138 bina 6 kat ve üstü yüksekliğine sahiptir. Riskli alanlara düşen 2161 (%1.76) bina bulunmakta olup, yaklaşık 155'i, 6 kat ve üstü yüksekliğine sahiptir. Bu bölgede kat yükseklikleri 1 ile 11 arasında değişmektedir. Orta riskli bölge içine 1704 bina düşmektedir. Bu binalar 1 ile 11 kat arasında değişim göstermekte olup, 723'ü 6 kat ve üstü yüksekliğine sahiptir. Çalışma alanı içine düşen binaların %94.51'i ise düşük riskli ve risksiz alanlara düşmektedir. Bu çalışma kapsamında binanın zemine verdiği yük değerlendirilirken, mevcut veri tabanında bulunan bina kat adedi dikkate alınmıştır yalnız, bina kat adedi yanında bina temel tipi de dikkate alınmalıdır. Gelecek çalışmalarda bina temel tipi veri tabanı da dikkate alınarak, zeminde oluşacak yük değeri incelemesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca 0-3 m ve 3-6 m derinliklerdeki sıvılaşma alanları gelecek çalışmalarda entegre olarak bir arada değerlendirilerek 0-6 m de yüksek sıvılaşma riske sahip alanların tespiti ve bu alanlardaki bina tiplerine ve katlarına göre risklerin belirlenmesi planlanmaktadır. Sonuç olarak, binalar ne kadar sağlam ne kadar kaliteli malzemelerle yapılsın; zeminlerin gözenekliği yüksek olan bir alanda, zemin yenilmeleri oluşabilecek, deprem riski yüksek alanlar için yapılar insanlar için büyük risk oluşturabilecektir.

Teşekkür

Bu çalışma 177155 nolu "Çok Bandlı InSAR ve GNSS Tekniği ile Doğu Marmara (İzmit Körfezi) Düşey Yönlü Yer Değiştirmelerin İzlenmesi, Zemin Çökmeleri ile Bina Yoğunluğu ve Sıvılaşma İlişkisinin Araştırılması" başlıklı TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmektedir. Proje 2017 yılı Aralık ayından itibaren başlamış olup, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi ile işbirliği yapılmış ve KOÜ Harita Mühendisliği Bölümü tarafından yürütülmektedir.

Kaynaklar

- Anastasopoulos I., Gazetas G., (2007), *Foundation-structure systems over a rupturing normal fault: Part I. observations after the Kocaeli 1999 earthquake*, Bulletin of Earthquake Engineering, 5, 253-275.
- Ardıç Ö., (2006), *Analysis of Bearing Capacity Using Discrete Element Method*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Arel E., Önalp A., (2012), *Geotechnical properties of Adapazı Silt*, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 71(4), 709-720.
- Aşçı M., Özçep F., Alpaslan N., Karabulut, S., Yas T., (2003), *Evaluation of liquefaction potential by different approaches in some points of northern part of Gölcük, Turkey*, The 3rd International Conference on Earth Sciences and Electronics, Proceedings, October 23-24, İstanbul, Turkey.
- Aşçı M., Yas T., Çaka D., Erdoğan B., Özçep F., (2007), *Kocaeli-Gölcük Çökme Bölgesi Zemininin Sıvılaşma Potansiyeli*, International Earthquake Symposium, October 22-26, Kocaeli.
- Aşçı M., Özçep F., Erhan A., Yas T., Alpaslan N., (2007), *Liquefaction Potential of İzmit-Saraybahçe Soils*, The 16th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, December 07-10, Ankara.
- Aydan Ö., Ulusay R., Atak V.O., (2008), *Evaluation of ground deformations induced by the 1999 Kocaeli earthquake (Turkey) at selected sites on shoreline*, Environ Geol, 54(165), doi:10.1007/s00254-007-0803-x.
- Barka A., (1999) *The 17 August 1999 İzmit Earthquake*, Science, 285, 1858-1859.
- Barka A., (2001), *17 Ağustos 1999 İzmit Depremi Postsismik Deformasyonun Sentetik Açıklık Radar İnterferometrisi Yöntemi ile İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Bray J.D., Sancio R.B., Riemer M.F., Durgunoglu H.T., (2004), *Liquefaction susceptibility of fine-grained soils*, Editör: Doolin, Kammerer, Nogami, Seed, Towhata, Proc. 11th Inter. Conf. On Soil Dynamics and Earthquake Engineering and 3rd Inter. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering 1, Jan. 7–9, Stallion Press, Berkeley, California, USA.
- Bray J.D., Dashti S., (2014), *Liquefaction-Induced Building Movements*, Bulletin of Earthquake Engineering, 12(3), 1129-1156.
- Bray J.D., Macedo J., (2017), *6th Ishihara lecture: Simplified procedure for estimating liquefaction induced building settlement*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 102, 2015-231.
- Çetin K.Ö., Unutmaz B., (2004), *Zemin sıvılaşması ve sismik zemin davranışı*, Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH), 430-2004/2, 32-37.
- Demirtaş R., (1999), 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi; Hasarın Ağır Olmasında Ne Etkili Oldu??. Haber Bülteni, http://eski.jmo.org.tr/resimler/ekler/9dfa2df42d9e3d4_ek.pdf?dergi=HABERBULTENI [Erişim 02 Ocak 2020].
- Demirtaş R., (2000), *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu*, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 295ss.
- Demirtaş R., Şaffak D., Şahin M., Bulut N., (2008), *Kavaklı Fayı (Gölcük-İzmit) Paleosismisite Araştırmaları*, http://www.academia.edu/8775512/Kavaklı_Fayı_GolcukIzmit_Paleosismisite_Arastirmalari_Yuzey_Faylanmasi_Tehlike_Zonu_Acısından_Degerlendirme, [Erişim 02 Ocak 2020].
- Efe R., (2000), *Gölcük ve Düzce Depremleri 1999*, Fatih Üniversitesi Yayınları, No.7, İstanbul, 134ss.
- Efe R., Demirci A., (2001), *Gölcük 1999 depreminde zemin ve yerçekli özelliklerinin şiddet ile hasar dağılışına etkisi*, Türk Coğrafya Dergisi, 36, 1-15.
- Erdik M., Demircioğlu M.B., Sesetyan K., Durukal E., Siyahi B., (2004), *Earthquake Hazard in Marmara Region*, Soil Dynamics And Earthquake Engineering, 24, 605-631.
- Erken A., Özey R., Kaya Z., Ülker M.B.C., Elibol B., (2004), *Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşıma Gücü Kayıpları*, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 431- 2004/3, 20-26.
- Getis A., Ord J.K., (1992), *The analysis of spatial association by Use of distance statistics*, Geographical Analysis, 24, 189–206.
- Gürsu, (2008), *Kocaeli İli Yazlık-Hisareyn-İhsaniye-Yeniköy ve Gölcük sınırları içinde kalan Afete Maruz Bölge'nin Revize İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu*, Sismik Zemin Mühendislik Ltd. Şti., Kocaeli.
- Haack B.N., Rafter A., (2006), *Urban growth analysis and modelling in the Kathmandu valley, Nepal*, Habitat International, 30(4), 1056–1065.
- Idriss I.M., Boulanger R.W., (2006), *Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes*, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (ICSDEE): Part II 26, 115-130.
- Idriss I.M., Boulanger R.W., (2008), *Soil liquefaction during earthquakes monograph mno-12*, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261ss.
- Ishihara K., Yoshimine M., (1992), *Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes*, Soils Found 32(1), 173–188.
- İÜ, (1999), *17 Ağustos 1999 Gölcük (Kocaeli) depremi*, İstanbul Üniversitesi Raporu, <http://avnidincer.8m.com/IURapor.html> [Erişim 02 Ocak 2017].
- Iwasaki T, Tokida K, Tatsuoka F, Watanabe S, Yasuda S, Sato H, (1982), *Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods*, The 3rd International Conference on Microzonation, Seattle, ss.1310–1330.
- İTÜ, (1999), *İstanbul Teknik Üniversitesi Ön değerlendirme Raporu*, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi, <http://web.archive.org/web/20120611004336/http://www.belgenet.com/deprem/depremitu.html> [Erişim 27 Aralık 2016].
- Jat M.K., Garg P.K., Khare D., (2008), *Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 10, 26-43.
- Lu G.Y., Wong D.W., (2008), *An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique*, Computers & Geosciences, 34(9), 1044–1055.
- Mitra D.L., (2009), *Strengthening student voice initiatives in high schools: An examination of the supports needed for school-based youth-adult partnerships*, Youth & Society, 40(3), 311-335.
- Moran P., (1948), *The interpretation of statistical maps*, Journal of the Royal Statistical Society, 10, 243–251.
- Pan X.Z., Zhao Q.G., Chen J., Liang Y., Sun B. (2008), *Analyzing the Variation of Building Density Using High Spatial Resolution Satellite Images: The Example of Shanghai City*, Sensors, 8(4), 2541-2550.
- Saygılı G., Hanna A.M., Ural D., (2007), *Neural network model for liquefaction potential in soil deposits using Turkey and Taiwan earthquake data*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27, 521-540.
- Özmen B., (2000), *17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle)*, Türkiye Deprem Vakfı, TDV/DR 010-53, <http://deprem.gazi.edu.tr/posts/download?id=43388>, [Erişim 2 Ocak 2017].
- Seed H.B., Idriss I.M., (1971), *Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential*, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, 97(9), doi: 10.1061/JSFEAQ.0001662.
- Seed H.B., Tokimatsu K., Harder L.F., Chung R.M., (1985), *Influence of SPT Procedures in Soil Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations*, Journal of Geotechnical Engineering, 111(12), 1425-1445.
- Shepard D., (1968), *A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data*, Proceedings of the 1968 ACM National Conference, ss.517–524.
- Shuvankar D., Sima G., Kayal J.R., (2018), *Liquefaction Potential of Agartala City in Northeast India Using a GIS Platform*, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, (2019)78, 2919–2931
- Sönmez H., (2003), *Modification of the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (İnegöl, Turkey)*, Environmental Geology, 44, 862-871.
- Ulusay R., Aydan Ö., Kumsar H., Sönmez H., Tuncay E., (2000), *Türkiye’de Son Depremlerde görülen sıvılaşma olgusu ve Batı Anadolu’da sıvılaşma potansiyeline genel bir bakış*, Batı Anadolu’nun Depremselliği Sempozyumu, 24-27 Mayıs, İzmir, ss.323-336.
- URL-1, (2016), http://www.ym.com.tr/Files/UserFiles/Arge/Deprem_Muhendisligi/6.%20Dogu%20marmara%20depremi.pdf, [Erişim 27 Aralık 2016].

- USGS (2005), *M7.6 - 4 km ESE of Derince, Turkey*, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0009d4z/executive> [Erişim 23 Ekim 2021].
- Xiao J., Shen Y., Ge J., Tateishi R., Tang C., Liang Y., Huang Z., (2006), *Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing*, Landscape and Urban Planning, 75, 69-80.
- Yüksel Y., Özmen H., Çevik E., Özgüven O., Çelikoğlu Y., Bostan T., Gürer S., Gökoğlu F., (2000), *Doğu Marmara Depreminin Körfez Bölgesi Deniz Yapıları Üzerindeki Etkileri*, III. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 5-7 Ekim, Çanakkale.
- Yang X., Liu Z., (2005), *Use of satellite derived landscape imperviousness index to characterize urban spatial growth*, Computers, Environment and Urban Systems, 29, 524-540.

Türkiye’de Büyüme Derece Günlerinin Zamansal ve Mekânsal Trendinin İncelenmesi

İlhami Doğan^{1,*}, Murat Karabulut²

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, 46100, Kahramanmaraş.

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 46100, Kahramanmaraş.

Özet

Küresel ısınmanın etkileri, dünyanın her bölgesinde aynı şiddette değildir. Doğu Akdeniz Havzasında bulunan Türkiye, bu ısınmadan etkilenen alanlardan birisidir. Yaz kuraklığının önemli derecede hissedildiği Türkiye’de, küresel ısınma nedeniyle iklimsel koşullar sürekli olarak değişmektedir. Bu yüzden, iklim kontrolündeki fenolojik olayların sürekli olarak gözlenmesi gerekmektedir. Fenolojik olayların araştırılmasında, uzaktan algılama sistemleri, meteorolojik gözlemler ve tür bazlı lokal değerlendirmeler gibi çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Büyüme derece günleri (BDG), meteorolojik değişkenliği esas alan fenolojik tahmin modellerinden birisidir. Bu çalışmada, Türkiye’de BDG’lerdeki, yıllık ve mevsimsel trendleri belirlemek için 147 adet meteoroloji gözlem istasyonunun günlük maksimum ve günlük minimum sıcaklık kayıtları kullanılmıştır. Çeşitli periyotlardaki BDG trendleri, Mann-Kendall sıralı istatistik metoduyla belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, 1970’ten 2018 yılına kadar BDG’deki mevsimsel ve yıllık eğilimler pozitif karakterdedir. İklimsel değişimlerin kontrolündeki bu süreçte, Türkiye’de önemli fenolojik kaymalar meydana gelmiştir. Yaz mevsiminde gözlenen BDG artışları; tarım ve ormancılıkta, kuraklığa dayalı sıcaklık stresini daha da arttırmış olabilir. Çalışmada bulunan pozitif eğilimlerin endüstri, tarım, yerleşme, doğal kaynaklar vasıtasıyla doğal ekosistemler üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle sıcaklık ve yağış gibi temel iklimsel parametrelerin daha lokal ölçeklerde toplanması gerekmektedir.

Anahtar Sözcükler

İklim Değişkenliği, Büyüme Derece Günleri, Sıcaklık, Fenoloji, Trend, Türkiye

An Examination of Temporal and Spatial Trends of Growing Degree Days in Turkey

Abstract

The effects of global warming are not the same in every region of the world. Turkey in the Eastern Mediterranean Basin is one of the areas affected by this warming. Summer drought significantly felt in Turkey, where climatic conditions are constantly changing due to global warming. Therefore, it is necessary to continuously observed phenological events in the climate control. Various methods such as remote sensing systems, meteorological observations and species-based local evaluations are used in the investigation of phenological events. Growing degree-days (GDD) is one of the phenological prediction models based on meteorological variability. In this study, daily maximum and daily minimum temperature records of 147 meteorological observation stations were used to determine annual and seasonal trends of GDD in Turkey. GDD trends in various periods were determined by Mann-Kendall sequential statistics method. According to the survey, seasonal and annual trends in from 1970 to 2018 GDD are positive characters. In this process in the control of climate change, important phenological shifts have occurred in Turkey. BDG increases observed in summer; In agriculture and forestry, it may have increased drought-based heat stress even more. The positive trends in the study are thought to be effective on natural ecosystems through industry, agriculture, settlement, and natural resources. For this reason, basic climatic parameters such as temperature and precipitation need to be collected at more local scales.

Keywords

Climate Variation, Growing Degree-Days, Temperature, Phenology, Trend, Turkey

1. Giriş

İnsanoğlu, 20.Yüzyılın ikinci yarısından itibaren küresel iklim değişikliği kaynaklı çeşitli çevresel problemlerle yüz yüze kalmıştır. İklim değişikliğinin en belirgin göstergesi ise küresel sıcaklıklarda gözlenen yüksek artışlardır. Fosil yakıt kullanımından kaynaklı karbon emisyonlarındaki artışlar dikkate alındığında sıcaklıklardaki yükselmelerin dünyada ve Türkiye’de daha da artacağı çeşitli iklim senaryolarıyla ortaya koyulmuştur (Kadioğlu vd. 1993; Kadioğlu 1997; Türkes vd. 2000; Öztürk 2002; Türkes 2003; IPCC 1991; IPCC-AR4 2007; Karabulut 2008; Kadioğlu 2009; Erilat 2013; IPCC 2013; Demircan vd. 2014). Esasen küresel ortalama sıcaklıklarda gözlenen artış eğilimi, dünya üzerinde eşit bir coğrafi dağılış göstermemiştir. Uzun süreli ısınma eğilimi 40° K ve 70° K enlemleri arasında ana karalarda en fazladır.

Türkiye’de sahip olduğu özel ve coğrafi konumu nedeniyle bu değişimden önemli derecede etkilenenler olan ülkeler arasında yer almaktadır (Bolle 2003; Karabulut 2008; Kızılelma ve Karabulut 2011; Karabulut 2012; Karabulut 2015). Bu bakımdan Türkiye’de, 20. Yüzyılın ikinci yarısından itibaren gözlemlenen ekstrem iklim olaylarına bağlı olarak iklimsel değişimlerin ve ayrıca temelde bu değişimlerin kontrolünde gerçekleşen fenolojik olayların (yıl içerisinde aktif büyüme periyodu, yapraklanma, çiçeklenme vb.) gözlemlenmesi sürdürülebilir mekânsal kullanım açısından çok önemli nokta haline gelmiştir.

Yaşam, kaçınılmaz olarak canlıların yaşamsal faaliyetlerinin devam etmesini sağlayan belirli sıcaklık koşullarına bağlıdır (Kadioğlu ve Şaylan 2001; Körner ve Basler 2010). Yaşamsal olarak gerekli olan bu sıcaklık koşulları, yerküre üzerinde zamansal ve mekânsal ölçekte sürekli değişkenlik göstermektedir (Karabulut 2008; Karabulut 2014). Sıcaklıklardaki değişkenlikler ise bazı doğal ekosistemler için uygun koşullar sağlarken bazılarında da dikkate değer riskler meydana getirmektedir. Bitkiler bu değişkenliklerden oldukça fazla etkilenmektedir. Çünkü bitkilerde farklı yaşamsal aktiviteleri şekillendiren en temel iklim elemanı sıcaklıktır (Körner 2003; Forland vd. 2004; McMaster vd. 2005). Bu durum, özellikle sıcaklıktaki yıllık değişkenliğin yüksek olduğu, flora üremesinde ve büyümesinde sıcaklık döngülerinin temel rol oynadığı ılıman ve kutup bölgelerinde geçerlidir (Fenner 1998). Çeşitli zirai türlerde gözlemlenen fenolojik değişimler (büyüme başlangıcı, çiçeklenme vb.); iklimsel ve meteorolojik dinamiklerin, bitki gelişimde çok önemli rol oynadığını ortaya koymaktadır (Türkoğlu vd. 2012; Köse vd. 2014; Şensoy 2015; Türkoğlu vd. 2016).

Kuzey Yarımküre, özellikle Avrupa ve Asya’nın bazı bölgeleri, fenolojik olayları kaydetme ve görüntüleme konusunda uzun bir geçmişe sahiptir. Son 20 yılda ise bu kayıt ve gözlemler, etkisi artarak devam eden küresel iklim değişikliğinin doğal ve beşeri sistemler üzerindeki etkilerinin anlaşılmasına katkıda bulunmak için kullanılmıştır (Nekovar vd. 2008; Sakurai vd. 2011).

Fenolojik olayların gözlemlenmesinde ve kaydedilmesinde birçok farklı araç veya yöntem kullanılmaktadır. Bu teknikler, gözlemlenen canlıya, alana veya bölgeye göre şekillenmektedir. Sıcaklığa bağlı fenolojik olayların ortaya konulmasında en yaygın kullanılan modellerden birisi büyüme derece gün tekniğidir. BDG kavramı, bitki ya da diğer organizmalarda vücut ısısındaki değişimin, sıcaklığın belirli süre içerisinde belirli eşik sıcaklıklarını aştığı zaman meydana geleceği fikrine dayanmaktadır. Meteorolojik veri setlerindeki pratik kullanımı ve faydası nedeniyle tarım, fenoloji ve diğer çalışmalarda da tercih edilen tahmin modellerinden birisidir (Yang vd. 1995; Kadioğlu ve Şaylan 2001; Grigorieva ve Matzarakis 2010).

BDG, soya fasulyesi, mısır ve buğday gibi ekonomik değere sahip ürünlerin büyüme evrelerini öngörmek için de kullanılan bir metottur (Nielsen ve Hinkle 1996; Öktem ve Ağırmatlıoğlu 2006; Hinchliffe vd. 2011; Iqbal vd. 2013). Bu yöntem ayrıca binaların optimum seviyede ısıtılmasında, soğutulmasında ve zararlı zirai böceklerin takibinde de kullanılmaktadır (Kadioğlu vd. 2001; Şensoy vd. 2007; Adams 2013).

Yüksek sıcaklık artışları ve sıcaklık anomalileri ile karakterize olan küresel ısınma, ekolojik balansın bozulmasındaki en önemli etkenlerden birisidir. Küresel ısınmanın etkin bir şekilde hissedildiği Doğu Akdeniz Havzası ülkelerinden birisi olarak Türkiye’de de sıcaklıklarda belirgin artışlar belirlenmiştir. Bu durum özellikle de tropik, yaz ve donlu gün sayılarındaki değişimlerle daha da belirginleşmiştir (Erlat ve Öngen 2008; Erlat ve Yavaşlı 2009). Sıcaklıklarda yaşanan artışlarla birlikte Türkiye’de, fenolojik uzunluk süreleri, fenolojik başlangıç zamanları vb. süreçlerde önemli değişimler yaşanmıştır. Bu anlamda, çeşitli zirai türlerin fenolojik dönemleri erkene kayarken, tarımda tür seçimi etkilenmiş, verim miktarlarında azalmalar gerçekleşmiştir. Ayrıca iklim projeksiyonları araştırmaları, küresel ısınma nedeniyle bu değişimlerin pozitif yönde daha da artacağını ortaya koymaktadır (Türkeş 1996; Kadioğlu 1997; Domroes ve El-Tantawi 2005; Matzarakis vd. 2007; Karabulut 2012; Türkoğlu vd. 2012; Şensoy vd. 2013; Ayaz ve Varol 2015; Kızılelma vd. 2015; Türkoğlu vd. 2016; Topal vd. 2017; Pastor vd. 2018; Kayaçetin vd. 2019; Yılmaz 2019; Yücel vd. 2019).

Doğu Akdeniz Havzası’nda gözlenen sıcaklık artışlarına benzer olarak Türkiye’de; Marmara, Ege ve Akdeniz deniz suyu sıcaklıklarında da önemli yükselmeler meydana gelmiştir (Pastor vd. 2018; Şişman 2019).

Türkiye’de meteorolojik sıcaklık kayıtlarının kullanıldığı, genel veya bölgesel anlamda bitkilerin fenolojik durumlarının sıcaklığa dayalı olarak hangi seviyede değişim gösterdiğiyle ilgili yeterli düzeyde çalışma bulunmamaktadır. Dinamik iklim koşulları nedeniyle bitki örtüsünün sürekli değişime uğradığı Türkiye’de, fenolojik aktivitelerin zamanlamasına yönelik tahmin araştırmalarını; uydu görüntüleri üzerinden elde edilen verilerin çeşitli indisler vasıtasıyla anlamlandırılması, tarımsal ve doğal bitki türlerinin lokal çevresel koşullarıyla değerlendirilmesi ile zirai ürünlerin farklı çevresel koşullardaki yaşamsal aktivitelerinin farklı coğrafyalardaki durumuna yönelik çalışmalar oluşturmaktadır. Uzaktan algılama çalışmaları, yüzey gözlem ağları sistemindeki NOAA AVHRR, MODIS ve SPOT Vegetation gibi uydulardan elde edilen görüntülerin, çeşitli bitki indislerine yönelik olarak anlamlandırıldığı çalışmalardır. Lokal çevresel koşullara yönelik araştırmalar, daha çok tarımsal ve endüstriyel olarak değerli görülen bitkilerin (zeytin, mısır, buğday ve pamuk gibi) çeşitli dönemlerde gösterdikleri fenolojik aktivitelere yöneliktir. Bu çalışmalarda, bitki türlerinin belirli zaman aralıklarında farklı çevresel koşullara karşı gösterdikleri değişimler izlenmektedir (Leon vd. 2001; Karabulut 2006; Öktem ve Ağırmatlıoğlu 2006; Tarnavsky vd. 2008; Kaya 2010; Köse vd. 2014; Göksu vd. 2015; Kızılelma vd. 2015; Short 2016; Topal vd. 2017; Kayaçetin vd. 2019; Yücel vd. 2019; Karakoç ve Karabulut 2020).

Derece günleri, Türkiye’de son dönemlerde kullanılmaya başlanmış bir fenolojik tahmin modelidir. Bu yöntem; Türkiye’de fenolojinin uzun yıllar trendine yönelik 2001 yılında, Kadioğlu ve Şaylan (2001) tarafından uygulanmıştır. Çalışmada 1930-1990 yılları değerlendirilmiştir.

Bu anlamda, küresel ısınmanın daha fazla hissedildiği 1990 yılından sonraki periyotla ilgili çalışma yapılmamıştır. Derece günleri, zirai türlerin lokal çevresel koşullarının incelenmesinde de kullanılmaktadır. Yöntemin uygulandığı diğer bir alan ise enerji odaklı mühendislik çalışmalarıdır. Enerji alanlarındaki kullanımında metot; ısıtma (heating degree-days) ve soğutma (cooling degree-days) günleri olarak isimlendirilmektedir. İhtiyaca uygun seviyedeki oda sıcaklığı için gerekli enerji, bu yöntemle hesaplanmaktadır (Büyükalaca vd. 2001; Kadioğlu ve Şaylan 2001; Bukun 2004; Yıldız ve Sosaoglu 2007; Kara 2015; Kayaçetin vd. 2019; Yücel vd. 2019).

Araştırmadan elde edilen bulgular ve sonuçların, Türkiye’de 2000’li yıllar ile birlikte küresel ısınmaya dayalı sıcaklık artışlarının bir sonucu olarak genel fenolojik aktivitelerin ve trendlerin belirlenmesine katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bu bakımdan son dönemlerde yapılan fenolojik tahmin modelleri, yersel gözlemlere ve uzaktan algılamaya ek olarak meteorolojik gözlemlerin de kullanılmasının daha doğru sonuçlar vereceğini göstermektedir (De Beurs ve Henebry 2005; Hassan vd. 2007; De Beurs ve Henebry 2010; Krehbiel 2015).

Bu anlamda, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak BDG’nin zamansal ve mekânsal olarak Türkiye’de nasıl bir trend izlediği önemli bir konu haline gelmiştir. Çalışmada meteorolojik değişimlerin, bitki fenolojik aktivite periyotlarında yıllık ve mevsimsel olarak ne yönde eğilimler meydana getirdiği ve bu eğilimlerin anlamlılığı araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, çalışmada şu sorulara yanıt aranmıştır: 1- Küresel ısınmanın bir sonucu olarak Türkiye’de fenolojik periyotlar uzamış mıdır? 2- Kümülatif BDG birimlerinin negatif trend gösterdiği alanlar var mıdır?

2. Materyal ve Yöntem

BDG’lerdeki yıllık ve mevsimsel trendleri ortaya koyabilmek için T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesindeki 147 adet İstasyonun 1970-2018 periyodu günlük maksimum ve günlük minimum sıcaklık kayıtları kullanılmıştır.

Meteoroloji istasyonlarının belirlenmesinde uygun zaman aralığı ve veri yeterliliği dikkate alınmıştır. Bu yüzden veri setlerinde eksiklik veya çok miktarda kesiklik olan istasyonlar çalışmada kullanılmamıştır.

Fenolojik bir tahmin modeli olarak BDG yönteminin kullanım alanları ve hesaplanması belirli farklılıklar barındırmaktadır (Grigorieva ve Matzarakis 2010). Yöntem, iklim elamanlarından sıcaklığın temel alındığı büyüme modellerinden bir tanesidir. BDG modeli; 24 saatlik bir süreçte belirli sıcaklık eşiklerine göre filtrelenmiş ısı birikimini ifade etmektedir. BDG tek bir gün için hesaplanabileceği gibi sıcaklığın canlı gelişimi için uygun aralıklarda kaldığı periyotlar için de kullanılabilir. Bu perspektif dikkate alınarak BDG çalışması; herhangi bir özel bitki türüne göre değil de, orta kuşakta bulunan bitkilerin genel büyüme başlangıcını ortalama olarak 0°C’de başlattığı hipotetik varsayımına göre yapılmıştır. Literatürdeki BDG eğilim çalışmaları zaten bu hipotetik varsayım üzerinden modellenmiştir (Yang vd. 1995). Tür bazlı özel büyüme eşiklerine göre yapılan araştırmalar bu çalışmadan farklıdır. BDG modeli temel olarak, belirli zaman (yıllık, mevsimsel ve aylık) aralığındaki bir güne ait filtrelenmiş BDG birimiyle bir sonraki günün filtrelenmiş BDG birikiminin kümülatif bir şekilde toplanmasıyla oluşmaktadır (Yang vd. 1995; Roltsch vd. 1999; Kadioğlu ve Şaylan 2001; Miller vd. 2001; Murray 2008; Brown, 2013). BDG birimlerinin filtrelenmesinde tür özelliklerine göre alt ve üst eşik belirlenmektedir. Örneğin tarımsal anlamda büyük önem taşıyan mısır bitkisi için büyüme başlangıç seviyesinde 10°C eşiği kullanılırken marul için 4,4°C eşiği temel alınmaktadır. Bu eşik bitki türlerine göre değişmektedir (McMaster ve Wilhelm 1997; Miller vd. 2001).

BDG hesaplanmasında hem günlük ortalama sıcaklık hem de günlük maksimum ve minimum sıcaklık kayıtları kullanılabilir. Bazı durumlarda günlük maksimum sıcaklık değerleri üst eşik (canlının yaşamsal aktivitesini sonlandırdığı veya yüksek sıcaklık stresine girdiği seviye) sıcaklığından fazla olurken günlük minimum sıcaklık değerleri de alt eşik (bazı canlıların yaşamsal aktivitesini sonlandırdığı, bazılarının da büyüme aktivitelerini başlatabildiği evre) seviyesinden daha az olmaktadır. Bu tür durumlarda günlük minimum ile günlük maksimum sıcaklık değerleri alt ve üst eşik değerleriyle modifiye edilmektedir. Modifikasyon neticesinde uygun eşikler içerisinde filtrelenmiş meteorolojik veri seti meydana gelmektedir. Bu süreçte kullanılan metotlar, modifiye edilmiş ortalama ve ortalama yöntemidir. Bunların dışında sindüs dalgası metodu da bulunmaktadır (Nielsen ve Hinkle 1996).

Modifiye edilmiş ortalama yöntemi, hesaplamalarda günlük minimum (filtrelenmiş) ve günlük maksimum (filtrelenmiş) sıcaklık değerlerini kullanarak bir gün içerisindeki optimum BDG birikimini belirlemekte ve muhtemel BDG değerlerinin yüksek ve alçak sonuçlar vermesini engellemektedir (Murray 2008). Modifiye edilmiş ortalama yöntemi, aslında günlük ortalama sıcaklığın belirli eşik seviyelerinden çıkarıldığı ortalama yöntemin modifiye edilmiş halidir. Burada yöntem, günlük minimum sıcaklığın alt eşiği geçtiği veya günlük maksimum sıcaklığın üst eşiği aştığı durumlarda filtrelemeyi devreye sokarak eşik değerlerinin altındaki ve üstündeki sıcaklıkları sistem dışı bırakmaktadır. Daha sonra, sistem dışı bırakılan minimum sıcaklığın yerini alt eşik (0°C) alırken maksimum sıcaklığın yerini de üst eşik (30°C) almaktadır (Tablo 1). Modifiye edilmiş ortalama yönteminin formüle edilmiş hali:

$$BDG = \left[\frac{T(mod)min + T(mod)maks}{2} \right] - T \text{ eşik} \quad (1)$$

Eğer minimum sıcaklık, belirlenen alt eşik (0°C) altına düşmemişse veya maksimum sıcaklık üst eşik (30°C) üzerine çıkmamışsa mevcut sıcaklık değerleri modifiye edilmeden doğrudan hesaplamada kullanılmaktadır. Bu şekildeki hesaplama metodunun adı ise ortalama yöntemidir. Model şu şekilde formülize edilmektedir:

$$BDG = \left[\frac{T_{min} + T_{maks}}{2} \right] - T_{eşik} \quad (2)$$

Formül (1)’de, ($T^{(mod)}_{min}$) modifiye edilmiş günlük minimum sıcaklığı, ($T^{(mod)}_{maks}$) modifiye edilmiş günlük maksimum sıcaklığı, ($T_{eşik}$) ise fenolojik aktivitenin var olduğu başlangıç seviyesini ifade etmektedir. Eşik sıcaklığı, her canlı için farklı derecede gerçekleşmesinden dolayı orta enlem ülkelerinde yaygın olarak kullanılan 0°C temel alınmıştır. Dolayısıyla, iki formülde de $T_{eşik}$ sıcaklığı için 0°C baz alınmıştır (McMaster ve Wilhelm 1997; Grigorieva ve Matzarakis 2006). Günlük maksimum sıcaklığın alt eşik (0°C) altına düştüğü durumlarda, BDG hesaplaması yapılmayarak sonuç sıfır olarak girilir (Tablo 1).

Hem modifiye edilmiş ortalama hem de ortalama yöntemi için farklı sıcaklık koşullarında meydana gelen BDG değerlerine ve bu BDG değerlerinin belirli zaman aralıklarında kümülatif olarak birikimine yönelik örnekler Tablo 1’de verilmiştir. Tablonun minimum sıcaklık (T_{min}) değerlerindeki üstü çizili alanlar; sıcaklığın alt eşik (0°C) seviyesinin altına düştüğünü, maksimum sıcaklık (T_{maks}) kısmındaki üstü çizili alanların ise, sıcaklığın üst eşik (30°C) seviyesinin üzerine çıktığını göstermektedir (Tablo 1).

Tablo 1: Farklı sıcaklık koşullarında BDG hesaplanması ve bu BDG’lerin kümülatif olarak birikimi

$T_{eşik} = 0^{\circ}\text{C} (^{mod} min)$, $\text{Üst eşik} = 30^{\circ}\text{C} (^{mod} mak)$							
Tarih	$T_{min}^{\circ}\text{C}$	$T_{maks}^{\circ}\text{C}$	BDG	Tarih	$T_{min}^{\circ}\text{C}$	$T_{maks}^{\circ}\text{C}$	BDG
27.01.2018	0	7,2	3,6	27.05.2018	17,7	28	22,85
28.01.2018	-1,5	6,5	3,25	28.05.2018	19,1	28,8	23,95
29.01.2018	-2	4,9	2,45	29.05.2018	19,5	29	24,25
30.01.2018	-4,6	-0,1	0	30.05.2018	20,8	29,9	25,35
31.01.2018	2,5	7,7	5,1	31.05.2018	21,5	30,5	25,75
27.02.2018	6,6	12,6	9,6	27.06.2018	28	36	29
28.02.2018	7,5	13,8	10,65	28.06.2018	28,4	36,6	29,2
28.03.2018	5,5	13	9,25	29.06.2018	28,5	38	29,25
29.03.2018	5,4	12,5	8,95	30.06.2018	28,8	39	29,4
30.03.2018	5,9	11,1	8,5	30.07.2018	28,9	38,5	29,45
31.03.2018	6,9	12,8	9,85	31.07.2018	29	38,6	29,5
29.04.2018	9,8	18	13,9	29.08.2018	27	35,4	28,5
30.04.2018	10,5	19,2	14,85	30.08.2018	27,4	35,9	28,7
Toplam BDG =			99,95	-	Toplam BDG =		355,15

Araştırmada, BDG hesaplaması özet olarak iki aşamadan geçmektedir. Günlük minimum ve günlük maksimum sıcaklık değerleri, kullanılan alt ve üst eşiklerin (0°C ve 30°C) dışında kalırsa (sıfır derecenin altında kalan ve otuz derecenin üstünde olan) modifiye edilmiş ortalama yöntemi devreye girmektedir. Diğer durumda ise ortalama yöntemi kullanılmaktadır. Bu durumda günlük minimum ve günlük maksimum sıcaklık değerleri uygun aralıkta olduğu için (0°C - 30°C arası) günlük ortalama sıcaklık değerinin alt eşik (0°C) seviyesinden çıkarılmasıyla BDG elde edilir. Daha sonra bu iki aşamalı formül her bir gün için tekrar edilir. Günlük olarak hesaplanmış BDG birimleri bulunduğu ay içerisinde kümülatif olarak toplanarak aylık BDG değerleri, aylıklardan da mevsimsel ve yıllık kümülatif BDG değerleri elde edilmiştir. Mevsimlik hesaplamalarda ilkbahar için, mart ayının 1’inci gününden mayıs ayının son gününe kadar ki birikmiş BDG değerleri kullanılırken yaz mevsimi için ise haziran başından ağustos sonuna kadar ki BDG’ler toplanmıştır. Sonbahar mevsiminde eylül başından kasım sonuna kadar biriken BDG değerleri toplanırken son olarak kış mevsimi BDG birimlerini belirlemek için de bir önceki yılın aralık ayı ile mevcut yılın ocak ve şubat ayı BDG değerleri toplanmıştır. Daha sonra toplamda 48 yıl için elde edilen yıllık ve mevsimlik BDG değerlerindeki değişimler test edilmiştir.

Modifiye edilmiş ortalama yöntemiyle hesaplanan 0°C eşiği BDG’lerdeki yıllık ve mevsimsel trendi ortaya koyabilmek için non-parametrik testlerden Mann-Kendall trend analizi kullanılmıştır. Mann-Kendall trend analizi sonuçları istasyon sayısı fazla olduğu için tablo olarak verilmemiştir. Bunun yerine Mann-Kendall sonuçları, harita üzerinde istatistiksel anlamlılık durumlarına göre sembolleştirilmiştir. Mann-Kendall, trend analizlerinde çok sık kullanılan bir yöntemdir (Yıldırım, 2015; Topuz, 2017). Serisel bağımlılık ve mevsimsellik durumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kendall’ın Tau olarak bilinen testinin özel bir uygulamasıdır. Yöntem verilerin büyük olmasından çok sıralarını esas almaktadır. Bu yöntem eksik verilerin varlığına müsaade ettiği ve verilerde belirli bir dağılıma uyma zorunluluğu aramadığı için oldukça kullanışlıdır (Yu vd. 1993; Karabulut ve Cosun 2009). Bu yöntemde zamana göre sıralanmış ($X_1, X_2, \dots, X_n$) serileri, H_0 hipotezine göre zamandan bağımsız ve benzer dağılmış rasgele değişkenlerdir.

H_1 alternatif hipotezine göre ise ($k \neq j$) ve $n \geq k$, j (n , veri kayıt uzunluğu) olmak üzere seride X_k ve X_j ardışık veri değerlerinin dağılımı benzer değildir. Seride linear bir trend vardır (Kalaycı ve Kahya 1998). Testin en avantajlı tarafı uygulaması kolay, sıralar üzerine esas olması ve serisel korelasyon etkisini yok etmesidir (Partal 2003). Mann-Kendall testinin istatistiği olan S (3) ve (4) eşitliklerinden hesaplanmaktadır:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (3)$$

$$\text{sgn}(X_j - X_k) = \begin{cases} +1 & \text{eğer } (X_j - X_k) > 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{eğer } (X_j - X_k) = 0 \text{ ise} \\ -1 & \text{eğer } (X_j - X_k) < 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (4)$$

Asimptotik olarak normal bir dağılıma sahip ve ortalaması sıfır olan test istatistiği S 'nin varyansı $\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18$ şekilde ifade edilir. Eğer verilerde benzer değerler (*bağ durumları*) mevcutsa, bu işlemin payından $\sum_i t_i(t_i-1)(2t_i+5)$ değeri çıkartılır. Burada t herhangi bir bağ durumundaki benzer x 'lerin sayısını ve $\sum_i$ bütün bağ durumları üzerinden alınan toplamı belirtir.

Süreklilik düzeltme birimi (denklem (5)) deki paylarda bulunan 1 değeri) kullanılırsa, $n \leq 10$ olmak üzere S istatistiğinin teorik olasılık dağılımı için normal dağılım daha uygundur.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}}, & \text{Eğer } S > 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{Eğer } S = 0 \text{ ise} \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}}, & \text{Eğer } S < 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (5)$$

Bu durumda standart normal değişken (z) aşağıdaki eşitlikle hesaplanarak kritik (z) değeri ile karşılaştırılır (Hirsch vd. 1982; Kalaycı ve Kahya 1998; Partal 2003).

3. Bulgular ve Tartışma

İklim elamanlarından sıcaklıklarda gözlenen hızlı değişimler, bitkilerin büyüme koşullarının mekânsal desenini önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle mevcut doğal bitki örtüsüyle tarımsal ürünlerdeki kalitenin korunması, iklim değişikliğine bağlı büyüme tahmin modellerinin kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Sıcaklıklardaki değişimlerden yola çıkarak aylık, mevsimlik ve yıllık büyüme tahminlerinde bulunabilen çok fonksiyonlu bir model olarak BDG yöntemi, tarımsal uygulamalarda ürün bazlı büyüme tahminlerinde kullanılabileceği gibi uzun dönemli değişim trendlerini belirleyerek iklim değişikliğinin karakterini daha net bir şekilde belirlemeye de yardımcı olabilir.

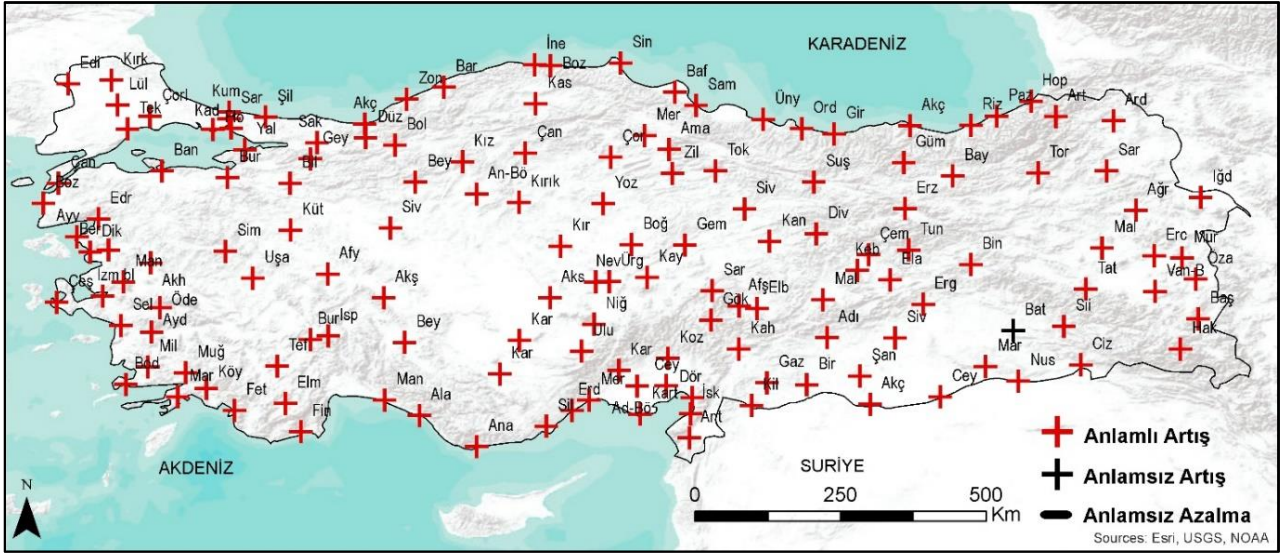
Tablo 2: Araştırmada kullanılan istasyonların, yıllık ve mevsimsel BDG eğilim sonuçları ve istatistiksel anlamlılık seviyeleri

<u>Dönemler</u>	<u>%95 (+)</u>	<u>Anlamsız (+)</u>	<u>%95 (-)</u>	<u>Anlamsız (-)</u>
Yıllık	146	1	0	0
İlkbahar	128	16	0	3
Yaz	144	3	0	0
Sonbahar	111	31	0	5
Kış	101	46	0	0

Türkiye’de BDG trendleri, genel olarak ilkbahar ve sonbahardaki birkaç istasyon (Batman, Bartın, Gümüşhane, Dört Yol, Siverek, Göksun, Keban ve Sarıkamış) dışında yıllık ve mevsimsel olarak pozitif eğilimler göstermiştir (Tablo 2, Şekil 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7).

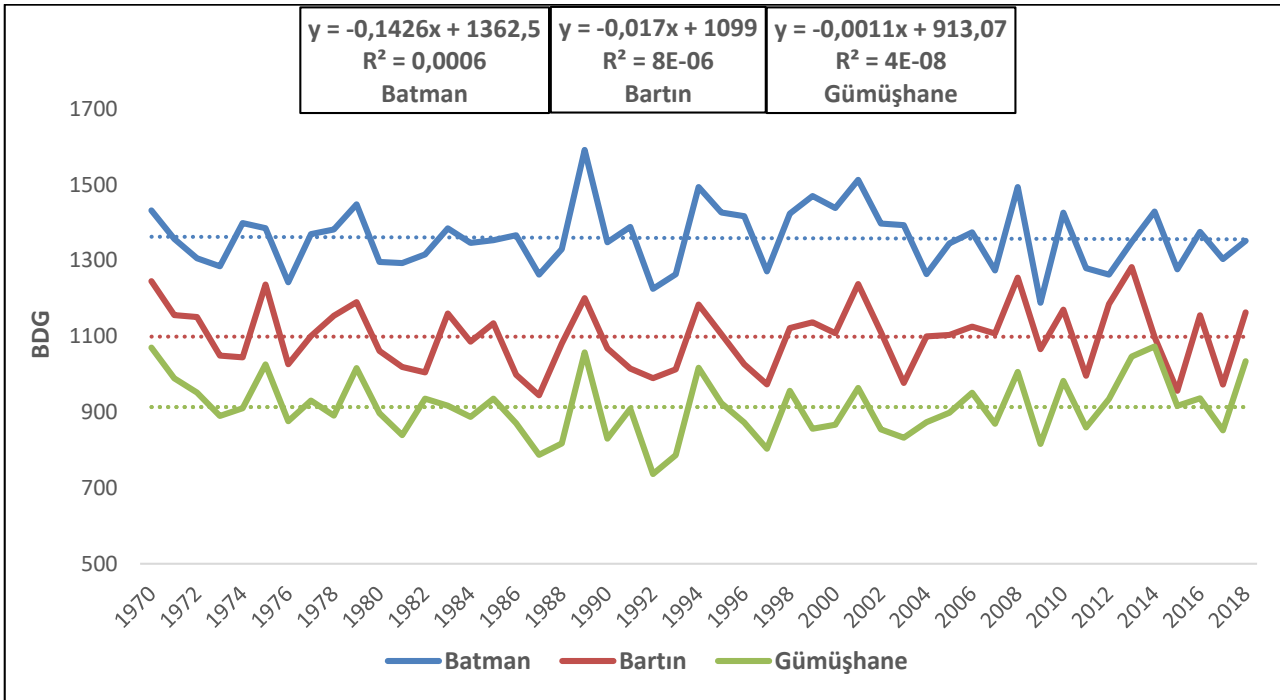
Yıllık trendlerdeki pozitif eğilimler, Batman istasyonu dışında istatistiksel olarak anlamlı artışlardır. BDG yıllık trendlerine bölgesel olarak bakıldığında, tüm bölgelerde pozitif bir eğilim mevcuttur (Şekil 1).

Hem yıllık hem de mevsimsel olarak hiçbir istasyonda, negatif yönde istatistiksel olarak anlamlı bir BDG trendi belirlenmemiştir (Tablo 2).

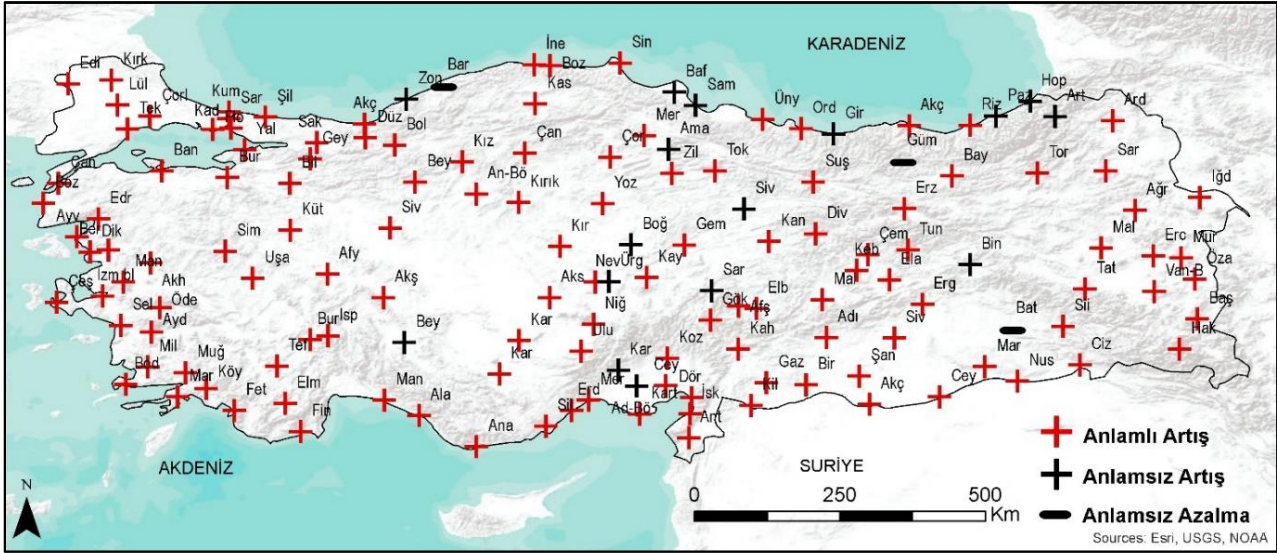


Şekil 1: Türkiye’de büyüme derece günlerinin yıllık trend durumu

BDG’ler, uzun yıllar için tüm istasyonlarda pozitif yönlü olsa da mevsimsel olarak bazı yerlerde ilkbahar ve sonbaharda geçerli negatif trendler de mevcuttur. Diğer mevsimlerde istasyonların tamamı pozitif eğilim göstermiştir. İlkbaharda, negatif trendin bulunduğu üç yer Bartın, Batman ve Gümüşhane istasyonlarıdır. Birbirlerinden uzak mesafede bulunun bu üç istasyondaki negatif eğilim, istatistiksel olarak güvenilir seviyede değildir. İstasyonların lineer trend grafikleri incelendiğinde Batman’da 1989, Bartın ve Gümüşhane’de 2013 yıllarında önemli BDG artışlarının yaşandığı ortaya konulmuştur. BDG’de anlamlı artışların yoğun olarak belirlendiği alanlar, Akdeniz, Ege ve Marmara kıyılarıdır. Kıyı şeridinde meydana gelen yükselmelerin, artan deniz suyu sıcaklıkları ile ilişkisi olabilir.

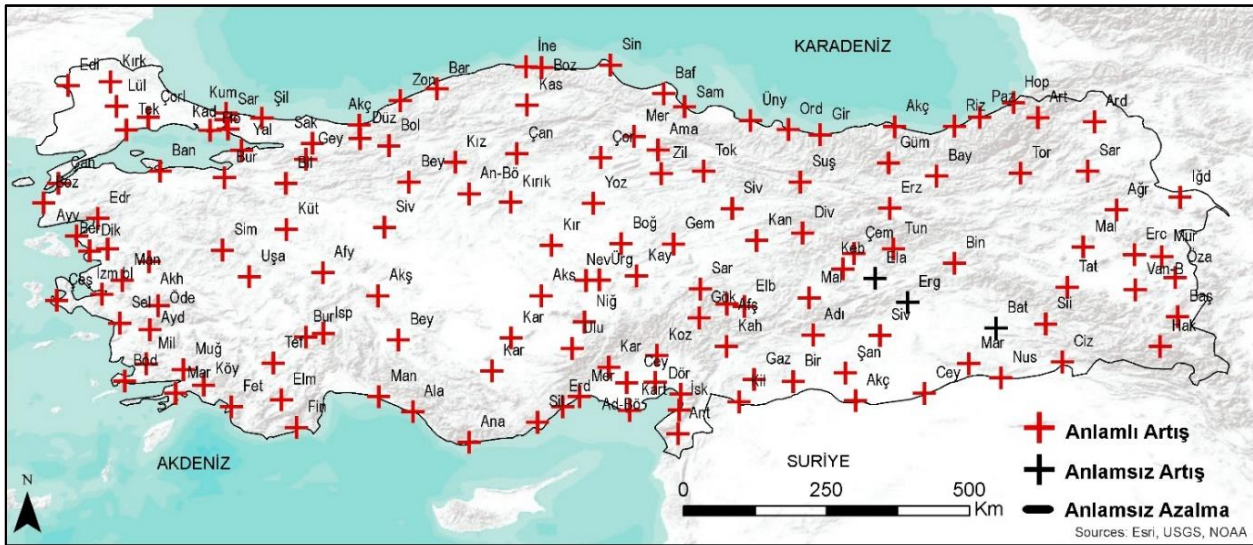


Şekil 2: İlkbahar mevsimi büyüme derece günlerinde negatif eğilimin bulunduğu istasyonların trend durumu



Şekil 3: Türkiye’de büyüme derece günlerinin ilkbahar mevsimi trend durumu

Türkiye, yüksek yaz sıcaklıklarıyla karakterize olan bir ülkedir. Bu durumun bir yansıması olarak, Türkiye’de ısınmanın en fazla gözlemlendiği dönem yaz mevsimi olmuştur. Öyle ki anlamsız artışların bulunduğu, Batman, Elazığ ve Ergani dışında bütün istasyonlar yaz döneminde pozitif yönde anlamlı eğilim mevcuttur. Anlamsız artışların bulunduğu istasyonlar, benzer coğrafi koşullarda, birbirlerine yakın bir bölgede bulunmaktadır (Şekil 4). BDG trendlerindeki pozitif yöndeki anlamlı artışlar, Türkiye’yi yaz mevsiminde etkisi altına alan Basra Termik Alçak Basıncının etkisini daha da arttırdığını göstermektedir. Bu artışlar, Doğu Akdeniz Havzası’ndaki iklimsel çalışmalara benzer sonuçlar vermektedir. Türkiye’de, ortalama sıcaklıkların oldukça düşük olduğu Doğu Anadolu Bölgesi’nde karasal coğrafi koşullara rağmen Elazığ hariç tüm istasyonlarda anlamlı BDG artışları meydana gelmiştir (Şekil 4).

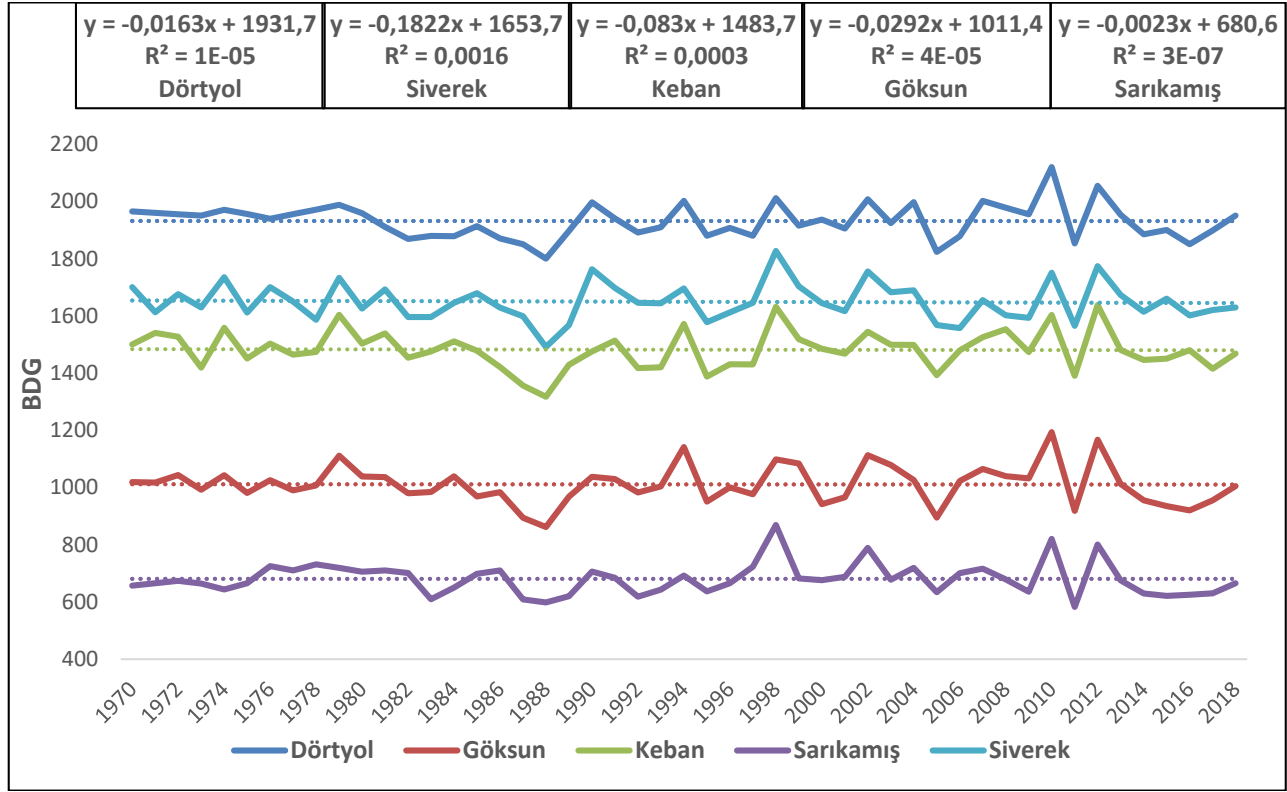


Şekil 4: Türkiye’de büyüme derece günlerinin yaz mevsimi trend durumu

Isınma eğilimlerinin sonbaharda da devam ettiği Türkiye’de, anlamlı BDG artışlarının varlığı batı kısımlarda daha belirgin durumdadır. İlkbahar mevsimi kıyı istasyonlarında gözlenen artışlar, sonbahar mevsiminde Karadeniz Bölgesinde de belirlenmiştir. Dört yıl hariç tüm kıyı şeridi ya da kıyıya yakın alanlarda, çoğunluğu anlamlı pozitif yönlü BDG trendleri mevcuttur. Kıyı alanlarında belirlenen bu artışlar Türkiye’de ilkbahar ve sonbahar fenolojisinin zamansal olarak genişlediğini göstermektedir (Şekil 3 ve 6). Dört yıl istasyonu, denize sıfır bir konumda, denizel hava koşullarına açık bir coğrafyada bulunmasına rağmen BDG trendi negatif yöndedir (Şekil 5 ve 6).

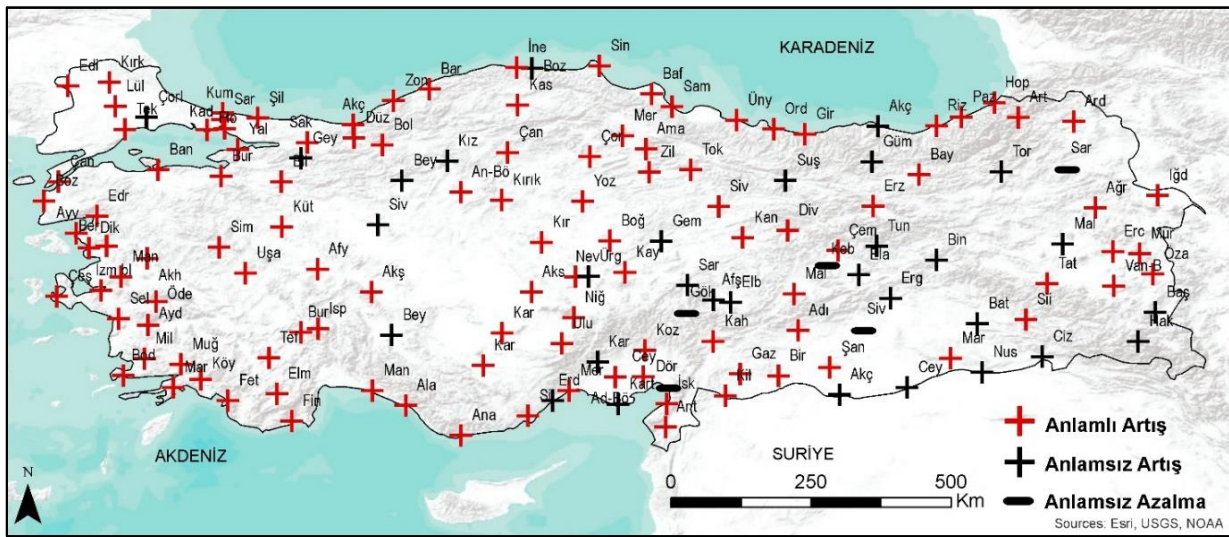
İstasyon sayısının fazla olması nedeniyle sadece negatif eğilimli istasyonların trend grafiklerine yer verilmiştir. Diğer istasyonların lineer grafikleri çalışmaya eklenmemiştir. Hatay Dört yıl istasyonunun BDG’nin uzun yıllar sonbahar mevsimi lineer trendinde, 2013 yılından itibaren önemli bir artışın yaşanmadığı görülmektedir. Analiz edilen yıllar içerisindeki en yüksek değere, 2054 birimle 2012 yılında ulaşılmıştır.

BDG birikiminin oldukça yüksek olduğu 2010 ve 2012 yılları arasında önemli düşüş yaşanmıştır. 2010 ve 2012 yıllarındaki artışlar, o dönemde gerçekleşen sıcaklık anomalileriyle uyumaktadır. 2011 yılındaki düşüş Göksun, Keban, Sarıkamış ve Siverek istasyonlarında da mevcuttur. 1987 – 1990 arasında düşüş periyodu, negatif trendin belirlendiği istasyonların hepsinde gözlemlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5: Sonbahar mevsimi büyüme derece günlerinde negatif eğilimin bulunduğu istasyonların trend durumu

Dörtöl istasyonu, oldukça küçük bir kent içerisinde kalmaktadır. Bölgenin 5 km doğusunda bulunan Amanos Dağları ormanları dışında soğuk koşullar oluşturacak herhangi bir unsur belirlenememiştir. Ayrıca istasyondaki ilkbahar, yaz ve kış BDG trendleri pozitif yönde istatistiksel olarak anlamlıdır. Dörtöl’ün güneyinde bulunan İskenderun ve Antakya istasyonları da ormanlık alana yakın olmalarına rağmen BDG trendleri pozitifdir (Şekil 6).



Şekil 6: Türkiye’de büyüme derece günlerinin sonbahar mevsimi trend durumu

BDG yaz mevsiminde gözlenen artışların, tarım ve ormancılıkta kuraklığa dayalı sıcaklık stresini daha da arttırdığı söylenebilir. Bu anlamda yüksek yaz sıcaklıklarıyla karakterize olmuş bir alan olarak Türkiye'de; pozitif yöndeki anlamlı BDG trendlerinin varlığı, sıcaklıkların daha da yükseldiğini göstermektedir. Türkiye'de gerçekleştirilen tropik ve yaz günü ya da donlu gün araştırmaları bu sonuçları destekler niteliktedir. Kuraklık çalışmalarında belirlenen yüksek yaz sıcaklıklarına ve düşük yağışlara bağlı azalmalar dikkate alındığında, bitkilerdeki yaz mevsimi stres seviyesinin giderek arttığı düşünülmektedir. BDG ilkbahar trendlerindeki pozitif artışlar, artan sıcaklıkların bir sonucudur. Bu anlamda, yüksek sıcaklıkların daha erken süreçlerde meydana gelme ihtimali; erken çiçeklenme veya filizlenme gibi olayların yaşanmasına neden olabilir. Bu tür durumlar; zirai ürünlerin fenolojik gelişimlerinde don veya rüzgâr riskini oluşturmaktadır. Artan sıcaklıklardan hemen sonra yaşanan don veya rüzgâr durumunda erken açan çiçekler ve filizlerin dökülmesi söz konusu olabilir.

Sonbahar mevsiminde Siverek, Göksun, Keban ve Sarıkamış istasyonlarındaki negatif trendle ilgili ortak bir durum gözlemlenmemiştir.

Kadioğlu ve Şaylan, 2001 yılındaki araştırmalarında, Türkiye'de BDG'lerin 1930-1990 yılları arasındaki durumunu incelemişlerdir. Çalışmada, Türkiye'nin kıyı bölgelerinde yaz ve sonbahar mevsimi BDG trendlerinin istatistiksel olarak anlamlı negatif yönde eğilim gösterdiği belirlenmiştir. Doğu Anadolu Bölgesinde ise BDG'lerin, kış mevsiminde negatif trend gösterdiği ortaya koyulmuştur. İç ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde de herhangi bir mevsimde belirgin artışlardan söz edilmemiştir. Bu sonuçların aksine, küresel ısınmanın çok daha etkili bir şekilde hissedildiği 2000'li yıllardan sonra BDG trendleri pozitif yönde eğilim göstermiştir. Yaz ve sonbahar döneminde; önceki çalışma periyodunda negatif yönde trendlerin belirlendiği kıyı bölgeleri, 2000'li yıllardan sonraki sıcaklık kayıtlarının kullanılmasıyla pozitif yönde eğilim göstermiştir. Doğu Anadolu Bölgesindeki negatif yönlü kış trendleri de yine kıyı bölgeleri gibi pozitif yöndedir. İç ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerindeki tüm mevsimlerde gözlenen artışlar da (birkaç istasyon dışında) son dönemlerdeki sıcaklık artışlarının sonucudur.

Genel anlamda 1970'den 2018 yılına kadar büyüme derece günlerindeki mevsimsel ve yıllık eğilimler pozitif karakterdedir. İklimsel değişimlerden kaynaklanan bu durum neticesinde Türkiye'de önemli fenolojik kaymalar meydana gelmiştir. Türkiye'nin genelinde belirlenen BDG artışlarına göre, tarımsal planlamada ve tarımı yapılacak ürünün cins seçiminde BDG trendlerinin pozitif eğilimi dikkate alınmalıdır. Çünkü Türkiye'de büyüme sezonu uzunluğunun artması ve BDG'lerdeki mevsimsel birikimler, tarımsal yönetim uygulamaları için önemli değişiklikler meydana getirmiş olabilir. Bu nedenle mevcut BDG birimlerinden yola çıkılarak elde edilen geleceğe yönelik BDG senaryolarının oluşturulması, tarımsal planlamada potansiyel ekim yılları öngörülebilmesi için oldukça önemlidir.

Çalışmada kullanılan istasyon sayısının 147 olması, BDG değişimlerinin daha yüksek mekânsal doğrulukla belirlenmesi için aşılması gereken en temel problemlerden birisidir. Daha fazla alanda istasyon ağının olmayışı iklimsel ve fenolojik değişimlerin yorumlanmasını sınırlandırmaktadır.

Araştırmada ortaya koyulan pozitif eğilimlerin endüstri, tarım, yerleşme, doğal kaynaklar vasıtasıyla doğal ekosistemler üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle sıcaklık ölçümlerinin daha lokal ölçeklerde toplanması gerekmektedir. Böylelikle çok daha doğru sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir mekânsal planlamaların oluşturulabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Adams N.E., (2013), *Using growing degree days for insect management*, University of New Hampshire, Cooperative Extension, 1-4.
- Ayaz M., Varol N., (2015), *İklim parametrelerindeki değişimlerin (sıcaklık, yağış, kar, nispi nem, sis, dolu, rüzgâr) zeytin yetiştiriciliği üzerine etkileri*, Zeytin Bilimi, 5(1), 33-40.
- Bolle H.J., (2003), *Climate, climate variability, and impacts in the mediterranean area: an overview*, H. J. Bolle, M. Menenti, I. Rasool'un İçinde, Regional Climate Studies, Springer, Berlin, ss.5-85.
- Bukun B., (2004), *Critical periods for weed control in cotton in Turkey*, Weed Research, 44(5), 404-412.
- Büyükalaca O., Bulut H., Yılmaz T., (2001), *Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey*, Appl. Energy 69(4), 269-283.
- De Beurs K.M., Henebry G.M., (2005), *Land surface phenology and temperature variations in the international geosphere-biosphere program high-latitude transects*, Global Change Biology, 11(5), 779-790.
- De Beurs K.M., Henebry G.M., (2010), *Spatio-temporal statistical methods for modelling land surface phenology*, I. L. Hudson, & M. R. Keatley İçinde, Phenological Research: Methods for Environmental and Climate Change Analysis, Springer, London, ss.177-208.
- Demircan M., Demir Ö., Atay H., Eskiöğlu O., Yazıcı B., Gürkan H., Akçakaya A., (2014), *Türkiye'de yeni senaryolara göre iklim değişikliği projeksiyonları*, TÜCAUM VIII Coğrafya Sempozyumu, ss.1-10.
- Domroes M., El-Tantawi A., (2005), *Recent temporal and spatial temperature changes in Egypt*, International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 25(1), 51-63.
- Erlat E., (2013), *İklim sistemi ve iklim değişimleri (4b)*, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- Erlat E., Ölgün K., (2008), *Türkiye'de don olaylı gün sayılarının başlama ve sona erme tarihlerinde gözlenen eğilim ve değişiklikler*, V. Ulusal Coğrafya Sempozyumu, 16-17 Ekim, Bildiriler Kitabı, ss.331-338.
- Erlat E., Yavaşlı D.D., (2009), *Ege bölgesinde tropikal gün ve yaz günü sayılarındaki değişim ve eğilimler*, Ege Coğrafya Dergisi, 18(1-2), 1-15.

- Fenner M., (1998), *The Phenology of growth and reproduction in plants*, Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 1(1), 78-91.
- Forland E.J., Skaugen T.E., Benestad R.E., Bauer I.H., Tveito O.E., (2004), *Variations in thermal growing, heating, and freezing indices in the Nordic Arctic, 1900-2050*, Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 36(3), 347-356.
- Göksu G., Karabulut M., Karakoç A., (2015), *Türkiye'de bitki örtüsünün spot vegetation verileri ile incelenmesi*, Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi, 21-23 Mayıs, Gazi Üniversitesi, Ankara, ss.55-65.
- Grigorieva E.A., Matzarakis A., (2010), *Growing degree days at the Russian Far East*, 7th Conference on Biometeorology (BIOMET7), 12-14 April, Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Germany, ss.44-49.
- Hassan Q., Bourque A., Meng F.R., Richards W., (2007), *Spatial mapping of growing degree days: an application of MODIS-based surface temperatures and enhanced vegetation index*, Journal of Applied Remote Sensing, 1(1), 013511, doi: 10.1117/1.2740040.
- Hinchliffe D.J., Meredith W.R., Delhorn C.D., Thibodeaux D.P., Fang D.D., (2011), *Elevated growing degree days influence transition stage timing during cotton fiber development resulting in increased fiber-bundle strength*, Crop Science, 51(4), 1683-1692.
- Hirsch R.M., Slack J.R., Smith R.A., (1982), *Techniques of trend analysis for monthly water quality data*, Water Resources Research, 18(1), 107-121.
- IPCC, (1991), *Intergovernmental panel on climate change*, Report of the Fourth Session of the IPCC Bureau.
- IPCC, (2013), *Climate Change 2013 The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 1552ss.
- IPCC-AR4, (2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, New York: Cambridge University Press, Summary for Policymakers, ss.1-18.
- Iqbal J., Read J.J., Whisler F.D., (2013), *Using Remote sensing and soil physical properties for predicting the spatial distribution of cotton lint yield*, Turkish Journal of Fields Crops, 18(2), 158-165.
- Kadioğlu M., (1997), *Trends in surface air temperature data over Turkey*, International Journal of Climatology A Journal of the Royal Meteorological Society, 17(5), 511-520.
- Kadioğlu M., (2009), *Küresel iklim değişimi ve Türkiye*, II. Enerji Verimliliği Kongresi, Mühendis ve Makine Kocaeli, ss.15-25.
- Kadioğlu M., Şaylan L., (2001), *Trends of growing degree-days in Turkey*, Water, Air and Soil Pollution, 126(1), 83-96.
- Kadioğlu M., Şen Z., Gültekin L., (2001), *Variations and trends in Turkish seasonal heating and cooling degree-days*, Climatic Change, 49(1), 209-223.
- Kadioğlu M., Toros H., Kurtuluş B., (1993), *Küresel ısınma ve Türkiye'de iklim değişimi*, Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Genel Kurulu, Ankara, ss.209-223.
- Kalaycı S., Kahya E., (1998), *Susurluk Havzası nehirlerinde su kalitesi trendlerinin belirlenmesi*, Tr. J. of Engineering and Environmental Science, 22, 503-514.
- Kara N., (2015), *Yield, quality, and growing degree days of anise (pimpinella anisum l.) under different agronomic practices*, Turk J Agric For., 39(6), 1014-1022.
- Karabulut M., (2006), *NOAA AVHRR verilerini kullanarak Türkiye'de bitki örtüsünün izlenmesi ve incelenmesi*, Coğrafi Bilimler Dergisi, 4(1), 29-42.
- Karabulut M., (2008), *Küresel ısınma ve iklim değişikliği*, Çevre Kirliliği ve Kontrolü'nün İçinde (Çınar Ö. Ed.), Nobel Yayınevi, Ankara, ss.165-193.
- Karabulut M., (2012), *Doğu Akdeniz'de ekstrem maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi*, KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi (Özel Sayı), 37-44.
- Karabulut M., (2014), *Klimatolojide araştırma yöntemleri*, Coğrafya Araştırma Yöntemleri'nin İçinde (Arı Y., Kaya İ., Ed.), Balıkesir Coğrafyacılar Derneği, ss. 341-350.
- Karabulut M., (2015), *Drought analysis in Antakya-Kahramanmaraş Graben, Turkey*, Journal of Arid Land, 7(6), 741-754..
- Karabulut M., Cosun F., (2009), *Kahramanmaraş'ta yağışların trend analizi*, Coğrafi Bilimler Dergisi, 7(1), 65-83.
- Karakoç A., Karabulut M., (2020), *Otlakların izlenmesinde hiperspektral uzaktan algılama: değişen bilgi boyutları, ölçme yöntemleri ve ölçülen temel parametreler*, 21. Yüzyılda Türkiye Coğrafyası Araştırmaları'nın İçinde (Akbaş F., Atış E., Ed.), Gazi Kitabevi, Ankara, 25-42 ss.
- Kaya S., (2010), *Büyüme-derece-günlere dayalı bitki katsayıları kullanılarak erzurum koşullarında patatesin sulama planlaması*, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 3(2), 11-16.
- Kayaçetin F., Önemli F., Yılmaz G., Khawar K.M., Kınay A., Hatipoğlu H., Kivilcim M.N., Kara N., Köse A., Sefaoğlu F., Özyaydin K.A., (2019), *Growing degree day and seed yield relationships in mustard (Brassica Juncea L.) under different sowing seasons and locations of Turkey*, Journal of Agricultural Sciences, 25(3), 298-308.
- Kızılelma Y., Karabulut M., (2011), *Şanlıurfa İli'nde kuraklık analizi*, I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 26-28 Ekim, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi, Kahramanmaraş, ss.1141-1151.
- Kızılelma Y., Çelik M.A., Karabulut M., (2015), *İç anadolu bölgesinde sıcaklık ve yağışların trend analizi*, Türk Coğrafya Dergisi, 64, 1-10.
- Körner C., (2003), *Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*, Springer Science & Business Media, ss.11-16.
- Körner C., Basler D., (2010), *Plant science, phenology under global warming*, Science, 327(5972), 1461-1462.
- Köse B., Ateş S., Çelik H., (2014), *Samsun'da yetiştirilen bazı üzüm çeşitlerinin ilkbahar geç donlarından etkilenme derecelerinin belirlenmesi*, Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 1(2), 162-169.
- Krehbiel C., (2015), *Impacts of urban areas on vegetation development along rural-urban gradients in the upper midwest: 2003-2012*, Master of Science, South Dakota State University, 105ss.
- Leon A.J., Lee M., Andrade A.H., (2001), *Quantitative Trait loci for growing degree days to flowering and photoperiod response in sunflower (Helianthus Annuus L.)*, Theor Appl Genet, 102(4), 497-503.
- Matzarakis A., Ivanova D., Balafoutis C., Makrogiannis T., (2007), *Climatology of growing degree days in greece*, Climate Research, 34(3), 233-240.

- McMaster G.S., Wilhelm W.W., (1997), *Growing degree-days: one equation, two interpretations*, A Agricultural and forest meteorology, 87(4), 291-300.
- McMaster G.S., Wilhelm W.W., Frank A.B., (2005), *Developmental Sequences For Simulating Crop Phenology For Water-Limiting Conditions*, Australian Journal of Agricultural Research, 56(11), 1277-1288.
- Miller P., Lanier W., Brandt S., (2001), *Using growing degree days to predict plant stages*, Ag/Extension Communications Coordinator, Communications Services, Montana State University, Bozeman, MO, 59717(406), 994-2721.
- Murray M.S., (2008), *Using degree days to time treatments for insect pests*, Utah Pests Fact Sheet, 1-5.
- Nekovar J., Kock E., Kubin E., Nejedlik P., Sparks T., Wielgolaski F., (2008), *Cost action 725: the history and current status of plant phenology in Europe*, Vammalan Kirjapaino Oy, Finland: Finnish Forest Research Institute Muhos Research Unit and COST Office.
- Nielsen D.C., Hinkle S.E., (1996), *Field evaluation of basal crop coefficients for corn based on growing degree days, growth stage or time*, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 39(1), 97-103.
- Öktem A., Ağırmatlıoğlu A., (2006), *Farklı tarihlerde ekilen buğday (triticum ssp.) genotiplerinde bazı gelişme dönemleri için gerekli GDD (Growing Degree Days) Değerlerinin belirlenmesi*, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 37(1), 29-37.
- Öztürk K., (2002), *Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri*, Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22(1), 47-65.
- Partal T., (2003), *Türkiye yağış verilerinin trend analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pastor F., Valiente J.A., Palau J.L., (2018), *Sea surface temperature in the Mediterranean: trends and spatial patterns (1982–2016)* Pure Appl. Geophys., 175, 4017-4029.
- Roltsch W.J., Zalom F.G., Strawn A.J., Strand J.F., Pitcairn M.J., (1999), *Evaluation of several degree-day estimation methods in California climates*, Int J Biometeorol: Methods in Phenology, 42(4), 169-176.
- Sakurai R., Jacobson S., Koboric H., Primack R., Oka K., Komatsu N., Machida R., (2011), *Culture and climate change: Japanese cherry blossom festivals and stakeholders' knowledge and attitudes about global climate change*, Biological Conservation, 144(1), 654-658.
- Short F.T., Kostenb S., Morganc P.A., Maloned S., (2016), *Impacts of climate change on submerged and emergent wetland plants*, Aquatic Botany, 135, 3-17.
- Şensoy S., Sağır R., Eken M., Ulupınar Y., (2007), *Türkiye uzun yıllar ısıtma ve soğutma gün dereceleri*, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şensoy S., Türkoğlu N., Akçakaya A., Ulupınar Y., Ekici M., Demircan M., Atay H., Tüvan A., Demirbaş H., (2013), *Trends in Turkey climate indices from 1960 to 2010*, 6th Atmospheric Science Symposium, 24-26 April, ITU, İstanbul, Turkey.
- Şensoy S., (2015), *Türkiye'de iklim değişikliğinin meyve ağaçları ve buğdayın fenolojik dönemleri üzerine etkisi*, Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya (Fiziki Coğrafya) Anabilim Dalı, Ankara.
- Şişman E., (2019), *Ege ve Akdeniz kıyılarında deniz suyu sıcaklıkları için soğuma döneminde trend analizleri*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(2), 291-304.
- Tarnavsky E., Garrigues S., Brown M.E., (2008), *Multiscale geostatistical analysis of AVHRR, SPOT-VGT and MODIS global NDVI products*, Remote Sensing of Environment, 112(2), 535-549.
- Topal E., Yücel B., Yıldızdal İ., Takma Ç., Aydın M., Karaca Ü., (2017), *Kiraz tozlaşmasında bal arısı (Apis Mellifera L.) ve Bombus arısının (Bombus Terrestris) kimi davranış özelliklerinin ve çevresel sıcaklık değişiminin bitki fenolojisi ile verim üzerine etkileri*, Hayvansal Üretim, 58(2), 24-33.
- Topuz M., (2017), *Çukurova'da yağışların trend analizi*, Çukurova Araştırmaları Dergisi, 3(1), 173-181.
- Türkeş M., (1996), *Observed changes in maximum and minimum temperatures in Turkey*, International Journal of Climatology, 16(4), 463-477.
- Türkeş M., (2003), *Sera gazı salımlarının azaltılması için sürdürülebilir teknolojik ve davranışsal seçenekler*, V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Ankara, ss. 267-285.
- Türkeş M., Sümer U.M., Çetiner G., (2000), *Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri*, Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları (13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası), Ankara ÇKÖK Genel Müdürlüğü, ss.7-24.
- Türkoğlu N., Çiçek İ., Şensoy S., (2012), *Türkiye'de iklim değişikliğinin meyve ağaçları ve tarla bitkilerinin fenolojik dönemlerine etkileri*, TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu Kitabı, Ankara, ss.60-71.
- Türkoğlu N., Şensoy S., Aydın O., (2016), *Türkiye'de iklim değişikliğinin elma, kiraz ve buğdayın fenolojik dönemlerine etkileri*, International Journal of Human Sciences, 13(1), 1036.
- Yang S., Logan J., Coffey D.L., (1995), *Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days*, Agricultural and Forest Meteorology, 74(1-2), 61-74.
- Yıldırım A., (2015), *Trend analizi yöntemleri: Orta Fırat Havzası uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldız I., Sosaoglu B., (2007), *Spatial distributions of heating, cooling, and industrial degree-days in Turkey*, Theor Appl Climatol, 90, 90(3), 249-261.
- Yılmaz E., (2019), *Türkiye'de aylık sıcaklık ve aylık sıcaklık farklarındaki eğilimler ve sıcaklık eğilim grupları (monthly temperature, temperature difference trends and trends groups in Turkey)*, International Journal of Human Sciences, 16(2), 393-427.
- Yücel A., Atılğan A., Aktaş H., (2019), *Modeling of growth degree-day values of Tomato (Solanum lycopersicum L.) plant: the case of Çukurova region*, Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 7(sp2), 23-28.
- Yu Y., Zou S., Whittlemore D., (1993), *Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas*, Journal of Hydrology, 150(1), 61-80.

Dikey Eksende Eğilim Çözümlemesi Yöntemi

Yavuz Selim Güçlü^{1,2,*}

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarı, Maslak, 34469, İstanbul.

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Su ve Deniz Bilimleri Uyg-Ar Merkezi, Hidrolik Laboratuvarı, Maslak, 34469, İstanbul.

Özet

Sera gazı miktarındaki ciddi artışla birlikte iklim değişikliği daha da hızlanmıştır. Meteorolojik ve hidrolojik veriler incelendiğinde bu değişikliğin etkisi net biçimde ortaya çıkmaktadır. Verilerin incelenmesi için de eğilim çözümleme yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Son zamanlarda Şen'in geliştirdiği Yenilikçi eğilim çözümlemesi (YEÇ) yöntemi görselleştirme yaparak verilerin trend durumlarının açığa çıkarılmasına ve tanımlanmasına imkân tanımaktadır. Bu makalenin temel amacı farklı bir grafik gösterimine başvurarak YEÇ yönteminin bir türevini geliştirmektir ve eğilimleri alternatif bir yaklaşım ile ortaya çıkarmaktır. Türkiye'nin Akdeniz, Akdeniz-Karadeniz geçiş ve karasal iklim bölgelerinde ölçülmüş veriler için uygulanan bu alternatif yöntem klasik YEÇ yaklaşımına göre farklı eğilim bilgilerini ortaya çıkarmaktadır. Bu makalede önerilen dikey eksen trend analiz yaklaşımı YEÇ yönteminden farklı olarak grafik üzerinde veri sayısını göstermektedir ve ölçümlerin yüksek, orta ve düşük değer aralığında nasıl dağıldığını açığa çıkarmaktadır. Bu çalışmada yapılan uygulamalar Türkiye'nin farklı kısımlarında yer alan Kırklareli, Yalova ve Alanya istasyonlarındaki 50 yıllık yağış kayıtlarını içermektedir. Kırklareli verilerinde bütüncül artan trend tespit edilirken önerilen yöntem ile ayrıca ölçümlerin tüm veri aralıklarında homojen dağıldığı görülmüştür. Yalova ve Alanya ölçümlerinde ise bütüncül olmayan azalan trende rastlanırken verilerin dağılımında homojen olmayan durum belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler

Yağış, Zaman Dizisi, Eğilim, İklim Değişikliği

Trend Analysis Method on Vertical Axis

Abstract

Climate change has accelerated with the significant increase in the amount of greenhouse gases. When the meteorological and hydrological data are examined, the effect of this change is clearly revealed. Trend test methods are frequently used to determine trends on the data. Recently, Şen-innovative trend analysis (ITA) method provides the ability to visualize inspection and identification of trend conditions. The main objective of this paper is to attempt determination and visualization of trends by means of a special graphical representation based on alternative illustration of ITA. The suggested methodology shows different trend information than classical ITA on the Mediterranean, Mediterranean-Black Sea transitional, and continental climate regions in Turkey. The vertical axis trend analysis approach proposed in this study, shows the number of data on the graph and reveals how the measurements are distributed in the high, medium and low value ranges unlike the ITA method. This research comprises 50-year rainfall records in Kırklareli, Yalova, and Alanya stations located in Turkey. The monotonic increasing trend is detected for Kırklareli data and also it is observed that the measurements are homogeneously distributed with the suggested method. In Yalova and Alanya measurements, there are non-monotonic decreasing trends and non-homogeneous distributions are determined.

Keywords

Rainfall, Time Series, Trend, Climate Change

1. Giriş

İnsanların gerçekleştirdiği faaliyetler sebebiyle giderek artan sera gazı emisyonları hidro-meteorolojik değişkenleri azalan veya artan yönde etkilemektedir. Bu olaylar bütününe diğer bir adı olan iklim değişikliği zincirleme bir takım olumsuzlukları ortaya çıkarmaktadır ve günümüzde daha hissedilir durumdadır. Özellikle su kaynakları açısından önem arz eden kuru (kuraklık) ve ıslak (sel) dönem gibi ekstrem olaylar çok sık meydana gelmektedir. Dolayısıyla su kaynakları risk değerlendirmeleri, planlama, tasarım ve yönetimine ek olarak trend belirleme çalışmaları da gerçekleştirilmelidir.

Son zamanlarda farklı istasyonlarda ölçülen hidro-meteorolojik verilerde iklim değişikliğine bağlı eğilimler tespit edilmektedir. Literatürde yaygın kullanılan Mann (1945)-Kendall (1975) (MK) yöntemi, Sen (1968)'in eğim tahmincisi ve lineer regresyon analizi (Haan 1977) önemli eğilim (trend) belirleme yaklaşımlarıdır. Örneğin; Taylor ve Loftis (1989), yeraltı suyu ve göl suyu kalite kayıtları için çeşitli eğilim test yöntemleri kullanmıştır; Chiew ve McMahon (1993), Avustralya nehirlerinin yıllık akış zaman serileri için beş farklı eğilim saptama yöntemini ele almışlardır.

Oto korelasyonlu veriler için [Hamed ve Rao \(1998\)](#) değiştirilmiş bir MK trend yaklaşımını kullanmıştır; bazı Hint buharlaşma tavaşı kayıtları için [Jhajharia vd. \(2009\)](#) iki test kullanarak trend olasılığını analiz etmiştir. Öte yandan [Gocic ve Trajkovic \(2013\)](#) 1980-2010 yılları arasında Sırbistan'da MK ve Sen'in eğim tahmincisi yöntemlerinin kullanarak on iki ölçüm noktasından elde edilen birçok meteorolojik verinin eğilimlerini analiz etmişlerdir. [Nalley vd. \(2013\)](#) Kanada Güney Quebec ve Ontario'da ölçülen ortalama hava sıcaklığı değerlerinin eğilimlerini tespit etmeye çalışmışlardır. Amerika Birleşik Devletleri Tennessee Nehir Havzasında, [Jones vd. \(2015\)](#) yıllık ve mevsimlik yağış eğilimlerini tespit etmişlerdir. Klasik yöntemlerin uygulamasını içeren sayısız çalışmayla literatürde karşılaşmak mümkündür. Bu çalışmalardan bazılarında yenilikçi eğilim çözümlemesi (YEÇ) yöntemi ile karşılaştırılmalı olarak klasik yaklaşımların kullanıldığını da görmek mümkündür ([Timbadiya vd. 2013](#); [Saphioğlu vd. 2014](#); [Dabanlı vd. 2016](#); [Cui vd. 2017](#); [Güçlü 2018a](#); [Güçlü 2018b](#); [Alashan 2020](#); [Güçlü 2020](#); [Dabanlı vd. 2021](#)). Takip eden paragraflarda bu çalışmaların birçoğunun içeriğinden kısaca bahsedilecektir.

Günümüzde [Şen \(2012\)](#) tarafından sunulan 1:1 doğrusunu içeren yenilikçi eğilim çözümlemesi (YEÇ) farklı araştırmalarda uygulanarak klasik trend testleri ile karşılaştırılmıştır. [Sonali ve Kumar \(2013\)](#) eski ve yeni tüm trend testlerini derlemiş ve sıcaklık verilerindeki eğilim durumlarını belirlemek için uygulamışlardır. [Timbadiya vd. \(2013\)](#) YEÇ ve MK testini kullanarak Hindistan'ın Tapi Havzası'ndaki yıllık en yüksek akış değerlerine ait eğilimleri ortaya çıkarmışlardır. [Saphioğlu vd. \(2014\)](#) Türkiye'de Akdeniz bölgesinin batısındaki akış eğilimlerini araştırmıştır. Ayrıca [Dabanlı vd. \(2016\)](#) YEÇ'i klasik trend analizi testleri ile karşılaştırarak uygulamışlardır.

[Şen \(2014, 2017a\)](#) YEÇ'i daha da geliştirirken [Alashan \(2018\)](#) yeni bir YEÇ türevi önermiştir. Belirli bir zaman serisini [Mohorji vd. \(2017\)](#) ve [Şen \(2017b\)](#) 3, 4, 5, 6, 11 ve 13 gruba bölmüştür ve daha sonra birinci grubu diğerleriyle karşılaştırmışlardır. [Cui vd. \(2017\)](#) 1960-2015 yılları arasında Çin'in Yangtze Nehri Havzasındaki hava sıcaklığı ve yağış verilerinin YEÇ grafiklerini çizmiştir. [Güçlü \(2018a\)](#) YEÇ ve klasik MK olmak üzere iki yöntemin bir karışımını önermiştir. Ek olarak, trendlerin kararlılığını tespit etmek için [Güçlü \(2018b\)](#) parçalı YEÇ ve MK test metodlarını tavsiye etmiştir. Aynı YEÇ grafiği üzerinde birbiriyle ilişkili farklı zaman serilerini karşılaştırmak için [Güçlü \(2018c\)](#) tarafından ayrıca karşılaştırmalı YEÇ yaklaşımı önerilmiştir. [Güçlü vd. \(2020\)](#) belirli bir zaman serisi içindeki kısmi eğilimleri birbiriyle karşılaştırmalı olarak göstermek için yenilikçi üçgen eğilim çözümlemesi adlı başka bir yaklaşım geliştirmişlerdir. [Güçlü \(2020\)](#) klasik YEÇ uygulamalarından farklı olarak veri sayısını da gösteren yeni bir grafik türü önermiştir ve MK testi ile kıyaslamıştır. Son olarak, [Ghate ve Timbadiya \(2021\)](#) tarafından kısmi süreli maksimum yağış serileri ve yıllık maksimum yağış verileri için YEÇ uygulaması yapılmıştır.

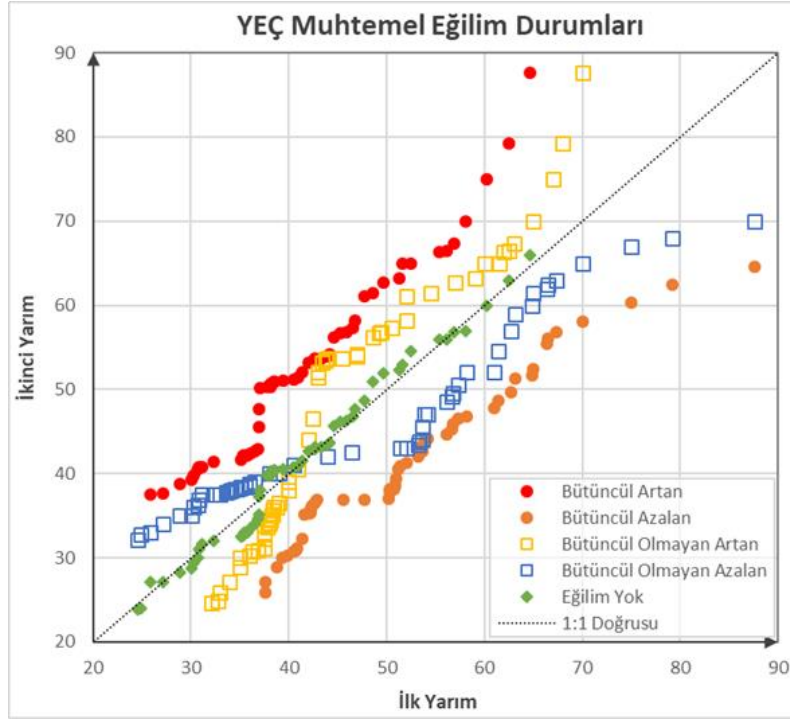
Bu çalışmanın ana hedefi Şen'in YEÇ yöntemini temel alarak geliştirilen yeni grafik yaklaşımı ile Kırklareli, Yalova ve Alanya meteoroloji gözlem istasyonlarından elde edilen yağış kayıtlarındaki eğilimleri belirlemektir. Önerilen yöntem ile klasik YEÇ yaklaşımının tüm uygulama adımları "Yöntem" başlığı altında ayrıntılı açıklanmıştır.

2. Yöntem

Meteorolojik, hidrolojik, su ve hava kalitesi gibi birçok ölçümde trend tespit çalışmaları otuz yıldan beri literatürde yoğun biçimde yer almaktadır. Mann-Kendall yöntemi dışında lineer regresyon analizi, Sen'in eğim trend testleri ve son zamanlarda YEÇ yaklaşımı dünyanın farklı noktalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Şen'in YEÇ yöntemi görsel açıdan bütüncül veya bütüncül olmayan eğilim tanımlaması yaparak büyük avantajlar sunmaktadır. Diğer taraftan MK testi sadece bütüncül olarak eğilimleri belirlemektedir. YEÇ yönteminde beş farklı trend türü bulunurken başta MK testi olmak üzere diğer yöntemler ise azalan, artan ve trend olmayan koşulları içeren üç trend türünü ortaya çıkarmaktadır. YEÇ yaklaşımı kabule dayanmaksızın uygulamaya imkân tanırken MK yöntemi normal dağılım kabulü başta olmak üzere birtakım kabullere göre hareket etmektedir. Ayrıca, YEÇ yaklaşımı MK testinden farklı olarak verilerin grafikteki dağılımı üzerinden görsel sonuçlar sunmaktadır (Şekil 1).

YEÇ yaklaşımının uygulanması için öncelikle eldeki kayıtlar zamansal olarak birinci (önceki) ve ikinci (sonraki) yarım adıyla ikiye bölünür ve ardından bu iki grup azalan (veya artan) şekilde sıralanır. Sıralanmış verilerin Kartezyen koordinat sistemi üzerindeki dağılımı ve aynı grafikteki 1:1 doğrusuna göre karşılaştırması yapılır. Saçılan noktaların 1:1 doğrusu üstünde veya etrafında olması durumunda zaman serisi için "trend yok" kararı verilir. Aksi takdirde dağılan noktaların bu doğrunun yukarısında veya altında konumlanması halinde sırasıyla artan eğilim veya azalan eğilim vardır kararı verilir. Sonuç olarak, YEÇ yöntemi kapsamında zaman serileri için olası beş trend türü vardır; bütüncül artan ve azalan trend, bütüncül olmayan artan ve azalan trend ve eğilim yok durumları. Bütüncül trend durumuna karar vermek için verilerin tümünden azalan trend veya artan trend veya trend yok karakterinde olması gerekmektedir. Bütüncül olmayan trend halinde ise veriler tümünden aynı trend karakterine sahip değildir ve verilerin bir kısmı azalan bir kısmı artan veya trend yok durumuna sahiptir (Şekil 1).



Şekil 1: 1:1 Doğrusuna göre eğilim durumları (Şen 2012)

Trend analizi konusuna farklı bir bakış açısı kazandıran YEÇ yaklaşımı bahsedilen trend tiplerini belirlemesine rağmen veri sayısını gösterememektedir. Bu çalışmada sunulan yöntem YEÇ yönteminden yola çıkılarak geliştirilmiştir ve beş trend halini ortaya çıkarmakla kalmayıp aynı zamanda veri sayısını da açıkça göstermektedir. İlk iki aşaması YEÇ yaklaşımı gibi olan geliştirilmiş yöntemin uygulama adımları aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Veri sayısı n olan bir veri topluluğu, $x_1, x_2, \dots, x_n, \{y_{1,n/2}\}$ ve $\{y_{2,n/2}\}$ olmak üzere iki yarıma ayrılsın,
 $\{y_{1,n/2}\} = \{x_1, x_2, \dots, x_{n/2}\}$ (1)

ve

$$\{y_{2,n/2}\} = \{x_{n/2+1}, x_{n/2+2}, \dots, x_n\} \quad (2)$$

- 2) Aynı sayıda veriye sahip iki yarım grup $\{r_1\}$ ve $\{r_2\}$ adıyla azalan düzende sıralansın,
 $\{r_1\} = \{\min(y_{1,n/2}), \dots, y_i, \dots, \max(y_{1,n/2})\} \quad (1 < i < n/2)$ (3)

ve

$$\{r_2\} = \{\min(y_{2,n/2}), \dots, y_j, \dots, \max(y_{2,n/2})\} \quad (1 < j < n/2) \quad (4)$$

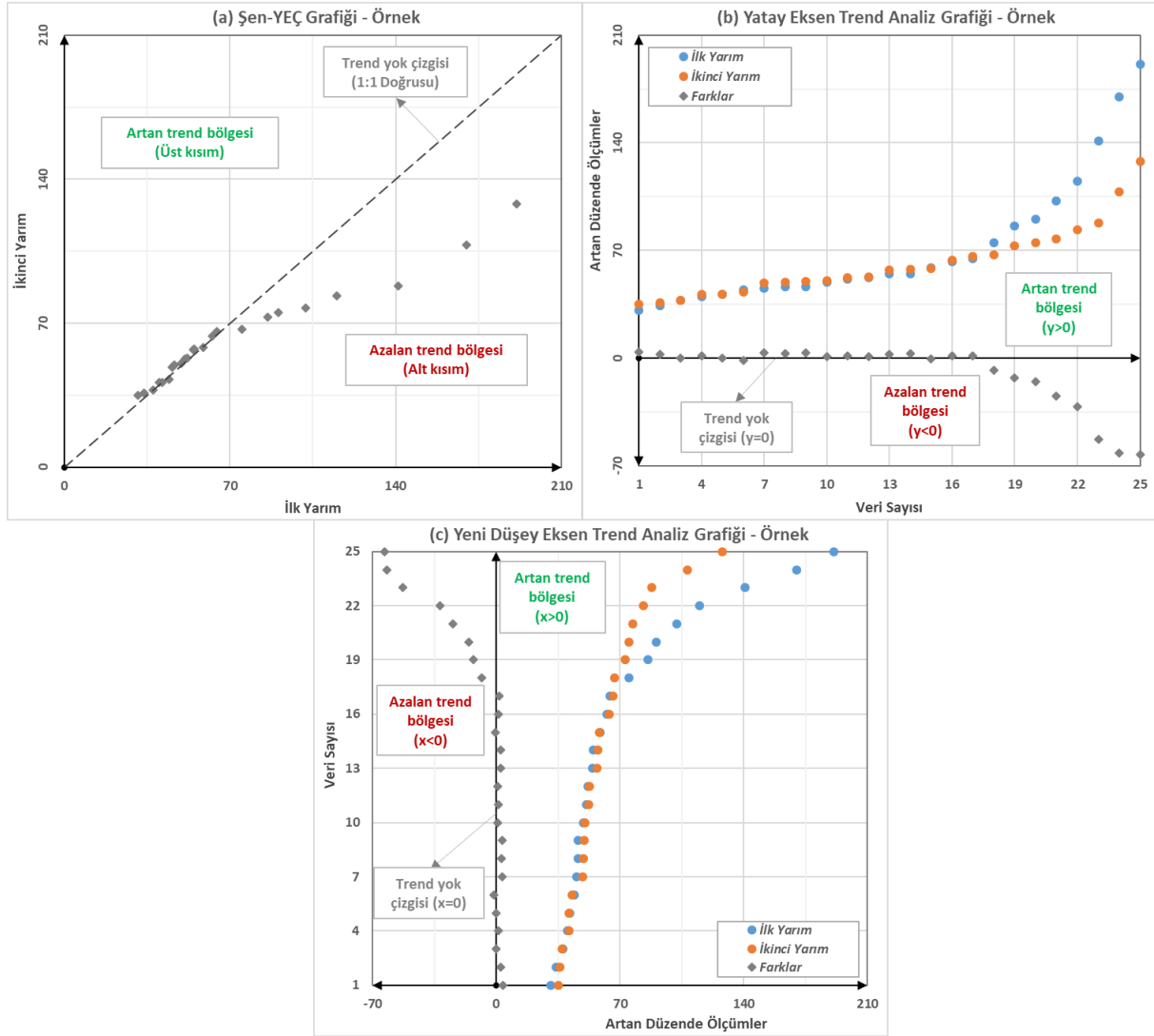
- 3) Sıralanmış $\{r_1\}$ ve $\{r_2\}$ serileri, değerleri yatay eksen ve veri sayısı, $1, 2, 3, \dots, (n/2)-1, n/2$, dikey eksen olacak biçimde noktalanır,

- 4) Aynı şekilde sıralı verilerin fark değerleri ($\{r_2\} - \{r_1\}$) de yatay eksen ve fark değer sayısı, $1, 2, 3, \dots, (n/2)-1, n/2$, dikey eksen olacak şekilde noktalanır,

- 5) Tüm fark değerlerinin dikey eksen üzerine düşmesi durumunda zaman serisinde bir eğilim yoktur denir,

- 6) Fark değerler dikey eksenin sol (azalan trend bölgesi) veya sağ (artan trend bölgesi) tarafında ise bir eğilim vardır denir. Sonuçta, bu yöntemde trend türü fark değerlerin görsel olarak dikey eksene ($x=0$ doğrusu) referansla nasıl konumlandığına göre ortaya çıkar.

Klasik YEÇ (Şen 2012), yatay eksen trend analiz grafiği (Güçlü 2020) ve bu çalışmada önerilen dikey eksen trend analiz yöntemi aynı hipotetik verilere göre çizilerek ve karşılaştırılarak Şekil 2'de sunulmuştur. Şekil 2c'de $x=0$ çizgisi (dikey eksen) YEÇ'in 1:1 doğrusu gibi çalışmaktadır. y ekseninin ($x=0$) sağ (sol) tarafı artan (azalan) trend bölgesini ifade eder ve dikey eksen etrafındaki veya üzerindeki fark değerleri ilgili zaman dizisi için trend olmadığını gösterir. Önerilen trend yönteminin YEÇ ile karşılaştırıldığında herhangi bir olumsuzluk söz konusu değildir. Önerilen yaklaşım, Güçlü'nün yatay trend grafiği (Şekil 2b; Güçlü 2020) gibi veri sayısını da ortaya koymaktadır. Şekil 2c'den görüleceği üzere düşük veri sayısı, yüksek veri sayısından çok daha fazladır, ancak klasik YEÇ'te kaç verinin olduğunu görmek imkânsızdır. Şekil 2a'da görüldüğü gibi sanki düşük değerler az, yüksek değerler çok sayıdadır.



Şekil 2: YEÇ (a), yatay (b) ve dikey (c) eksenlerde örnek trend analizi

3. Uygulama

Türkiye dört iklim tipine sahiptir ve ılıman ile tropik altı kuşak arasında yer almaktadır. Karadeniz kıyılarında yıl boyunca nemli hava kütesinin Karadeniz bölgesini etkilemesi nedeniyle her mevsim yağışlıdır. Akdeniz iklimi Türkiye'nin Güney ve Batı kıyı kesimlerinde her zaman hâkimdir. Marmara bölgesi Karadeniz ve Akdeniz arasında geçiş iklimine sahiptir. Karadeniz ile Ege Denizi'ni birbirine bağlayan Marmara Denizi'nin kıyı bölgeleri kışları yağışlı, serin-soğuk ve yazları orta derecede kurak, ılık-sıcaktır. Son olarak, Orta ve Doğu Anadolu ile Güneydoğu Anadolu'nun büyük bir bölümünde kışları karlı-soğuk, yazları ise kuru-sıcak geçen karasal iklim tipi hâkimdir. Bu çalışmada kullanılacak veriler yılın en yüksek günlük toplam yağış değerleridir (milimetre) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından 1966-2015 yılları boyunca (toplam 50 yıl) Türkiye'nin farklı konumlarında yer alan Kırklareli, Yalova ve Alanya istasyonlarından elde etmiştir (Tablo 1 ve Şekil 3). Veri takımlarına ait en küçük, en büyük, ortalama ve medyan değerlerinin yanında standart sapma, otokorelasyon katsayısı (R) ve R^2 gibi istatistiksel ifadeler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1: İstasyonların coğrafik verileri

İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Rakım (m)
Kırklareli	41,7382	27,2178	232
Yalova	40,6589	29,2796	4
Alanya	36,5507	31,9803	6

Tablo 2: Verilere ait istatistiki değerler

İstasyon Adı	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Medyan	Standart Sapma	R	R ²
Kırklareli	25,9	105,4	51,63	48,35	15,41	-0,00624	0,00004
Yalova	30,5	184,1	61,79	54,40	33,75	-0,17908	0,03207
Alanya	38,9	266,5	114,88	104,45	43,06	-0,05943	0,00353

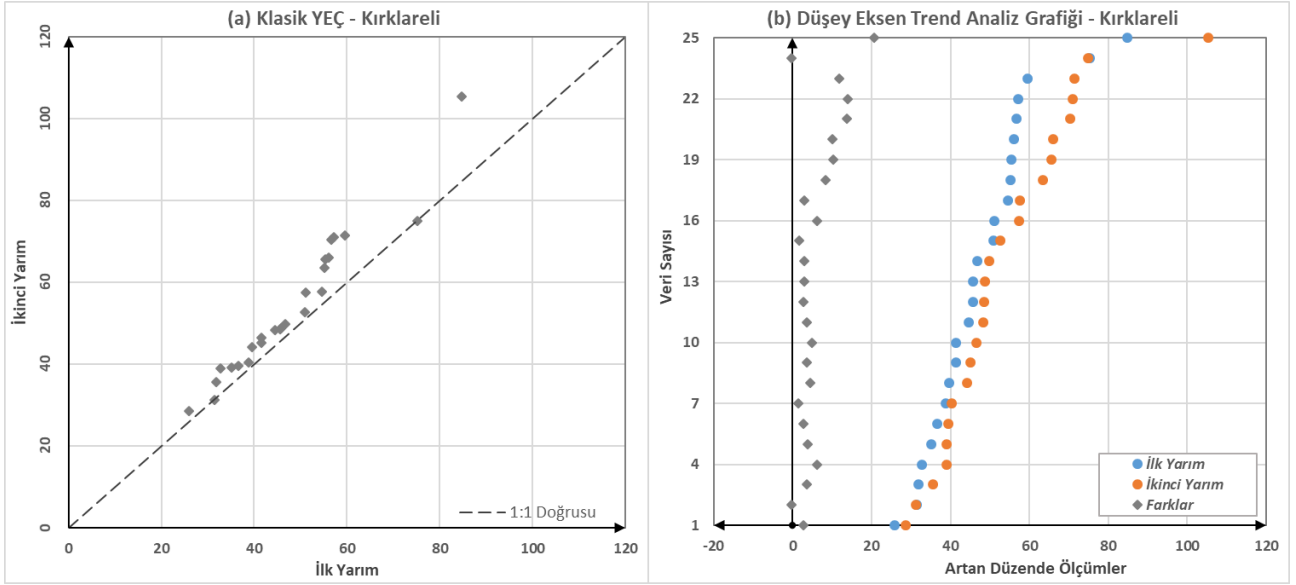


Şekil 3: Yağış ölçüm istasyonlarının konumları

Uygulama için 1966-2015 arasında 50 yıllık veri dikkate alınmıştır ve her yılın en yüksek günlük yağış ölçümü üzerinde çalışılmıştır. İlk (önceki) yarım 1966 ile 1990 arasındaki 25 yılı kapsarken, ikinci (sonraki) yarım 1991-2015 aralığını içermektedir. Artan düzende sıralanan yarım zaman dizileri hem klasik hem de modern grafik yöntemlere göre eğilim testine tabi tutulmuştur ve Şekil 4-6'da sonuçlar sunulmuştur. Bu şekillerden açığa çıkan sonuçlara göre verilerin eğilim durumları elde edilirken önerilen yöntem ile klasik YEC yaklaşımının karşılaştırmaları yapılmıştır.

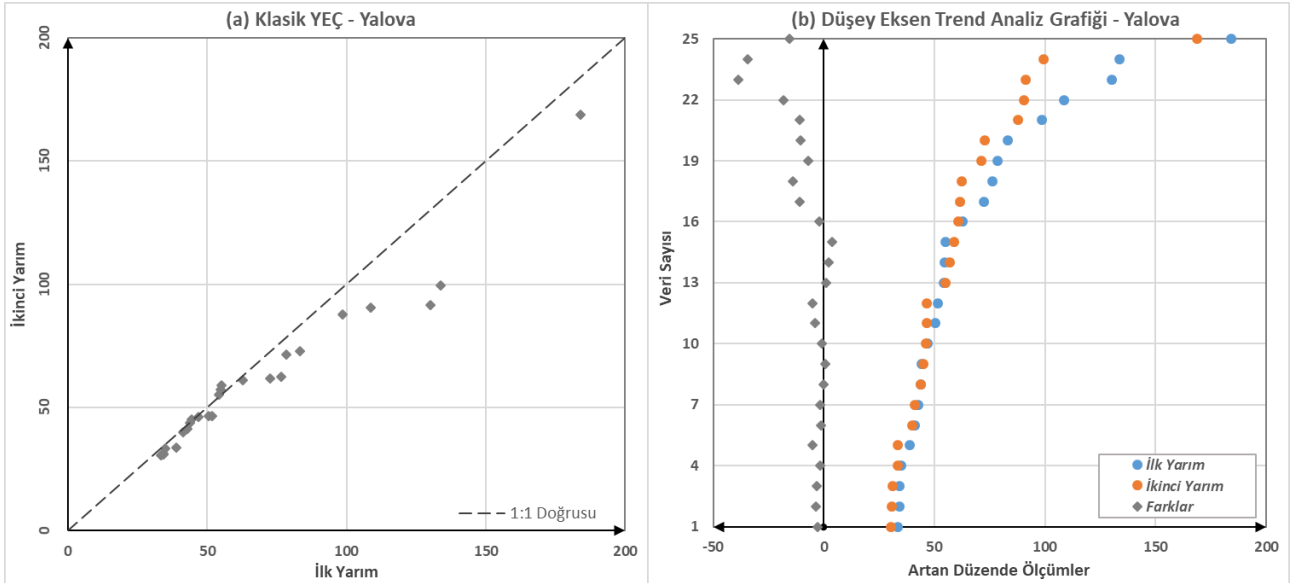
Uygulamalarda homojen veya homojen olmayan dağılım yorumunda bulunabilmek için veri alt grupları değere göre değil veri sayısına göre düşünülmüştür. Buna göre her bir alt grup toplam, veri sayısının 1/3'üne tekabül edecek biçimde sınıflandırılmıştır. Dolayısıyla aynı sayıda noktaya sahip veri gruplarının taradığı değer aralığı birbirine göre farklı ise homojen dağılımdan bahsetmek mümkün değildir. Ters durumda verilerin homojen dağıldığına hükmedilebilecektir.

Kırklareli yağış ölçüm istasyonu kayıtları, önerilen ve klasik YEC tipine göre belirgin ve bütüncül bir artış eğilimine sahiptir (Şekil 4). Ayrıca önerilen yaklaşım fark değerlerin dikey eksenin sağ tarafında dağıldığını göstermektedir (Şekil 4b). Bu çalışmada sunulan yaklaşım sayesinde ve bir tane uç değer ihmal edildiğinde Kırklareli verilerinin tüm alt gruplara (düşük, orta, yüksek) homojen dağıldığı görülmektedir.

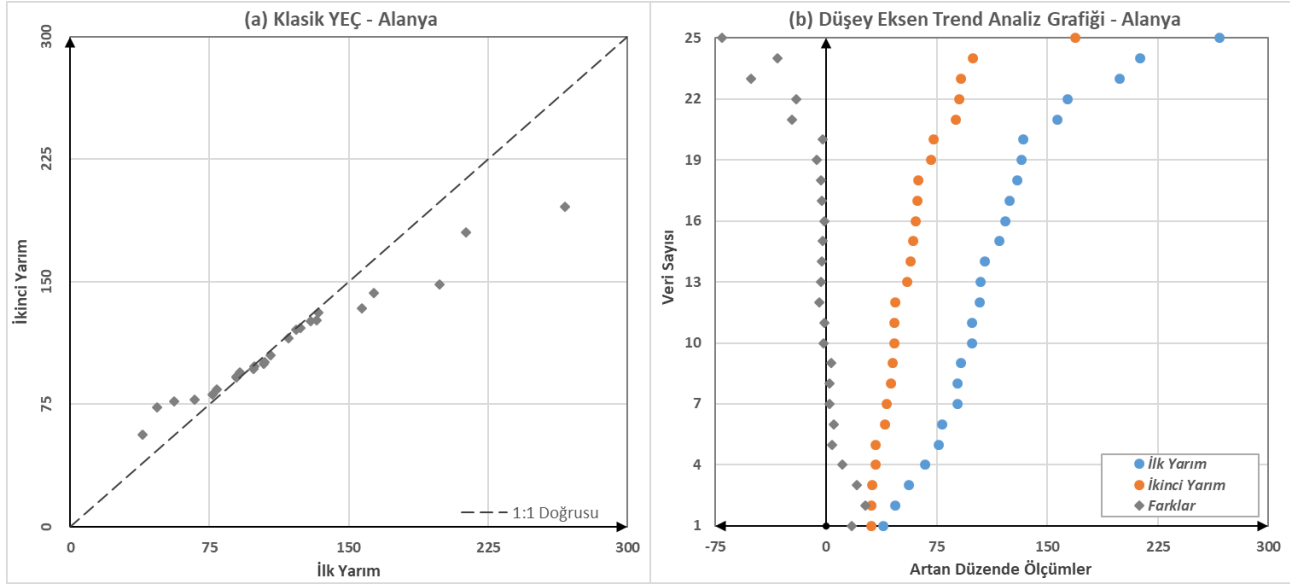


Şekil 4: Kırklareli verileri için klasik YEÇ (a) ve önerilen yaklaşıma (b) göre eğilim çözümü

Yalova ve Alanya istasyonu verilerinde yüksek değerler azalan eğilime sahipken düşük değerlerin farklı bir eğilim tipini içermesi nedeniyle bütüncül olmayan eğilim hali elde edilmiştir (Şekil 5 ve 6). Diğer bir ifadeyle, bu iki istasyondaki veriler tümünden aynı trend karakterine sahip değildir. Yalova kayıtlarının düşük değerlerinde trend yoktur ve Alanya istasyonunun düşük değerlerinde her iki yöntemde göre de açık bir şekilde artış trendi bulunmaktadır. Ancak, bu çalışmada tavsiye edilen trend analiz yöntemi hem veri sayısını hem de değer aralığını açıkça yansıttığından (Şekil 5b ve 6b) ötürü sadece değer aralığını gösteren klasik YEÇ'e (Şekil 5a ve 6a) göre zaman serisinde daha fazla bilgiyi ortaya çıkarmıştır.



Şekil 5: Yalova verileri için klasik YEÇ (a) ve önerilen yaklaşıma (b) göre eğilim çözümü



Şekil 6: Alanya verileri için klasik YEC (a) ve önerilen yaklaşıma (b) göre eğilim çözümlemesi

4. Sonuç

Klasik trend yaklaşımları olan Mann (1945)-Kendall (1975) test metodu, Sen (1968)'in eğim tahmincisi ve lineer regresyon analizi trend test yöntemi (Haan, 1977) sadece bütüncül trendleri tespit etmektedir. Ancak YEC yöntemi (Şen 2012) eğilimleri görselleştirerek hem bütüncül hem de bütüncül olmayan biçimde belirlemektedir. Bu çalışmada önerilen grafik yöntem YEC yaklaşımına olumlu katkı sunmaktadır. Eğilim hakkında daha fazla bilgi ortaya çıkarmak için önerilen bu yöntem veri sayısını açıkça göstermektedir.

Her iki yaklaşımın sonuçları karşılaştırıldığında önerilen trend analizi grafiğinin önemi net biçimde ortaya çıkmıştır. Yeni yöntem klasik YEC gibi Kırklareli yağış istasyonu verilerinde bütüncül artan trendi tespit ederken aynı zamanda verilerin minimumdan maksimuma homojen dağıldığını ortaya koymuştur. Son olarak, Alanya ve Yalova istasyon ölçümlerinin yüksek değerleri artış trendine girmiştir ancak düşük değerlerin eğilimleri farklı şekilde ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, YEC grafiğinde özellikle de yüksek değerlerin geniş aralıkta dağılmasına rağmen dikey eksen trend analiz grafiğinde verilerin sayısı açıkça gösterildiği için eğilimin tüm veriler üzerinde baskın olmadığı belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Alashan S., (2018), *An improved version of innovative trend analyses*, Arab J Geosci, 11(3), 50, doi: 10.1007/s12517-018-3393-x.
- Alashan S., (2020), *Combination of modified Mann-Kendall method and Şen innovative trend analysis*. Engineering Reports, 2(3), e12131, doi: 10.1002/eng2.12131.
- Chiew F.H.S., McMahon T.A., (1993), *Detection of trend or change in annual flow of Australian rivers*, Int. J. of Climatology, 13, 643-653.
- Cui L., Wang L., Lai Z., Tian Q., Liu W., Li J., (2017), *Innovative trend analysis of annual and seasonal air temperature and rainfall in the Yangtze River Basin, China during 1960–2015*, J Atmos Sol-Terr Phy, 164, 48-59.
- Dabanlı İ., Şen Z., Yeleğen M.Ö., Şişman E., Selek B., Güçlü Y.S., (2016), *Trend assessment by the innovative-Şen method*, Water Resour Manag, 30(14), 5193–5203.
- Dabanlı İ., Şişman E., Güçlü Y.S., Birpınar M.E., Şen Z., (2021), *Climate change impacts on sea surface temperature (SST) trend around Turkey seashores*, Acta Geophysica, 69(1), 295-305.
- Ghate A.S., Timbadiya P.V., (2021), *Comprehensive Extreme Rainfall Analysis: A study on Ahmedabad region, India*, ISH Int J Hydraulic Eng., doi: 10.1080/09715010.2021.1905566.
- Gocic M., Trajkovic S., (2013), *Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia*. Global and Planetary Change, 100, 172-182.
- Güçlü Y.S., (2018a), *Alternative Trend Analysis: Half Time Series Methodology*, Water Resources Management, 32, 2489–2504.
- Güçlü Y.S., (2018b), *Fundamentals and applications of comparative innovative trend analysis*, J Nat Hazards Environ., 4(2), 182-191.
- Güçlü Y.S., (2018c), *Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test*, J Hydrol, 566, 685-704.
- Güçlü Y.S., Şişman E., Dabanlı İ., (2020), *Innovative triangular trend analysis*, Arabian Journal of Geosciences, 13, 27, doi: 10.1007/s12517-019-5048-y.
- Güçlü Y.S., (2020), *Improved visualization for trend analysis by comparing with classical Mann-Kendall test and ITA*, J Hydrol, 584, 124674, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124674.
- Haan C. T., (1977), *Statistical Methods in Hydrology*, The Iowa State University Press, Ames, Iowa, 378ss.
- Hamed K.H., Rao A.R., (1998), *A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data*, Journal of Hydrology, 204, 182-196.

- Jhajharia D., Shrivastava S.K., Sarkar D., Sarkar S., (2009), *Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India*, Agricultural and Forest Meteorology, 149, 763–770.
- Jones V.J.R., Schwartz J.S., Ellis K.N., Hathaway J.M., Jawdye C.M., (2015), *Temporal variability of precipitation in the Upper Tennessee*, Journal of Hydrol: Regional Studies, 3, 125–138.
- Kendall M.G., (1975), *Rank Correlation Method*, Charles Griffin, London, 202ss.
- Mann H.B., (1945), *Nonparametric tests against trend*, Econometrica, 13, 245–259.
- Mohorji A.M., Şen Z., Almazroui M., (2017), *Trend Analyses Revision and Global Monthly Temperature Innovative Multi-Duration Analysis*, Earth Syst and Environ, 1(1), 9, doi: 10.1007/s41748-017-0014-x.
- Nalley D., Adamowski J., Khalil B., Ozga-Zielinski B., (2013), *Trend detection in surface air temperature in Ontario and Quebec, Canada during 1967–2006 using the discrete wavelet transform*, Atmospheric Research, 132–133, 375–398.
- Saplioglu K., Kilit M., Bekir Yavuz K., (2014), *Trend Analysis of Streams in the Western Mediterranean Basin of Turkey*, Fresenius Environmental Bulletin, 23(1A), 313–324.
- Sen P.K., (1968), *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau*, Journal of the American Statistical Association, 63(324), 1379–1389.
- Sonali P., Kumar Nagesh D., (2013), *Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India*, Journal of Hydrology, 476, 212–227.
- Şen Z., (2012), *Innovative Trend Analysis Methodology*, J. Hydrol. Eng., 17(9), 1042–1046.
- Şen Z., (2014), *Trend Identification Simulation and Application*, Journal of Hydrologic Engineering, 19(3), 635–642.
- Şen Z., (2017a), *Innovative trend significance test and applications*, Theor. Appl. Climatol., 127(3–4), 939–947.
- Şen Z., (2017b), *Innovative trend methodologies in science and engineering*, Springer International Publishing, Heidelberg, Germany, 349ss.
- Taylor C.H., Loftis J.C., (1989), *Testing for trend in lake and groundwater quality time series*, Water Resources Bulletin, 25(4), 715–726.
- Timbadiya P.V., Mirajkar A., Patel P., Porey P., (2013), *Identification of trend and probability distribution for time series of annual peak flow in Tapi Basin, India*, ISH Int J Hydraulic Eng, 19(1), 11–20.

Yangın Alanında Uydu Görüntüleri ile Yer Yüzey Sıcaklık Değişimi Gözlemi ve Mekânsal Alan Tespiti

Alperen Cihan^{1*}, Kübra Cerit¹, Arzu Erener¹

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, 41380, Kocaeli.

Özet

Ormanların kaybını önlemek amacıyla yangınlarla mücadele son derece önemli bir problemdir. Gelişen teknolojiyle birlikte zaman içerisinde uydu görüntüleri yangınlarla mücadelede için temel gereçlerden biri haline gelmiştir. Çeşitli indeksler kullanılarak, görüntü işleme analizleri ve yüzey sıcaklık analizleri ile uydu görüntüleri üzerinden yanan alanın tespitini yapmak mümkündür. Yersel ölçümlerle yapılan yöntemlerin aksine oldukça hızlı ve nispeten daha az maliyetlidir. Bu çalışmada Landsat-8 uydu görüntüleri kullanılarak 1 Temmuz 2017'de İzmir ili Menderes ilçesinde gerçekleşen ve yaklaşık 67 saat süren Deliömerli orman yangını analiz edilmiştir. Yangın öncesi ve yangın anı için elde edilen görüntülerden yer yüzey sıcaklık haritaları oluşturularak, farklı arazi kullanımları için yüzey sıcaklık farklılıkları incelenmiştir. Buna göre yangın anında yanan alanın yüzey sıcaklığının diğer arazi kullanım alanlarına göre arttığı gözlemlenmiştir. Yangın alanı tespitinde ise üç farklı yöntem kullanılıp yangın alanı mekânsal büyüklüğü karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ile 1.235 hektar alanın, Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR) indeksleri ile 1.221 hektar alanın ve sınıflandırma çalışması sonrası ise 1.296 hektar alanın yandığı tespit edilmiştir. Sonuçların Orman Genel Müdürlüğü tarafından açıklanan hasar tespit sonuçları ile tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. CORINE arazi kullanım haritası ve yanan alanlar örtüştürülerek yangın sonucunda arazi kullanım sınıflarının yangından ne kadar etkilendiği incelenmiştir. Yapılan örtüşme analizi sonucunda yanan alanın %75,7'sinin iğne yapraklı ormanlar, %19,3'ünün bitki alanları, %4,2'sinin karışık ormanlar ve %0,7'sinin tarım alanları olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler

Yer Yüzey Sıcaklığı, NDVI, NBR, Sınıflandırma, Orman Yangını, Landsat

Land Surface Temperature Change Observation and Spatial Area Determination with Satellite Images in the Fire Area

Abstract

Fighting fires is an extremely important issue to prevent the loss of forests. With the developing technology, satellite images have become one of the basic tools for fighting fire over time. By using various indexes, it is possible to detect the burning area from satellite images with image processing analysis and surface temperature analysis. Unlike the methods made by ground measurements, it is very fast and relatively less costly. In this study, the Deliömerli forest fire that took place in Menderes district of İzmir province on July 1, 2017, and lasted about 67 hours was analyzed using Landsat-8 satellite images. The surface temperature maps were created from the images obtained before and during the fire, and surface temperature differences were examined for different land uses. Accordingly, it has been observed that the surface temperature of the area burning during the fire increased compared to other land use areas. In determining the fire area, three different methods were used and the spatial size of the fire area was compared. In this context, 1,235 hectares with Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), 1,221 hectares with Normalized Burn Ratio (NBR) indices, and 1,296 hectares with the classification study were determined to be burned. It has been observed that the results are consistent with the damage assessment results announced by the General Directorate of Forestry. The burning areas were overlapped with the CORINE land use map and the extent of the impact of the fire on each land use class was examined. As a result of the overlap analysis, it was determined that 75.7% of the burning area was coniferous forests, 19.3% plant areas, 4.2% mixed forests and 0.7% agricultural areas.

Keywords

Land Surface Temperature, NDVI, NBR, Classification, Forest Fire, Landsat

1. Giriş

Orman yangınları, etkileri ve sonuçları açısından bütün ülkeleri ilgilendiren afetlerin en önemlilerinden biridir. Yangınlar sonucunda dünya genelinde her yıl milyonlarca hektar orman alanı zarar görmektedir. . Büyük çapta yangınla mücadele masrafına ve ormanların bazı fonksiyonlarının yok olmasına sebep olmaktadır. İnsanoğlu çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla doğal bir kaynak olan ormanlara sık sık başvurmaktadır.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (262) 3033002 Fax: +90 (262) 3033003

E-posta: alperencihan@outlook.com (Cihan A), kubracerit74@gmail.com (Cerit K)

erener.arzu@gmail.com (Erener A)

Gönderim Tarihi / Received : 25/05/2021

Kabul Tarihi / Accepted : 29/11/2021

Özellikle yangınlar Türkiye’de ormanların yaşamını tehdit eden etkenlerin başında gelmektedir. Türkiye’nin önemli bir bölümü, Akdeniz iklimi etkisi altındadır. Bu iklim orman yangınları açısından en elverişli koşullara sahip olan iklimdir. Bu sebeple Türkiye sürekli olarak orman yangını tehlikesi ile karşı karşıyadır. Çalışma kapsamında incelenecek Menderes Deliömerli yangının gerçekleştiği sene olan 2017 yılı içinde Türkiye’de 2.411 adet orman yangını gerçekleşmiş, bu yangınlar sonucunda 11.993 hektar orman alanı zarar görmüştür.

Yangınlarla ilgili parametrelerin yersel ölçümler kullanılarak yapılması oldukça maliyetlidir. Bunun yanında yoğun miktarda insan gücü ve uzun zaman harcamak gerekmektedir. Zaman, bir yangın söz konusu olduğunda kritik önem taşımaktadır (Yavuz ve Sağlam 2011). Bütün bu etkenler göz önüne alındığında, uzaktan algılama sistemleri kurtarma veya araştırma çalışmalarında kullanılabilecek önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

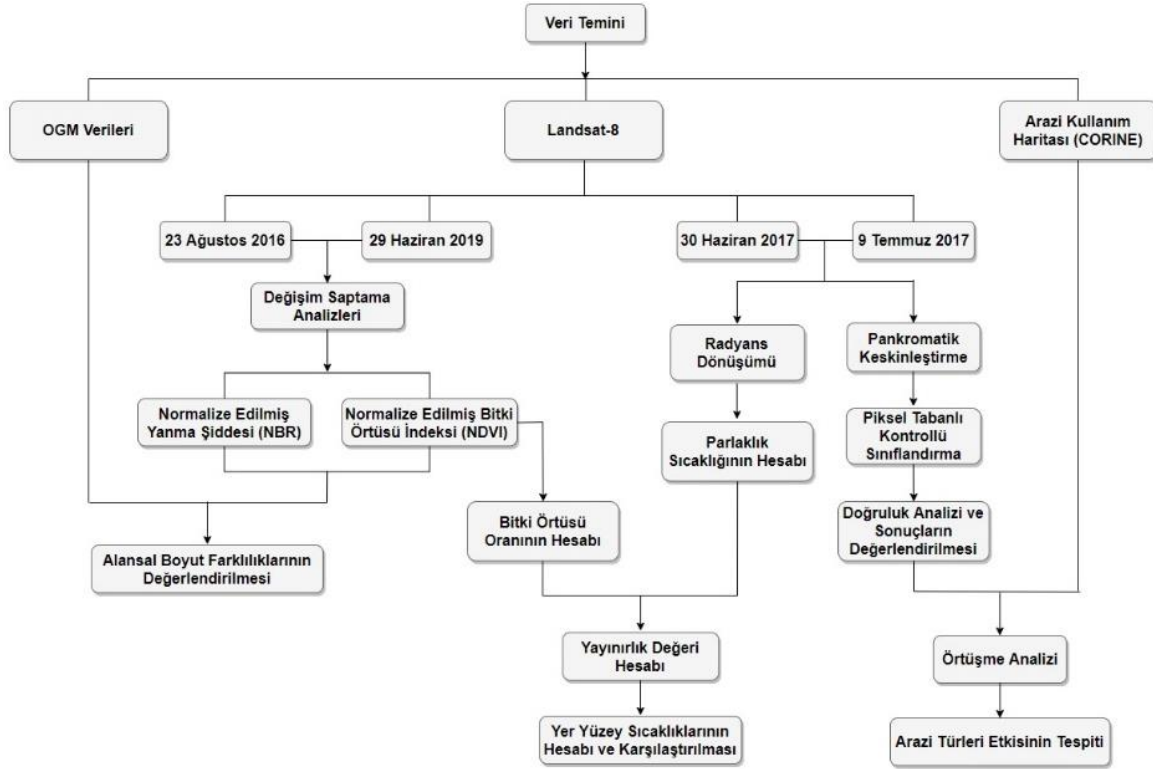
Tekeli vd. (2007) tarafından yapılan çalışma sonucunda uzaktan algılama kullanılarak yapılan çalışmalarla insan faktörünün en aza indirilebileceği, böylece sürekli ve tutarlı veri setlerinin elde edilmesinin daha mümkün olacağı kanısına varılmıştır. Yavuz ve Sağlam (2011) yaptıkları çalışmada uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknolojilerinin olası yangın tehdidinin belirlenmesi, yangın davranışlarının gözetlenmesi ve yangın sonrasında yapılacak hasar tespit ve analiz çalışmalarındaki rolü üzerinde durmuştur. Bu teknolojilerin getirdiği kolaylıklar incelenmiştir. Gürkan vd. (2016), kontrollü sınıflandırma ve adımlarını detaylı bir şekilde ele almış, Worldview uydu görüntülerine uygulayarak Mustafa Kemal Üniversitesi Tayfur Ata Sökmen Yerleşkesinin arazi kullanım haritasını oluşturmıştır. Sabuncu ve Özener (2019) tarafından ortaya koyulan çalışmada uzaktan algılama teknikleri ile İzmir Seferihisar orman yangınının analizi yapılmıştır. Landsat-5 uydu görüntüleri kullanılarak NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ve NBR (Normalized Burn Ratio) indeksleri hesaplanmıştır. Ayrıca maksimum benzerlik algoritması uygulanarak piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu indeksler kullanılarak yanarak tahrip olmuş alan tespit edilmiştir.

Orhan vd. (2019), Landsat-5 gerçek zamanlı infrared termometre ölçümleri ile Konya kapalı havzasında sıcaklık değişimini ölçmüştür. Yer yüzey ısı haritaları 1984 ve 2011 yılları arasındaki farklılığı gözlemlemek amacı ile oluşturulmuş ve yaklaşık 20°C fark tespit edilmiştir. Quintanao vd. (2014), yaptıkları çalışmada "Yeşil İspanya" olarak da bilinen İspanya'nın kuzey-batı bölgesinde, 19-21 Eylül 2012 tarihleri arasında gerçekleşen yangının yer yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. İnceleme doğrultusunda Landsat-7 verileri kullanılmıştır. Bu kapsamda 6 farklı zamana ait uydu görüntüsü üzerinden meydana gelen etkiler incelenmiştir. Yapılan incelemede yanan bölgelerin, yangından etkilenmeyen bölgelere göre 15,5°C, 12,7°C, 6,8°C, 11,4°C, 14,2°C ve 12,4°C derece daha yüksek yer yüzey sıcaklıklarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Vlassova vd. (2014), yaptıkları çalışmada 2009 yılında İspanya'nın Extremadura bölgesinde meydana gelen Las Hurdes yangınının yer yüzey sıcaklığı değişimlerini incelemiştir. Bu çalışmada yangın sonrasında 27 aylık süreci kapsayan 15 adet Landsat-5 uydu görüntüsü analiz edilmiştir. Analiz tek pencere algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yer yüzey sıcaklığı analizi sonucunda yangın bölgesinde ortalama sıcaklık artışı 13°C olsa da, yer yer sıcaklık artışının 20°C'ye kadar yükseldiği tespit edilmiştir. Erener ve Sarp (2017) yaptıkları çalışmada, Antalya'nın Manavgat bölgesinde 2008 yılında çıkan dört farklı yangını bilgi teknolojileri kullanarak incelemiştir. Bu çalışmada uydu görüntü analizlerinin yangın alanı tespitinde oldukça kullanışlı olduğu sonucuna varılmıştır. Sarp vd. (2018), yaptıkları çalışmada 1 Temmuz 2017 tarihinde Mersin ili Anamur ilçesi Yukarıkükür mahallesi mevkiinde gerçekleşen ve 200 hektar alanın zarar görmesiyle sonuçlanan yangını uzaktan algılama teknikleri kullanılarak analiz etmiş, yangının yüzey nemliliği ve yer yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkisini Landsat-8 uydu görüntülerini kullanarak değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda yangın öncesinde 8,69°C ile 37,03°C arasında değişim gösteren yangın bölgesinin, yangın sonrasında 25,50°C ile 49,79°C arasında değerler aldığı tespit edilmiştir. Taşdelen (2019) yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında ve Taşdelen ve Erener (2019) tarafından yapılan çalışmada, MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) verilerini kullanarak ülke ölçeğinde 2000-2005-2010-2017 yılları için mevsimsel olarak Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS) analizleri yapmış, bu analizleri zamansal olarak karşılaştırmıştır. Landsat-5 ve Landsat-8 uydu görüntülerini kullanarak Kocaeli il sınırları için YYS haritaları oluşturmuştur. Toprak, şehir, bitki, su gibi farklı arazi kullanım sınıfları için sıcaklık değerlerini incelemiştir. Kocaeli ilinin YYS analizlerini mevsimsel ve yıllık ortalama olacak şekilde karşılaştırmıştır. Akyürek (2020) tarafından yapılan çalışmada, Landsat-8 uydu görüntüleri kullanılarak Kocaeli ilinin 2015-2019 yılları arasında temmuz ayına ait YYS analizleri yapılmış ve haritaları çıkarılmıştır. Kocaeli’de sanayileşmenin yüksek olduğu batı bölgelerinde ve jeotermal aktivitenin yüksek olduğu güney bölgelerinde YYS değerlerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Mercan (2020) çalışmasında, Landsat-5 ve Landsat-8 uydu görüntüleri kullanarak Muş ilinin 29 yıllık YYS değişimi analizlerini yapmış, 1990-2000-2005-2011-2019 yıllarına ait YYS haritaları üretmiştir. Polat (2020) çalışmasında Mardin şehrinin 29 yıllık yer yüzey sıcaklık değişimi haritalarını hazırlamıştır.

Bu çalışmanın amacı uydu görüntüleri kullanılarak 2017 yılında yaşanan İzmir Menderes Deliömerli Mahallesi yangınının sebeplerinin bitki örtüsü ve toprak kullanımı dikkate alınarak incelenmesi, yer yüzey sıcaklığı değişiminin analiz edilmesi, çeşitli indeksler kullanılarak yanan bölgenin tespitinin alansal olarak yapılmasıdır.

2. Yöntem

Büyük yangın sınıfına giren, İzmir’in Menderes ilçesinin Deliömerli Mahallesi’nde çıkan orman yangını örnek alan olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmanın akış şeması Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1: Çalışma sırasında izlenen işlem adımları

Çalışmada ilk olarak veri temini yapılmıştır. Yanan alanın hasar tespitine yönelik veriler ve çalışmada kullanmak üzere bazı istatistiksel veriler Orman Genel Müdürlüğü'nün sitesinden (ogm.gov.tr), bölgenin hava durumuna ve iklim özelliklerine ait bilgiler ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün sitesinden (mgm.gov.tr) ve havaizleme.gov.tr üzerinden ücretsiz olarak elde edilmiştir. Uydu görüntüleri United States Geological Survey (earthexplorer.usgs.gov) üzerinden, arazi kullanım haritası ise Copernicus Land Monitoring Service (land.copernicus.eu) üzerinden ücretsiz bir şekilde indirilmiştir.

Veriler elde edildikten sonra Landsat-8 uydu görüntülerine pankromatik keskinleştirme işlemi uygulanmıştır. Keskinleştirme yöntemi, yüksek çözünürlüğe sahip siyah-beyaz Pan bandı ile düşük mekânsal çözünürlüğe sahip multispektral bantların füzyonu ile yüksek çözünürlüklü renkli görüntüler elde edilmesini sağlamaktadır (Zhang, 2002). Keskinleştirme işlemi aynı sensördeki bantları ya da farklı sensördeki bantları kullanarak yapılabilir. Bu çalışma kapsamında işlem 2 numaralı mavi bant, 3 numaralı yeşil bant, 4 numaralı kırmızı bant ve 8 numaralı pankromatik bant kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Termal bant kullanılarak yangın öncesi ve sonrası için yer yüzey sıcaklığı analizi gerçekleştirilmiştir. CORINE arazi kullanım sınıfları için karşılaştırma grafikleri oluşturularak sıcaklık farklılıkları yorumlanmış ve korelasyon değerleri hesaplanmıştır. Uydu görüntüleri üzerinden yanan alanının hasar tespitini yapmak amacıyla 3 farklı uzaktan algılama analiz yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI), normalize edilmiş yanma şiddeti (NBR) ve piksel tabanlı kontrollü sınıflandırmadır. Bu yöntemler, verdiği sonuçlar da göz önüne alınarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Landsat-8 uydu görüntülerinin dördüncü, beşinci ve yedinci bantları kullanılarak NDVI ve NBR, pankromatik keskinleştirme uygulanmış olan uydu görüntüleri kullanılarak ise maksimum olabilirlik yöntemiyle piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma işlemi Arcmap üzerinden yapılarak yanan alan tespiti yapılmıştır. İşlemler sonucunda tespit edilen sonuçlar Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından açıklanan hasar tespit sonuçları ile karşılaştırılmış ve alansal boyut farklılıkları değerlendirilmiştir. Google Earth üzerinde atılan 446 adet referans noktası Arcmap'e aktararak piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma işlemi için doğruluk analizi yapılmıştır. Bulunan sonuçlar değerlendirilerek genel doğruluk oranı hesaplanmıştır. Piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma işlemi sonucunda bulunan yanan alanlar ile arazi kullanım haritası birleştirilerek örtüşme analizi yapılmıştır. Böylece arazi türlerinin yangının etkisi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

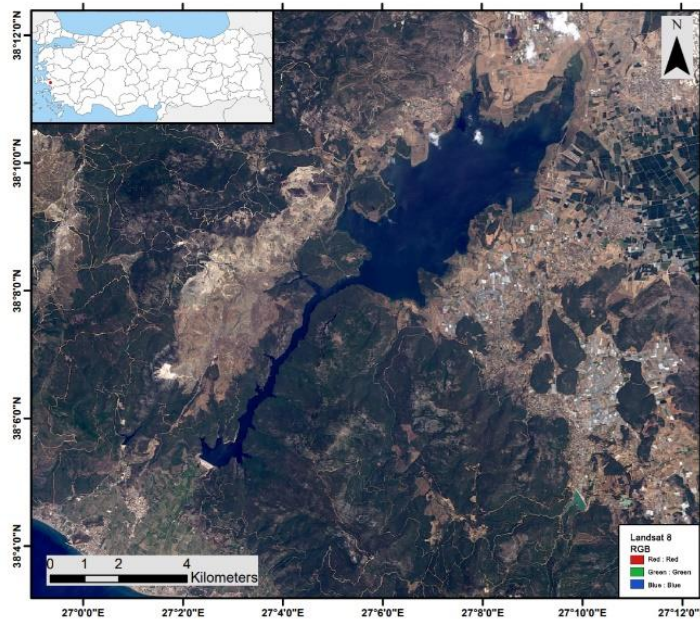
3. Kullanılan Veriler ve Çalışma Alanı

Çalışmada, arazi sınıfları, hava durumu, orman yangını istatistikleri, meteoroloji, yükseklik ve uydu görüntülerini kapsayan veri setleri oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında kullanılan verilerin, yılları, özellikleri ve temin edilen yerlerin bilgisi Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Kullanılan veriler

Uydu		Arazi Kullanımları	Orman Yangınları İstatistikleri
United States Geological Survey (USGS)		Copernicus Land Cover	Orman Genel Müdürlüğü
*Landsat-8	23.08.2016 - 29.06.2019 30.06.2017 - 09.07.2017	*CORINE 2018	*Deliömerli Yangını Hasar Tespit Sonuçları

Uydu görüntüsü Şekil 2’de verilmiş olan çalışma alanı, İzmir’in Menderes İlçesi’ne bağlı Deliömerli Mahallesi’nde bulunan 27°01’30’’D ile 27°05’00’’D boylamları ve 38°06’00’’K ile 38°10’00’’K enlemleri arasında kalan bölgedir. Bu bölge Akdeniz İklimi etkisi altındadır. Bu sebeple yılın beş ayı (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül) bölgede sıcaklıklar 20°C civarında seyretmektedir. Bölgenin bitki örtüsü büyük çoğunlukla iğne yapraklı ormanlar, karışık ormanlar ve tarım arazilerinden oluşmaktadır. Yerleşimin yoğun olmamasından dolayı ormanlar açısından zengindir.



Şekil 2: Çalışma alanına ait uydu görüntüsü (Landsat-8)

4. Uygulamalar

Yangın bölgesi üzerinde yapılan Yer Yüzey Sıcaklığı (YYs) analizi, Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR), piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma ve yangından etkilenen arazi kullanım sınıflarının tespiti çalışmaları bu bölümde anlatılmıştır.

4.1. Yer Yüzey Sıcaklığı Analizi

Uydu görüntüleri kullanılarak bir yüzeyin sıcaklık değişimi analiz edilebilmekte ve yanmış alan tespit edilebilmektedir. Bu uygulamada yangının toprak üzerinde yarattığı etkiyi görmek amacıyla Landsat-8’in termal bantlarından biri olan 10 numaralı bant kullanılarak yangın öncesi ve sonrasına ait yanan bölgenin yüzey sıcaklıkları tespit edilmiştir. Yangın öncesi için 30 Haziran 2017, yangın sonrası için ise 9 Temmuz 2017 tarihli uydu görüntüleri kullanılmıştır.

İlk olarak (1) numaralı denklem kullanılarak termal bandın piksel değerleri, spektral radyans (L_λ) değerlerine dönüştürülmüştür. Radyans ifadesi, belirli bir dalga boyunda, belirli bir açı yaparak alandan yansıyan enerjinin miktarı olarak tanımlanmaktadır (Yıldız vd. 2017). Sıcaklık da bir enerji olduğundan sıcaklık değerlerinin hesaplanabilmesi için enerji birimine geçmek gerekmektedir. Spektral radyans değerleri hesaplandıktan sonra, (2) numaralı denklem kullanılarak parlaklık sıcaklığı değerlerine geçilmiştir. Parlaklık sıcaklığı (T), dünya atmosferinin en yüksekte bulunan noktasından yukarıya doğru ilerleyen mikrodalga yayılımının parlaklık değerleridir. Parlaklık sıcaklığının belirlenmesinden sonra (3) numaralı denklem kullanılarak bitki örtüsü oranı (P_v) hesaplanmıştır. Bu değer hesaplanmasında (6) numaralı denklem kullanılarak elde edilen maksimum ve minimum NDVI değerleri kullanılmıştır. Bitki örtüsü oranı kullanılarak (4) numaralı denklem yardımıyla yayınlılık değeri (LSE) hesaplanmıştır. Yayınlılık değeri, yer yüzeyi sıcaklıklarının hesaplanmasında kullanılan bir parametredir. Yayınlılık değerinin elde edilmesinin birçok yöntemi vardır. NDVI aracılığıyla hesaplama da bunlardan biridir.

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

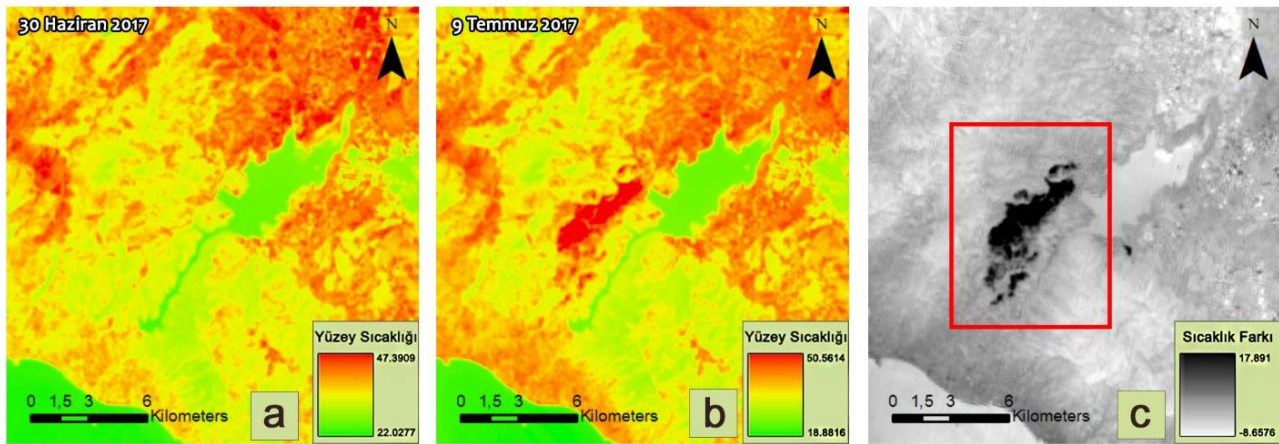
$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} - 273,15 \quad (2)$$

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{maks} - NDVI_{min}}\right)^2 \quad (3)$$

$$LSE = 0,004 * P_v + 0,986 \quad (4)$$

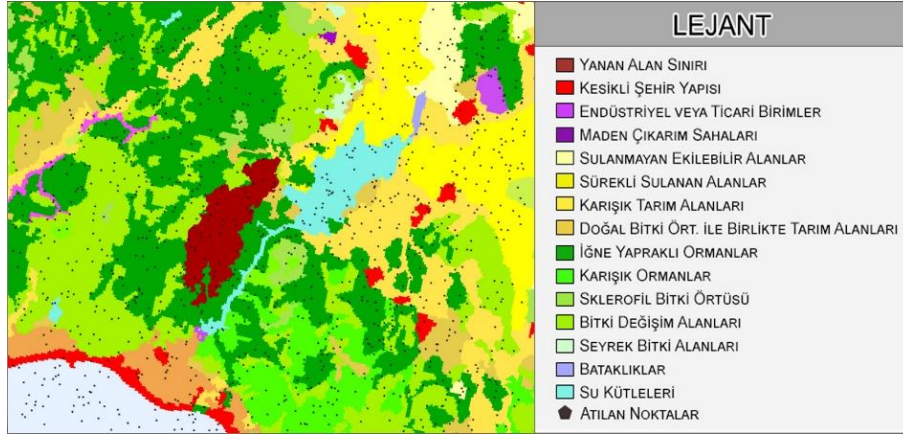
Son olarak parlaklık sıcaklığı ve yayınlılık değeri kullanılarak yer yüzey sıcaklığının (LST) belirlenmesi gerekmektedir. (5) numaralı denklem kullanılarak yangın bölgesine ait yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Bu aşamalar yangın öncesi ve sonrasına ait uydu görüntüleri üzerinde uygulanmıştır. Bulunan sıcaklık değerleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Kentleşmenin ve tarımın olduğu bölgelerde sıcaklığın yüksek olmasının sebebi, beton, asfalt, kaldırım gibi insan eliyle yapılmış doğal olmayan malzemelerin güneşten gelen ısıyı yeşil alanlara kıyasla daha fazla emmesidir. Sıcaklığın bu şekilde tutulması kentlerin çevresine göre daha sıcak olmasına neden olmaktadır. Bu duruma “Kentsel Isı Adası” adı verilmektedir (Mercan 2020).

$$LST = \frac{T}{1 + \left(\lambda * \frac{T}{h * c / s}\right) * \ln(LSE)} \quad (5)$$



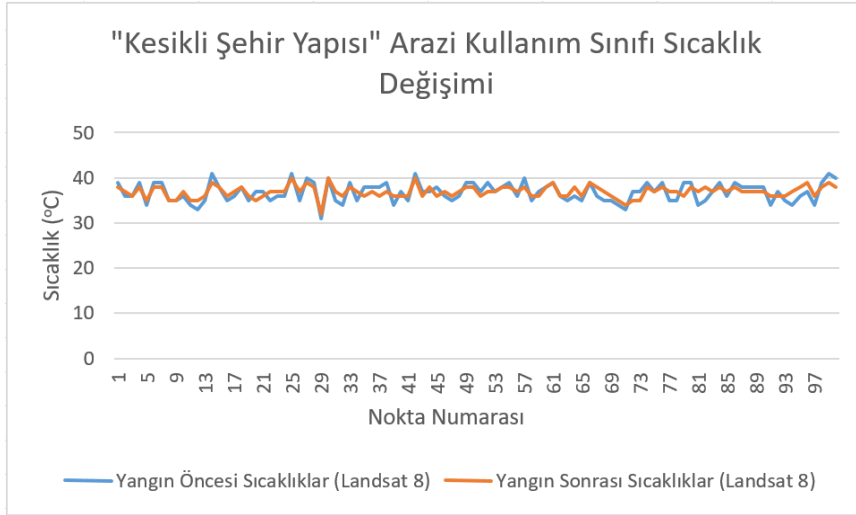
Şekil 3: Yer yüzey sıcaklığı analizi a) yangın öncesi b) yangın sonrası c) fark

Yangın sonrası yüzey sıcaklığı haritası incelendiğinde, yangın bölgesinin sıcaklığının çevresinden bağımsız olarak yükselmiş olduğu görülmektedir. Yangın bölgesinin sıcaklık değerleri 45-50°C arasında değişmektedir. Yangının söndürülmesinin üzerinden 5 gün geçmesine rağmen toprak hâlâ yüksek sıcaklıktadır. Sıcaklık değişimini tespit etmek amacıyla yangın öncesi ve sonrası görüntülerin farkı alındığında yangın bölgesinin sıcaklığındaki normal olmayan değişim görülebilmektedir. Fark analizine göre yangın bölgesinin sıcaklığı yangın sonrasında 18°C'ye kadar yangın öncesi değerlerinden farklılık göstermektedir. Yanan bölgenin sıcaklık değişimini diğer arazi kullanım sınıflarıyla karşılaştırmak amacıyla, Arcmap üzerinden oluşturulan yangın öncesi ve sonrasına ait raster görüntüleri (Şekil 3) ve arazi kullanım haritası üzerine toplam 1.300 nokta rastgele olarak atılmıştır. Atılan noktaların konumları Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu karşılaştırmanın amacı yangının meydana getirdiği sıcaklık değişiminin tespit edilmesidir. Rastgele olarak atılan 1.300 nokta ilk olarak Copernicus CORINE Land Cover üzerinden ücretsiz olarak elde edilen CORINE arazi kullanım haritasıyla “spatial join” işlevi kullanılarak bağlanmıştır. Böylece her bir noktanın hangi arazi kullanım sınıfının üzerinde bulunduğu tespit edilmiştir. Yapılan karşılaştırma işlemlerinde kullanılmak amacıyla bölgede bulunan 13 CORINE arazi kullanım sınıfı seçilmiştir.



Şekil 4: Sıcaklık değişimini tespit etmek amacıyla atılan noktaların konumları ve CORINE arazi kullanım sınıfları

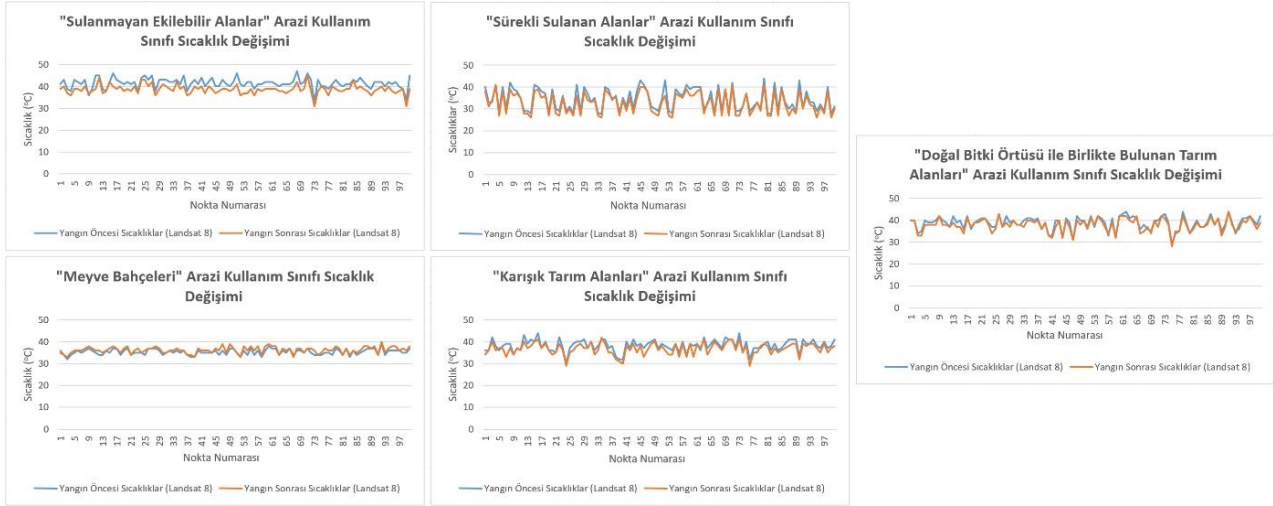
Atılan noktalar yangın öncesi ve sonrası için yapılmış olan yer yüzey sıcaklık analizi sonuçları ile mekânsal birleştirme fonksiyonu kullanılarak birleştirilmiştir. Böylece her bir noktanın arazi kullanım sınıfının yanında yangın öncesi sıcaklık değeri ve yangın sonrası sıcaklık değerine de sahip olması sağlanmıştır. Bölgede bulunan kentsel alan kategorisinin tek üyesi olan “Kesikli Şehir Yapısı” arazi kullanım sınıfının sıcaklık karşılaştırması Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5: “Kesikli Şehir Yapısı” CORINE arazi kullanım sınıfı sıcaklık değişimi (Landsat-8)

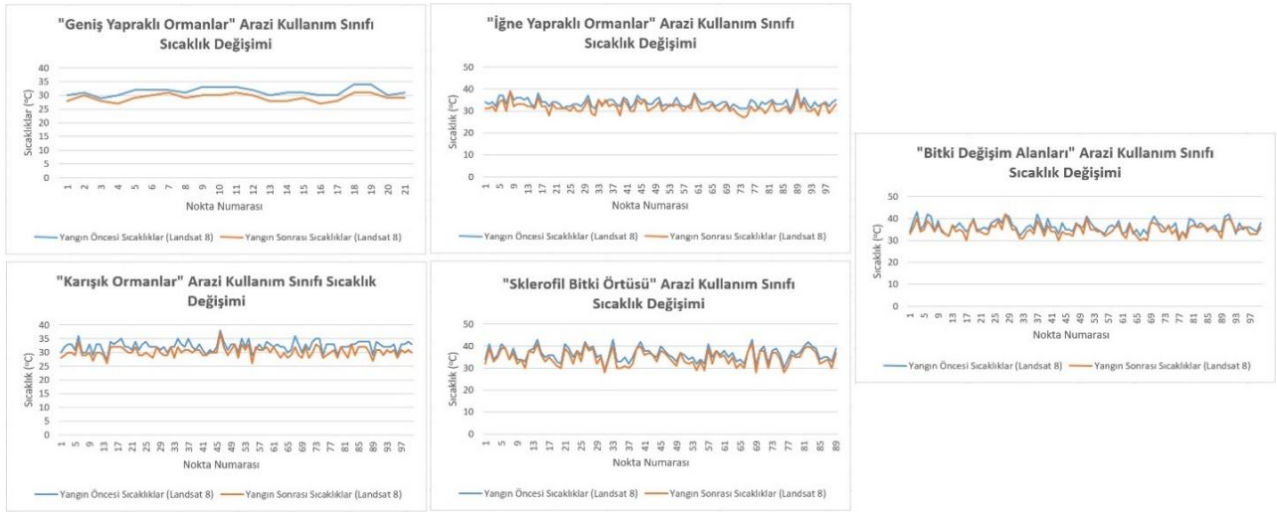
“Kesikli Şehir Yapısı” arazi kullanım sınıfında yangın öncesi ve yangın sonrası yüzey ısısında ani bir değişiklik yaşanmamıştır. Kentsel ısı adası kavramının da açıkladığı gibi şehir sıcaklıklarının beton, asfalt, kaldırım vb. tarafından tutulmasından dolayı şehir bölgesinin sıcaklığı yüksek sıcaklıklara sahiptir. Yüzey ısısı 32°C ile 41°C arasında değişmektedir. Maksimum sıcaklık farkı 3°C’dir. Yangın öncesi ve sonrası korelasyon oranı 0.74 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon oranı iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin ölçüsüdür. Bu oran incelenen değişkenlerin birimlerinden bağımsızdır ve -1 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Korelasyon katsayısının 0’a yaklaşması değişkenler arasındaki ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir. Değişkenler birlikte artıyor veya azalıyorsa pozitif yönde, değişkenlerden biri artarken diğeri azalıyorsa ise negatif yönde bir ilişki vardır.

Bölgede bulunan tarım alanları kategorisine dâhil olan “Sulanmayan Ekilebilir Alanlar”, “Sürekli Sulanan Alanlar”, “Meyve Bahçeleri”, “Karışık Tarım Alanları” ve “Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım Alanları” sınıflarının sıcaklık değişimlerini gösteren grafikler Şekil 6’da gösterilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde yangın öncesi ve sonrası sıcaklık değerlerinde normal olmayan bir değişim yaşanmadığı gözlenmektedir. “Tarım Alanları” arazi kullanım sınıflarına ait yangın öncesi ve sonrası sıcaklık değerlerinde sıra dışı bir değişim yaşanmadığı gözlenmektedir. Yangın öncesi ve sonrasında bütün grafikler değerlendirildiğinde maksimum sıcaklık farkı 6°C’dir. Yangın sonrasında “Tarım Alanları” arazi kullanım sınıflarının yüzey sıcaklıklarında hava sıcaklığının azalmasına bağlı düşüş yaşanmıştır. Ayrıca “Tarım Alanları” arazi kullanım sınıflarının sıcaklıklarının yüksek olmasının sebebi olarak da buradaki yapılaşmalar gösterilebilir. Korelasyon oranları ise sırasıyla, 0.81, 0.97, 0.87, 0.89 ve 0.93’tür. Bütün grafikler için korelasyon oranının 1 değerine yaklaşması yangın öncesi ve yangın sonrası sıcaklıklar arasındaki ilişkinin kuvvetli olduğunu göstermektedir.



Şekil 6: "Tarım Alanları" kategorisinde bulunan CORINE arazi kullanım sınıflarına ait sıcaklık değişimleri (Landsat-8)

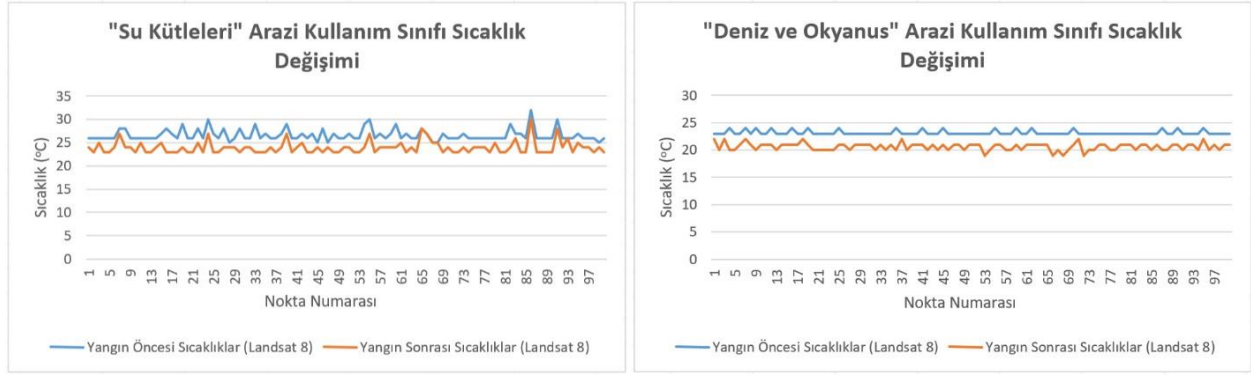
Bölgede bulunan bir diğer kategori olan ormanlar ve doğal alanlar kategorisine dâhil olan "Geniş Yapraklı Ormanlar", "İğne Yapraklı Ormanlar", "Karışık Ormanlar", "Sklerofil Bitki Örtüsü" ve "Bitki Değişim Alanları" sınıflarına ait sıcaklık değişim grafikleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Ormanlar ve Doğal Alanlar sınıfına ait grafikler incelendiğinde yangın öncesi ve sonrası arasındaki maksimum sıcaklık farkı 6°C'dir. Tarım Alanları sınıfında olduğu gibi Orman ve Doğal Alanlar sınıfında da hava sıcaklığına bağlı yüzey ısısında düşüş yaşanmıştır. Bu arazi kullanım sınıfına ait korelasyon oranları ise sırasıyla, 0,85, 0,85, 0,78, 0,96 ve 0,87'dir. Bu da bu değerler arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir.



Şekil 7: "Ormanlar ve Doğal Alanlar" kategorisinde bulunan CORINE arazi kullanım sınıflarına ait sıcaklık değişimleri (Landsat-8)

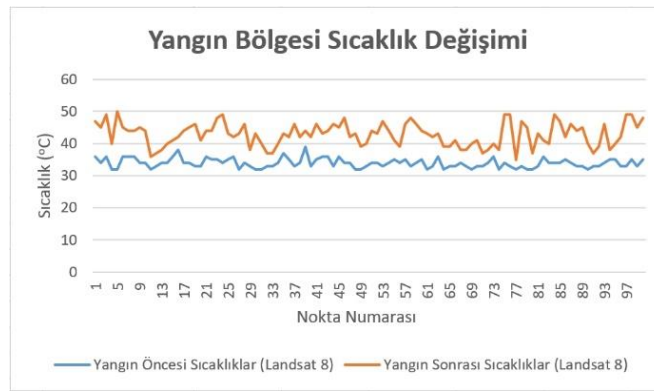
Bölgede bulunan ve sıcaklıkları karşılaştırılan son kategori olan sulak alanlar kategorisinde bulunan "Su Kütleleri" ve "Deniz ve Okyanus" arazi kullanım sınıflarına ait sıcaklık karşılaştırması Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'deki grafikler incelendiğinde hem baraj hem de deniz suyu sıcaklıklarında yangın öncesi değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu farkın hava sıcaklıklarından kaynaklanmış olması muhtemeldir. Su Kütleleri Arazi kullanım sınıfında maksimum sıcaklık farkı 6°C, korelasyon oranı 0,56'dır. Deniz ve Okyanus arazi kullanım sınıfına ait maksimum sıcaklık farkı 4°C, korelasyon oranı ise 0,18'dir.

Yangın öncesi hava sıcaklıklarının yüksek olması yaşanan yangın için de hazırlayıcı bir etken olmuştur. Yapılan bütün karşılaştırmalarda çok küçük farklarla da olsa yangın bölgesi dışındaki sınıfların tamamında yangın öncesi sıcaklık değerleri, yangın sonrası sıcaklık değerlerinden daha yüksektir. Yangın bölgesi dışındaki arazi kullanım sınıflarının yüzey sıcaklıkları yaşanan hava koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir.



Şekil 8: "Sulak Alanlar" kategorisinde bulunan CORINE arazi kullanım sınıflarına ait sıcaklık değişimleri (Landsat-8)

Çalışmanın temelini oluşturan yangın bölgesine atılan 100 noktanın yangın öncesi ve sonrası sıcaklıkları karşılaştırılarak elde edilen karşılaştırma grafiği Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9: Yangın bölgesine ait sıcaklık değişimi (Landsat-8)

Yapılan çalışma sonucunda yangının sebep olduğu ısınma açık bir şekilde görülmektedir. Atılan noktaların ortalamaları alınarak bulunan, bölgenin yangın öncesi ortalama sıcaklık değeri 34 °C, yangın sonrası ortalama sıcaklık değeri ise 43°C olarak hesaplanmıştır. Ortalamalar arasındaki fark 9°C olmasına rağmen noktalar özelinde incelendiğinde bazı yerlerde bu fark 18°C'ye kadar çıkmaktadır. Yangın bölgesine ait korelasyon değeri ise 0.25'tir. Korelasyon değerinin 0'a yakın çıkmış olması yangın öncesi ve sonrası değerlerin arasındaki ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir. Bu da yangın bölgesinin ani ısınmasının sonucudur.

4.2. Yanan Alan Tespiti Analizleri

Bu başlık altında yanan bölgenin tespiti için Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR) ve piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma analizleri gerçekleştirilmiştir.

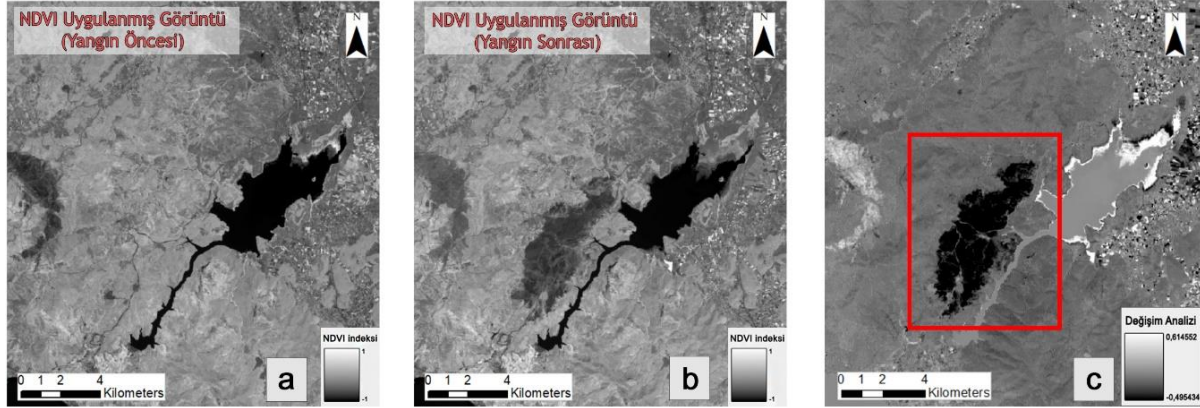
4.2.1. Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)

Uzaktan algılama uygulamalarında yeşil bitki örtüsünün tespitinde ve zaman içindeki değişiminin izlenmesinde en sık kullanılan indeks NDVI indeksidir. Bu indeks ile yakın kızılötesi ve kırmızı bant görüntüleri matematiksel bir oran şeklinde ifade edilir. -1 ile 1 değerleri arasında değişen bir aralıkta tanımlanmaktadır. Canlı bitki örtüsünün bulunduğu bölümlerde bu değer +1'e kadar çıkarken, bitki örtüsü seyrekleştikçe ve sağlığı düştükçe 0'a yaklaşmaktadır. Bitki örtüsünün bulunmadığı alanlarda ise -1 değeri almaktadır. Bitkilerin canlılık durumunu belirten bu indeks, yanmış bölgelerin tespiti için kullanıma uygundur.

$$NDVI = \frac{NIR - \text{Kırmızı Bant}}{NIR + \text{Kırmızı Bant}} \quad (6)$$

Landsat-8 uydu görüntüsü üzerine, yangın öncesi ve sonrası için NDVI uygulandığında yanmış alan siyah olarak gözükmemektedir. Yangın öncesi +1 değerine yaklaşan ve beyaza yakın gri tonları şeklinde görünürken yangın bölgesi, yangın sonrası ise -1 değerine yaklaşarak siyah renkte görünmektedir. Şekil 10'da görülen değişim saptama analizi sonucunda tahrip olan yeşil alan 13.740 piksel olarak hesaplanmıştır.

Bu sonucun alansal karşılığı 1.235 hektara karşılık gelmektedir. Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından yapılan hasar tespiti sonucunda toplam 1.200 hektar alanın yanarak hasar gördüğü tespit edilmiştir. OGM hasar tespit sonuçları ve NDVI değişim saptama sonuçları tutarlıdır.

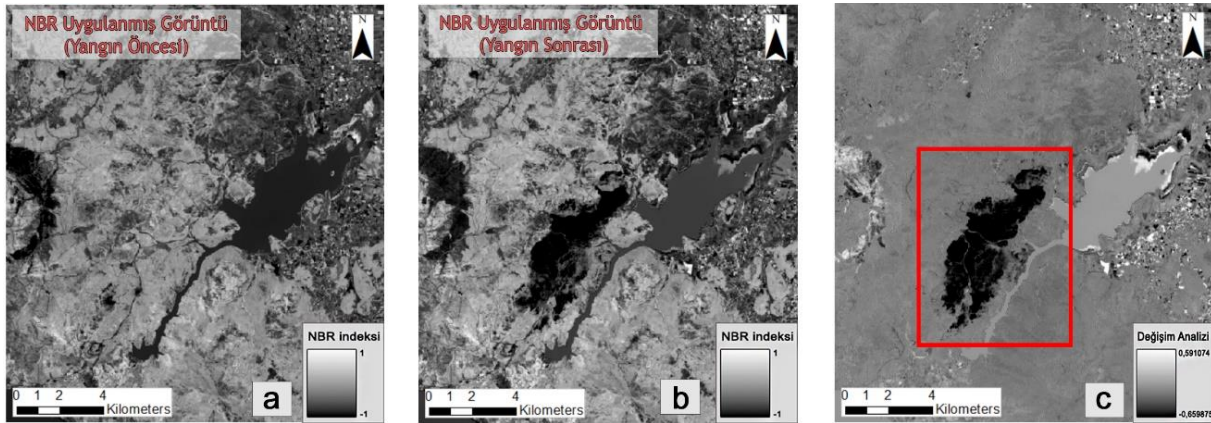


Şekil 10: NDVI uygulaması a) yangın öncesi b) yangın sonrası c) fark

4.2.2. Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR)

Bitki örtüsünün fiziksel özellikleri yerine kimyasal değişimlerinin incelenmesidir. Orman alanlarında yangın öncesi ve yangın sonrası değişikliği tespit amacıyla kullanılan bu indeks, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bantlarının matematiksel oranı ile ifade edilmektedir (7). NBR, canlı bitki örtüsü, nem içeriği ve yangından sonra meydana gelebilecek değişimlere özellikle duyarlıdır. Yangın öncesi ve sonrasına ait Landsat-8 uydu görüntüleri üzerine uygulanan NBR indeksi sonuçları Şekil 11’de görülmektedir. NBR uygulaması sonucunda yangından etkilenen bölgeler siyah olarak gözükmemektedir. Siyah renk koyulaşması yanma şiddetinin artışı anlamına gelmektedir. NBR uygulanmış yangın sonrası uydu görüntüsü incelendiğinde yanmış alanlar siyah olarak gözükmemektedir. NBR farkı alınarak yangın öncesi ve sonrası görüntüler için değişim analizi yapıldığında ise yanmış bölge ve yangın şiddeti görülebilmektedir. NBR farkı piksel bazında incelendiğinde kimyasal olarak etkilenmiş bölgenin karşılığı 1.221 hektar alan olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu NBR değeri de OGM hasar tespit sonuçları ile tutarlıdır.

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (7)$$

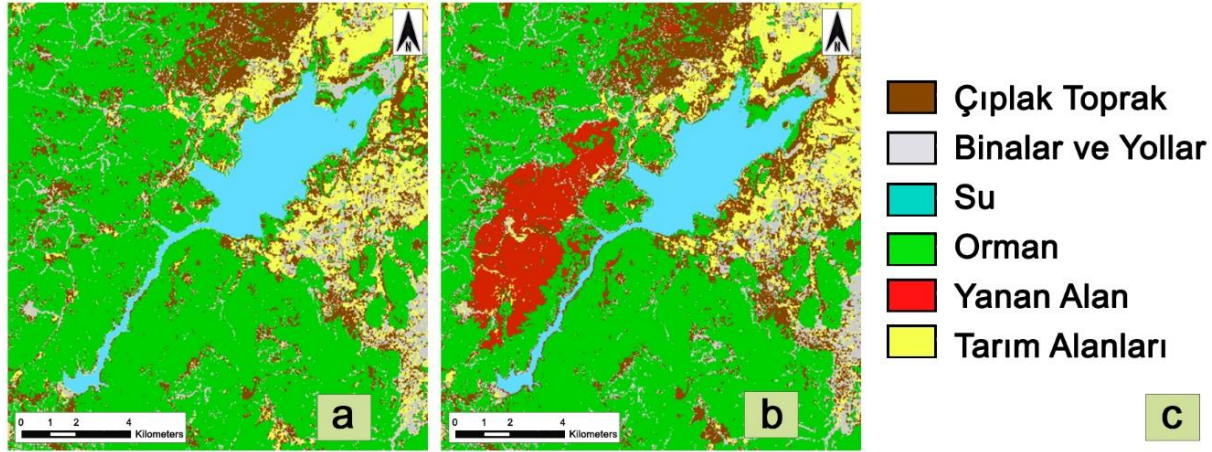


Şekil 11: NBR uygulaması a) yangın öncesi b) yangın sonrası c) fark

4.2.3. Piksel Tabanlı Kontrollü Sınıflandırma

NBR ve NDVI indekslerinin dışında yanmış bir alanın tespiti amacıyla kullanılacak bir diğer yöntem de literatürde sıklıkla kullanılan piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma yöntemidir (Dereli 2019). Maksimum olabilirlik yöntemi, yapılan tüm gözlemlerin arasından en muhtemel olan sonucun seçildiği bir kestirim yöntemidir. Bu yöntemde amaç, gözlenen değerler ile tahmin edilen değişkenin değerleri arasındaki olası maksimum yapılmasıdır (Özdemir vd. 2011). Her bir pikselin tek bir arazi örtüsü sınıfına ataması yapılacak şekilde sınıflandırılması amaçlanmaktadır. Çalışma alanındaki arazi örtüsünün genel olarak belirlenmesi amacıyla arazi örtüsünü temsil eden 6 sınıf seçilmiştir.

Maksimum olabilirlik yöntemi kullanılarak yangın öncesi ve sonrası için uygulanan kontrollü sınıflandırma işlemi ve sınıfları Şekil 12’de, işlemin sonuçları ise Tablo 2’de görülmektedir.



Şekil 12: Piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma a) yangın öncesi b) yangın sonrası c) sınıflar

Tablo 2: Sınıflandırma işlemi sonunda bulunan alanlar

Sınıflar	Alan [ha]
Çıplak Toprak	4143,29
Binalar ve Yollar	2657,52
Su	1336,65
Orman	11804,93
Yanan Alan	1296,34
Tarım Alanları	2509,08

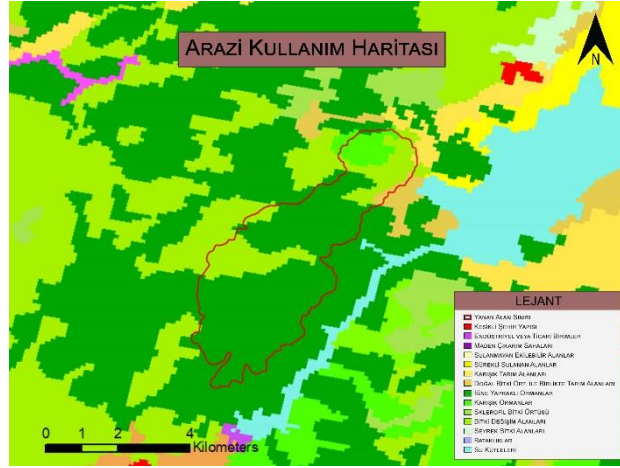
Arazi üzerinden 6 kategori için örnek seçme işleminden sonra maksimum olabilirlik yöntemi kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işlemi tamamlandıktan sonra yanmış alan miktarının tespit edilebilmesi amacıyla raster veri vektör veriye dönüştürülerek alan hesabı yapılmıştır. Yapılan kontrollü sınıflandırma işlemi sonucunda yanmış alan 1.296 hektar alan tespit edilmiştir. Bu değer Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından yapılan hasar tespiti sonucunda açıklanan değerlerden çok az bir miktar fazladır. Kontrollü sınıflandırma işlemi yapılırken seçilen sınıfların birbirine yakın piksel tonlarına sahip olması durumunda hatalı sonuçlar vermesi olasıdır. Yanmış alan ve çıplak toprak sınıfları kontrollü sınıflandırma açısından birbirinden ayırt edilmesi zor sınıflardır. Piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma işleminin kontrolünü sağlamak ve genel doğruluk oranını hesaplamak amacıyla doğruluk analizi yapılmıştır. Yer gerçeği olarak literatürde sıklıkla seçilen sınıflandırılan görüntü yerine, görüntünün alındığı tarihe en yakın Ekim 2017 tarihli Google Earth uydu görüntüsü kullanılmıştır. Görüntü üzerinde sınıfları en iyi temsil eden noktalar seçilmiştir. Örnek olarak, görüntü üzerinden orman ve toprak sınırı gibi belirsiz noktalar değil, tam olarak ormanı ifade eden alandan bir nokta yer gerçeği olarak seçilmiştir. Google Earth uydu görüntüsü üzerine 446 adet referans noktası atılmıştır. Bu noktalar piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma işlemi yaparken oluşturulan sınıflara göre isimlendirilerek Google Earth üzerinde işaretlenmiş ve veri tabanına yer gerçeği bilgileri atanmıştır. Her sınıfı temsil eden yaklaşık 100 ile 50 nokta arasındaki noktada değerlendirme yapılmıştır. Yer gerçeği veri tabanı ArcMap’e aktarılarak kontrollü sınıflandırma işlemi ile örtüştürülmüştür. Yer gerçeği noktaları ve sınıflandırma noktaları hata matrisi oluşturularak tüm doğruluk ve kappa istatistikleri ile değerlendirilmiştir. (Tablo 3). Bu hata matrisi kullanılarak gerçekleştirilen doğruluk analizi sonucunda genel doğruluk oranı %94.6 olarak hesaplanmıştır. Kontrollü sınıflandırma işleminin doğruluğunu tespit etmek amacıyla uygulanabilecek bir diğer yöntem kappa indeksidir. Kappa değeri karşılaştırılan iki görüntü arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. Kappa değeri 0,92 olarak bulunmuştur. Bu değer 1’e oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu değer 1’e yakın çıkması, iki görüntü arasındaki farkın minimum düzeyde olduğunu göstermektedir. Tüm doğruluk ve kappa istatistiği değerlerinin yeterli sonuç vermesi sebebiyle nokta sayısı yeterli görülmüştür. Ayrıca yine bu hata matrisi kullanılarak kullanıcı doğruluğu ve üretici doğruluğu değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler incelendiğinde en belirgin hataların, çıplak toprak sınıfındaki kullanıcı kaynaklı hatalar olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak da, veri grubunun toplandığı uydu görüntüsü ile doğruluk analizinin yapıldığı Google Earth uydu görüntüsü arasındaki zamansal farklılıklar gösterilebilir. Orman sınıfında bulunan alanların zaman içerisindeki değişimleri çıplak toprak sınıfında tespit edilmesine sebep olmuştur.

Tablo 3: Sınıflandırma işlemine ait hata matrisi

	Su	Yanan Alan	Orman	Tarım Alanı	Bina ve Yollar	Çıplak Toprak	Satır Toplamı	Kullanıcı Doğruluğu	Üretici Doğruluğu
Su	23	0	0	0	0	0	23	100%	100%
Yanan Alan	0	149	1	0	0	0	150	99%	98%
Orman	0	1	174	1	0	0	176	99%	96%
Tarım Alanı	0	2	0	25	2	3	32	78%	83%
Bina ve Yollar	0	0	0	2	40	0	42	95%	89%
Çıplak Toprak	0	0	7	2	3	11	23	48%	79%
Sütun Toplamı	23	152	182	30	45	14	446		
Tüm Doğruluk : %94,6									
Kappa : 0,92									

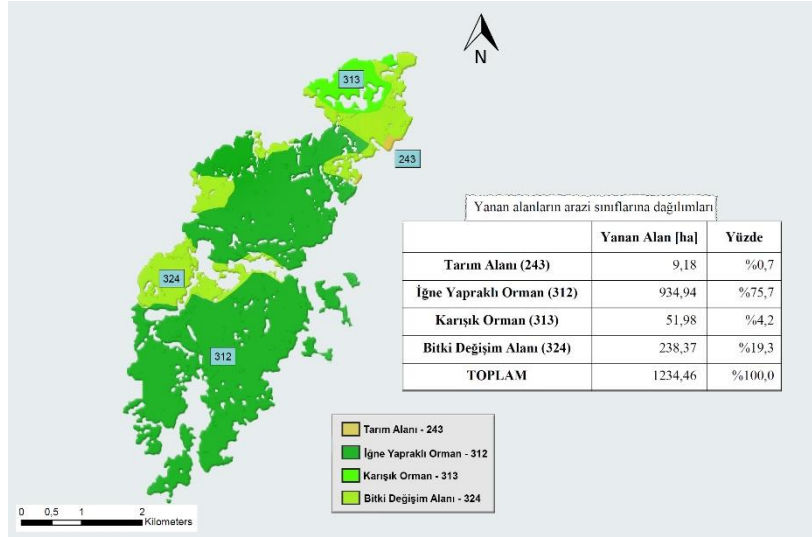
4.2.4. Yangından Etkilenen Arazi Kullanım Sınıflarının Tespiti

Yangından etkilenen arazi kullanım sınıflarının tespitini yapmak ve bu arazi kullanım sınıflarının yangına etkisini araştırmak amacıyla Şekil 13'de görülen arazi kullanım haritası Copernicus Land Monitoring Service (land.copernicus.eu) üzerinden ücretsiz olarak indirilmiştir. Daha sonra raster formattaki bu arazi kullanım haritası Arcmap üzerinde vektör formata çevrilmiştir. Yapılmış olan piksel tabanlı kontrollü sınıflandırmanın yanan alan katmanı esas alınarak yangın bölgesinin sınırları vektörel olarak elde edilmiş ve Copernicus arazi kullanım sınıfları ile örtüştürülmüştür.



Şekil 13: Yangın bölgesine ait arazi kullanım haritası (CORINE 2018)

Bölgede büyük oranda iğne yapraklı ağaçlar bulunmaktadır. Bu ağaçlar normal ağaçlara göre yangınlardan daha fazla zarar görmektedir. Çünkü iğne yapraklı türler odunu ve yapraklarında reçine bulunması sebebiyle kolayca tutuşmaktadır. Bölgede bol miktarda iğne yapraklı orman bulunması yangının gittikçe büyümesine sebep olmuştur. Yangının ilerleme güzergâhı incelendiğinde yangının iğne yapraklı ormanlar üzerinden kolayca ilerlediği ve yayıldığı görülmektedir. Bunun yanında yangının batı yönünde fazla ilerlememesinin sebebi bölgenin batısının kayalık bir araziye sahip olmasıdır. Bölge bitki değişim alanları açısından zengindir. Bitki değişim alanları çalılık, otsu bitkilerin yer yer ağaçlarla beraber dağıldığı alanları ve doğal orman gelişim alanlarını içermektedir. Aynı zamanda yangının gerçekleştiği bölge karışık ormanlar ve sklerofil bitki örtüsü de içermektedir. Yangın bölgesinde ormanların dışında doğal bitki örtüsü içeren tarım alanları ve karışık tarım alanları bulunmaktadır. Bu kadar ormanlık ve tarım alanlarıyla dolu bir bölge olması sebebiyle yangının hızlıca yayılmasına elverişlidir. Bunun üzerine ek olarak arazi koşullarının kötü olması sebebiyle güçleşen müdahale imkânlarından dolayı yangın büyük alanlara yayılmıştır. Sınıflandırma işlemi sonucunda tespit edilen yanmış alanlar ve arazi kullanım haritası Arcmap üzerinde örtüştürülerek, arazi kullanım sınıfının yangından ne kadar etkilendiğine dair alansal hesaplamalar yapılmıştır (Şekil 14).



Şekil 14: Kontrollü sınıflandırma işleminin sonuçları ve arazi kullanım haritasıyla birleştirilmesi

Birleştirme işlemi sonrasında yapılan hesaplamalar sonucunda, yanan alanın %0,7'sinin tarım alanları, %75,7'sinin Akdeniz kuşağında bol miktarda bulunan ve yapısı gereği yanmaya elverişli olan iğne yapraklı ormanlar, %4,2'sinin çeşitli ağaçları içeren karışık ormanlar ve %19,3'ünün arası çalılıklarla kaplı seyrek ağaçların bulunduğu, yeni ormanlaştırılan ya da bozulmuş ağaçlık sahaları temsil eden bitki değişim alanları olduğu tespit edilmiştir. Sınıflandırma sonrası elde edilen yanan alan sınır boyutu ile arazi kullanımı sonucunda elde edilen toplam alan değeri birbiri ile örtüşmemektedir. Temel olarak bunun nedeni sınıflandırma işleminin geniş bir görüntü alanında yapılmasına karşın, yüzdesel olarak yapılan hesaplamaların daha küçük bir alan seçilerek yapılmasıdır. Şekil 12'de görülen yangın bölgesinin dışında da, renk tonlarının benzer olmasından dolayı yanan alan olarak tespit edilen bölgeler bulunmaktadır. Sınıflandırma işleminde yanan alan miktarı, tüm çalışma alanındaki yanan alan bölgelerinin miktarlarının toplamı ile elde edilmiş olması dolayısı ile Şekil 14'te elde edilen yanan alan değeri ile farklılık göstermektedir. Bu nedenden kaynaklı olarak da kontrollü sınıflandırma ile yangından etkilenen arazi kullanım sınıflarının oransal karşılaştırılması sonucu elde edilen toplam alan değerleri farklılık göstermektedir.

6. Sonuçlar

Temel olarak orman yangınlarının çıkma nedenleri doğal ve insan kaynaklı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Orman yangınları insan hayatına büyük zararlar vermektedir. Ağaçlık alanların azalması dünya üzerindeki doğal dengeyi bozmakta, kuraklık ve küresel ısınma gibi hayatımızı derinden etkileyen olaylara neden olmaktadır.

Ülkemizde sıcaklıkların yüksek olduğu Akdeniz ve Ege bölgesinde sık sık orman yangınları yaşanmaktadır. Bu çalışmada 1 Temmuz 2017 tarihinde İzmir'in Menderes ilçesi Deliömerli Mahallesi'nde gerçekleşen, 1.200 hektarlık alanın zarar görmesine neden olan yangın incelenmiştir. Bu inceleme kapsamında Landsat-8 uydu görüntüleri kullanılmıştır. İlk olarak yanmış bölgenin tespit edilmesi amacıyla yer yüzey sıcaklığı analizi yapılmıştır. Landsat-8'in termal bandı kullanılarak hesaplanan çeşitli parametreler sonucunda yangın öncesi ve yangın sonrasına ait yer yüzey sıcaklıkları tespit edilmiştir. Yer yüzey sıcaklığı yangın öncesinde 30°C civarında iken yangın sonrası 45-50°C civarlarına kadar çıktığı görülmüştür. Yangının, bölgenin yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisini daha iyi göstermek amacıyla CORINE arazi kullanım haritası ile yer yüzey sıcaklığı analizleri birleştirilmiştir. Sonuçlar doğrultusunda her arazi kullanım sınıfı için yer yüzey sıcaklığının değişimini gösteren grafikler oluşturulmuştur. Grafikler incelendiğinde yanan alan dışındaki arazi kullanım sınıflarının yüzey sıcaklığında normal olmayan bir artışın gerçekleşmediği görülmüştür.

Yanan bölgenin yer yüzey sıcaklığı tespiti yapıldıktan sonra, yangından etkilenen bölgenin alan hesabı Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ve Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR) indeksleri ve piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma işlemi ile yapılmıştır. NDVI indeksi hesaplanarak değişim saptama analizi yapılmış ve sonuçlarına göre yangında zarar gören alanın 1.235 hektar olduğu hesaplanmıştır. Yangın öncesine ve sonrasına ait Landsat-8 uydu görüntülerine NBR indeksi uygulanmıştır. NBR farkı piksel olarak incelendiğinde yangından etkilenen alan 1.221 hektar hesaplanmıştır. Piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma işlemi 6 sınıf seçilerek gerçekleştirilmiş, sınıflandırma sonucunda yanan alan 1.296 hektar alan olarak tespit edilmiştir. Yapılan doğruluk analizi sonucunda piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma işleminin genel doğruluk oranı %94,6, kappa istatistiği 0,9238 olarak bulunmuştur. Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan hasar tespitinde toplam 1.200 hektarlık alanın hasar gördüğü bildirilmiştir. Orman Genel Müdürlüğü verileri ile hesaplanan veriler karşılaştırıldığında sonuçların tutarlı olduğu gözlemlenmiştir.

Bu kapsamda yapılan başka çalışmalar incelendiğinde, Sabuncu ve Özener (2019) tarafından yapılan çalışmada bulunan sonuçlara bakılırsa, Orman Genel Müdürlüğü'nün (OGM) açıkladığı yanan alan verisinin 700 hektar olmasına karşın yapılan analizler sonucunda yanan alan NBR yöntemi ile 695 hektar, NDVI yöntemi ile 711 hektar, piksel tabanlı kontrollü sınıflandırılma ile 665 hektar alan bulunmuştur. Bu verilerin OGM'nin açıkladığı veriler ile tutarlı olduğu belirtilmiştir. Deliömerli yangını için yapılan bu çalışmada, NDVI, NBR ve Piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma yöntemleri sonucunda bulunan değerler de OGM'nin açıkladığı değerlerle tutarlıdır. Her iki çalışmada da piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma işlemi sonucu, NDVI ve NBR yöntemlerine kıyasla OGM verilerine daha uzak sonuçlar vermiştir. Sabuncu ve Özener (2019) tarafından yapılan çalışmada piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma sonucu bulunan yanan alan miktarı OGM'nin açıkladığı hasar tespiti sonucunda bulunan yanan alan miktarından 35 hektar farklıken, Deliömerli yangını için yapılan bu çalışmada fark 96 hektardır. Bunun sebebi olarak, çalışma alanının daha geniş olmasından dolayı birbirine karışmaya müsait benzer renk tonlarına sahip piksel miktarının artması gösterilebilir.

Deliömerli yangını için yapılan çalışmada kullanılan NDVI, NBR ve kontrollü sınıflandırma yöntemlerinin verdiği sonuçlar karşılaştırıldığında, bütün yöntemler tutarlı sonuçlar verse de NDVI ve NBR sonuçları, kontrollü sınıflandırma sonuçlarına kıyasla, OGM hasar tespit sonucu bildirilen 1.200 hektar alana daha yakındır. Piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma yönteminde, diğer iki yönteme kıyasla kullanıcının etkisi daha fazladır. Sınıf sayısı, sınıfların yansıma oranları benzerliği ve seçilen referans sayısı gibi etkenler ortaya çıkan sonucu doğrudan etkilemektedir. Yapılan çalışmada alan tespitindeki farklılığın sebebi de yine bazı sınıfların yansıma değerlerinin birbirine yakın olmasından kaynaklıdır. Çalışma alanı büyüdükçe farklı sınıf sayısı artış göstereceğinden bu hata da büyüebilmektedir. Çünkü farklı sınıf gurubuna atanması gerekirken küçük alanlar yakın yansıma veren başka bir sınıfa atandığında o sınıfın istatistik değerlendirmesi değişecek ve buda sınıflandırmada hatalara yol açabilecektir. NDVI ve NBR ise, bant oranları dikkate alındığından, bitki örtüsünün fiziksel ve kimyasal değişimleri daha etkin tespit edilmiştir. Yanma olayı bitkinin kimyasal ve fiziksel değişimlere uğramasına sebep olduğundan, bu değişimler üzerinden yapılan analizlerin daha tutarlı sonuçlar verdiği düşünülmektedir.

Vlassova vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada Las Hurdes yangını bölgesinde yer yüzey sıcaklığındaki ortalama artış 13°C olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra yer yer sıcaklık artışının 20°C'ye kadar yükseldiği belirtilmiştir. Deliömerli yangını için yapılan analizler sonucunda ise, ortalama olarak 9°C olan yangın sonrası yer yüzey sıcaklığı artışının bazı konumlarda 18°C'ye kadar çıktığı tespit edilmiştir. Bu iki çalışmanın ortalama sıcaklık artışı değerleri birbiri ile benzerlik göstermektedir. Sarp vd. (2018) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise Yukarıkükür yangını öncesinde bölgedeki en yüksek sıcaklık değeri 37,0°C iken, yangın sonrasında en yüksek sıcaklık 49,8°C olarak tespit edilmiştir. Deliömerli yangını için yapılan çalışmalar sonucunda ise literatür çalışmasına benzer olarak, yangın bölgesinde yangın öncesinde tespit edilen en yüksek sıcaklık değeri 38°C iken yangın sonrasında bu değer 50°C'ye kadar yükseldiği görülmüştür.

Son olarak Deliömerli yangınında yangından hangi arazi kullanım sınıfının ne kadar etkilendiğinin tespiti için örtüşme analizi yapılmıştır. Piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma işlemiyle tespit edilen yanan alanlar ve arazi kullanım haritası Arcmap üzerinde örtüştürülmüştür. Yapılan birleştirme sonucunda yanan alan sınırları içerisinde tarım alanlarının %0,7, iğne yapraklı ormanların %75,7, karışık ormanların %4,2, bitki değişim alanlarının ise %19,3 oranında bulunduğu tespit edilmiştir.

Dünyada sık sık karşımıza çıkan orman yangınları insan hayatını ciddi derecede etkilemekte hatta iklimlerin değişmesinde bile rol oynamaktadır. Yaşanan yangınlara karşı insanlık olarak yapılması gereken orman yangınlarının sebepleri üzerindeki etkimizi mümkün olduğunca azaltmak ve yaşanan yangınlara müdahale yöntemlerimizi gelişen teknoloji ile birlikte geliştirmektir. İnsanlar orman yangınları konusunda bilinçlendirilmeli ve bunun yanı sıra yangında zarar gören bölgeler tekrar ağaçlandırılmaya ve geri kazanılmaya çalışılmalıdır.

Kaynaklar

- Akyürek Ö. (2020), *Termal uzaktan algılama görüntüleri ile yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi: Kocaeli örneği*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(2), 377-390.
- CORINE, (2018), *Web*, <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> [Erişim 10 Ekim 2020].
- Dereli M.A., (2019), *Sentinel-2A uydu görüntüleri ile Giresun il merkezi için kısa dönem arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(2), 361-368.
- Erener A., Sarp G., (2017), *Forest fire monitoring by using satellite images and information technology*, ISFOR 2017 International Symposium on New Horizons in Forestry, 18-20 October. ISBN: 978-605-9454-17-9, pp: 142
- Gürkan A., Salıcı A., Yıldırım K., Yıldırım M., (2016), *Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla Mustafa Kemal Üniversitesi Tayfur Ata Sökmen yerleşkesinin alan kullanım/razi örtülülüğünün belirlenmesi*, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 13(02), 144-150.
- Mercan Ç., (2020), *Yer yüzeyinin sıcaklığının termal uzaktan algılama görüntüleri ile araştırılması: Muş ili örneği*, Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi, 2(2), 42-49.
- Orhan O., Dadaser-Celik F., Ekerin S., (2019), *Investigating land surface temperature changes using Landsat-5 data and real-time infrared thermometer measurements at Konya closed basin in Turkey*, International Journal of Engineering and Geosciences, 4(1), 16-27.
- Özdemir A.K., Tolun S., Demirci E., (2011), *Endeks getirisi yönünün ikili sınıflandırma yöntemiyle tahmin edilmesi: İMKB-100 endeksi örneği*, Niğde Üniversitesi, İBBF Dergisi, 4(2), 45-59.

- Polat N., (2020), *Mardin ilinde uzun yıllar yer yüzey sıcaklığı değişiminin incelenmesi*, Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi, 2(1), 10-15.
- Sabuncu A., Özener H., (2019), *Uzaktan algılama teknikleri ile yanmış alanların tespiti: İzmir Seferihisar orman yangını örneği*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(2), 317-326.
- Sarp G., Temurçin K., Aldırmaz Y., Baydoğan E., (2018), *Spatial analysis of forest fires using remote sensing technologies; a case of 2017 Mersin-Anamur forest fire*, Innovation and Global Issues Congress IV, Antalya.
- Taşdelen Ö., (2019), *Yer yüzey sıcaklık haritalarının yerel ve ülke ölçeğinde zamansal ve mekânsal olarak uzaktan algılama ile tespiti*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Taşdelen Ö., Erener A., (2019), *Spatio-temporal determination of Land Surface Temperature (LST) by using remote sensing technologies*, 4. International Conference on Civil Environmental, Geology and Mining Engineering (ICOCCEM), 20-22 April, Trabzon, ss.1170-1176.
- Tekeli A.E., Sönmez İ., Erdi E., Arslan M., Çukurçayır M.L., Demir F., (2007), *Orman yangınlarının uzaktan algılama teknikleri ile tespit çalışmaları*, TMMOB Afet Sempozyumu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 5-7 Aralık, Ankara.
- Yavuz M., Sağlam B., (2011), *Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin orman yangınlarında kullanılması*, 1. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, KSÜ Mühendislik Bil. Der., Özel Sayı, 2012, 235-242.
- Yıldız A., Bağcı M., Başaran C., Çonkar F.E., Ayday C., (2017), *Landsat-8 uydu verilerinin jeotermal saha araştırmalarında kullanılması: Gazlıgöl (Afyonkarahisar) çalışması*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(4), 277-284.
- Vlassova L., Perez-Cabello F., Mimbrero M., Rodrigues L., Raquel M., Garcia-Martín A., (2014), *Analysis of the relationship between land surface temperature and wildfire severity in a series of landsat images*, Remote Sensing, ISSN 2072-4292.
- Quintano C., Fernandez-Manso A., Calvo L., Marcos E., Valbuena M.L., (2014), *Land surface temperature as potential indicator of burn severity in forest mediterranean ecosystems*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 36, 1-12.
- Zhang Y., (2002), *Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite as well as Landsat 7 images and initial solutions*, International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(4), 587-592.

Türkiye Perspektifinde Yeşil Mutabakat ve Karbon Ayak İzi: Tehdit Mi? Fırsat Mı?

Merve Ersoy Mirici^{1,*}, Süha Berberoğlu²

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 16310, Bursa.

²Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 01310, Adana.

Özet

Küresel ölçekte ekonomik büyüme gerçeği ile ekolojik özümseme kapasitesi arasındaki ilişkiyi ve anlaşmazlığı afetler ve küresel iklim değişikliği ile görmek mümkündür. Ekonominin ekolojik yasalardan muaf tutulması metabolik bir çatlak olarak nitelendirilirken küresel iklim değişikliğini azaltma stratejilerinin ağır-aksak ilerlemesi ve ülkelerin politik bakış açılarının değişkenliği nedeni ile daha hızlı aksiyon alınması için yeşil arayışlar öncelikli gündemdedir. Yeşil arayışlar yalnızca kentsel ve kırsal peyzajlar için değil artık ekonomik dönüşümünde güçlü bir silah haline gelmiştir. Paris Anlaşması'nın bir uzantısı olarak Yeşil Mutabakat, Avrupa Birliği (AB)'nin çevre kaygılarını tüm politika alanlarına yaygınlaştırmayı hedeflediği güçlü bir çaba ve söylem olarak öne çıkmıştır. Bu söylemin altyapısında ise karbon ayak izi bulunmaktadır. Karbon ayak izi, kişinin, kurumun, ürünün veya endüstriyel bir tesisin doğaya saldırdığı sera gazı miktarıdır. Bu çalışmada Türkiye gerçeğinde Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın yeri ve konumu irdelenerek mutabakatın altyapısını oluşturan karbon ayak izinin arka planı ortaya koyulmuştur. Bu kapsamda çalışmada karbon ayak izinin hesaplanması konusundaki karışıklıklar sadeleştirilmiştir. Ek olarak, Türkiye'de iklim değişikliği ile mücadele kapsamında yeni ve güncel bakış açılarının geliştirilmesi için AB ülkelerinde yeşil arayışlar olarak öne çıkan mutabakat, pakt ve yeşil alanlar ilişkisi ortaya koyulmuştur. Endüstrinin yeni yeşil devrimi olarak nitelendirilen Avrupa Yeşil Mutabakatı, Türkiye ekonomisi açısından ilk bakışta tehdit gibi görünmesine rağmen ekosistem kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından umut verici bir fırsat olarak değerlendirilebilir.

Anahtar Sözcükler

Yeşil Mutabakat, Karbon Ayak İzi, İklim Paktı, Yeşil Alanlar, İklim Krizi

The Green Deal and Carbon Footprint from Turkey's Perspective: Is It a Threat? Is It an Opportunity?

Abstract

The relationship between economic growth on a global scale and absorption capacity of ecological capacity is possible to be seen in disaster and global climate change. The exemption of economy from ecological laws is a metabolic crack. Therefore, green quest remains relevant because country policies are changeable and global climate change mitigation strategies inch along. The green quest became a powerful weapon not only in the urban and rural landscape but also in economic transformation. The Green Deal as an extension of the Paris Agreement which came to the forefront as an anchor and discourse that aims at dissemination to all political areas of European Union's (EU) environmental concern. The infrastructure of this discourse is the carbon footprint. The carbon footprint is a measure of the exclusive total amount of carbon dioxide emissions that are directly and indirectly caused by an activity or product. In this study, the place and position of the European Green Consensus in the reality of Turkey has been examined and the background of the carbon footprint, which constitutes the infrastructure of the Green Deal has been revealed. Confusions about carbon footprint calculating have been simplified and a holistic perspective. In this context, the relationship between consensus, pact and green areas, which stand out as green pursuits in EU countries, has been revealed in order to develop new and current perspectives within the scope of combating climate change in Turkey. The European Green Deal which is called the new green revolution can be assessed as a promising opportunity with regards to sustainable ecosystem resources and climate justice for next-generation although it seems like a threat at first glance for the Turkish economy.

Keywords

Green Deal, Carbon Footprint, Climate Pact, Green Areas, Climate Crisis

1. Giriş

Küresel iklim değişimi ile daha görünür hale gelen ekolojik kriz ekolojiden ekonomiye, ekonomiden siyasete birçok yeşil söylemi ve politika araçlarını gündeme getirmiş ve getirecektir. Bir aktivizm olarak öne çıkan çevrecilik ve yeşil hareket günümüzde Avrupa Birliği (AB) tarafından çok ciddi yaptırım aracına dönüşmüş durumdadır. Bu araç, feragat edilemeyen ekonomik büyümenin alternatif bir yaşam biçimi ve yeni toplumsal düzenin var olabileceği yeni normalin arayışıdır.

Yeni arayışlar içinse yeşil fikri her zaman umut verici olandır. Yeşil fikri, yeşil düşüncenin tezahürüdür ve yeşil düşüncenin çıkış noktası doğaya olan/olması gereken saygıdır. Yeşil Mutabakat öncülüğünü yapan Avrupa, buna paralel bir şekilde yeşil düşüncenin de birincil kaynağını oluşturan kıtadır. Nitekim 18. yüzyıl bilimsel bilginin indirgemeci ve kategorize edici bir nitelik kazanması ile doğanın sistematik biçimde incelenmeye başladığı dönemdir. Avrupa’da doğa üzerine bilimsel ve sistematik çalışmalar Kuzey Amerika’da gelişen bir hareket olarak doğa korumacılığa doğru evrilmiştir.

Tarım rekoltesinin artırılması için sentetik kimyasalların ortaya çıkması ve bu sürecin çok ironik bir şekilde yeşil devrim olarak nitelendirilmesi yeşil adı altında servis edilen tüm çevresel girişimlerin içi boş veya kötü bir sürecin üzerini örtmek olarak algılanmasına yol açsa da 1960 dönemleri ve sonrasında yeşil düşünce akımı farklı isimler ile popülerliğini korumuştur. Çünkü yeşil düşünce içinde geliştirilen kavramlar ekolojik krizin oluşturduğu tehdit ve sorunların anlaşılma ve yorumlanma ihtiyacının ürünüdür. Yeşil düşüncelerin özgül eksenini oluşturan kavramların ortak yanı ise ekolojinin bütüncüllüğü ve doğa/peyzajın sorunsuz bir şekilde çalışması üzerine yoğunlaşmıştır (İmga ve Olgun 2017).

Bu çalışmada güncel olarak ülke ve küresel ekonomileri derinden etkilemesi öngörülen Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM)’nın içeriği, hedefleri ve politika araçları incelenmiş ve mevcut durum ortaya koyulmuştur. Buna ek olarak küresel iklim değişikliğine ait çevresel krizin yalnızca ekonomi veya ekolojik mücadele ile çözülemeyeceği açıktır. Dolayısı ile bütüncül bir bakış açısı ile ekonomiden mekâna yeşil çözüm arayışlarının ortak noktasının karbon yönetiminden geçtiğini ifade etmek mümkündür. Antropojen etki ile atmosfere salınan her birim karbon emisyonunun doğal peyzajlar tarafından negatif emisyon olarak emilmesi bu bütüncül sistemin önemli bir dengede var olma halini ortaya koymaktadır. Pozitif emisyon atmosfere karbon ve karbon eşdeğeri emisyonları oluşturan kaynakları temsil ederken, okyanus ve karasal ekosistemler karbon yutakları olarak işlev görerek karbon depolama ve tutulum sağlayarak negatif emisyonları oluşturmaktadır. Bu nedenle ekonomi ve ekoloji bağlamında ortak bir dil birliği sağlayan karbon küresel iklim değişikliğinin de en büyük belirleyicisidir.

2. Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM)

Mutabakat kelime anlamıyla belli bir konuda taraflar arasındaki uyum, anlaşma veya uzlaşmadır (TDK 2021). Dolayısı ile bu uzlaşma halinin doğa ve insan arasında olması mı? Yoksa endüstri sektörünün iklim nötr durumuna geçişi için kabul alanını genişlemesini mi? olduğu belirsizdir. Ancak temel çıkış noktası mutlak bir biçimde küresel iklim değişikliği etkisinin azaltılmasına hizmet etmektedir. AB stratejilerine göre mutabakatın en büyük söylemi Dünya’da ilk iklim-nötr kıta olma hedefidir. Bazı çalışmalarda iklim-nötr hedefi karbon-nötr hedefi olarak geçmekle birlikte sera gazı emisyonuna neden olan bireysel, kurumsal ve ülkesel boyutta dekarbonizasyon sürecine geçmesini temsil etmektedir. İklim değişikliğine bağlı ve çevresel bozulumların artışı ekosistem kayıplarını meydana getirmektedir.

Bu doğrultuda AB, ülkeleri ve vatandaşları için acil bir krizi fırsata çevirmek yaklaşımı ile “Avrupa Yeşil Mutabakat (A European Green Deal)” çerçevesini oluşturmuştur. Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM), 2050 yılına kadar Avrupa Birliği ülkelerinin net sera gazı emisyonlarının olmadığı, kaynak açısından verimli ve rekabetçi bir ekonomiye sahip adil bir topluma dönüştürmeyi hedefleyen yeni bir büyüme stratejisidir (European Commission 2019). Mutabakat, geçmişte Kyoto Protokolünü güncel konjonktürde ise Paris Anlaşması’nın destekleyicisi olarak yeşil ekonomik düzen üzerine doğmuş yeni bir girişimdir. Güncel durumda çok düşük bir hızda, yaygın ve ağır-aksak bir ilerleme ile gerçekleşen dönüşümün hızlandırılması mutabakatın oluşturulmasındaki en önemli unsurlardan biridir.

Bu girişim, içerisinde ‘yeşil’i barındırdığı için salt bir çevre stratejisi değil, Yeldan vd. (2020)’nın ifade ettiği gibi yeni uluslararası ticaret sistemi ve küresel iklim değişikliğine etki eden sektörlerin revize edilebilmesi için bir yaptırım argümanıdır. AYM bazı kaynaklarda “AB Yeni Yeşil Düzeni” olarak ele alınmaktadır. Dolayısı ile bütüncül ve sistemleri yeniden organize etmek hedefine dayanmaktadır. Bu düzen değişimi ise büyük ölçüde endüstri ve ticaret alanlarında etkin bir güç olarak öne çıkmaktadır. Mutabakat, gelecek nesil ticaret sistemi kurallarının yeniden yazılması ve yeni nesil büyüme stratejisi olarak kabul edilir ve bir nevi yeni nesil sanayi devrimi olarak nitelendirilmektedir.

AB dışında diğer ülkelerin AYM gibi yaptırımları olmadığına üretimin, emisyon azaltım hedefini AB’den daha az önemseyen diğer ülkelere kayması veya AB ürünlerinin yerini daha fazla karbon yoğun ithalat ürünlerinin alması nedeniyle dünya genelinde karbon kaçağı (carbon leakage) riski göz önünde bulundurulmaktadır. Bu risk gerçeğe dönüştüğünde ise küresel hedeflerde bir azalma olmayacak ve mutabakata uyum sağlamak için gerçekleştirilen yatırımlar ve yaptırımlar boşa çıkacaktır. Azaltım çabaları Avrupa’da önemli bir stres oluşturacağından diğer ülkelerinde mutabakata katılmaları ve tutarlı olmaları büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle Türkiye’nin de bu süreçte etkin dönüşüm gerçekleştirilmesi hem ithalat pazarında kayıp yaşamaması hem de küresel iklim değişikliğine katkısı açısından mutlaka uygulanması gereken bir geçiş olarak Türkiye ekonomisinin de gündeminde.

AYM, kısa ve uzun vadeli olmak üzere iki temel hedefe sahiptir. Kısa vadeli hedef 2030 yılına kadar sera gazı azaltımlarını 1990 yılına kıyasla %55 oranında azaltmak iken, uzun vadeli hedefi 2050 yılına kadar net sera gazı emisyonlarının sıfıra indirilmesi olarak belirlenmiştir. Mutabakatın en büyük ve çarpıcı söylemi ise 2050 yılına kadar iklim nötr kıta olma hedefidir. AB, mutabakatı geçiş sürecinde dört temel bileşen ile desteklemektedir; (i) finansal destek sağlamak, (ii) yeni hedefler belirlemek, (iii) hiçbir ülkeyi geride bırakmamak ve (iv) uyum kapasitesinin arttırılması.

Bu bileşenleri ise bakanlık, yerel yönetimler, endüstri tesisleri ve sivil toplum kuruluşları ile işbirliği içerisinde sosyal paydaşlar ile diyalog halinde, ulusal reformlar, yatırım ve gerekli düzenleme ve standardizasyon ile denetlemeyi hedeflemektedir. AYM sıklıkla yalnızca endüstri sektörü ile anılsa da stratejilerin oluşturulmasında sekiz farklı aksiyon/eylem alanı bulunmaktadır. Bunlar; (i) iklim, (ii) çevre, (iii) enerji, (iv) ulaşım, (v) tarım, (vi) finans ve bölgesel gelişme, (vii) endüstri ve (viii) araştırma ve inovasyon aksiyonlarıdır. Mutabakata ilişkin sekiz aksiyon alanı için 2030 hedefleri oluşturulmuş durumdadır (Tablo1).

Tablo 1’de gösterilen çevre eylem planı hedefleri ise (i) temiz hava, su, sağlıklı toprak ve biyoçeşitlilik, (ii) yenilenmiş enerji etkin binalar, (iii) sağlıklı ve makul fiyatlı gıda, (iv) toplu taşıma, (v) temiz enerji, inovasyon, (vi) tamir edilebilir uzun ömürlü ürünleri geri dönüşüm ve yeniden kullanım, (vii) geçiş için geleceğe yönelik uzmanlık ve becerilerin geliştirilmesi ve (viii) küresel rekabet ve dirençli endüstri sistemlerinin oluşturulabilmesi olarak belirlenmiştir.

Tablo 1: Avrupa yeşil mutabakat aksiyon alanları

Aksiyon/Eylem alanları	Alt aksiyon/eylem
İklim	Avrupa iklim yasası Avrupa iklim paktı Uyum stratejileri İklim diplomasisi
Çevre	Orman stratejileri Biyoeçeşitlilik stratejileri Sıfır kirlilik eylem planı Döngüsel ekonomi eylem planı Atık ve geri dönüşüm Sürdürülebilirlik için kimyasal stratejiler Sürdürülebilir bataryalar Organik eylem planı Tarladan çatala stratejileri Çevre eylem planı (8) Su ürünleri politikaları Mavi ekonomi stratejileri
Enerji	Enerji sistem entegrasyon stratejileri Renovasyon dalgası Hidrojen stratejileri Metan stratejileri Açık deniz yenilenebilir enerji stratejileri Enerji için Avrupa ötesi ağlar
Ulaşım	Sürdürülebilir ve akıllı ulaşım stratejileri Avrupa tren bağlantısı
Tarım	Ortak tarım politika reformu Ortak tarım strateji planları Organik tarım eylem planı AB tarımsal gıda (agri-food) politikaları Çiftlik hayvanlarının sağlığı Pestisitlerin sürdürülebilir kullanımı Yiyecek etiketleme
Finans ve bölgesel gelişme	Yeni nesil AB Yeni nesil AB yeşil tahviller İyileştirme ve dirençlilik olanağı Sürdürülebilir finans Adil geçiş mekanizması
Endüstri	Endüstriyel stratejiler Avrupa batarya ittifakı Avrupa temiz hidrojen ittifakı Avrupa ham madde ittifakı Döngüsel plastik ittifakı
Araştırma ve inovasyon	Horizon Avrupa Projeleri

3. Türkiye Perspektifi ve Etkileri

AB ekonomik büyüme stratejilerini yeniden gözden geçirerek doğal sermayesini koruyup geliştirirken, vatandaşlarının sağlık ve refahını göz ardı etmeyerek çevresel risklerden korumayı hedeflemektedir (Abiral vd. 2020). Avrupa’nın bu konuda öncü olması sürekli olarak vurgulanır. Ancak bu mutabakatın yalnızca Avrupa tarafından uygulanması küresel çevre sorunları için çözüm olmadığı için yaygın etkinin artırılması hedeflenir.

Bu doğrultuda AB öncülüğünde benzer düşüncedeki ittifaklara ihtiyaç duyar. Bu ittifakın gerçekleşmesi için temel gerekçe karbon kaçağı (carbon leakage) olasılıklarının en aza indirilmesidir. Nitekim yerel düzeyde karbon kaçağına neden olan her üretim küresel atmosferi etkileyerek gerek protokol ve anlaşmaları gerekse de yeşil mutabakatın hedeflerine ulaşmasını engellemektedir. Bu engeli ortadan kaldırmak için mutabakatın önemli bileşenlerinden birisi geride kimsenin bırakılmamasıdır. Geride hiçbir ülkenin kalmaması pozitif yönde küresel bir dönüşüm fikrini desteklerken, gelişmekte olan ve gelişmemiş ülkeler içinse ciddi bir endişe oluşturmaktadır.

Bu endişe yönetsel boyutta “Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (Carbon Border Adjustment Mechanism)” ile kendini göstermektedir. Sınırdaki karbon düzenlemesi küresel ölçekte dekarbonizasyon sürecinin aktifleşebilmesi için umut verici bir yapı sergilerken endüstrisini dönüştürmede ekonomik ve teknolojik olanakları olmayan ülkeler içinse tehdit algısı oluşturmaktadır. Şüphesiz ülkelerin tehdit algısı dolaylıdır. Ve aslında sınırdaki karbon düzenleme mekanizmasının doğrudan etkilediği ekonomik ticaret alanı AB ülkelerinin ithal ettiği ürünlerdir. Dolayısı ile AB’nin ithal ettiği her ürün ve ürünü ihraç eden her ülke dolaylı olarak sınırdaki karbon düzenleme mekanizmasından etkilenmektedir. İthalat vergileri kapsamında tüm ürünlere karbon vergisinin eklenmesi söz konusudur. 2020 yılı itibarı ile Türkiye, AB ile 69 milyar dolar ile %41.3 oranında ihracat hacmine sahiptir (Ticaret Bakanlığı 2021). Bu doğrultuda Türkiye’nin sınırdaki karbon düzenleme mekanizmasından dolaylı olarak etki göreceği tahmin edilmektedir (Yeldan vd. 2020). Yeşil Mutabakat Eylem Planı (2021)’na göre Gümrük Birliği kapsamında AB tek pazar üzerinde dönüştürücü etkilere sahip olacak ve yürürlüğe giren mutabakatın hem AB aday ülkeleri hem de Gümrük Birliği ortağı olarak Türkiye üzerinde etkileri kaçınılmaz olarak ön görülmektedir. Dolayısı ile ekonomisi ve endüstrisini karbonsuzlaştırma hedefi ile AB ülkeleri, ihracat pazarlarını karbonsuz teknoloji sağlayan ülkelere kaydıracaktır. Dolayısı ile Türkiye’de olası ihracat kayıplarının önlenmesi için Türkiye ihracat pazarının dekarbonizasyon süreci kaçınılmazdır.

AB 2023 yılında, sınırdaki karbon düzenleme mekanizmasının aktifleştireceğini ve işler hale gelebilmesi için üç yıllık geçiş dönemi olacağını duyurmuştur. Geçiş dönemi bittiğinde ise sınırdaki karbon düzenlemesi ülkeler için işler hale geldiğinde Türkiye ihracatı için karbon maliyeti Aşıcı vd. (2020) tarafından modellenmiştir. Buna göre Avrupa Birliği pazarına yapılan ihracat için ton başına CO₂e (eşdeğer) emisyon ödenmesi durumunda yalnızca çimento sektörü için 170 milyon Euro maliyet oluşturacağı ön görülmüştür. Model sonuçlarına göre yalnızca çimento değil aynı zamanda, kapsam 1 ve kapsam 2 çerçevelerine göre değişken olarak elektrik, otomotiv, demir-çelik, makine, tekstil ve tarım sektörlerinde ihracat için ciddi bir karbon vergisi ödenmesi gerekeceği ifade edilmektedir.

AB uyum politikaları kapsamında çevresel yaptırımlardan çıkarak ekonomik yaptırımlara dönüşen AYM, öncelikli olarak demir, çelik, alüminyum, çimento, plastik, kimyasal ve tarım sektörleri için ihraç edilen ürünlerin ve bu ürünlerin üretimi sırasında karbonsuzlaştırmayı sağlaması için sektörlerin üretim sistemlerini dönüştürmek zorunda kalacaktır (Uçak ve Vili 2021). Dolayısı ile üretim süreçleri karbonsuzlaşmadan önce ürünlerin ve bu ürünleri oluştururken açığa çıkan karbon ayak izinin belirlenmesi ve raporlanması gerekmektedir. Teknolojide inovasyon öncesi mevcut emisyonların belirlenebilmesi için karbon ayak izi hesaplama yöntem ve kapsamlarının yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır.

4. Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izinin arka planında sürdürülebilirlik ve ekolojik kaygı bulunmaktadır. Sürdürülebilirlik, ekonomik ilerleme ve Dünya’nın ekolojik kapasitesi arasında bir denge bulma arayışı olarak ifade edilebilir. Bu denge arayışı yeryüzünün en karmaşık sistemi olan insan kültürü ve yaşayan Dünya arasındaki yıkıcı ilişkinin istikrara kavuşması ile ilgilidir (Hawken vd. 2010). Nitekim Franchetti ve Apul (2013)’ün belirttiği gibi “ölçemezsen, yönetemezsin” ilkesi artık yalnızca endüstriyel üretimler için değil, ekosistem içinde geçerli hale gelmiştir. Dolayısı ile ekolojik krize neden olan emisyonların yönetilebilmesi için ölçülmesi sürdürülebilirlik arayışında istikrarın sağlanması için bir ön koşuldur. İnsan kültürü (özellikle endüstri) ve ekosistem arasındaki ortak dilin karbon olduğu göz önüne alındığında bu belirleyicinin ölçülmesi ve karmaşık sistemler arasında denge kurulmasında önemli bir belirleyicidir.

Karbon ayak izi, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca veya bir eylemin doğrudan veya dolaylı olarak neden olduğu sera gazı emisyonlarının karbondioksit eşdeğer ölçüsüdür (Wiedmann ve Minx 2008). Karbon ayak izi ifadesi “sera gazı envanteri” ile eş anlamlıdır (Franchetti ve Apul 2013). Sera gazı (Greenhouse Gas-GHG), atmosfer tabakasında ısıyı emen ve yeniden yayan ve böylece atmosferi olması gerekenden daha sıcak tutan gazlardır. Başlıca sera gazları atmosferdeki su buharı, karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazot monoksit (N₂O), hidroflorür karbon (HFCs), perfloro karbon (PFCs), sülfür hekzaflorid (SF₆), azot triflorür (NF₃) gazlarıdır. 2013 yılına kadar altı sera gazı bulunurken, 2013 yılı sonrasında Kyoto protokolü komitesi görüşleri doğrultusunda NF₃’te sera gazları listesine girmiştir. Her sera gazının atmosferde bulunma süresi ve küresel ısınmaya olan etkisi birbirinden farklıdır (Brander ve Davis 2012).

Etki güçlerinin anlaşılabilmesi için CO₂ birimi cinsinden dönüşüm ile diğer sera gazlarının CO₂ eşdeğeri etkilerinden bahsetmek mümkündür. Küresel ısınmayı tetikleyen sera gazları yalnızca karbon emisyonu olmamakla birlikte karbon atomu, kimyasal özellikleri yüksek bağ kurma kapasitesi nedeniyle sera gazı bileşiklerinin temelini oluşturur ve bu nedenle birçok söylemde karbondioksit (CO₂) emisyonu olarak dile getirilmektedir.

Karbondioksit (CO₂), karbon içeren besin maddelerinin metabolize edilmesi sonucu açığa çıkan bir son üründür. Atmosfer homeostatik yapıdadır ve yaklaşık %0.03 gibi küçük bir oranda CO₂ içerir (Odum ve Barrett 2016). Buna rağmen küresel ısınma da etkisi çok büyük bir gazdır. Antropojen etkiyle açığa çıkan en yaygın sera gazıdır.

Mars gezegenin atmosferi yaklaşık olarak %96 oranında CO₂ gazından oluşurken, Dünya’da bu oran yalnızca %0.03’tür. CO₂, ekosistemin karbon döngüsünün bir parçası olarak atmosferde bulunur. Ancak artan nüfusun enerji ve üretim gereksinimlerinin karşılanması amacıyla karbon içeren fosil yakıtların yakılması sonucu atmosfere salınan CO₂ emisyonu ciddi düzeyde artış göstermiştir. Atmosfer yapısında bu denli az miktarda bulunmasına rağmen sera gazlarının %80’ini oluşturan CO₂’nin başlıca temel kaynakları enerji, ulaşım, elektrik üretimi ve orman yangınlarıdır. Sera gazı envanteri yerine kullanılan karbon kelimesi, insanların eylemlerinden yayılan baskın bir sera gazı olduğu için kullanılmaktadır. Bunun temel nedeni yanma işlemidir. Yanma kullanılarak yapılan tüm enerji üretimlerinde CO₂ açığa çıkmaktadır. Dolayısı ile endüstriyel ve enerji arzı sunan her süreçte yanma işlemi gerçekleşmektedir. Bu durumda ise artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için endüstri ve enerji gereksinimleri sürekli artmaktadır. Sürekli artan bu döngüde üretim sistemleri karbonsuzlaşmadığı sürece endüstriyel kirlilik ve atmosferde biriken sera gazları ve küresel iklim krizi aşılamaz bir boyuta ulaşacaktır. Nitekim endüstri 1.0’dan endüstri 4.0 geçtiğimiz süreç boyunca yani endüstri öncesi döneme kıyasla karasal ekosistem 1.2°C, okyanuslar ise 0.8°C daha sıcak bir iklimle karşı karşıyadır. Atmosferik sera gazı bileşimlerinin %80’inden sorumlu olan endüstri ve enerji sektörleri dönüşmediği sürece küresel ısınma etkileri artacaktır. Sektörlerin dönüşümleri içinse öncelikli süreç karbon ayak izinin belirlenmesi ve iyileştirme süreçlerinin gerçekleştirilmesidir. Nitekim AB tarafından ülkelere sağlanması öngörülen fon desteği için ön koşul karbon ayak izinin belgelendirilmesine dayanmaktadır. Bu çalışma karbon ayak izinin hesaplanması konusundaki karışıklıkların sadeleştirilmesi ve sektörlerinin yararlanabileceği yöntemlerin ortaya koyulmasını kapsamaktadır.

5. Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri

Ayak izi metaforu, bir canlının ağırlığına ve ayaklarının boyutuna göre yere yaptığı baskı sonucu derinliği değişen ayak izi metaforunun arka planını oluşturmaktadır (Akıllı vd. 2008). Çevresel ayak izleri tüm ekosistemin sınırları ile ilişkili olup, ekosistemin eşik değerlerindeki değişimler dikkate alınmazsa, doğal çevrenin biyo-fiziksel süreçlerinde tolere edilemeyen değişimleri meydana getirebilmektedir. Bu nedenle ekolojik sistemin değerlendirilmesinde ayak izi yaklaşımı vazgeçilmez bir indikatör olarak kullanılır (Hoekstra ve Wiedmann 2014). Ayak izi yaklaşımını oluşturan; (i) çevresel ayak izi, (ii) sosyal ayak izi, (iii) ekonomik ayak izi, (iv) çevre, sosyal ekolojik ayak izi ve (v) kompozit ayak izi olmak üzere temel olarak beş alt kategori bulunmaktadır (Mızık ve Yiğit Avdan 2020). Karbon ayak izi çevresel ayak izi kategorisinde değerlendirilen ve küresel iklim değişikliği ile mücadele konusunda en öne çıkan önceliklerden biridir. Karbon ayak izi için dünyada tek bir standart bulunmamakla birlikte birey, ürün, kurum/tesis ve ülke boyutunda olmak üzere farklı ölçeklerde karbon ayak izi hesaplamaları gerçekleştirilmektedir. Karbon ayak izinin analizi sera gazı yayma süreçleri, kökenleri, oluşumu ve miktarının ölçülmesidir. Sıklıkla karbon ayak izi bir kişinin veya bir kuruluşun faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının belirlenmesi için kullanılır. Ancak kökeni ürün ve eylemlere dayanır (Franchetti ve Apul 2013). Dolayısı ile kişisel karbon ayak izinin yanı sıra ürün, kurum ve kuruluşların neden olduğu hizmetlerin ve ulusal ölçekte karbon ayak izleri de belirlenebilmektedir. Bu ölçeklere ilişkin karbon ayak izi çalışmalarının arka planı ve karbon ayak izi hesaplama yöntemleri Şekil 1’de gösterilmiştir.

Karbon ayak izinin hesaplanması sürecinde farklı ölçeklere göre çeşitli standartlar ve araçlar bulunmaktadır. Bu araçlar ilgili eylemlerin aktivitelerinden kaynaklanan sera gazı envanterinin tahmin edilmesini kapsamaktadır. Karbon ayak izi hesaplamaları eylem veya ürün temelli olsa da hepsinin temeli IPCC ve Sera Gazı Protokolüne dayanmaktadır (IPCC 2007). 1996 yılında IPCC Ulusal Sera Gazı Envanteri Kılavuzu ve IPCC kılavuzuna dayanan Kurumsal Sera gazı standartları 2001 yılında Sera Gazı Protokol Girişimi ile yayınlanmıştır. Sera gazı veya karbon ayak izi hesaplama araçları farklı da olsa temelleri aynıdır. Farklılıklar ise işletme ve sürece özgü detaylandırma boyutundan kaynaklanmaktadır.

Birey	Ürün	Kurum	Ülke
- Toplu taşıma - Uçak seyahatlerinin azaltılması - Hayvansal ürünlerin tüketiminin azaltılması - Gıdayı mevsiminde tüketmek - Atık yönetimi (azalt, yeniden kulan, dönüştür) - Organik atıkların geri dönüşümü - Konut enerji kullanımını azaltmak - Konutlarda termostan kullanımı arttırmak ısıtma ve soğutmayı %7-15 oranında azaltmak - Enerji tasarruflulu beyaz eşya kullanımı - Su kullanımını azaltmak - Yağmur hasatı - Kurakçıl peyzaj ve bahçe kullanımı arttırmak	- Ürünler için yaşam döngüsü analizinin yapılması - Life Cycle Assessment (LCA) - Ürünlerin Karbon Ayak izi ISO 14067:2018	- Kurumsal karbon ayak izinin hesaplanması - Endüstriyel tesislerin sera gazı emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması sürecini başlatmaları - Mevcut durumun ortaya konulması ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na başvurulması - Sera gazı izleme ve raporlama ISO 14064	- Paris İklim Anlaşması’nın onaylanması - Ülkesel yükümlülükleri yerine getirme - Yeşil mutabakat - AB iklim stratejilerinin Türkiye’ye adaptasyonu - UNFCCC - Kyoto Protokolü - Paris Anlaşması

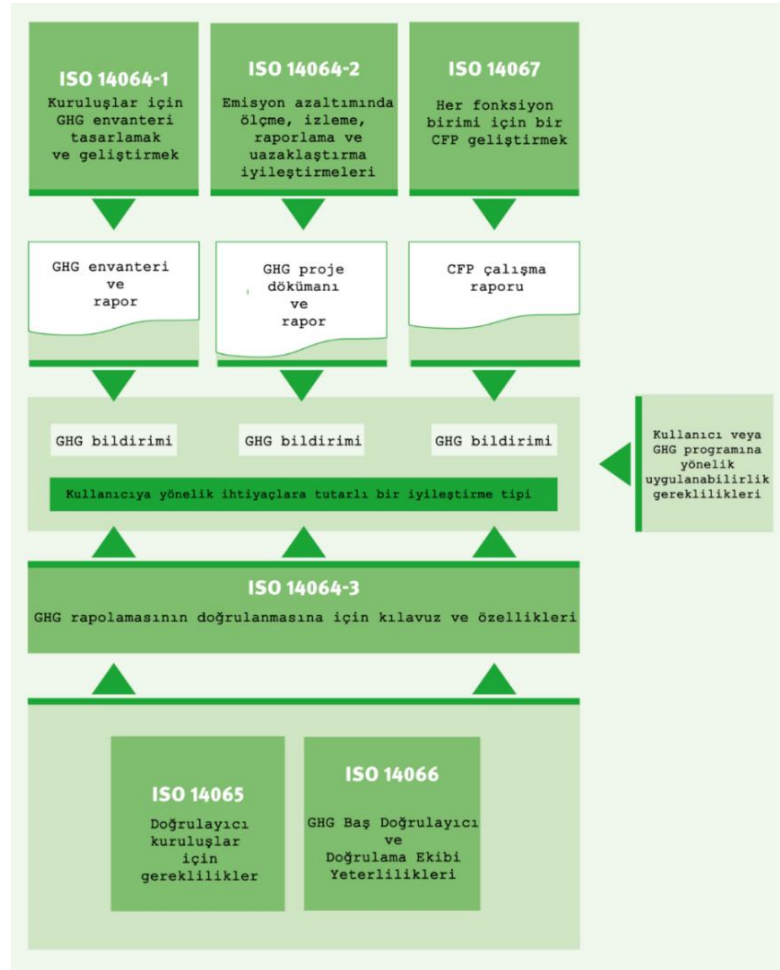
Şekil 1: Birey, ürün, kurum/tesis ve ülke ölçeğinde karbon ayak izi (EPA 2005; ISO 2019; URL-1 2014)

Gündelik yaşantıyı kolaylaştıran teknoloji ve alışkanlıklar bireysel karbon ayak izlerini meydana getirmektedir. Toplumsal yaşam formlarının, alışkanlıkların değişmesi ve teknolojinin gelişmesi ile istenilen her metaya ulaşım tüketim kapitalizmini meydana getirmiştir. Bireysel karbon ayak izi hesaplamalarında standart bir yöntem olmamakla birlikte Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Ajansı (EPA) hane halkların yıllık düzeyde ulaşım (araç ve uçak), ısıtma ve soğutmadaki enerji tüketimi (doğalgaz, yakıt, elektrik, kömür ve ahşap) ve atık miktarı ile ortalama karbon ayak izi hesaplama araçları ile tahmin edilmektedir.

Ürün ölçeğinde karbon ayak izi ise bireysel tüketim alışkanlıklarına hizmet eden süreçlerin tamamını kapsamaktadır. Bu nedenle ürünler için yaşam döngüsü analizi (Life Cycle Assessment-LCA) yapılmaktadır. Yaşam döngüsü analizi, ürün ve hizmet yönetiminde hammadde çıkarımından itibaren üretim, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım ve kullanım sonrası bertaraf edilmesi de dahil olmak üzere çevresel etkilerin belirlenmesi, raporlanması ve yönetilmesidir. Ürünleri karbon ayak izi belirlenirken ISO 14067:2018 (Carbon Footprint of a Product - CFP) standardizasyonu kullanılmaktadır.

Orta ve büyük ölçekli endüstriyel işletmeleri kapsayan karbon ayak izi için sıklıkla özel şirketler farklı yöntemler geliştirmektedir. Bu hesaplamaların kökeni IPCC Ulusal Sera Gazı Envanteri Kılavuzu ve Sera Gazı Protokollerine dayansa da detaylı çalışmalar için farklı şirketler farklı yöntemler uygulamaktadır. Kurum/kuruluş ölçeğinde ise genellikle Uluslararası Standardizasyonları içeren International Organization Standardization (ISO) esas alınmaktadır. ISO tarafından iklim değişikliğini azaltma hedefleri kapsamında geliştirilen ISO 1406x serisinde kullanılabilen ölçüm ve değerlendirme teknikleri ve sürecin birbirleri ile ilişkisi Şekil 2’de verilmiştir.

- ISO 14064-1: 2018 Sera Gazı Emisyonlarının ve Uzaklaştırılmasının Kuruluş Seviyesinde Hesaplanmasına ve Rapor Edilmesine Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı
- ISO 14064-2: 2019 Sera Gazı Emisyon Azaltmalarının veya Uzaklaştırma İyileştirmelerinin Proje Seviyesinde Hesaplanmasına, İzlenmesine ve Rapor Edilmesine Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı
- ISO 14064-3: 2019 Sera Gazı Beyanlarının Doğrulanmasına Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı
- ISO 14065: 2013 Sera Gazı Doğrulayıcı Kuruluşların Akreditasyonlarına Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı
- ISO 14066: 2011 Sera Gazı Baş Doğrulayıcıları ve Doğrulama Ekibi Yeterliliklerine Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı
- ISO 14067: 2018 Ürünlerin Karbon Ayak İzi Ölçülmesine Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı



Şekil 2: ISO 1406x iklim değişikliği azaltma serisi (ISO 2019)

Türkiye’de buna ek olarak sanayi tesislerinin sera gazı emisyonlarını belirlemesi ve standardizasyonu için 2012 yılında “Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik” yayınlanmış 2014 yılında ise güncellenmiştir. Buna göre kuruluşlar temel olarak ikiye ayrılır; (i) koşulsuz olarak doğrudan sera gazı envanterinin oluşturulması gereken kuruluşlar ve (ii) günlük kapasitelerin ve üretim türlerine göre sera gazı oluşturan kuruluşlardır. Türkiye’de orta ve büyük ölçekli işletmelerin karbon ayak izi hesaplama süreçleri halen geçiş aşamasındadır.

6. Sonuç ve Değerlendirme

Dünyada sırası ile Çin ve Amerika’dan sonra en çok karbon emisyonuna neden olan AB, 27 ülkeden oluşmaktadır. Birlik, tüm üye ülkelerin yasaları aracılığıyla insan, eşya, hizmet ve sermaye akışını kapsayan ortak bir ticaret politikası ile yönetilmektedir. AB’nin kökeni Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu temeline dayanmaktadır. Kökeni fosil yakıtlara dayanan Avrupa Birliği’nin güncel konjonktürde iklim nötr kıta olma hedefi ve sınırlar ötesi pek çok ülkeyi ilgilendiren sınırda karbon düzenlemesi yaptırımları ikircikli bir durum oluşturmakla birlikte iklim krizini önlemede büyük umutlar bağlanan bir girişimdir. Dolayısı ile yine AB, yeşil mutabakat ile krizi eşsiz bir fırsata çevirmek ([European Commission 2019a](#)) sloganı ile yeni bir dönüşümün öncülüğünü yapmaktadır. Mutabakat uzun bir yolculuğun sadece başlangıcı olarak nitelendirilmektedir.

Sektörleri kapsayan yeni endüstriyel devrimin yaklaşık 25 yıl sürmesi ön görülmektedir ([TÜSİAD 2021](#)). AB ve Birleşmiş Milletler (BM) ülkelerinin ortak hedefleri ekonomik büyüme ve refaha odaklıdır. BM ülkelerinin 2030 hedeflerinin en önemli gündem maddeleri, sürdürülebilir kalkınma, refah ve esenliğin artırılması, yoksulluk ve küresel iklim değişikliği ile mücadeledir. Bu doğrultuda Türkiye [Yeşil Mutabakat Eylem Planı \(2021\)](#) çerçevesinde, ekonomik büyümeyi iklim gündemini göz önünde tutarak gereksinim duyulan reformlar nedeni ile iklim değişikliği ile ilgili mücadeleyi ekonomi ve ticaret politikalarının merkezine oturtmuştur. İklim değişikliği ile mücadele çok boyutlu ve stokastik bir yapı sergilemektedir. Dolayısı ile çevresel ve sosyolojik boyutun iç içe geçtiği bir alan olarak iklim mücadelesini yöneten başlıca unsur sera gazı emisyonlarıdır. 2015 yılında BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) taraflar konferansı Paris’te düzenlenmiş ve 2020 sonrası iklim değişikliği stratejilerinin oluşturulabilmesi için Paris Anlaşması kabul edilmiştir. Anlaşma gelişmiş/gelişmekte olan/gelişmemiş ülke ayırmaksızın göreceli kabiliyetler bakış açısı ile farklılaştırılmış sorumluluklar çerçevesine dayandırılmıştır. Anlaşmanın genel hedefi küresel sıcaklık artışının endüstrileşme öncesi döneme kıyasla 2°C’nin altında tutmaktır.

Anlaşma ortak fakat farklılaşan hedeflerde gelişmiş ülkelerin mutlak emisyon azaltımını sağlamaları, gelişmekte olan ülkelerinde ise azaltım hedeflerini milli koşulları uyarınca tüm ekonomiyi kapsayacak yeni ve arttırılmış hedefler benimsemeleri için Ulusal Katkı Beyanı¹ sunmaları konusunda itici bir güç olmuştur. Türkiye gerek mevcut teknolojisi ve gerekse gelişmekte olan ekonomisini riske atmadan Paris Anlaşması’na taraf olmuş, Ulusal Katkı Beyan’ını açıklamış ([UNFCCC 2015](#)) ve Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun 7 Ekim 2021 tarihinde yürürlüğe girmiştir ([URL-2 2021](#)). Olağan Durum Eğilimi (Business As Usual-BAU) devam ettiği takdirde Türkiye 2030 yılında 1.175 MtCO_{2e} sera gazı emisyonunun salacağını öngörmektedir. Bu öngörüü %21 oranında azaltarak 929 MtCO_{2e} değerinde sera gazı emisyonuna neden olacak senaryosunu açıklamıştır. Bu değer 2013 yılı sera gazı emisyonunun tam olarak iki katına eşdeğerdir ([Yeldan vd. 2020](#); [Yeldan 2021](#)). Türkiye bu konuda geçmişte kullanmadığı sera gazı emisyon haklarını korumayı ve bu konuda kendine olası bir alan açmayı hedefleyen politikalar yürütmektedir. Türkiye, geçmişte sağlayamadığı endüstriyel atağı ve momentumu durdurmadan gelişmişlik seviyesini artırma ve Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH) oranlarını artırma çabasıdadır. Buna paralel bir şekilde Türkiye’de, artan nüfusun gereksinim duyduğu istihdam ve toplum yapısındaki üst orta sınıfın önceliğinin üretim ve ihracat odaklı büyümede olması nedeniyle iklim krizi önceliği ortadan kalkmaktadır. Ancak gerek hükümetler arası iklim yaptırımlarının güçlenmesi gerekse AB ülkelerinin iklim nötr kıta olma hedefleri doğrultusunda Türkiye’nin uluslararası ihracat sürecinde yalnızlaşacağı ön görülmektedir. Dolayısı ile Türkiye’nin bu süreçte uyum sağlaması ve yeni stratejiler geliştirmesi kaçınılmazdır. Bu kapsamda Türkiye Yeşil Mutabakat Eylem Planı’nın oluşturulması ve endüstri sektörlerinin yeşil mutabakat konusunda artan rapor ve araştırmaları umut verici bir tablo sergilemektedir. Yeşil mutabakat kapsamında bir dayatma gibi sürülen yeni ticari dönüşüm Türkiye için bir fırsata dönüşme niteliğini de taşımaktadır.

Yeşil mutabakata yalnızca ekonomik değil ekolojik boyutta bakıldığında ([Montanarella ve Panagos 2021](#)) ise küresel iklim değişikliğinde öne çıkan bir aktör olarak karbon kaynak ve yutaklarının denge arayışı kaçınılmazdır. Dolayısı ile gerek karbon kaynakları olarak endüstriyel zeminde gerekse karbon yutakları olarak doğal ve kültürel peyzajları bireysel olarak değerlendirmek ekolojik krizin yönetilmesinde bütüncül yaklaşımdan uzaktır. Birey, ürün, endüstri aksında oluşturulan sera gazı emisyonları ile mücadele kapsamında ne ile savaşıldığının ortaya konulması farkındalık ve çözüm stratejilerinin oluşturulmasında büyük önem taşımaktadır. AB bu stratejileri ekolojik tabanda ağır aksak ilerleyen mücadele kapsamından ekonomik kapsama çekmektedir. Ancak yine de AYM’nin bir tamamlayıcısı olarak Avrupa İklim Paketi (European Climate Pact) ve yeşil alanlar ekolojik mücadelenin güçlü bir argümanını oluşturmaktadır (<https://europa.eu/climate-pact>). İklim paketi, yalnızca strateji, aksiyon, yasa ve yönetmeliklerle değil aynı zamanda kişi, kurum ve kuruluş ölçeğinde iklim değişikliği ile mücadeleyi esas alır. Bu doğrultuda bireyden kuruma iklim çözümlerini birbirine bağlamak ve iyi uygulamaları arttırmak hedefine hizmet etmektedir.

¹ Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanı (Intended Nationally Determined Contribution-INDC)

İklim Paktı, daha yeşil bir Avrupa için insanları, toplulukları ve örgütleri iklim hareketinde yer almaya teşvik eden bir girişimdir (European Commission 2020). Pakt, iklim değişikliği konusunda bireysel farkındalığı arttırmak ve mutabakat aksiyonlarının desteklenmesini sağlamayı hedeflemiştir. Bu hedefleri gerçekleştirmek için bireylerin iklim paktı elçisi olması teşvik edilmektedir. İklim paktı elçileri, Avrupa iklim Paktı'na katkıda bulunmak için bireysel veya topluluklarında gerçekleştirecekleri iklim eylemleri hakkında bilgi vermek ve ilham olmak için gönüllü bireylerdir. Elçiler, herhangi bir finansal destek beklemezsizin en yüksek etik davranışları gösterme konusunda taahhüt vermektedir. Çevrim içi olarak başvuru iklim paktı elçiliği için bir proje veya faaliyet planı gereklidir. Avrupa komisyonu tarafından seçilen başvuru sahipleri değerlendirilir ve bir yıl süre ile elçi olarak ilan edilmektedir. Elçi olarak gönüllüğünü uzatmak isteyen bireyler yürüttükleri faaliyetler hakkında rapor vererek beyannamelerini yenileyebilmektedir.

İklim paktı için mevcut girişimleri yapılandırmak ve desteklemek için dört temel öncelik/odak belirlenmiştir. Bunlar; (i) yeşil alanlar, (ii) yeşil ulaşım, (iii) yeşil binalar ve (vi) yeşil beceriler olmak üzere dört temel alandır (European Commission 2020). İklim pakta kentsele ve kırsale yeşil alanlar için iklim ve sağlık direncini arttırmak yeşil alana duyulan gereksinim vurgulanmaktadır. Yeşil alanlar kırsal peyzajda biyoçeşitlilik, tarım ve ekoturizm için potansiyel oluştururken kentsele alanlarda ise aşırı sıcaklıkların azaltılması ve emisyonların emilmesi için olanak sağlamaktadır. AB, yerel yönetimlerin yeşil alanlar için kent ormanları, parkları ve bahçeleri içeren strateji rehberleri oluşturulmasını önermektedir.

Nitekim belediye başkanlarının pek çoğunun özellikle COVID-19 sınırlamaları altında yurttaşları için yerel kentsele yeşil alanlarının genişletilmesi gerektiğinin farkına varmıştır. Buna yönelik olarak Türkiye'de güncel olarak 2021 Aralık tarihinde AB tarafından Çiğli Belediye Başkanı Utku Gümrükçü Avrupa İklim Pakta Büyükelçisi ilan edilmiştir (European Union 2021). İklim farkındalığını yaymak ve bunu mekânsal boyutlara yansıtmak açısından bir belediye başkanının bu konuda öncülük etmesi Türkiye açısından olumlu bir gelişme olarak umut vericidir. Kırsal alanların esnek peyzajların koruyucuları olarak şehirlerin aşırı nüfus yığılmasını önleyici etkisi göz önünde bulundurularak dengeli bölgesel dağılımı sağlanması büyük önem taşımaktadır. AB bu açıdan kentsele ve kırsal peyzajların yerel yönetimlerce desteklenerek Avrupa Yeşil Başkent (European Green Capital-EGCA) ve Avrupa Yeşil Yaprak (European Green Leaf_EGLA) platformlarının aktif rol üstlenmesi hedeflemiştir. Kentsele peyzajların kentler ve başkentler için bir prestij alanına dönüşmesi küresel iklim değişikliği ile mücadele ve daha sağlıklı ve refah kentlerin oluşturulması açısından yurttaşlara büyük katkılar sağlamaktadır. Bu yönü ile AB'nin en yeşil kentlere ait belediye yönetimlerine kaynak aktarımı yerel yönetimleri teşvik eden büyük bir promosyon kaynağıdır. Bu teşvikin hem yerel yönetimlerin ekonomik kaynaklarını arttırması hem de kentin turizm potansiyeline katkı sağlaması büyük önemli taşımaktadır.

Bu önem küresel iklim ile mücadele boyutunda da katkı sağlayarak kentsele karbon yutakları olarak hizmet eden peyzajların geliştirilmesi ve yönetilmesi için büyük bir çalışma alanı oluşturmaktadır. Yeşil mutabakat ve iklim paktnın yeni ekonomik düzeninde sıklıkla vurgulanan yeşil becerilerinin ve iş alanlarının arttırılmasında ise peyzaj mimarlarının etkin bir yeri olacağını ifade etmek mümkündür. Son olarak, iklimin söz konusu olduğu dinamikler oldukça değişken ve çoğu zaman ekolojik boyutta kaygı vericidir. Ancak ekonomik büyüme kaygısı ile göz ardı edilen ekosistem kaynakları açısından yeşil mutabakat sürecine adaptasyon ilk eşikte zorlu bir sanayi üretim dönüşümü iyi yüz yüze gelse de ekosistem için umut vericidir. Bu nedenle ekosistem kaynaklarının sürdürülebilirliği ve gelecek nesillerin iklim adaleti için bir fırsat olarak nitelendirilebilir.

Kaynaklar

- Abiral B., Zoere E., Azman G., Sönmez H., Çelik Ö., Köksal H., Abanus E., (2020), *Avrupa yeşil mutabakatı*, Yeşil Düşünce Derneği, Yeşil Ekonomi Çalışma Grubu, Çeviri Kitabı, İstanbul, 33ss.
- Akıllı H., Kemahlı F., Okudan K., Polat F., (2008), *Ekolojik ayak izinin kavramsal içeriği ve Akdeniz Üniversitesinin İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde bireysel ekolojik ayak izi hesaplamaları*, Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8(15), 1-25.
- Brander M., Davis G., (2012), *Greenhouse gases, CO₂, CO₂e, and Carbon: What do all these terms mean?* Ecometrica, White Papers, 3ss.
- European Commission, (2019), *The European Green Deal*, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_669, [Erişim 16 Ağustos 2021].
- European Commission, (2019a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee of the Regions*, The European Green Deal, Brussels COM (2019) 640 final. [Erişim 11 Aralık 2021].
- European Commission, (2020), *European Climate Pact*, https://europa.eu/climate-pact/system/files/2020-12/20201209_European_Climate_Pact_Communication.pdf, [Erişim 21 Ağustos 2021].
- European Union, (2021), *European Union European Climate Pact Ambassador in Turkey*, https://europa.eu/climate-pact/ambassadors/meet-our-ambassadors/selim-utku-gumrukcu_en#responsibilities, [Erişim 21 Aralık 2021].
- EPA, (2005), *EPA ecological footprint calculators: Technical background paper*, Report Prepared for EPA Victoria, Publication No 972, <https://www.epa.vic.gov.au/-/media/epa/files/publications/972.pdf>, [Erişim 19 Ağustos 2021].
- Franchetti M.J., Apul D., (2013), *Carbon Footprint Analysis: Concepts, Methods, Implementation, and Case Studies*, CRC Press, Boca Raton, 270ss.
- Hawken P., Lovins A.B., Lovins L.H., (2010), *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution*, Routledge Taylor & Francis Group.

- Hoekstra A, Wiedmann T., (2014), *Humanity's unsustainable environmental Footprint*, Science, 344(6188), 1114-1117.
- IPCC, (2007), *Climate Change 2007 Synthesis Report*, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf, [Erişim 16 Ağustos 2021].
- ISO, (2019), *ISO Climate Change Mitigation*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100271.pdf>, [Erişim 21 Eylül 2021].
- Mızık E., Yiğit Avdan Z., (2020), *Sürdürülebilirliğin Temel Taşı: Ekolojik Ayak İzi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(2), 451-67.
- Montanarella L., Panagos P., (2021), *The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal*, Land Use Policy, 100, 104950, doi: 10.1016/j.landusepol.2020.104950.
- Odum E.P., Barrett G.W., (2016), *Ekolojinin Temel İlkeleri*, Çeviri Editörü: Kani Işık, Palme Yayınevi, 598ss.
- İmga, O., Olgun, H. (2017), *Yeşil ve Siyaset Siyasal Ekoloji Üzerine Yazılar*, Liberte Yayınları, Maltepe, Ankara, 472ss.
- TDK, (2021), *Mutabakat*, <https://sozluk.gov.tr> [Erişim 04 Nisan 2021].
- TÜSİAD, (2021), *Avrupa Yeşil Mutabakatı Döngüsel Ekonomi Eylem Planı Türk İş Dünyasına Neler Getirecek?*, TÜSİAD-T/2021-06/621, TÜSİAD, 50ss.
- Uçak S., Villi B., (2021), *Avrupa Yeşil Mutabakatının Çelik Sektörüne Etkileri*, Journal of Empirical Economics and Social Sciences, 3(2), 94-113.
- UNFCCC, (2015), *Republic of Turkey Intended Nationally Determined Contribution*, [https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published Documents/Turkey/1/The_INDC_of_TURKEY_v.15.19.30.pdf](https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Turkey/1/The_INDC_of_TURKEY_v.15.19.30.pdf), [Erişim 16 Mayıs 2021].
- URL-1, (2014), *Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik*, T.C. Resmî Gazete, Sayı: 29003, Tarih: 17.05.2014, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=19678&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, [Erişim 19 Ekim 2021].
- URL-2, (2021), *Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun*, T.C. Resmi Gazete, Sayı: 31621, Tarih: 6.10.2021, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/10/20211007-7.pdf>, [Erişim 29 Aralık 2021].
- Ticaret Bakanlığı, (2021), *Yanı Başımızdaki Dev Pazar Avrupa Birliği*, Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/avrupa-birligi/yani-basimizdaki-dev-pazar-avrupa-birligi>, [Erişim 09 Kasım 2021].
- Wiedmann T., Minx, J., (2008), *A definition of 'carbon footprint'*, Ecological Economics Research Trends'in İçinde (Pertsova C.C., Ed.), Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA, ss.1-11.
- Yeldan E., Acar S., Aşıcı A., (2020), *Ekonomik Göstergeler Merceğinden Yeni İklim Rejimi*, TÜSİAD, 114ss.
- Yeldan E., (2021), *European Green Deal and Turkey*, <https://pmrturkiye.csb.gov.tr/wp-content/uploads/2021/02/The-European-Green-Deal-and-Turkey-Erinc-Yeldan.pdf>, [Erişim 09 Kasım 2021].
- Yeşil Mutabakat Eylem Planı, (2021), Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, Ankara, 60ss.

Doğal Olayların Tetiklediği KBRN-p Tehlikesi ve Riski: Türkiye Örneği

Ayşe Handan Dökmeci^{1*}, Öznur Akduman²

^{1,2}Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Sağlık Yüksekokulu, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Anabilim Dalı, 59000, Tekirdağ.

Özet

Jeostratejik konumu ve küresel iklim değişikliği nedeniyle ülkemizde son 10 yıldır doğal olaylar daha sık ve şiddetli yaşanmaktadır. Doğa kökenli olayların tetiklenmesiyle birlikte ardışık etkilerle ortaya çıkabilecek büyük ölçekli Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer ve Patlayıcı (KBRN-p) felaketlerin gerçekleşme olasılığı genellikle düşüktür. Ancak, insanlar, çevre, altyapı, belirli alanların ekonomisi ya da tüm bölge/ülke üzerinde potansiyel etkileri yüksek olmaktadır. Ülkemizde deprem, sel, heyelan ve çığ gibi doğa kökenli olaylara yönelik haritalar bulunmaktadır. Fakat KBRN-p tehlikelerine yönelik hazırlanmış haritalar bulunmamaktadır. İklim değişikliğinin, hava ile ilgili doğal tehlikelerin sıklığını ve yoğunluğunu artırdığı düşünüldüğünde mevcut KBRN-p maddelerinden kaynaklanabilecek tehlikelerin envanterinin bilinmesi risklerin azaltılmasında ve olası faciayı önlemede kilit rol oynayabileceği düşünülmektedir. Çalışmamızda ardışık afet kavramı ve ardışık afetlerden kaynaklanabilecek KBRN-p tehlike ve riskler ele alınmıştır. Ayrıca KBRN-p olaylarının gerçekleşme olasılığı bulunan illerdeki endüstrileri ve enerji tesislerini içeren haritalar, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından oluşturulmuş deprem, sel/su basması, heyelan ve çığ tehlike haritaları üzerinde örtüştürülerek hazırlanmış ve ardışık etkiler sonucu açığa çıkabilecek riskler literatür taramasına dayandırılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, doğal olaylar ile KBRN-p olaylarının karşılıklı bağımlılıkları; güvenlik açıklarının azaltılması, dirençliliğin artırılması, ikincil afetlerin değerlendirilmesi ve kritik altyapılarda risk azaltma uygulamaları gibi kritik adımların ele alınması gerektiği ve risk değerlendirmesi yaparken karşılıklı etkileşen, birleşik, birbirine bağlı, ardışık tehlikelerin oluşturacağı risklerin göz ardı edilmemesi gerekliliği ortaya konmuştur. Çalışmamızın, ülkemizdeki doğa kökenli olayların tetikleyebileceği KBRN-p olaylarının ardışık afete dönüşmesini önlemede literatüre katkı sağlaması ve KBRN-p tehlike ve risk haritalarının hazırlanmasında yol gösterici olması beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler

Ardışık Afetler, KBRN-p, Doğal Kaynaklı Afetler, Risk, Türkiye

CBRN-p Hazards and Risks Triggered by Natural Events; Turkey Example

Abstract

Due to its geostrategic location and global climate change, natural events have been experienced more frequently and severely in the last 10 years in our country. The probability of large-scale Chemical, Biological, Radiological, Nuclear and Explosive (CBRN-p) disasters that may occur with sequential effects, triggered by natural events, is generally low. However, the potential impacts on people, the environment, infrastructure, the economy of certain areas or the entire region/country are high. There are maps for natural events such as earthquakes, floods, landslides and avalanches in our country. However, there are no maps prepared for CBRN-p hazards. Considering that climate change increases the frequency and intensity of natural hazards related to weather, it is thought that knowing the inventory of hazards that may arise from existing CBRN-p substances can play a key role in reducing risks and preventing possible disasters. In our study, the concept of sequential disaster and CBRN-p hazards and risks that may arise from sequential disasters are discussed. In addition, maps containing industries and energy facilities in provinces where CBRN-p events are likely to occur, T.C. The earthquake, flood/flood, landslide and avalanche hazard maps created by the Ministry of Interior Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) were prepared by overlapping, and the risks that may arise as a result of sequential effects were evaluated based on the literature review. As a result of this evaluation, the interdependence of natural events and CBRN-p events; It has been revealed that critical steps such as reducing vulnerabilities, increasing resilience, assessing secondary disasters and risk reduction practices in critical infrastructures should be addressed, and the risks posed by mutually interacting, combined, interconnected and sequential hazards should not be ignored when making risk assessments. It is expected that our study will contribute to the literature in preventing CBRN-p events, which may be triggered by natural events in our country, from turning into sequential disasters, and will guide the preparation of CBRN-p hazard and risk maps.

Keywords

Cascade Disasters, CBRN-e, Natural Disasters, Risk, Turkey

1. Giriş

Teknolojik ve KBRN-p olayları dünya çapında hızla artan sanayileşme ve iklim değişikliği nedeniyle daha sık meydana gelmektedir. Dünya genelinde iklim değişikliğine bağlı doğa kökenli olayların sayısının ve şiddetinin artmasıyla afetlerin tetiklediği teknolojik/KBRN-p olaylar birbiriyle bağlantılı ve ardışık yeni riskler açığa çıkarmaktadır.

Aslında 2011 Tohoku depremi ile birlikte “ardışık afet” kavramı bilim insanları ve uygulayıcılar arasında yaygın olarak kullanılmaya başlanarak domino taşlarının devrilmesi metaforuyla ilişkilendirilen bir kavram olarak gündeme gelmiştir (IFRC 2020). Ardışık ve karmaşık tehlikeler ile riskleri sistematik bir şekilde daha iyi tanımlamak ve anlamak için doğal, teknolojik ve diğer insan kaynaklı tehlikelerin doğrudan ve dolaylı bağlantılarını ve etkilerini araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Bu sebeple pek çok ulusal ve yerel otorite artık çoklu risk yönetimi için çerçeveler geliştirmektedir (EU 2021). KBRN-p olayları, teknolojik veya endüstriyel koşullardan, tehlikeli prosedürlerden, altyapı arızalarından veya belirli insan faaliyetlerinden kaynaklanabileceği gibi afet boyutundaki bir olayın tetiklemesiyle beklenmedik ikincil olaylar şeklinde asıl olay kadar ciddi olma eğilimindedir ve afetin etkilerinin genel süresine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. KBRN-p kaynaklı acil durumlar genellikle patlayıcıların, yakıcı ve yanıcı maddelerin, zehirlerin ve radyoaktif malzemelerin kullanımı ve depolanmasında meydana gelmektedir. Bu nedenle KBRN olay yönetiminde, çoklu tehlike yaklaşımına (doğal, teknolojik, sağlık, ekonomik, ekolojik, sosyal vb.) dayalı olarak genel riskler belirlenmeli ve potansiyel tehlike ve kırılganlık etkileşimleri hesaba katılmalıdır (Dökmeci 2018).

Çalışmada doğa kökenli/ kaynaklı olaylar ile KBRN-p olaylarının karşılıklı etkileşimleri ardışık afetlerin birer domino taşıını oluşturduğundan, oluşabilecek riskleri azaltmaya yönelik; Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik (BEKRA 2019) kapsamında yer alan alt ve üst seviye kuruluşların yer aldığı illerdeki doğa kaynaklı afet potansiyeli ile doğa kaynaklı afetlerin tetiklemesiyle ortaya çıkabilecek KBRN-p tehlike ve riskler ele alınarak risk azaltmaya yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

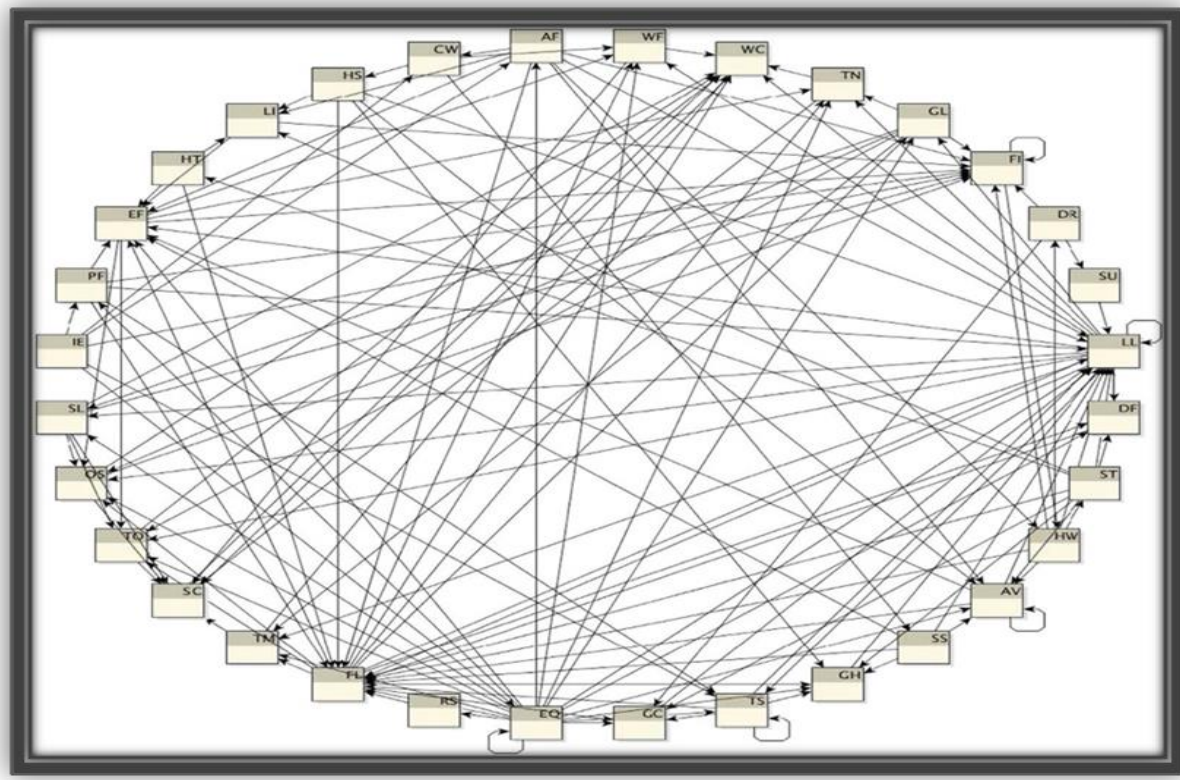
2. Ardışık Afetler

Ardışık afetleri anlamak için öncelikle afetin tanımını ve nasıl ortaya çıktığını bilmek gerekir. Afetler; insanlar için fiziksel, sosyal ve ekonomik zararlar doğuran, hayatı durduran veya sekteye uğratan, eldeki imkanları yetersiz bırakan doğal, teknolojik, insan kaynaklı ya da bu kaynakların bir veya birkaçının sebep olduğu olayların sonuçlarıdır (Kadioğlu 2011). Şekil 1’de görüldüğü gibi tehlike, risk, acil durum, afet, ardışık afetler, karmaşık afetler ve katastrofik etkiler gibi tanımları birbirinden ayıran ana faktör zarar görülebilirlik ölçeğidir. Zarar görülebilirlik kavramı ise; herhangi bir olayın fiziksel büyüklüğü, hızlı nüfus artışı, olayın yerleşim alanlarına uzaklığı, riskli bölgelerdeki hızlı ve kontrolsüz şehirleşme ve sanayileşme, bilgisizlik ve eğitim eksikliği, ormanların ve çevrenin tahribatı veya yanlış kullanımı, toplumun afet olaylarına karşı önceden alabildiği koruyucu, önleyici ve risk azaltıcı önlemlerin etkinliklerine bağlıdır. Tüm bu faktörlere bağlı olarak yaşanan herhangi bir olumsuz olay bir bölgede afet oluştururken, başka bir bölgede acil durum olarak ya da daha da etkisiz bir olay olarak algılanmaktadır (Ergünay 2009).



Şekil 1: Toplumsal zarar görülebilirlik artıka değişen tanımlamalar

Boin vd. (2018) afeti “bir şekilde ortaya çıkan ve varoluşa yönelik algılanan tehdittir” şeklinde tanımlamışlardır. Bu algılanan tehdide yönelik yapılan önleme/hafifletme, hazırlık, müdahale ve iyileştirme bileşenlerinin tümüyle bütünsel afet yönetimini oluşturmaktadır (Boin vd. 2018). Afet yönetimi toplumsal savunmasızlıkları, riskleri, tehditleri, tetikleyicileri, süreçleri, yanıtları ve sonuçları bir araya getiren ve süreklilik arz eden bir döngüdür. Bu döngüyü oluşturan afet çeşitleri farklılık gösterse de temel özellikleri aynıdır. Bu temel özellikler ise tehditler, belirsizlik ve acil müdahale gerekliliğidir (Donaldson 1991). Tarih boyunca art arda yaşanan afetler 21. yüzyılda savunmasızlığın ve güvenlik açıklarının da artması ile evrim geçirmiş ve ardışık afetler olarak yeni bir boyut kazanmıştır (Quarantelli 2005). Ardışık kelimesi birbiri ardından gelen anlamına gelmektedir (TDK 2015). Ardışık etki ise Şekil 2’de görüldüğü gibi bir sistemi etkileyen bir eylem nedeniyle kaçınılmaz ve bazen öngörülemeyen olaylar zinciridir. Buna ek olarak ardışık etkilerin zamanla artarak, beklenmedik bir zamanda, güçlü etkilere sahip başka olumsuz olayların artması ile oluşan aşırı olaylar zinciri ise ardışık afetlerdir (Alexander ve Pescaroli 2019).

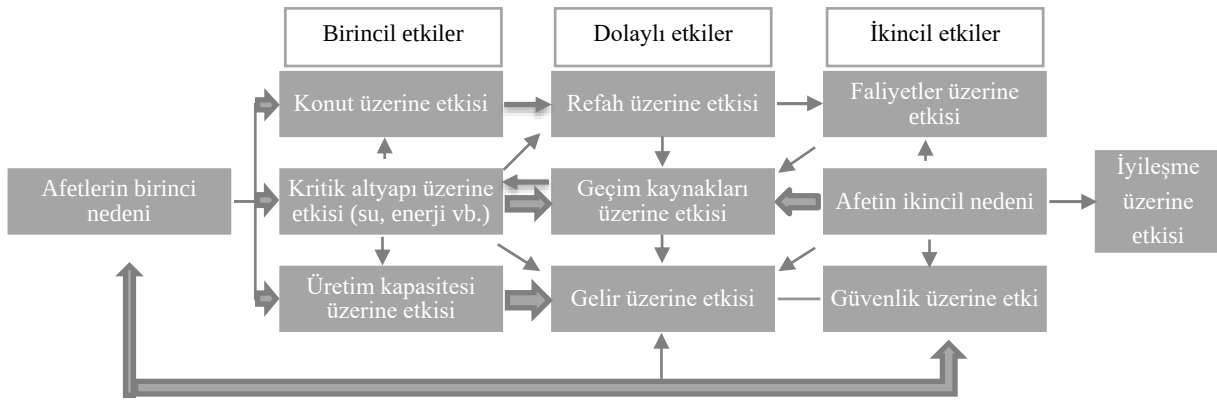


EQ = DEPREM	DR = KURAKLIK	IE = ETKİ OLAYLARI	HW = ISI DALGASI
LS = HEYELAN	HS = DOLU FIRTINASI	DF = BARAJ ARIZASI	CW = SOĞUK DALGA
AV = ÇIĞ	SL = KATI / SIVI MADDELERİN SALINIMI	EF = ELEKTRİK ŞEBEKE ARIZASI	ST = FIRTINALAR
TH = TSUNAMİ	WC = SU KİRLİLİĞİ	FR = BİNA/ALTYAPI YANGINI	GC = ZEMİN ÇÖKMESİ
VE = VOLKANİK PATLAMA	SC = TOPRAK KİRLİLİĞİ	SF = SU VE ATIK SU ŞEBEKE ARIZASI	SU = TOPRAK ÇÖKMESİ
AF = KÜL DÜŞÜŞÜ	AA = HAVA KİRLİLİĞİ	KF = İLETİŞİM AĞ ARIZASI	GH = ZEMİN KABARMASI
PF = PROKLASTİK AKIŞ	SS = KAR FIRTINASI	LG = GAZ SIZINTISI	OS = PETROL SIZINTISI
VB = VOLKANİK BALİSTİK	HT = KASIRGA	TN = ZEHİR / KİMYASAL DÖKÜLME (NÜKLEER KAZADAN)	Lİ = YILDIRIM
LF = LAV AKIŞI	Fİ = YANGIN	TM = ZEHİR / KİMYASAL DÖKÜLME (MADEN KAZASINDAN)	FL = SEL/TAŞKIN
VG = VOLKANİK GAZ EMİSYONU	SC = BÖLGESEL ÇÖKME	TO = ZEHİR/KİMYASAL DÖKÜLME(ENDÜSTRİYEL KAZADN)	

Şekil 2: Tehlike uyumluluk matrisine dayanan tehlikeler arasındaki tüm potansiyel bağımlılıkları gösteren diyagram ve tehlike uyumluluk matrisi harita bilgisi (Zuccaro vd. 2018)

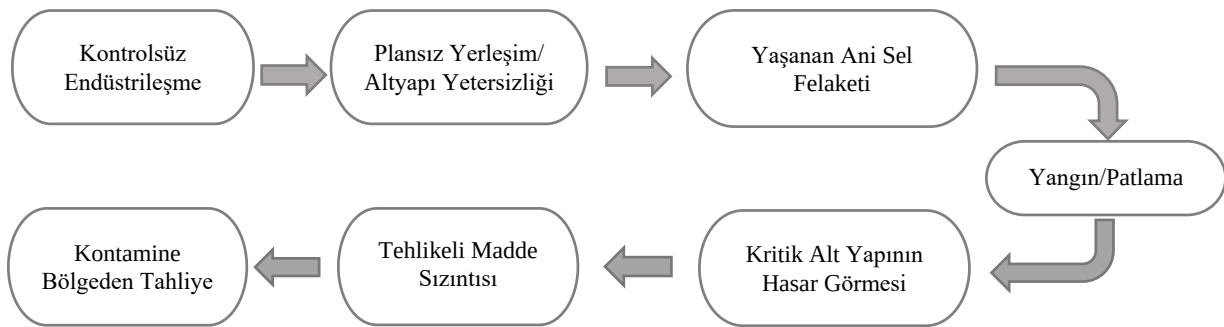
Esas olarak bir felaket olayı tek başına gerçekleşmez. Şekil 2’de verilen bilgilere göre çoğu felaket olayı genellikle sıralı reaksiyonları tetikler ve böylece daha büyük kayıplara neden olur (Zuccaro vd. 2018). Ardışık afetler, afetlerin tek bir birincil tehditle başlaması ve daha sonra olay dizileri şeklinde ortaya çıkmasıdır (May 2007). Bu süreçte yaşanan durum ardışık afetlerin meydana gelme sürecidir (Pescaroli ve Alexander 2019). Bir başka ifadeyle toplumda yaşanmakta olan herhangi bir afetin sonuçlarının, başka bir afetin nedeni veya nedenlerinden biri olarak karşımıza çıkmasıdır.

Ardışık afetler/krizler/acil durumlar, birincil (tetikleyici) etkiyle domino taşlarının devrilmesi metaforu gibi zincirleme etkiler oluşturan, fiziksel ve sosyal savunmasızlık arasında bağlantısı olan, bileşik ve birbirine bağlı riskler ile karmaşık etkileşimli güvenlik açıkları barındıran, kritik altyapı üzerindeki karmaşık etkiler oluşturan, doğrusal olmayan ilerleme ve risklerin ciddiyetini artıran, çoklu ölçekli ve ikincil riskler oluşturan etkilere sahiptir. Bunlar, en az tetikleyen olay kadar ciddi olma ve afetin etkilerinin toplam süresine önemli ölçüde katkıda bulunma eğilimindedir (Pescaroli ve Alexander 2015).



Şekil 3: Ardışık afetlerin etkileri (Pescaroli ve Kelman 2016)

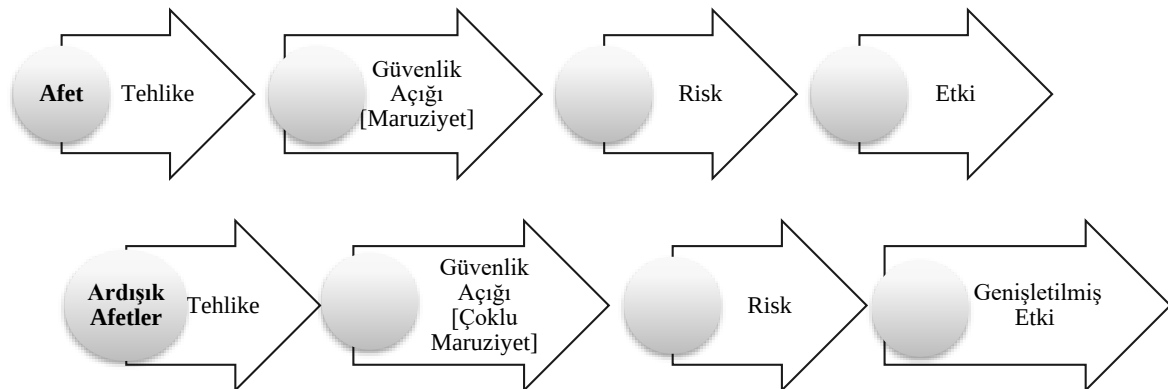
Tetikleyen olay ile birlikte ardışık afetlerin basamaklarında gerçekleşen tetiklenen olaylar ülkelerin yanıt verme kapasitesini aşmasına ve kritik yapıların sekteye uğramasına neden olmaktadır (Alexander 2018) (Şekil 3). Düzensiz ve kontrolsüz endüstrileşme yaşanan bölgede, plansız yerleşim, altyapının yetersiz kalması ile yaşanan ani sel felaketi ve beraberinde yaşanan yangın/patlama olayları sonucu kritik alt yapı hasar görmektedir. Meydana gelen tehlikeli madde sızıntısı nedeniyle de çevresel kontaminasyon ve tahliye süreci ardışık afet döngüsünü oluşturan tehlike ve riskleri oluşturmaktadır (Şekil 4). Bu örnekte de görüldüğü gibi gerekli önlemler alınmazsa ardışık ve zincirleme olaylar her an karşılaşabileceğimiz, beklenmedik ve topluma zarar verici durumlar oluşturmaya devam edecektir.



Şekil 4: Ardışık afet döngüsü örneği

3. Doğal Kaynaklı Afetlerin Tetiklediği KBRN-p Tehlike ve Riskler

Doğal kaynaklı afetler teknolojik tehlikeleri tetikleyerek bileşik veya ardışık afetlere neden olabilmektedir. Afetler için temel kavramsal denkleme baktığımızda tehlike sonucunda bir etki oluşurken, ardışık afetlerde önemli ölçüde daha karmaşık ve genişletilmiş etki olduğu görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5: Afetler ve ardışık afetlerin kavramsal denklemi (Alexander 2018)

Bir bölgede gelecekteki bir zaman diliminde tehlikeli bir olayın meydana gelme olasılığı ve etkileri (kayıp ve/veya hasar) risk olarak tanımlanmaktadır. [UN/ISDR \(2004\)](#), risk kavramını doğal veya insan kaynaklı tehlikeler ile hassas koşullar arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan zararlı sonuçların olasılığı olarak tanımlar.

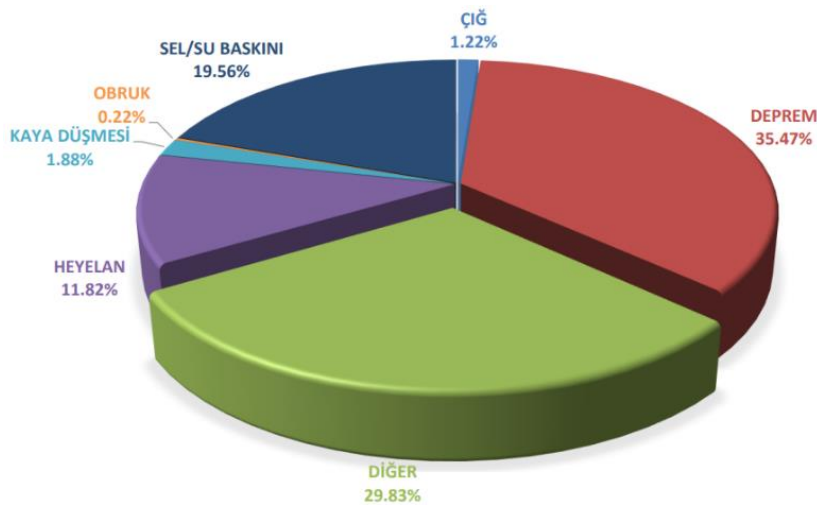
Dikkat gerektiren iki husus vardır. Bunlar; sosyal faktörlerin risk üzerindeki etkisi ve tehlike yoğunluğu ve dağılımının tahminidir. Afet riski ise sürekli olarak mevcut risk koşullarının sonucu olarak tehlikeli olaylar ve afetler kavramını yansıtır. Buna ek olarak afet riski, genellikle sayısallaştırılması zor olan farklı potansiyel kayıp türlerini içerir. Bununla birlikte, mevcut tehlikeler ve nüfus ve sosyoekonomik gelişme kalıpları hakkında bilgi sahibi olarak, afet riskleri geniş anlamda değerlendirilebilir ve haritalandırılabilir (UNDRR 2021a). Bu tanımdan yola çıkarak bu çalışmada ülkemizdeki doğal kaynaklı olay haritaları üzerinden mevcut KBRN-p tehlikeleri değerlendirilerek yeni tehlike haritaları oluşturulmuştur.

Natech olayları olarak da bilinen, doğal olayların tetiklediği, aynı anda veya birbirini takip eden kısa süre içinde meydana gelen bileşik ve/veya ardışık etkiler oluşturan tehlikeli teknolojik olaylar; doğal, teknolojik, sağlık, ekonomik, ekolojik, sosyal vb. etkiler oluşturarak toplumları tehdit etmektedir (IFRC 2020). Aslında doğal olayların tetiklediği KBRN-p olayları da natech olayı olarak değerlendirilebilir. Doğal kaynaklı olayların tetiklediği ardışık afetler sonucu ortaya çıkan KBRN-p tehlike ve risklere en gerçek örnek; 11 Mart 2011 tarihinde yaşanan Tohoku depremidir. Ardışık olarak yaşanan deprem, tsunami ve nükleer santral kazası sonucu yaklaşık 18 000 kişi hayatını kaybetmiş ve büyük bir çevre felaketi yaşanmıştır. Yaşanan akut etkilerin dışında radyoaktif kirlenmenin kronik etkileri ise halen devam etmektedir (Dökmeci 2018). Bir diğer örnek ise Türkiye'nin sanayi üretiminin %30'unun bulunduğu Kocaeli'nde 1999 yılında 7,5 büyüklüğünde yaşanan deprem ve beraberinde ortaya çıkan ardışık etkilerdir. Deprem sonucunda on dokuz endüstriyel tesisten 18'inde hasar, 14 tesiste tehlikeli madde salınımı (İzmit Körfezi'ne 50 ton ham petrol salınımı, 1200 ton kriyojenik oksijen salınımı, 100 ton fosforik asit dökülmesi, 30 ton sülfürik asit dökülmesi), toplam 21 tehlikeli madde olayı ve 21 petrol rafinerisinde eşzamanlı üç bağımsız yangın gerçekleşmiştir (Cruz 2003). Bu örneklerden de anlaşılacağı üzere doğal kaynaklı afetlerin olası ardışık etkileri tehlikeli maddelerin salınımı, yangınlar ve patlamalar gibi ikincil afetlere neden olarak insan ve çevre sağlığı, sosyo-ekonomik etkiler gibi istenmeyen sonuçlara neden olmaktadır.

Hükümetler afetlerin neden olduğu sosyal, ekonomik, çevresel ve sağlık kayıplarını azaltmak amacıyla, farklı sektör ve aktörlerden yapılması gereken çalışmaları tanımlayan 2005-2015 Hyogo eylem çerçevesini benimsemiştir (UNDRR 2007). Bu çerçeveyi, odak noktasını afetleri yönetmekten riskleri yönetmeye kaydıran 2015-2030 afet riskinin azaltılmasına yönelik Sendai çerçevesi izlemiştir (UNDRR 2015). Çerçeve, özellikle afet risk yönetimine entegre, tüm tehlikeler, çok sektörlü bir yaklaşıma duyulan ihtiyacı vurgularken KBRN-p risklerinin neden olduğu zorlukları da ele almaktadır. Ayrıca çerçeve ile birlikte ülkeler ulusal eylem planlarını uluslararası boyutta planlayarak, afetlerden kaynaklanacak olan kayıpları azaltabileceklerdir. Afet risklerine bütüncül yaklaşmak önem taşımaktadır. Bu nedenle doğal kaynaklı afetlerin tetiklediği KBRN-p tehlike ve risklerin birlikte değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

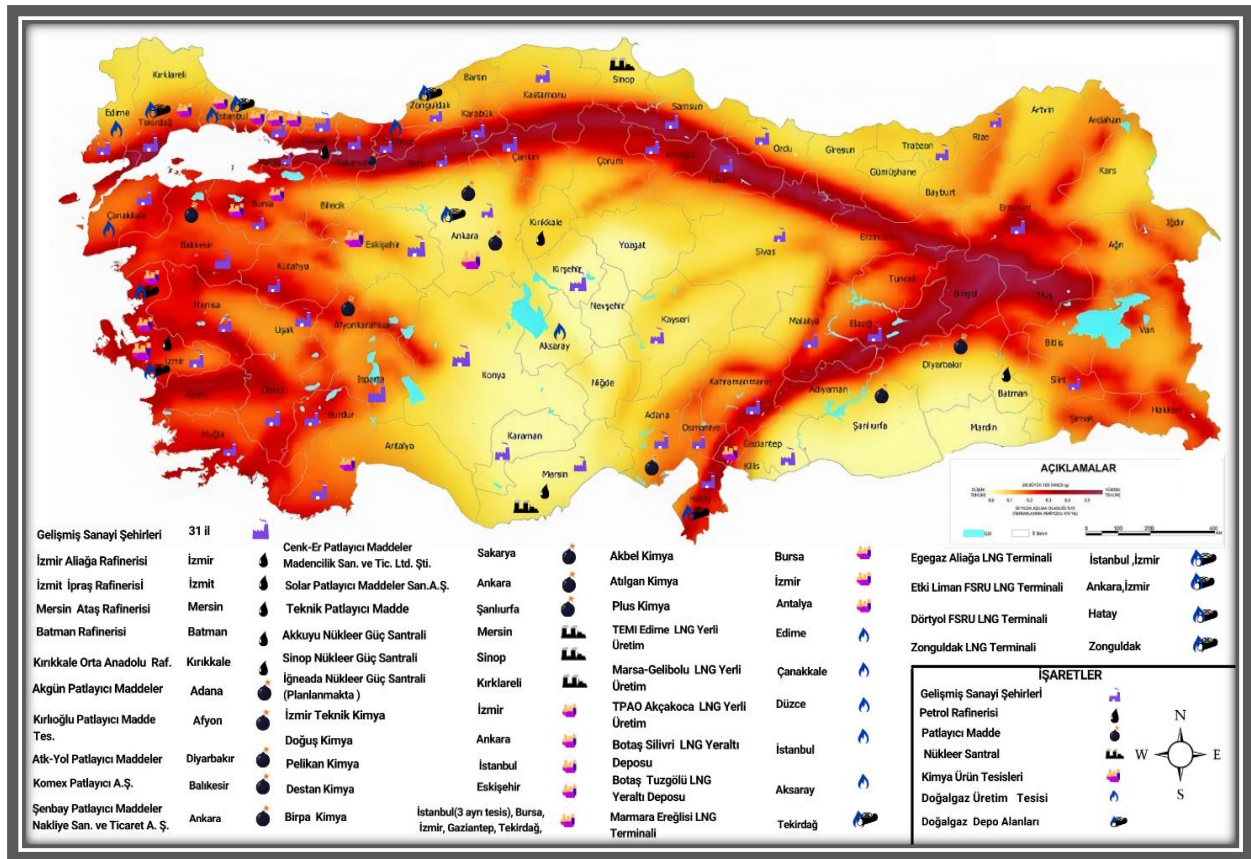
4. Türkiye'nin Doğal Kaynaklı Afet ve KBRN-p Tehlike Potansiyeli

Doğal kaynaklı afetlerin etkileri ülkelerin gelişmişlik seviyelerine ve olayın şiddetine göre değişiklik göstermektedir. Dünya genelinde iklim değişikliğine bağlı doğal kaynaklı afetlerin sayısı ve şiddeti her geçen yıl daha da artmaktadır. EM-DAT (2021) verilerine göre 2020 yılında 389 doğal afet yaşanmıştır. Yaşanan bu afetler 15.080 kişi hayatını kaybetmesine, 98,4 milyon kişinin etkilenmesine ve 171.3 milyar ABD Dolarına mal olmuştur. COVID 19 pandemisinin yanı sıra bahsedilen yıla iklimle ilgili afetler hakim olmuştur. 2020 yılında, güçlü bir El Nino etkisinin olmamasına rağmen dünyanın kaydedilen en sıcak yılı olarak 2016'ya rakip olmuştur. Önceki yirmi yıla (2000-2019) kıyasla 2020, kaydedilen olay sayısı ve ekonomik kayıplar (151,6 milyar ABD Doları) açısından daha yüksek bir etkiye sahip olmuştur (EM-DAT 2021). AFAD (2021) verilerine göre Türkiye'de ise, 2020 yılında 11 çığ, 321 deprem, 107 heyelan, 17 kaya düşmesi, 2 obruk, 177 sel/su baskını, 207 diğer olmak üzere toplam 905 doğa kaynaklı olay meydana gelmiştir (AFAD 2021).



Şekil 6: Türkiye'de 2020 yılı doğa kaynaklı olay istatistikleri (AFAD 2021)

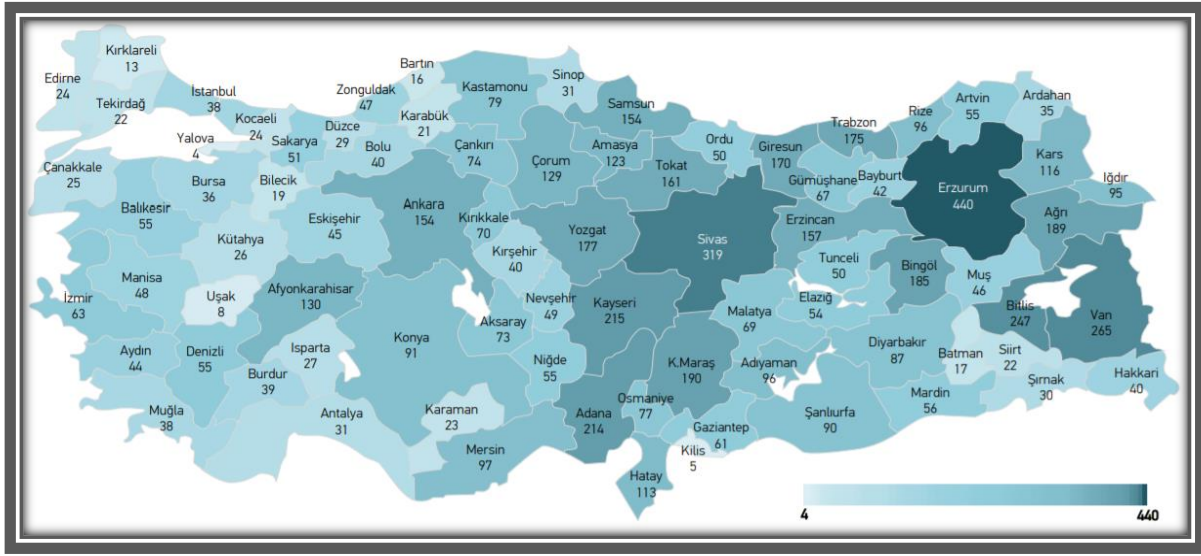
Türkiye aktif volkanlar hariç, doğal kaynaklı afetlerin yaşandığı bir ülkedir. Başta kuraklık ve seller olmak üzere meteorolojik ve hidrolojik kaynaklı afetler sıkça meydana gelmekte ve ciddi can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Antik çağlardan beri tabletler, arkeolojik kazılar ve bunlardan elde edilen belgeler, Anadolu'nun M.Ö 2000 ile M.S 2000 yılları aralığını kapsayan en uzun deprem kayıtlarına sahip olan bir bölge olduğunun kanıtıdır. Bununla birlikte bu doğal olayların tetikleyebileceği KBRN-p olayları ise ciddi tehdit oluşturmaktadır. Güncellenmiş ve birçok ayrıntılı veriyle hazırlanmış Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre ülkemizde deprem tehlikesi içeren bölgeler Şekil 7'de kırmızı ile gösterilmiştir (AFAD 2018). Haritadaki bilgilere göre ülkemizin yaklaşık %66'lık bir kısmı yüksek deprem tehlikesi altındadır. İnsan yaşamı ve faaliyetlerinin devamlılığı için gerekli endüstrilerin deprem kuşağında yer alması çeşitli kimyasal, biyolojik, radyoaktif, nükleer ve patlayıcı riskleri beraberinde getirmektedir. Özellikle Kuzey Anadolu Deprem Kuşağı, Güneydoğu Anadolu Deprem Kuşağı ve Batı Anadolu Deprem Kuşağında yer alan petrol rafinerileri, LNG rafinerileri, kimyasal madde ve patlayıcı madde üretimi yapan alt ve üst seviyeli kuruluşlar şiddetli bir deprem sonrası önlem alınmazsa ardışık etkilerle yangın/patlama ve çevresel kontaminasyona neden olarak çevre ve halk sağlığı problemlerini beraberinde getirecektir. Ülkemizde yaşanan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sonrasında meydana gelen KBRN-p olaylarından dersler alınması ve hazırlanan acil durum planları ve risk analizlerinin dikkate alınması zarar azaltma ve dirençliliği artırmada önemli rol oynayacaktır. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ülkeleri ve Avrupa Birliği (AB)'de endüstriyel tesislerde doğal tehlike ile tetiklenen kazalar için neredeyse hiç haritalandırma yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu açığı kapatmak için depremlerden kaynaklanan endüstriyel kazalara yönelik olasılıksal bir risk haritalama metodolojisi geliştirilmiş (RAPID-N) ve web tabanlı bir yazılım aracı olarak uygulanmıştır (Girgin ve Krausmann 2013).



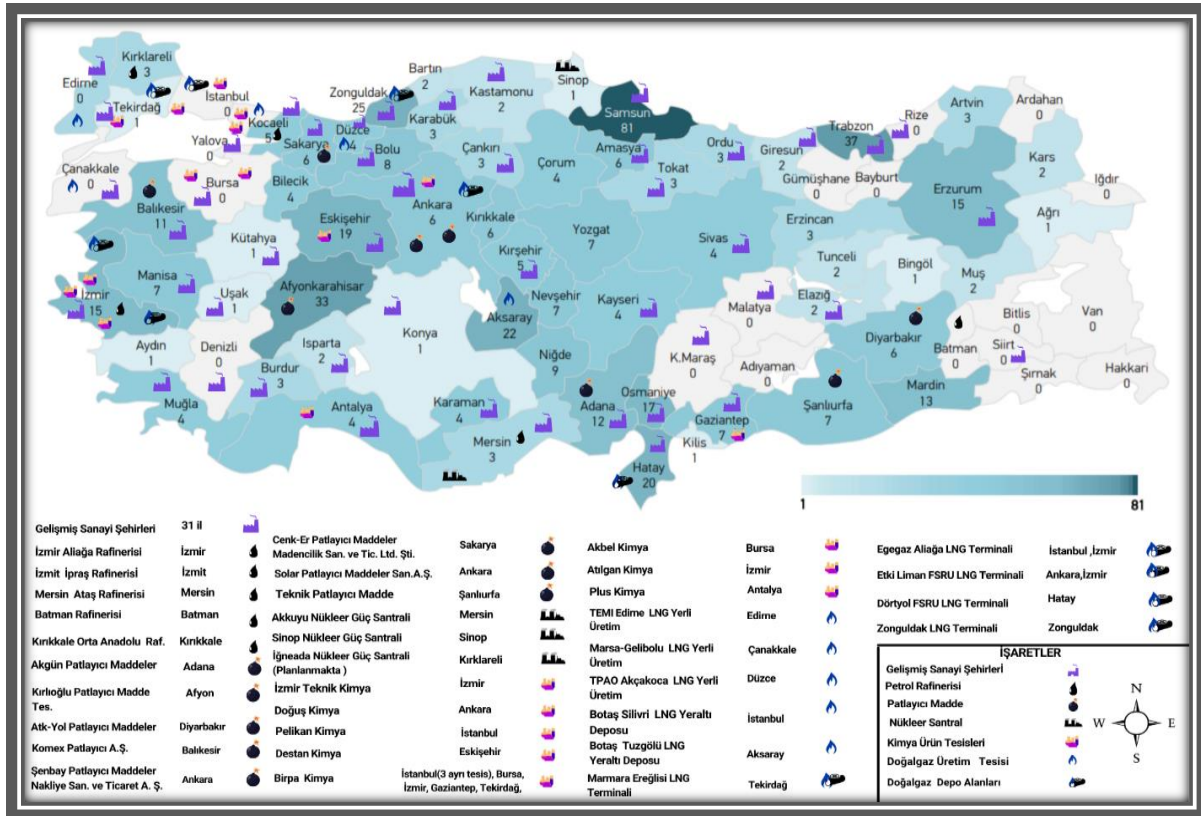
Şekil 7: Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2020) ve KBRN-p riski taşıyan endüstri ve enerji tesisleri

AFAD (2020), tarafından hazırlanmış olan Türkiye Sel ve Su Baskınları Tehlike Haritası, Ülkemizde 1950-2019 yılları arasında yaşanmış sel ve su baskını olaylarının verilerinin istatistiksel modellemeleri sonucu oluşturulmuştur. Bu yıllar arası yaşanmış sel ve taşkın sayısı Şekil 8’de verilen haritada açık mavi renk ve koyu mavi renk arasındaki renk değişiklikleri ile açıktan koyuya doğru artan şekilde gösterilmiştir. 2019 yılında Ülkemizdeki sel ve su baskını sayısının il bazında dağılımı incelendiğinde; en yoğun illerin Samsun, Trabzon, Afyonkarahisar, Zonguldak, Aksaray, Hatay ve Eskişehir olduğu görülmektedir. Sel ve taşkın tehlikesinin olduğu bölgelerde KBRN-p açısından risk oluşturabilecek endüstri ve enerji tesisleri Şekil 9’da gösterilmiştir. Son 10 yılda küresel iklim değişikliğinin etkileriyle yurdun birçok yerinde sel ve su baskınları sayısı ve şiddeti hızla artmış olduğundan sel tehlike ve risk haritalarının güncellenmesi ve riskli bölgelerin tespiti olası ardışık etkilerin öncesinde alınacak önlemleri almada oldukça önemlidir. AFAD, afet duyarlılık ve tehlike haritalarının daha kolay ve hızlı bir şekilde, doğruya en yakın olarak hazırlanması, aynı platformda tutulması ve paylaşılması amacıyla web tabanlı Afet Risk Azaltma Sistemi’ni (ARAS) kurmuştur.

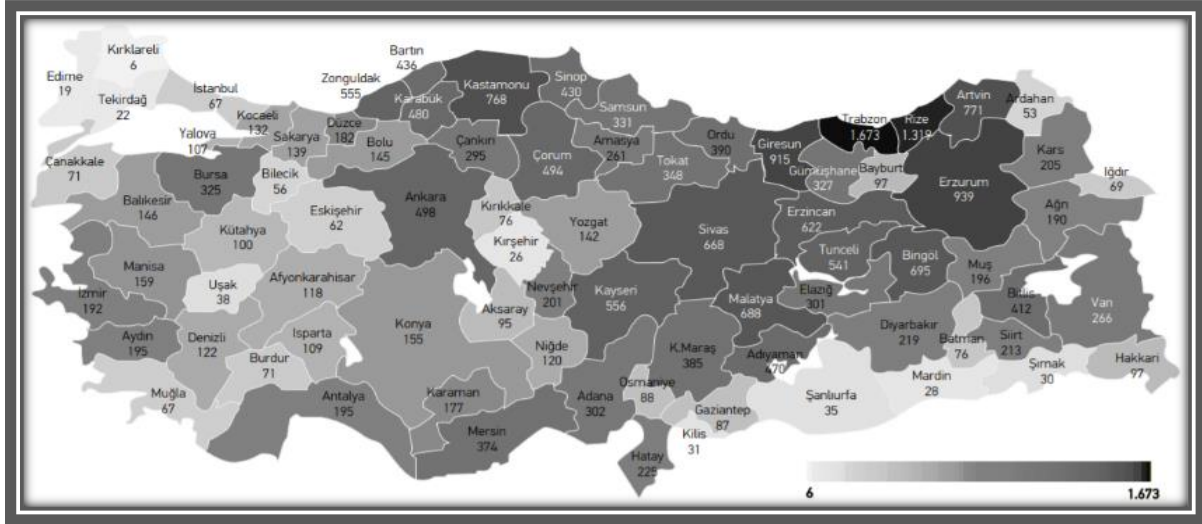
ARAS; temel olarak heyelan, kaya düşmesi, çığ afetleri için duyarlılık ve tehlike analizlerinin gerçekleştirilebildiği ve söz konusu afetlere yönelik duyarlılık ve tehlike haritalarını üretilebildiği web tabanlı bir CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) portalıdır. Ayrıca Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan taşkın risk haritaları ve taşkın tehlike haritaları sistem içerisinde yer almaktadır (AFAD 2020).



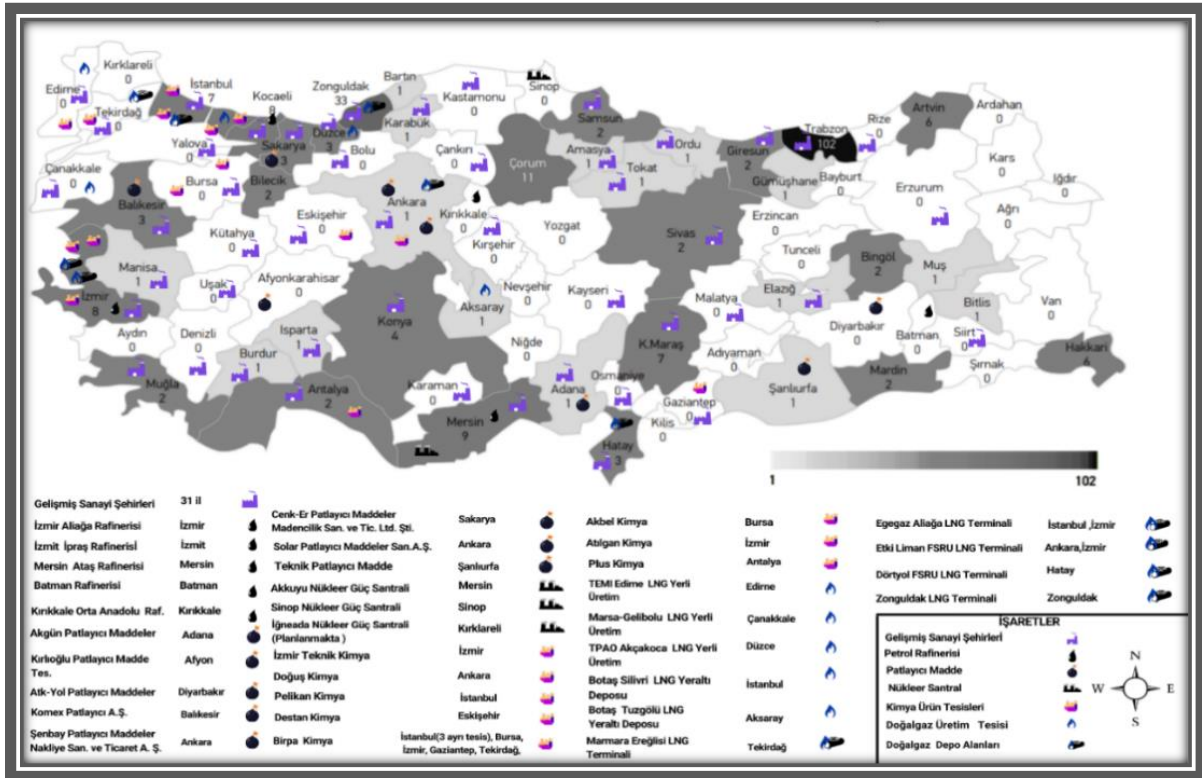
Şekil 8: 1950- 2019 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen sel/su baskını olaylarının il bazında sayıları (AFAD 2020)



Heyelan/kaya düşmesi tehlikesinin olduğu bölgelerde muhtemel KBRN-p açısından risk oluşturabilecek endüstri ve enerji tesisleri Şekil 11’de gösterilmiştir. Karadeniz, sel ve heyelan gibi doğal afetlerin sık görüldüğü bir bölgedir. Bölgenin topografik ve jeolojik yapısı, aşırı yağışlar bu tür doğal olayların oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Ancak eğimli arazilerde mesken yapımı için yapılan kazılar, yol yarmaları, tarım alanı açmak amacıyla ormanların tahrip edilmesi ve meralardaki aşırı otlatma, yerleşmeye açılan akarsu havzalarında ve üzeri kapatılan akarsuların bulunduğu yerleşim merkezleri insan kaynaklı sel, taşkın ve heyelana neden olmaktadır. Kıyıdaki kasaba ve şehir yerleşmelerinin çoğunda akarsu yataklarının üzeri kapatılmıştır. Yerleşim merkezlerinde akarsular için yapılan kanallar ve menfezler şiddetli yağışların görüldüğü zamanlarda yetersiz kalmaktadır. Yüzeysel akışa geçen sular taşıdıkları malzemeleri kanalların ve menfezlerin ağır kısımlarında biriktirerek suların çevreye yayılmasına neden olur. Bu sular konutlara, endüstrilere, ulaşım güzergâhlarına ve tarım alanlarına zarar vermektedir (Kadioğlu vd. 2017; Oğuz vd. 2016). Nitekim 2020 ve 2021 yıllarında yaşanan sel ve heyelan olaylarının sonuçları yıkıcı boyutta yaşanmıştır. Ülkemizdeki yerleşim birimlerinin %25’i en az bir kütle hareketi olayına maruz kaldığı düşünülürse, riskli bölgelerde kaya düşmesi/ heyelan kaynaklı KBRN-p olaylarının yaşanmaması için yerleşim planları buna göre yapılmalıdır.

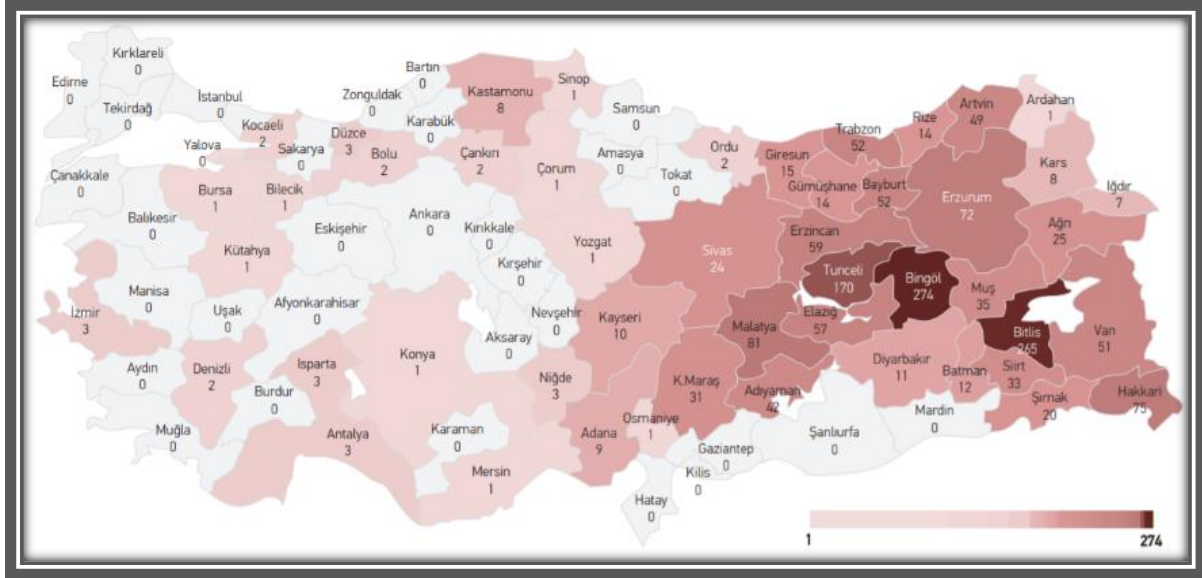


Şekil 10: 1950- 2019 yılları arasında Türkiye’de meydana gelen heyelan/kaya düşmesi olaylarının il bazında sayıları (AFAD 2020)

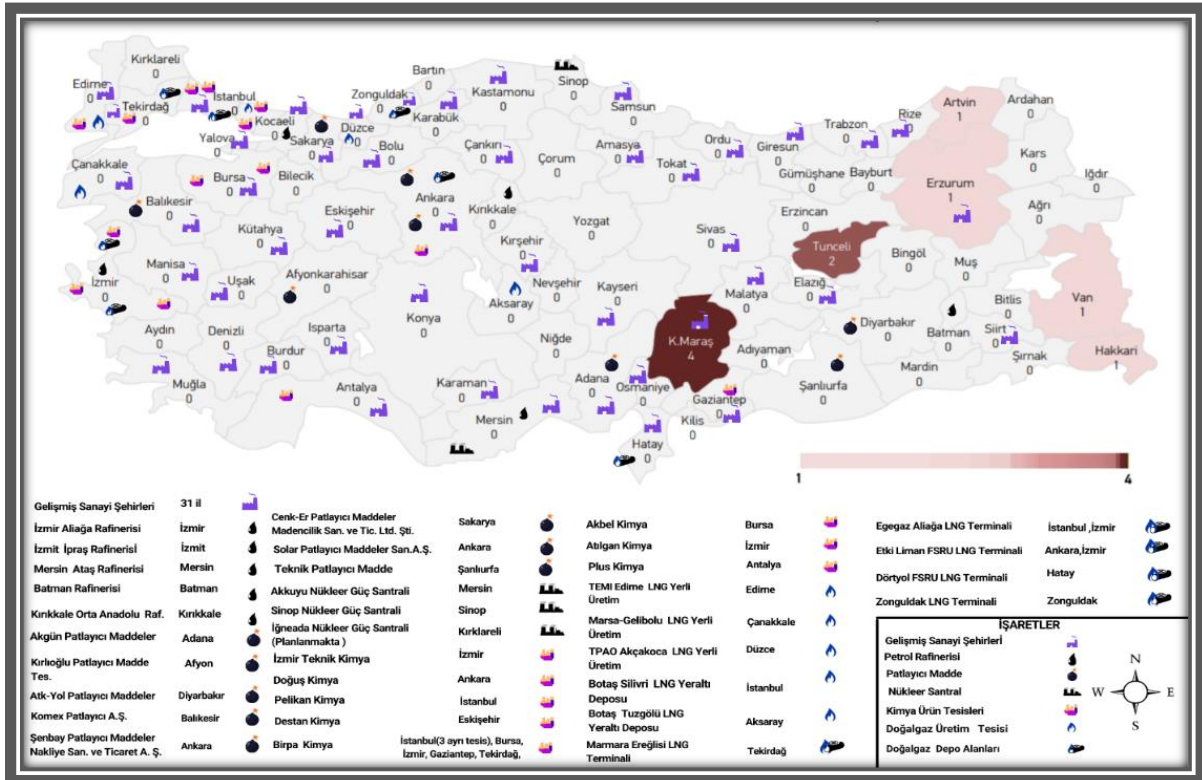


Şekil 11: 2019 yılında Türkiye’de meydana gelen heyelan/kaya düşmesi olaylarının il bazında sayıları (AFAD 2020) ve KBRN-p risk taşıyan endüstri ve enerji tesisleri

AFAD (2020), tarafından hazırlanmış olan Türkiye Çığ Tehlike Haritası, Ülkemizde 1950-2019 yılları arasında yaşanmış çığ olaylarının verilerinin istatistiksel modelleri sonucu oluşturulmuştur. Bu yıllar arası meydana gelen çığ sayısı Şekil 12’de verilen haritada pembe ve bordo renk arasındaki renk değişiklikleri ile açıktan koyuya doğru artan şekilde gösterilmiştir. İl bazında 2019 yılında meydana gelen çığ sayısının dağılımı incelendiğinde; 4 çığ olayının Kahramanmaraş’ta yaşandığı, Tunceli’de 2, Hakkâri, Artvin, Erzurum ve Van’da da 1 çığ olayının yaşandığı görülmektedir. Çığ tehlikesinin olduğu bölgelerde muhtemel KBRN-p açısından risk oluşturabilecek endüstri ve enerji tesisleri Şekil 13’te gösterilmiştir.

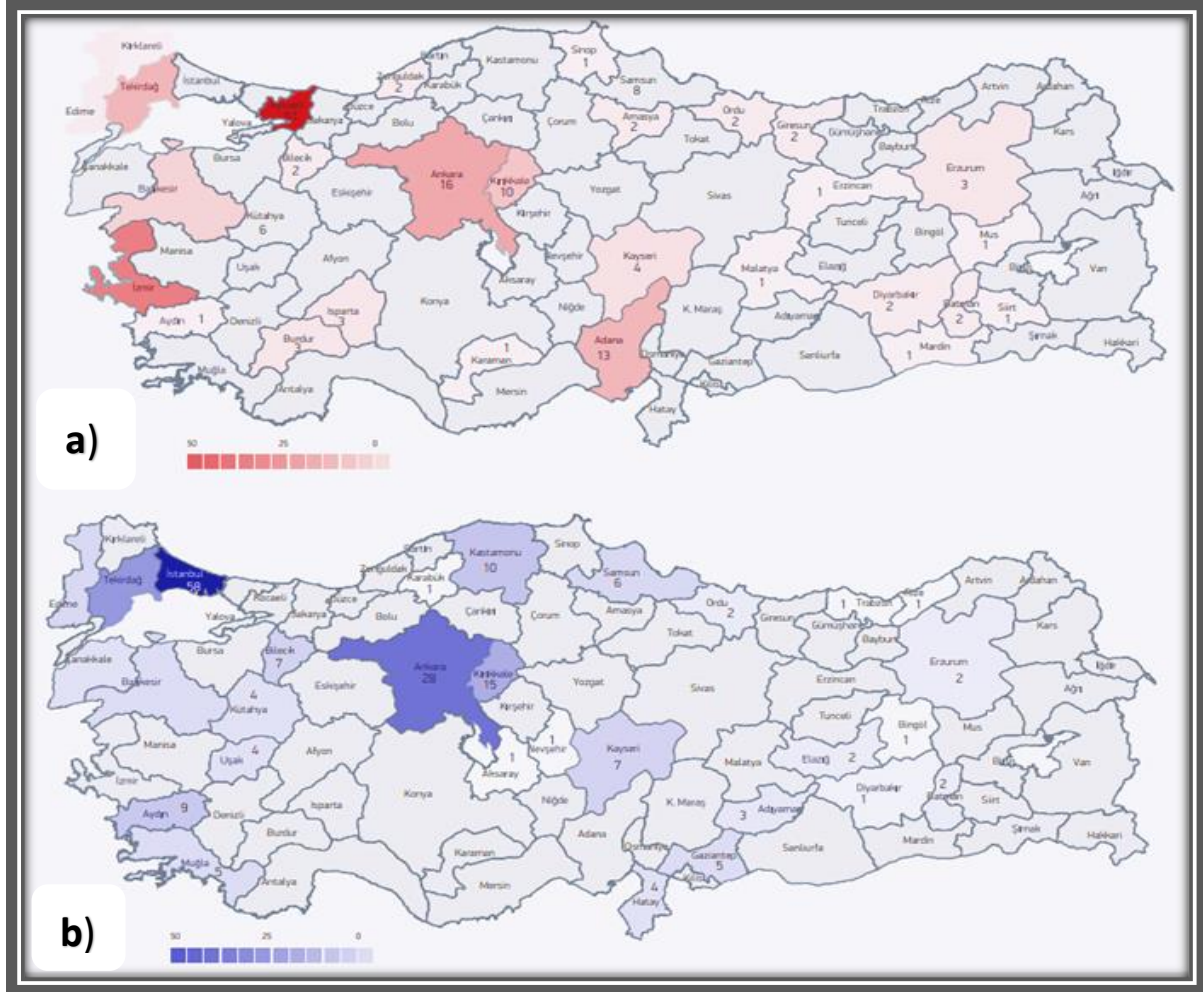


Şekil 12: 1950- 2019 yılları arasında Türkiye’de meydana gelen çığ olaylarının il bazında sayıları (AFAD 2020)



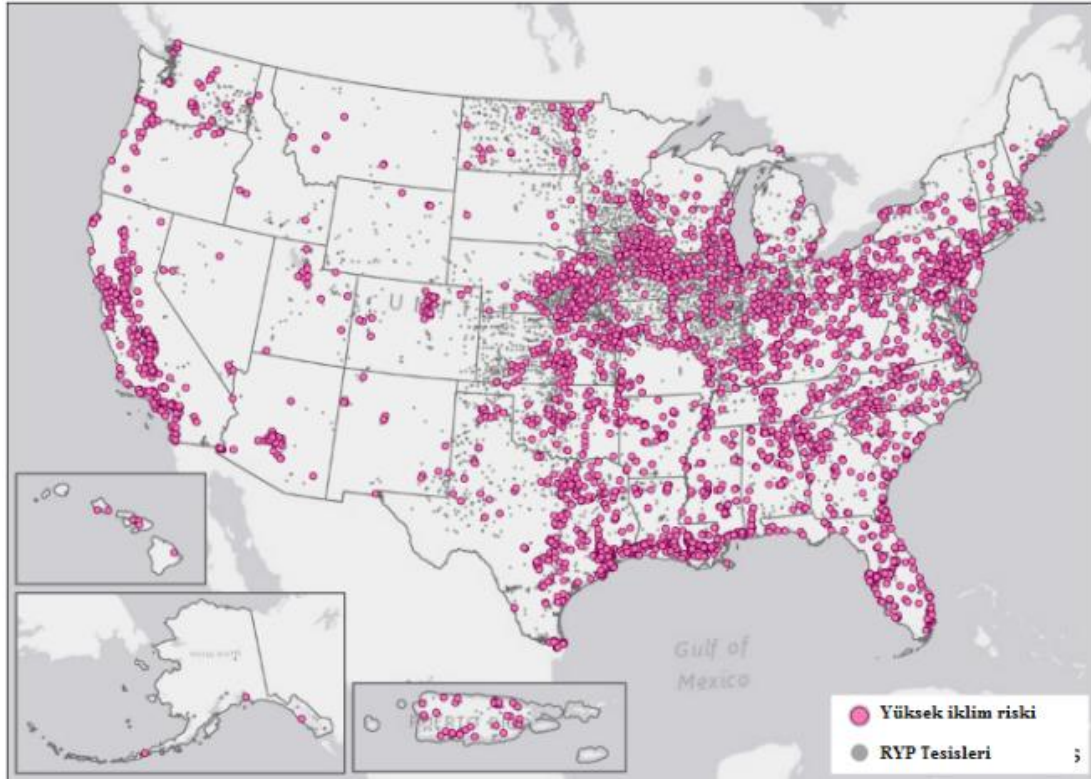
Şekil 13: 2019 yılında Türkiye’de meydana gelen çığ olaylarının il bazında sayıları (AFAD 2020) ve KBRN-p risk taşıyan endüstri ve enerji tesisleri

Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2018 verilerine göre ülkemizde büyük endüstriyel kaza riski taşıyan BEKRA kuruluşlarının sayısı 388 adet Üst Seviyeli, 421 adet Alt Seviyeli olmak üzere toplam 809 adettir (ÇSB 2018). BEKRA kuruluşları; rafineriler, kâğıt fabrikaları, boya imalathaneleri, kimyasal tesisler ve birçok endüstriyel ve ticari sektörden oluşmaktadır. Teknolojik Kazalar Bilgi Sistemi'ndeki veri tabanına göre, 1967-2018 yılları arasında BEKRA kapsamındaki kuruluşlar da dâhil 209 kaza İstanbul'da, 93 kaza Kocaeli'nde ve 50 kaza İzmir'de gerçekleşmiştir. Veri tabanında yer alan verilerden de görüldüğü üzere, kazaların çoğu İzmir, Tekirdağ, Kırıkkale ve Ankara gibi BEKRA kuruluşlarının yoğun olarak bulunduğu illerde gerçekleşmiştir (İKV 2020). Küresel iklim krizi yoğunlaştıkça, kıyı ve iç kesimlerdeki topluluklar giderek artan bir şekilde doğal afet riski altındadır. Endüstriyel tesisler ve kritik altyapı, iklim değişikliği koşulları ve doğal tehlikelerin etkisine karşı yetersiz eylem nedeniyle savunmasızdır. Aşırı fırtınalar, orman yangınları, depremler, sıcak hava dalgaları, sel, yükselen deniz seviyeleri ve diğer doğal afetler için yeterince hazırlanılmadığında, KBRN-p olayları tetiklenerek toksik maddelerin salınımına, yangınlara ve patlamalara gibi ardışık bir dizi zarar meydana gelebilmektedir. Tehlikeli ve hatta yıkıcı salınımlar ise potansiyel olarak sağlık etkilerine, çevre kirliliğine ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Krausmann vd. 2019; EPA 2021).



Şekil 14 a) BEKRA kapsamında üst seviyeli kuruluşların illere göre dağılımı (AFAD 2014), b) BEKRA kapsamında alt seviyeli kuruluşların illere göre dağılımı (AFAD 2014)

Modern afetler giderek domino etkisi yaratma eğilimindedir. Doğal acil durumlar hızla KBRN-p tehlikelerinin neden olduğu antropojenik krizlere dönüşebilmektedir. Ardışık afetler bir dizi doğal ve insan kaynaklı tehlikeyi kapsamakta ve ardışık doğaları analizlerini büyük oranda karmaşıktırmaktadır. Afetlerin ardışık doğasından dolayı bu durum doğal, ekonomik ve sosyal sistemlerin birbirine bağlılığından ortaya çıkan risk yönetimi için önemli zorlukları ortaya çıkarmaktadır (Felsenstein vd. 2020). Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Risk Yönetimi Projesi; kimyasal üreticileri, petrol rafinerileri, su arıtma tesisleri, endüstriyel tarım tesisleri ve kâğıt hamuru ve kâğıt fabrikaları gibi yaklaşık 12.331 kimyasal tesisi düzenlemektedir. Bu tesislerin yaklaşık üçte biri, iklim değişikliği çarpıcı biçimde artan orman yangını, fırtına dalgalanması, sel ve deniz seviyesinin yükselmesi risklerine maruz kalmaktadır. Bu, çoğu yerleşim yerlerinin yakınında bulunan yaklaşık 4.000 tesisin daha büyük bir doğal afet tehdidiyle karşı karşıya olduğu anlamına gelmektedir (Şekil 15) (EPA 2021). Doğal afetlere eğilimli bölgelerde tehlikeli kimyasalların ülkemizde de riskli alanların tespiti açısından haritalandırmaların yapılması, kimyasal salınımların kademeli etkilerinden veya sonuçlanabilecek kümülatif ve birleşik tehlikeli maruziyetlerden korumak için başlıca adımlardan biri olmalıdır.



Şekil 15: ABD'nin yüksek iklim riski ve tehlikeli kimyasalları kullanan, depolayan ve/veya yöneten endüstriyel tesis haritası

5. Tartışma ve Sonuç

Afetlerin etkin bir şekilde ele alınabilmesi için iklim değişikliği, yerel kırılganlıklar, toplumsal dayanıklılık ve sürdürülebilirlik gibi konuların afet yönetimi sürecinin bir parçası olarak düşünülmesi gerekmektedir. Ardışık afetler kavramı, kritik altyapının bozulmasından kaynaklanan olaylar gibi ikincil acil durumların alevlenmesiyle ortaya çıkan olaylara odaklanan bu sürecin bir parçası olarak görülebilir. Ortaya çıkan etkiler daha çok güvenlik açığının büyüklüğü ile ilişkilidir. Gerekli olduğu gibi ele alınmaması durumunda düşük seviyeli tehlikelerde bile sistemde güvenlik açıklarının yaygın olması ile geniş zincir etkiler ortaya çıkabilmektedir (URL-1 2021).

KBRN-p kaynaklı olaylar da; zincir etkiler oluşturan, karmaşık, çok boyutlu ve zaman içinde sürekli gelişerek fiziksel, sosyal veya ekonomik bozulmayla sonuçlanan bir dizi olayın oluşturduğu durumlardır. Ayrıca bu olaylar sadece bölgesel değil tüm dünyayı tehdit eden dinamiklerdir. Bu nedenle uluslararası güvenlik bağlamında Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer ve/veya doğası gereği patlayıcı olan tehlikelerin oluşturacağı risklerin önlenmesi ve azaltılması dünyada önemli bir faaliyet alanı haline gelmiştir (UNDRR 2021b). Avrupa Birliği de bu maddelere ilişkin tehdit ve riskleri azaltmak için uluslararası çabalara önemli katkılarda bulunmaktadır. Seveso Direktifi, AB politikalarıyla iyi bir şekilde entegre edilmiştir. Kimyasalların sınıflandırılması, etiketlenmesi ve paketlenmesi, Birliğin Sivil Koruma Mekanizması, KBRN-p ve Kritik Altyapının Korunması dahil Güvenlik Birliği Gündemi, Çevresel sorumluluk ve çevrenin ceza hukuku yoluyla korunmasına ilişkin politika, Açık deniz petrol ve gaz operasyonlarının güvenliği gibi politika alanlarını içerir (EC 2021).

Ülkemiz en fazla üst ve alt seviyeli Seveso (Ülkemiz mevzuatına göre BEKRA) kuruluşuna sahip beşinci Avrupa ülkesi olarak KBRN-p tehlikeleri ile karşılaşma ihtimali yüksek ülkeler arasındadır. Enerji sektöründe ve büyük endüstrilerde yaşanabilecek kazaları önlemek ve bu kazaların etkilerini azaltmak için Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer ve Patlayıcılara yönelik stratejilerin belirlenmesi önem arz etmektedir. Ülkemizde bu kapsamda endüstriyel kazaların risk azaltımına yönelik yasal düzenlemeler BEKRA ile sağlanmıştır (Dökmeci 2008). Ancak yasal düzenlemeler olası bir endüstriyel kazaya yönelik hazırlandığından ardışık afetler göz ardı edilmektedir. Özellikle en fazla alt seviyeli kuruluşa sahip olan İstanbul, Ankara, Tekirdağ, Kırıkkale ve Kastamonu ve en fazla üst seviyeli kuruluşa ev sahipliği yapan İstanbul, İzmir, Ankara, Adana, Tekirdağ ve Kırıkkale illerinde yaşanmış ve yaşanacak doğal olayların tehlike ve riskleri değerlendirilirken ve risk azaltma planları hazırlanırken ardışık afetler göz ardı edilmemeli ve multi tehlikelerin yer aldığı risk yönetimi planlanmalıdır.

KBRN-p olayları, tehlikeli maddelerin salınımı, yangınlar ve patlamalar nedeniyle doğal bir afetin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkisini daha da kötüleştirebilir. Ardışık ve zincirleme yaşanan hem çevresel hem de insan sağlığını tehdit edebilecek bu olaylardaki zincirin unsurlarını izole etmek ve onları başlı başına bireysel afetler olarak görmek, iklim değişikliği sonucu artan doğal olaylar ile KBRN-p tehlikeleri içeren bir risk yönetimi yaklaşımına entegre etmek ardışık şekilde ortaya çıkabilecek felaketlerin önüne geçmede oldukça etkili bir adım olacaktır.

Bu nedenle risk analizlerinin öncesinde yapılarak gereken önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. Ancak teknolojik veya doğa kökenli tehlikelerden kaynaklanan risklerle başa çıkmak için önleme ve hazırlık önlemleri, müdahale ve kurtarma planlarının entegre edilmesi gerekmektedir. KBRN-p risk analizi ve haritalaması için yöntem ve araçlar eksik olduğundan doğa kaynaklı tehlikelerin olduğu bölgelerde olası bir ardışık afete neden olabilecek KBRN-p olaylarının olma olasılığını içeren planları geliştirmek gerekmektedir.

Kaynaklar

- AFAD, (2014), *2014-2023 Büyük Endüstriyel Kazalar Yol Haritası Belgesi*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/3907/xfiles/endustriyel_kazalar_son.pdf, [Erişim 05 Temmuz 2021].
- AFAD, (2018), *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, <https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari>, [Erişim 25 Haziran 2021].
- AFAD, (2020), *Afet İstatistikleri*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/KurumsalRaporlar/Afet_Istatistikleri_2020_web.pdf, [Erişim 20 Haziran 2021].
- AFAD, (2021), *2020 Yılı Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Istatistikler/2020yilidogakaynakliolayistatistikleri.pdf, [Erişim 20 Ekim 2021].
- Alexander D.E., (2018), *A magnitude scale for cascading disasters*, International Journal of Disaster Risk Reduction, 30(B), 180-185.
- Alexander D.E., Pescaroli G., (2019), *The role of translators and interpreters in cascading crises and disasters: Towards a framework for confronting the challenges*, Disaster Prevention and Management, 29(2), 144-156.
- BEKRA, (2019), *Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik*, T.C. Resmi Gazete, Sayı:30702, Tarih: 02.03.2019, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/03/20190302-1.htm>, [Erişim 4 Temmuz 2021].
- Boin A., Hart P.T., Kuipers S., (2018), *The crisis approach*, Handbook of Disaster Research'ün İçinde, (Rodríguez H., Donner W., Trainor J.E., Ed.), Springer, Cham, New York, ss.23-38.
- Cruz A.M., (2003), *Cascading events and hazardous materials releases during the Kocaeli Earthquake in Turkey*, Analysis of Natech (Natural Hazard Triggering Technological Disasters), Disaster Management NEDIES Workshop Proceedings Ispra, Italy, ss.20 – 21.
- ÇSB, (2018), *Çevre Denetim Raporu*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, https://webdosya.csbgov.tr/db/ced/icerikler/2018_cevre_denetim_raporu-20190711083900.pdf, [Erişim 05 Temmuz 2021].
- Donaldson L., (1991), *Coping with Crisis: The Management of Disasters, Riots and Terrorism*, Australian Journal of Management, 16(1), 99-102.
- Dökmeci A.H., (2018), *Toksikolojik Çevresel ve Endüstriyel Afetler*, Nobel Tıp Kitabevi, İstanbul, 210ss.
- EC, (2021), *Major accident hazards*, European Commission, <https://ec.europa.eu/environment/seveso/> [Erişim 10 Aralık 2021].
- EM-DAT, (2021), *Cred Crunch 62 - 2020 Annual Report*, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), <https://www.emdat.be/cred-crunch-62-2020-annual-report-0>, [Erişim 18 Ekim 2021].
- EPA, (2021), *Preventing "Double Disasters"*, Environmental Protection Agency, <https://www.ucsusa.org/sites/default/files/2021-07/preventing-double-disasters%20FINAL.pdf>, [Erişim 25 Ekim 2021].
- Ergünay O., (2009), *Afet Yönetimi Genel İlkeler, Tanımlar, Kavramlar*, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- EU, (2021), *Overview of natural and man-made disaster risks the European Union may face*, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/285d038f-b543-11e7-837e-01aa75ed71a1>, [Erişim 05 Haziran 2021].
- Felsenstein D., Shmueli D.F., Thomas D.S.K., (2020), *Cascades - Mapping the multi-disciplinary landscape in a post-pandemic World*, International Journal of Disaster Risk Reduction, 51, 101842, doi: 10.1016/j.ijdr.2020.101842.
- Girgin S., Krausmann E., (2013), *Mapping Natech risk due to earthquakes using RAPID-N*, Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-1246, EGU General Assembly.
- IFRC, (2020), *World Disasters Report 2020*, https://www.ifrc.org/sites/default/files/2021-09/20201113_WorldDisasters_4.pdf [Erişim 14 Ekim 2021].
- İKV, (2020), *Sanayi-Çevre İlişkisi: AB ve Türkiye’de Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi Yönergesi*, İktisadi Kalkınma Vakfı, <https://www.ikv.org.tr/images/files/AB%20ve%20T%C3%BCrkiyede%20B%C3%BCy%C3%BCk%20End%C3%BCstriel%20Kazalar%C4%B1n%20C3%96nlenmesi%20Y%C3%B6nergesi.pdf>, [Erişim 26 Haziran 2021].
- Kadioğlu M., (2011), *Afet Yönetimi Beklenilmeyeni Beklemek, En Kötüsünü Yönetmek, Afet Tanımları*, Marmara Belediyeler Birliği Yayını, Yayın No: 65, İstanbul, 220ss.
- Kadioğlu Y., Bağcı H.R., Yılmaz C., (2017), *Doğu Karadeniz Kıyı Kuşağındaki Doğal Afetlere Bir Örnek: 21 Eylül 2016 Tarihli Beşikdüzü seli ve heyelanları*, Marmara Coğrafya Dergisi, 36, 232-242.
- Krausmann E., Girgin S., Necci A., (2019), *Natural hazard impacts on industry and critical infrastructure: Natech risk drivers and risk management performance indicators*, International Journal of Disaster Risk Reduction, 40, 101163, doi: 10.1016/j.ijdr.2019.101163.
- May F., (2007), *Cascading disaster models in postburn flash flood*, USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-46C, 26-30 March, Destin, FL., ss.443-464.
- Oğuz E., Ulupınar Y., Oğuz K., Aksoy M., Akbaş A.İ., Köse S., Çelik S., (2016), *Artvin-Hopa Bölgesinde Meydana Gelen Taşkın ve Heyelan Olayının İncelenmesi*, Ulusal Heyelan Sempozyumu, 27-29 Nisan, Ankara, ss. 531-550.
- Pescaroli G., Alexander D.A., (2015), *A definition of cascading disasters and cascading effects: going beyond the "Toppling Dominos" metaphor*, Planet and Risk, 3(1), 58-67.
- Pescaroli G., Kelman I., (2017), *How Critical Infrastructure Orients International Relief in Cascading Disasters*, Journal of Contingencies and Crisis Management, 25(2), 56-67.
- Quarantelli E.L., (2005), *A social science research agenda for the disasters of the 21st century: Theoretical, methodological and empirical issues and their professional implementation*, What is a disaster?, 325-396.
- TDK, (2015), *Genel Açıklamalı Sözlük*, Türk Dil Kurumu, TDK Yayınları, Ankara.
- UNDRR, (2007), *Hyogo framework for action 2005–2015: Building the resilience of nations and communities to disasters*, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, <https://www.undrr.org/publication/hyogo-framework-action-2005-2015-building-resilience-nations-and-communities-disasters> [Erişim 19 Ekim 2021].

- UNDRR, (2015), *Sendai framework for disaster risk reduction 2015– 2030*, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030> [Erişim 19 Ekim 2021].
- UNDRR, (2021a), *Preparing for disasters and emergencies*, The United Nations Office for Disaster Risk Reduction, https://www.preventionweb.net/files/8450_gprch1618.pdf [Erişim 10 Aralık 2021].
- UNDRR, (2021b), *Disaster risk*, The United Nations Office for Disaster Risk Reduction, <https://www.undrr.org/terminology/disaster-risk> [Erişim 19 Ekim 2021].
- UN/ISDR, (2004), *Disaster risk reduction for sustainable development in Africa, Guidelines for mainstreaming disaster risk assessment in development*, https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/UNISDR_DRR4SustainableDevelopmentInAfrica.pdf, [Erişim 19 Ekim 2021].
- URL-1, (2021), *International efforts for industrial and chemical accidents prevention, preparedness and response*, <https://www.oecd.org/chemicalsafety/chemical-accidents/Brochure%20chemical%20accidents%20prevention,%20preparedness%20and%20response.pdf> [Erişim 17 Kasım 2021].
- Zuccaro G., De Gregorio D., Leone M.F., (2018), *Theoretical model for cascading effects analyses*, International Journal of Disaster Risk Reduction, 30(Part B), 199-215.