



2020

Turkish Journal of
Remote Sensing and GIS

Turkish Journal of Remote Sensing and GIS

Türk Uzaktan Algılama
ve CBS Dergisi



Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Halil AKINCI, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Doç. Dr. Mustafa ZEYBEK, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.
Doç. Dr. Volkan YILMAZ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.

Yabancı Dil Editörü / Language Editor

Doç. Dr. Volkan YILMAZ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Managing Editor

Doç. Dr. Ayşe YAVUZ ÖZALP, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.

Yayın Kurulu / Publishing Board

Prof. Dr. Çetin CÖMERT, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye.
Prof. Dr. Mustafa TÜRKER, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
Doç. Dr. Sedat DOĞAN, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye.

Editör Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Ali Melih BAŞARANER, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Arzu ÇÖLTEKİN, University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland.
Prof. Dr. Arzu ERENER, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
Prof. Dr. Bülent BAYRAM, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Çetin CÖMERT, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.
Prof. Dr. Çiğdem GÖKSEL, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Derya ÖZTÜRK, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye.
Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Fevzi KARSLI, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.
Prof. Dr. Füsün Balık ŞANLI, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye.
Prof. Dr. İsmail Rakıp KARAŞ, Karabük Üniversitesi, Türkiye.
Prof. Dr. Mehmet ALKAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Mehmet Devrim AKÇA, Işık Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Mustafa TÜRKER, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
Prof. Dr. Nesibe Necla ULUĞTEKİN, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
Prof. Dr. Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, Türkiye.
Prof. Dr. Tarık TÜRK, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.
Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Kocaeli, Türkiye.
Doç. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Doç. Dr. Caner GÜNEY, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Doç. Dr. Esra TUNÇ GÖRMÜŞ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.
Doç. Dr. İsmail Ercüment AYAZLI, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.
Doç. Dr. Mehmet Ali YÜCEL, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye.
Doç. Dr. Krzysztof STERENCZAK, Instytut Badawczy Leśnictwa, Poland.



Editör Kurulu / Editorial Board

- Doç. Dr. Nusret DEMİR, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye.
Doç. Dr. Özlem AKAR, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye.
Doç. Dr. Saygın ABDİKAN, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
Doç. Dr. Uğur ALGANCI, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Deniztan ULUTAŞ KARAKOL, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Ekrem SARALIOĞLU, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Gülten KARA, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÜSTÜNER, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Resul ÇÖMERT, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Ziya USTA, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.
Dr. Abdulla M. AL-RAWABDEH, Yarmouk University, Irbid, Jordan.
Dr. Aikaterini KARAGIANNI, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.
Dr. Davod POREH, University of Napoli Federico II, Napoli, Italy.
Dr. Manohar YADAV, Motilal Nehru National Institute of Technology (MNNIT) Allahabad Prayagraj, India.
Dr. Mohammed DABBOOR, Environment and Climate Change Canada.
Dr. Serkan URAL, ETH Zurich- Computational Physics, Switzerland.
Dr. Yasemin KUZU SINRAM, Hexagon Geospatial Ltd. USA.



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ RESEARCH ARTICLES

- Yer Yüzevi Sıcaklıkları ile Kentsel Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi: Şanlıurfa, Diyarbakır ve Mardin Örneği
Determining the Relationship Between Land Surface Temperatures and Urban Land Use: The Example of Şanlıurfa, Diyarbakır, and Mardin
Ömer Ünsal, Vedat Avcı.....125 - 150
- RUSLE Modeli ile Tepelik Bir Arazinin Toprak Erozyonunun Değerlendirilmesi - Chittagong Hill Tracts Örneği
Soil Erosion Assessment of a Hilly Terrain by RUSLE Model - A Case Study of Chittagong Hill Tracts
Easmat Ara Afrin, M. M. Abdullah Al Mamun, M. Mozaffar Hossain, Li Zhang151 - 165
- Bazı Ekmeklik ve Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Spektral Bant Bölgeleri Kullanılarak Sarı Pas Hastalık Reaksiyonlarının Değerlendirilmesi
Evaluation of Yellow Rust Reactions in some Bread and Durum Wheat Varieties by Using Spectral Band Regions
Metin Aydoğdu, Kadir Akan.....166 - 186
- CBS Ağ Analizi Yöntemleri ile Hayvansal Gübre Kaynaklı Biyogaz Üretim Tesisi Yer Seçimi: Eskişehir Örneği
Site Selection of Animal Manure Operated Biogas Power Plant with GIS Network Analysis: Eskişehir Case
Hakan Oktay Aydın, Hakan Uygucil.....187 - 197
- Çekirdek Tabanlı Aşırı Öğrenme Makinesi ile Hiperspektral Görüntü Sınıflandırma
Kernel Extreme Learning Machine for Hyperspectral Image Classification
Mustafa Üstüner.....198 - 212
- POI Verilerinin Semantik Tanımlarının Oluşturulması ve Görselleştirilmesi
Generating Semantic Definitions and Visualization of POI Data
Gülten Kara, Huriye Akcan.....213 - 230
- Sentinel-2 Uydu Görüntüleri için Evrişimli Otokodlayıcı Sinir Ağı ile Süper Çözünürlük Yaklaşımı
Super Resolution Approach with Convolutional Autoencoder Neural Network for Sentinel-2 Satellite Imagery
Ahmet Ertuğrul Arık, Reha Paşaoğlu, Nuri Emrahaoğlu.....231 - 241
- Uzaktan Algılama Teknikleri ile Su Yüzeylerinin Tespit Edilmesinde Kullanılan Su Çıkarma İndekslerinin Performans Analizi
Performance Analysis of Water Extraction Indices Used in Detection of Water Surfaces with Remote Sensing Techniques
Osman Salih Yılmaz.....242 - 261
- Google Earth Engine Üzerinde Sentinel-2 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Yanan Alanların Farklı Eşik Değerlerinde Belirlenmesi
Determination of Burned Areas at Different Threshold Values Using Sentinel-2 Satellite Images on Google Earth Engine
Sinan Demir.....262 - 275
- Arazi Parsel Tanımlama Sistemi Verileri Kullanılarak Ülkesel Ölçekte Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanım Sınıflandırması
Land Cover and Land Use Classification at National Scale Using Land Parcel Identification System Data (LPIS)
Fatih Fehmi Şimşek276 - 288
- İstanbul Bakırköy İlçesinin Geçici Barınma Alanlarının Uzaktan Algılama Yöntemi ile Analizi
Analysis of Temporary Shelter Areas of Istanbul Bakırköy District with Remote Sensing Method
Aslı Sabuncu.....289 - 300



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

RESEARCH ARTICLES

Toplu Taşıma Duraklarının Erişilebilirliği: İstanbul Örneği

The Accessibility of Public Transportation Stops: Istanbul Case

Dilara Öztaşkın, Sinan Levend 301 - 318

Yer Yüzeyi Sıcaklıkları ile Kentsel Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi: Şanlıurfa, Diyarbakır ve Mardin Örneği

Determining the Relationship Between Land Surface Temperatures and Urban Land Use: The Example of Şanlıurfa, Diyarbakır, and Mardin

Ömer Ünsal^{1*}, Vedat Avci²

¹*İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya ABD, 34119, İstanbul/Türkiye.*

²*Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 12000, Bingöl/Türkiye.*

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Ömer Ünsal
oomer.unsal@gmail.com

doi: 10.48123/rsgis.1195902

Yayın süreci

Geliş tarihi: 28.10.2022

Kabul tarihi: 14.04.2023

Basım tarihi: 28.09.2023

Özet

Çalışma, yer yüzeyi sıcaklıklarındaki (YYS) değişimlerin kent sınırları ve arazi kullanımı ile ilişkisinin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki Şanlıurfa, Diyarbakır ve Mardin kentlerinde ortaya konmasını amaçlamıştır. YYS'de en belirgin artış kent yüzeylerinde meydana gelmektedir. Bu nedenle kentler çevresine göre daha sıcak ortamlar (ısı adası) olarak belirlenmektedir. Kentlerde farklı arazi kullanımlarına göre YYS de değişmektedir. Bu çalışmada kullanılan veriler 2019 yılı için Landsat 8 (OLI-TIRS), 1990 yılı için Landsat TM 5 uydu görüntüleri, kentsel alan sınırları, CORINE ve kentsel arazi örtüsü/arazi kullanım (AÖ/AK) sınıflarıdır. Literatürde önerilen formüller kullanılarak YYS haritaları oluşturulmuştur. 1990-2019 yılları arasında YYS'de meydana gelen değişim üretilen fark haritaları ile bulunmuştur. YYS değerleri ile arazi kullanım sınıfları örneklem noktaları kullanılarak karşılaştırılmış, meydana gelen YYS değişiminin nedenleri irdelenmiştir. Diyarbakır kentsel alanının %50'sinde, Şanlıurfa'nın %36'sında, Mardin'in %54'ünde kente özgü YYS fark ortalamasının üzerinde YYS değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca üç kentte de 1990 yılı kent sınırının genel olarak YYS fark ortalamasının üstünde kaldığı saptanmıştır. Kente ve bölgeye özgü önerilerin yanı sıra aktif ve nitelikli yeşil altyapı çalışmaları ile kent çekirdeklerinde koruma-kullanma dengesi gözetilerek iklim projeksiyonlarına uygun ve yenilikçi çözümlerin uygulanması tavsiye edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Yer yüzeyi sıcaklığı, Arazi kullanımı, Kentleşme, Kentsel ısı adası

Abstract

This study aims to reveal the relationship between changes in land surface temperatures (LST) and land use in Şanlıurfa, Diyarbakır, and Mardin urban boundary in the Southeastern Anatolia Region of Türkiye. The most significant increase in LST occurs on urban surfaces. For this reason, cities appear as warmer environments (heat island) compared to their surroundings. Also, LST changes according to different land usage in cities. The data used in this study are Landsat 8 for 2019, Landsat 5 satellite images for 1990, urban area boundaries, CORINE and urban land use/land cover (LU/LC) classes. LST maps were created using the formulas suggested in the literature. The change in LST was found with different maps between 2019-1990. LST values and land use classes were compared using sampling points, and the reasons for the LST change were examined. In 50% of the Diyarbakır urban area, 36% of Şanlıurfa, and 54% of Mardin, temperature values above the city-specific LST difference average were determined. Also, it was determined that the urban border of 1990 in all three cities was generally above the average of the LST difference. In addition to urban and region-specific suggestions, it is recommended to implement climate-smart and innovative solutions by considering the protection-utilization balance in urban cores with active and qualified green infrastructure works.

Keywords: Land surface temperature, Land use, Urbanization, Urban heat island

1. Giriş

Kent ve çevresinde yer alan kırsal alanlar arasındaki yüzey ve hava sıcaklığı farklılığı kentsel ısı adası olarak tanımlanmaktadır (Çiçek ve Doğan, 2005; Uğur ve Aliğaçoğlu, 2019). Kentsel ısı adası etkisi, kentlerde yaygın bir iklimsel olgu olarak kabul edilmektedir (Carnahan ve Larson, 1990). Kentsel ısı adasının oluşmasında en önemli etken yer yüzeyi sıcaklıklarındaki (YYS) artıştır. Kentleşmeye bağlı olarak güneş radyasyonunun yer yüzeyinde tutulumu daha fazla olmaktadır. Buna bağlı olarak kentlerde YYS artışı daha fazladır. Kent içerisinde arazi formlarına bağlı olarak YYS de değişmektedir. Bu nedenle şehrin farklı bölgelerinde YYS ve buna bağlı olarak kentsel ısı adası etkisi farklı olmaktadır. Konu ile ilgili yerli ve yabancı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Özellikle 2016'dan itibaren artan sayıda yayın, konuya duyulan ilginin seviyesini doğrulamaktadır (Almeida vd., 2021).

Literatürde, YYS'deki değişim, gece-gündüze, aylara, mevsimlere ve yıllara göre değerlendirilmektedir. Bunun yanında literatürde YYS'nin değişimi kentsel ve kırsal alanlar karşılaştırılarak araştırıldığı gibi, bazı çalışmalarda sadece kırsal alanlarda, bazı çalışmalarda ise sadece kentsel alanları kapsayacak çalışmalar da mevcuttur. Gece-gündüze göre YYS'de meydana gelen değişime Peng vd. (2012) ile Karadoğan ve Kavak (2017) çalışmaları örnek verilebilir. Peng vd. (2012) çalışmasında; MODIS uydu görüntülerini kullanarak kentsel alan ile banliyö alanı yüzey sıcaklık farklılıklarını günlük ve mevsimsel olarak değerlendirmiştir. 419 adet küresel büyük şehir ölçeğinde yapılan çalışmada kentler ile banliyöler arasındaki ısı farkının sadece nüfus yoğunluğu ile ilişkili olmadığı ortaya konmuştur (Peng vd., 2012). Karadoğan ve Kavak (2017), Diyarbakır Havzası'nda iklim üzerinde, yer şekilleri ve litoloji etkisini MODIS uydu görüntüsü kullanarak gece-gündüz ölçeğinde değerlendirmiştir. Nisan ayı uydu görüntüsü kullanılarak yapılan çalışmada, havzada gece-gündüz arasındaki YYS farkının Karacadağ ve çevresinde en fazla olduğu belirlenmiştir. Li vd. (2019), gündüz kentsel ısı adası yoğunluğunun mekansal değişiminin, kentsel ve kırsal alanların suyu buharlaştırma kapasitesindeki değişimler tarafından daha fazla kontrol edildiğini ve yeşil altyapı gibi buharlaşma kapasitesini artıran stratejilerin kentsel ısıyı azaltmada etkili olduğunu göstermiştir (Li vd., 2019).

Ünal Çilek (2022), kentsel ısı adası etkisini Adana ölçeğinde mevsimsel (kış-yaz) olarak değerlendirmiştir. Bu çalışmada kentlerde geçirimsiz yüzeyler nedeniyle yüzey ısı dalgalarının ortaya çıktığı belirtilmiştir. Çalışmada, YYS sıcaklığının kış aylarında kesikli/sürekli orta yoğun kent yapısında, endüstriyel ve ticari birimler ile izole yapılarda, yaz aylarında ise endüstriyel ve ticari birimler, karayolları ve ilgili alanlar, spor ve eğlence alanları ve kent yapısı gibi kentsel alanlarda en yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Polat (2020) ve Mercan (2020) ise YYS'deki değişimin yıllara göre nasıl değiştiğini konu edinen çalışmalardır. Mardin kenti için uydu görüntüleri kullanılarak 1990-2019 aralığındaki YYS değişimi analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Mardin'de ortalama YYS'nin 25 °C den 37 °C' ye yükseldiği, güneybatıda sulamalı tarımın yapılması ile 2000 yılından itibaren YYS'de düşüşün dikkate değer olduğu ortaya konmuştur (Polat, 2020). Mercan (2020) Muş ilinde, 1990-2019 yılları arasında YYS'deki meydana gelen değişimleri değerlendirmiştir. Bu çalışmada YYS'de yılda ortalama olarak 0,3 °C artışın meydana geldiği belirlenmiştir.

Kentlerde YYS'nin yüksek olması kentleşme ile daha çok ilgilidir. İstanbul için yapılan bir çalışmada, kentleşme oranının yüksek olduğu bölgelerde YYS ve kentsel ısı adası etkisinin artacağı ortaya koyulmuştur (Bektaş Balçık, 2014). Oğuz (2015), ASTER görüntülerini kullanarak, Baltimore (ABD) için YYS haritası oluşturmuştur. Çalışmada maksimum YYS değerleri kentsel alanlarda, en düşük YYS değerleri ise su ve orman alanlarında tespit edilmiştir. İstanbul'un Anadolu yakasında CORINE AÖ/AK sınıflarının YYS değerlerini yıllara göre araştıran çalışmada yapay bölgelerde YYS'nin tarım ile orman ve yarı doğal alanlara göre daha yüksek olduğu saptanmıştır (Kuşak ve Küçükali, 2020). Niğde il genelinde CORINE AÖ/AK sınıflarının YYS değerlerini yıllara (1989, 1999, 2009, 2019) göre araştıran başka bir çalışmada ise geçirimsiz yüzeyler diğer tüm sınıflara göre tüm yıllarda daha yüksek YYS değerine sahiptir (Soydan, 2020). Benzer şekilde Aksaray il genelinde CORINE AÖ/AK sınıflarının YYS değerlerinin incelendiği bir çalışmada sulak alan ve orman alanlarının yapay alanlara ve tarım alanlarına göre daha düşük YYS değerine sahip olduğu saptanmıştır (Kaçmaz ve Gürbüz, 2022). Bolu kent merkezindeki AÖ/AK sınıflarının YYS değerlerinin incelendiği bir çalışma da bulunmaktadır. Bu çalışmaya göre YYS değeri en yüksek olan sınıflar sırasıyla endüstri ve üretim alanları, spor ve eğlence alanları ile sürekli kentsel alanlardır (Kırkık Aydemir vd., 2022).

Kentsel ısı adasının oluşmasında jeolojik faktörlerin de etkili olduğu literatürde belirtilmiştir. Uysal ve Polat (2015), Afyon şehrinde kentsel ısı adasını, kentteki volkanik kayalardan oluşan tepeler ve kent çevresindeki jeotermal su kaynakları ile ilişkilendirmiştir. Orhan vd. (2014), 1984-2011 arası dönemde Tuz Gölü Havzasında kara yüzey sıcaklıklarında dramatik değişikliklerin (yaklaşık 2 °C) meydana geldiğini belirtmektedir. Orhan ve Yakar (2016), Konya Havzası için yaptıkları çalışmada, havzada YYS'nin 1984-2014 yılları arasında uzun dönemler halinde yaklaşık 5 °C, 2011-2014 yılları arasında ise kısa dönemler olarak 2-3 °C civarında arttığını ortaya koymuştur. Dihkan vd. (2018), "Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde yer alan İstanbul, Bursa, Ankara, İzmir, Gaziantep, Erzurum ve Trabzon olmak üzere yedi şehri YYS açısından incelemiş, kentsel ısı adasının kentleşmiş alanlarda önemli bir çevre sorunu olduğunu, çalışılan tüm lokasyonlarda hem atmosferik ısı adası hem de kent ısı adası tespit edildiğini ve bu sorunun 1984'ten 2011'e kadar hızla arttığını belirtmişlerdir.

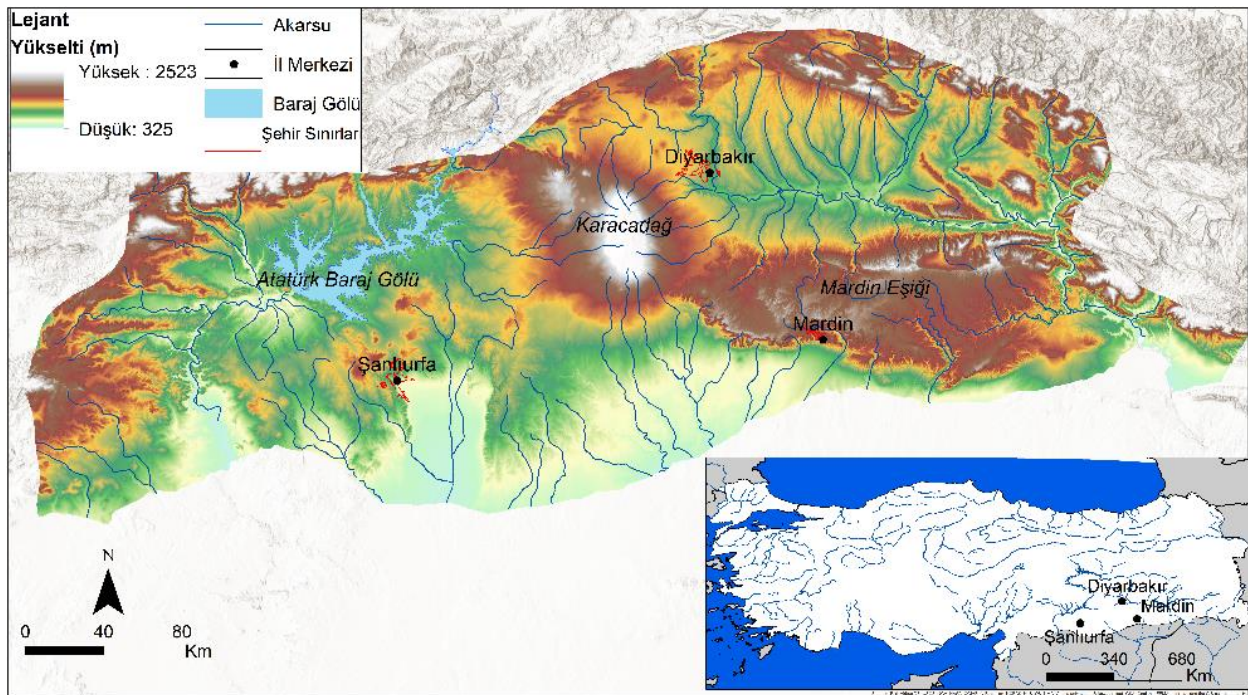
Türkiye'deki kentsel ısı adası sorunu, değişen arazi kullanımının yanı sıra, kent planlama geometrileri üzerindeki antropojenik baskı ve müdahalelerle ilişkilendirilmiştir". Ünal Çilek ve Çilek (2021) Landsat 8 ve ENVI-met yazılımını kullanarak yerel iklim zonu sınıflarında meydana gelen YYS farklarını karşılaştırmıştır. Bu çalışmada YYS desenleri, bina yoğunluğu, bina yükseklikleri, bitki örtüsü tipi ve yoğunluğu, su yüzeyi ve yüzey malzemesinin ışıma özelliklerinin etkilerine göre önemli ölçüde ayırt edilmiştir.

Bu çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Şanlıurfa, Diyarbakır ve Mardin kentlerinde 1990-2019 yılları arasında meydana gelen YYS değişiminin kentsel arazi kullanımı ile ilişkisinin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Literatürde Mardin (Polat, 2020) ve Diyarbakır (Karadoğan ve Kavak, 2017) illerindeki YYS değişimini inceleyen çalışmalar yer almakla birlikte bu çalışmalar, YYS'deki değişimi kent sınırı ve arazi kullanımı ölçeğinde ele almamışlardır. Yine bu çalışmalardan farklı olarak, YYS değerlerinin CORINE ve kentsel AÖ/AK sınıfları ile olan ilişkisini belirlemek ve farklı kent sınırlarındaki YYS farkını tespit etmek çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır. Bu amaçla Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki CORINE ve kentsel AÖ/AK sınıflarındaki YYS değerleri araştırılmıştır. Çalışmanın, farklı kentsel karaktere sahip Mardin, Şanlıurfa ve Diyarbakır kentlerinin üçünü kapsaması ve YYS'de meydana gelen değişimin kentleşme ve arazi kullanımı ilişkisini sorgulaması özgün yönleridir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Araştırmaya konu edilen Şanlıurfa, Diyarbakır ve Mardin illeri, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır (Şekil 1). Mardin kent merkezi, 37.324088 kuzey enlemi ile 40.721515 doğu boylamı, Şanlıurfa kent merkezi 37.159738 kuzey enlemi ile 38.801431 doğu boylamı, Diyarbakır kent merkezi 37.915790 kuzey enlemi ile 40.225328 doğu boylamında yer almaktadır. Çalışma alanının belirlenmesinde iki faktör etkili olmuştur. Bunlardan birincisi çalışmaya konu olan üç kentin kent dokusu içerisinde farklı karakterde arazi dokularının bulunmasıdır. İkincisi ise Türkiye'nin en sıcak bölgelerinden biri olan Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki kentlerin uzun yıllar içerisinde kentsel arazi kullanımlarının değişmesi ile birlikte YYS değerlerinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi için uygun olmasıdır.



Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon haritası (altlık harita ESRI (2022)'den alınmıştır.)

Şanlıurfa, morfolojik bakımdan sade bir görünüm arz etmekte olup, ana yer şekilleri dağ, ova ve platolardır. Bazı platolar üzerinde kurulmuş Şanlıurfa (Güzel, 2020), Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin en büyük kentlerinden biridir. Şanlıurfa'da kentsel alanların yükseltisi 453-765 m arasında değişmektedir. Bu sahalarda için ortalama yükselti değeri 564 m'dir. Kuzeyde ve batıda kentsel alanların yükseltisi artmaktadır. Kentsel alanların eğim değerleri 0-32° arasında değişmekte olup, ortalama eğim değeri 4,3°'dir. Eğim değerleri batı ve kuzeyde maksimumdur.

Şanlıurfa'da uzun yıllar (1991-2020) sıcaklık ortalaması 19 °C, yıllık yağış toplamı ise 450,5 mm'dir (MGM, 2022). Diyarbakır, kenarlarında 1000 m yükseltiyeye sahip, tabanda ise yükseltinin 500 m'nin altına düştüğü bir çanak içerisinde yer almaktadır (Yücel, 1987). Diyarbakır'da kentsel alanların minimum yükseltisi 582 m, maksimum yükselti değeri 830 m, ortalama yükselti değeri ise 713 m'dir. Diyarbakır'da kentsel alanların yükselti değeri batıya ve kuzeybatıya doğru gidildikçe artmaktadır. Kentsel alanların eğim değerleri 0-28° arasında değişmektedir. Bu sahaların eğim değeri doğuda maksimumdur. Diyarbakır için yıllık ortalama sıcaklık 15,9 °C, yıllık yağış toplamı ise 498,4 mm'dir (MGM, 2022). Mardin ilinde kentsel alanlar için yükselti 855-1137 m arasında değişmektedir. Bu sahaların ortalama yükseltisi 949 m olup, yükselti güneydoğu istikametinde artmaktadır. Eğim değerleri 0-37° arasında değişmekte olup, güneydoğu doğrultusunda artmaktadır. Ortalama eğim değeri ise 9,7 °C'dir. Mardin'de ortalama sıcaklık 16,6°C, yıllık yağış toplamı ise 610,1 mm'dir. Çalışmaya konu edinilen illerden ortalama sıcaklık değeri en yüksek olan Şanlıurfa iken, yıllık yağış toplamı Mardin'de en fazladır. Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre üç kent de kışı ılık, yazı çok sıcak ve kurak Akdeniz iklimine (Csa) sahiptir (MGM, 2022).

2.2. Veri

Bu çalışmada kullanılan temel veri kaynakları, Landsat uydu görüntüleri USGS (2022), CORINE AÖ/AK (Copernicus, 2022), kentsel AÖ/AK için Kent Atlası verileri (ÇŞİDB, 2019) ve Open Street Map veri tabanıdır (OSM, 2022). Çalışmada verilerin işlenmesi için ArcGIS for Desktop 10.8 yazılımı kullanılmıştır. USGS (2022) veri tabanından 1990 yılına ait Landsat 5 TM ve 2019 yılına ait Landsat 8 (OLI ve TIRS-2019) gündüz görüntüleri indirilmiştir (Tablo 1). Landsat 5 sensörünün termal bandı 120 metre, Landsat 8 sensörünün termal bandı ise 100 metre mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Bu bantlar yeniden örneklenerek 30 metre mekânsal çözünürlüğe getirilmiştir. Kent merkezlerinde bulutluluğun en az olduğu görüntülerin temini amacıyla yaz ayları tercih edilmiştir. 1990 ve 2019 yıllarındaki değişimi daha doğru ortaya koymak için aynı ay ve aynı günler olmasına özen gösterilmiştir.

Tablo 1. YYS çıkarımında kullanılan görüntü bilgileri

Görüntü Kaynağı	Bant	Mekânsal Çözünürlük	Görüntü Zamanı	Görüntü Yeri
Landsat 5 TM	Bant 6 (termal)	120 m	30/07/1990 09:23	Şanlıurfa
Landsat 5 TM	Bant 4 (yakın kızılötesi)	30 m	30/07/1990 09:23	Şanlıurfa
Landsat 5 TM	Bant 3 (kırmızı)	30 m	30/07/1990 09:23	Şanlıurfa
Landsat 8 (OLI ve TIRS)	Bant 10 (termal)	100 m	30/07/2019 10:03	Şanlıurfa
Landsat 8 (OLI ve TIRS)	Bant 5 (yakın kızılötesi)	30 m	30/07/2019 10:03	Şanlıurfa
Landsat 8 (OLI ve TIRS)	Bant 4 (kırmızı)	30 m	30/07/2019 10:03	Şanlıurfa
Landsat 5 TM	Bant 6 (termal)	120 m	08/08/1990 10:17	Diyarbakır ve Mardin
Landsat 5 TM	Bant 4 (yakın kızılötesi)	30 m	08/08/1990 10:17	Diyarbakır ve Mardin
Landsat 5 TM	Bant 3 (kırmızı)	30 m	08/08/1990 10:17	Diyarbakır ve Mardin
Landsat 8 (OLI ve TIRS)	Bant 10 (termal)	100 m	08/08/2019 10:56	Diyarbakır ve Mardin
Landsat 8 (OLI ve TIRS)	Bant 5 (yakın kızılötesi)	30 m	08/08/2019 10:56	Diyarbakır ve Mardin
Landsat 8 (OLI ve TIRS)	Bant 4 (kırmızı)	30 m	08/08/2019 10:56	Diyarbakır ve Mardin

Open Street Map veri tabanından indirilen karayolu, ilçe ve mahalle verileri çalışmada kullanılmıştır (OSM, 2022). 1990 ve 2019 yılı kentsel alanları Landsat uydu görüntüleri üzerinden sayısallaştırılarak elde edilmiştir. Sayısallaştırma sırasında Google Earth Engine'de sunulan 1990 ve 2019 yılı görüntülerinden de faydalanılmıştır (GEE, 2022).

Çalışmada iki tür AÖ/AK verisi kullanılmıştır. Bunlardan ilki CORINE projesi ile üretilen 1990 ve 2018 AÖ/AK verileridir (Copernicus, 2022). CORINE AÖ/AK verileri Avrupa Birliği üyesi ülkelere ek olarak Türkiye'nin de dahil olduğu 39 ülke için üretilmiştir. Bu veri çeşitli uydulara ait görüntüler kullanılarak 1990, 2000, 2006, 2012, 2018 yıllarına ait yapay bölgeler, tarımsal alanlar, orman ve yarı doğal alanlar, sulak alanlar ve su yapıları olmak üzere 5 üst AÖ/AK kategorisinden oluşmaktadır. Bu kategorilere bağlı 15 adet alt kategori ve 44 AÖ/AK sınıf bulunmaktadır (Copernicus, 2022). Her sınıfın ilgili olduğu üst başlıkla ilgili olmak üzere üç haneli bir kodu vardır. "1" ile başlayan sınıflar yapay bölgeler kategorisine ait olan sınıfları ifade eder. Çalışmamız kent sınırının içinde kalan CORINE AÖ/AK sınıflarıyla ilgilendiği için bu sınıflar hakkında açıklayıcı bilgiler verilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Kentsel AÖ/AK sınıfları ve açıklamaları (TOB, 2023)

CORINE AÖ/AK Sınıfı	Açıklama
111: Sürekli Kentsel Alan	Toplam yüzeyin %80'inden fazlasının bina, yol ve diğer yapay yüzeylerden oluşan geçirimsiz alanları ifade eder. Gösterilen alanın %20'sine kadar olan kısmı yeşil alan olsa bile bu sınıfa dahil edilir. Ayrıca 25 hektardan küçük olan üzerinde bitki örtüsü olup olmamasına bakmaksızın tüm mezarlık alanları bu sınıfa dahil edilir.
112: Süreksiz/Kesintili Kentsel Alan	Toplam yüzeyin %30 ile %80 arasındaki kısmının bina, yol ve diğer yapay yüzeylerden olduğu geçirimsiz alanları ifade eder. Müstakil konutlar, köy yerleşmeleri, dağınık bloklar, 25 hektardan küçük olan spor, kamu, eğitim, sağlık tesisi gibi alanlar bu sınıfa dahil edilir.
121: Endüstri ve Ticari Alanlar	Bitki örtüsü bulunmayan yapay ve/veya yeşil alanlardan oluşan alanları ifade eder. Cezaevleri, yaşlı bakım merkezleri, çeşitli tarım tesisleri, fuar alanları, askeri alanlar, üniversiteler, endüstriyel tesisler, çeşitli enerji üretim alanları ve telekomünikasyon ağlarıyla ilgili alanlar bu sınıfa dahil edilir.
124: Havaalanları	Sivil ve askeri olmak üzere havaalanı nizamıyesinin tümünü ifade eder. Havaalanı tampon bölgesindeki makilik fundalık gibi alanlar da bu sınıfa dahil edilir.
133: İnşaat Alanları	Temel kazıları, toprak işleri dahil olmak üzere inşaat halinde olan tüm yapılar ile kamu, endüstri, ulaşım ve enerji alanlarını ifade eder.
141: Kentsel Yeşil Alanlar	Park ve önemli oranda bitki örtüsü olan mezarlıklar dahil kentsel yeşil alanları ifade eder. Kent meydanları, botanik ve hayvanat bahçeleri bu sınıfa dahil edilir.

Diğer AÖ/AK sınıfı ise daha detaylı olup kent içindeki arazi kullanımını içermektedir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) tarafından üretilen kentsel AÖ/AK sınıflarının üretim yılları 2014-2016 yıllarına ait olup 2019 yılında yayınlanmıştır. Kentsel AÖ/AK (Kent Atlası) sınıflarının yorumlanmasında 10 cm mekânsal çözünürlüğe sahip gerçek ortofotolar kullanılmıştır (Ekinci Yelen, 2019). Türkiye, Avrupa Birliği tarafından başlatılan Kent Atlası projesine 2012 yılında katıldığı için 1990 yılına ait kentsel AÖ/AK verisi bulunmamaktadır. Buna ek olarak Avrupa Birliği'nin Kent Atlası projesinde yer almayıp ÇŞİDB tarafından oluşturulan yeni sınıflar eklenmiştir (ÇŞİDB, 2019). Türkiye'ye özgü bu sınıflar kamu, eğitim, sağlık, ibadet, ticaret ile sera, mezarlık, aktif ve pasif yeşil alanlar gibi çeşitli kentsel fonksiyonlardan oluşmaktadır (Tablo 3). Bunların dışında yapılı çevrenin miktarını veren sınıflar çalışma açısından oldukça önemlidir. Bu bakımdan 5 AÖ/AK sınıfı detaylı açıklamak gerekmektedir. Bunlardan ilki "Sürekli Kentsel Alan (> %80)" isimli sınıftır. Bu sınıfa atanmış alandaki geçirimsiz yüzeylerin miktarı %80'den fazla olduğunu ifade eder. Diğer bir ifade ile 1000 metrekarelik bir parselin 800 metrekaresinin geçirimsiz yüzeylerden oluştuğu anlamına gelir. "Yüksek yoğunluklu süreksiz kentsel alan (%50-%80)" sınıfı ise gösterilen alandaki geçirimsiz yüzeylerin %50 ile %80'i arasında yer kapladığını ifade eder. Diğer üç sınıf da aynı yapıda devam eder. Buradan anlaşılacağı üzere sınıfların ismindeki "yoğunluk" ifadesi yüksek katlı yoğun yapılaşmayı değil ilgili alandaki geçirimsiz yüzeylerin kapladığı alanı ifade eder. Çalışmanın devamında kentsel yoğunluk sınıfları olarak ifade edilecek sınıflar bahsedilen beş kentsel AÖ/AK sınıflarının tümünü ifade eder (Copernicus, 2012).

Tablo 3. Kentsel AÖ/AK sınıfları ve açıklamaları (Copernicus, 2012; Özmekik vd., 2022)

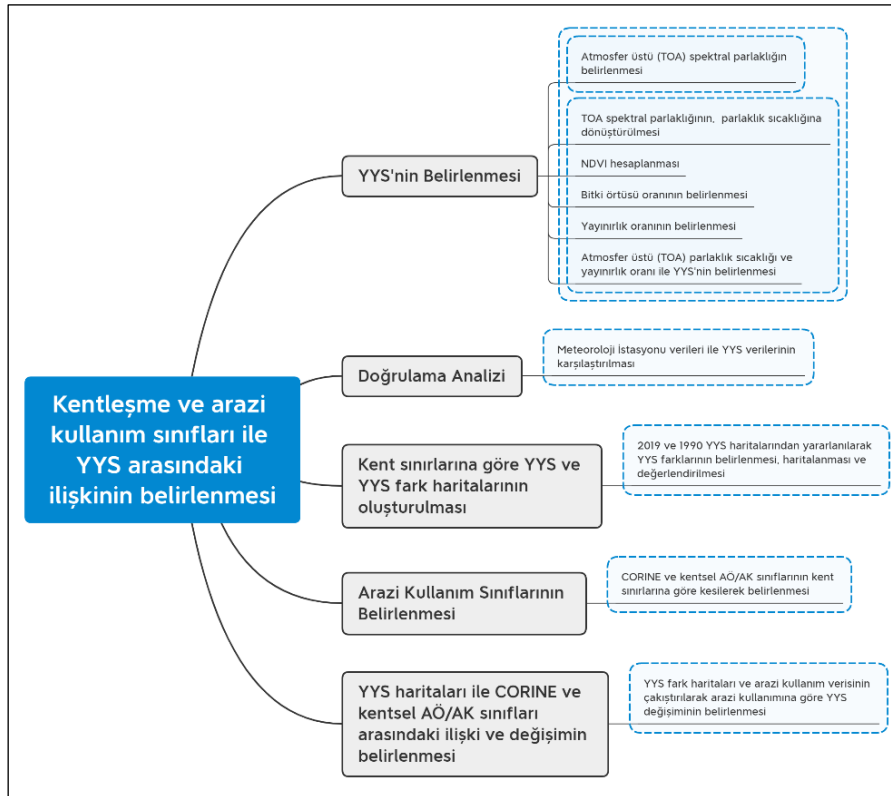
Kentsel AÖ/AK Sınıfı	Açıklama
Sürekli Kentsel Alan (> %80)	Binalar ve diğer yapay yüzeyleri içeren geçirimsizliği %80'in üzerinde olan alanlar
Yüksek Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (%50-%80)	Binalar ve diğer yapay yüzeyleri içeren geçirimsizliği %50-%80 arasında olan alanlar
Orta Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (%30-%50)	Binalar ve diğer yapay yüzeyleri içeren geçirimsizliği %30-%50 arasında olan alanlar
Düşük Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (%10-%30)	Binalar ve diğer yapay yüzeyleri içeren geçirimsizliği %30-%50 arasında olan alanlar
Çok Düşük Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (< %10)	Binalar ve diğer yapay yüzeyleri içeren geçirimsizliği %10'un altında olan alanlar
Askeri ve Özel birimler	Askeri ve özel birimlerce kullanılan alanlar
Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	Yapay yüzeylerin yakınında bulunan kullanılması beklenen alanlar
Demiryolları ve ilgili Alanlar	Demiryolu tesislerine ait istasyon, kargo istasyonları ve servis alanları
Diğer Yollar ve İlgili Alanlar	Yol ve üzerinde yer alan geçişler, kavşaklar ve otopark alanları
Eğitim Alanları	Eğitim tesislerinin bulunduğu alanlar
Ekilebilir Alanlar	Üzerinde ürün tespit edil(e)memiş, ekilebilir boş tarım alanları
Havaalanları	Sivil ve askeri havaalanları ve bunlarla ilgili nizamiye alanları
Hızlı Transit Yollar ve İlgili Alanlar	Yüksek hızlarda karayolu ulaşımına imkân veren yollar ve kavşak alanları
İbadethane Alanları	Farklı dinlere mensup kişilerin kullandığı ibadethane alanları
İnşaat Alanları	İnşaatı devam eden yapı alanları
İzole Yapılar	Küçük, bireysel ve izole suni yapılar
Kamu Alanları	Eğitim ve sağlık dışındaki kamu kuruluşu alanları
Karışık Tarımsal Alanlar	Karmaşık yetiştirme modelleri ve esas amacı tarımsal üretim olan doğal bitki örtüsüne de sahip (agro-forestry) alanlar
Kent içindeki Yeşil Alanlar (Aktif)	Bu sınıf "yeşil alanlar içinde "kentlinin doğrudan kullanımına açık ve işlevsellikleri (eğlenme, dinlenme, sağlık) ön planda olduğu alan" olarak tanımlanmaktadır (Aksu ve Ulu, 2004).
Kent içindeki Yeşil Alanlar (Pasif)	İnsanların aktif olarak doğrudan kullanmadığı fakat ekosistem hizmeti yapan alanlar
Liman Alanları	Tüm limanlar, rıhtımlar, tersaneler, nakliye ve depolama alanları
Maden Ocağı ve Boşaltım Sahaları	Kum, taş ocakları, madenler, petrol ve gaz alanları ile hafriyat boşaltım, pasa sahası gibi alanlar
Maki veya Otsu Bitkiler	Maki formasyonu ile otsu çeşitli bitkilerin olduğu alanlar
Mera Alanları	Çayır, mera ve otlak alanları
Mevcut Kullanımı Olmayan Alanlar	Hala kullanılmayı veya yeniden kullanılmayı bekleyen yapay yüzeylere yakın geçiş konumundaki alanlar
Meyve Bahçeleri	1 hektardan büyük meyve bahçeleri
Mezarlık Alanları	Farklı dinlere mensup kişilerin defnedildiği mezarlık alanları
Ormanlar	Kentsel alanlardaki ve/veya yüksek insan baskısına maruz kalan ormanlar hariç olmak üzere yüksekliği 5 metreden, ağaç gölgesinin zemin kapallığı (canopy) > 30'dan fazla olan geniş, iğne ve karışık orman alanlarıdır. Orman kenarındaki çalılık ve fundalıklar ile orman yenilemesi yapılan alanlar da bu sınıfta değerlendirilmektedir.
Otel/Tatil Köyü	Otel ve tatil köyü alanları
Sağlık Alanları	Kamu veya özel ayrımı olmaksızın tüm sağlık alanları
Sanayi ve Üretim Alanları	Sanayi, enerji santrali, anten, arıtma ve kanalizasyon tesisi alanları
Sera Alanları	Tarımsal üretim amaçlı kullanılan sera alanları

Tablo 3'ün devamı

Kentsel AÖ/AK Sınıfı	Açıklama
Spor ve Eğlence Alanları	Kamu veya özel kuruluşlarca yönetilen tüm spor ve eğlence tesislerini ifade eder. Golf, binicilik, kamp alanları, eğlence parkları, hipodromlar, lunaparklar, yüzme tesisleri, planör veya sportif amaçlı kullanılan havalimanları, marinalar bu sınıfta değerlendirilmektedir.
Su Alanları	1 hektarı aşan değişken ve sabit su alanlarını ifade eder. Bu sınıfa deniz, göl, doğal veya yapay balık çiftliği, kanal, baraj, gölet, su yüzeyi bitkiyle kaplı alanlar dahildir.
Sulak Alanlar	1 hektardan fazla kıyılardaki ve iç bölgelerdeki tüm sulak alanları kapsar. Çitle çevrili olup askeri amaçlı kullanılan tatbikat alanları ve seralar dahil değildir.
Sürekli Ürünler	Bağ, fidanlık, gül, zeytin, şerbetçiotu gibi sürekli ürün yetiştirilen tarımsal alanlar
Ticaret Alanları	İş hanı, AVM gibi büyük yoğunluğu ticari amaçlı kullanılan alanları ifade eder. Alt katların ticaret üst katların konut olarak kullanıldığı alanlar yoğunlukla yoğunluk belirtilen kentsel alan sınıflarında değerlendirilmektedir.

2.3. Yöntem

Çalışma 5 aşama ile yürütülmüştür. İlk olarak YYS, 1990-2019 YYS fark haritaları oluşturulmuştur. İkinci aşamada YYS haritası meteoroloji istasyonlarından alınan hava sıcaklığı verisiyle doğrulanmıştır. Daha sonra 1990-2019 kent sınırları çizilmiştir. Çizilen sınırların YYS fark haritalarına göre YYS fark ortalamaları bulunmuş, ortalamanın üstünde, altında kalan alanlar haritalanmıştır. Dördüncü aşamada CORINE ile kentsel AÖ/AK sınıfları kent sınırlarına göre kesilerek belirlenmiştir. Son aşamada ise CORINE ile kentsel AÖ/AK sınıflarının YYS değerleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmanın iş akış şeması

Landsat görüntülerinden YYS'nin çıkarımı için termal bantların dijital sayıları (DN) kullanılarak spektral ışıma veya atmosfer üstü (TOA) spektral parlaklık elde edilmektedir. Landsat 5 görüntülerinden atmosfer üstü spektral radyans değerinin hesaplanması için Eşitlik (1), Landsat 8 görüntüsünden hesaplanması için ise Eşitlik (2) kullanılmıştır (Chander ve Markham, 2003; Sobrino vd., 2004; Sobrino vd., 2008; Barsi vd., 2014; Giannini vd., 2015; Kaçmaz ve Gürbüz, 2022).

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

$$L_{\lambda} = \frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{CAL_{max}} - Q_{CAL_{min}}} (Q_{CAL} - Q_{CAL_{min}}) + L_{min} \quad (2)$$

Formülde; watt (watt/m²*sr) cinsinden Atmosfer üstü spektral parlaklık L_{λ} , banda özgü çarpımsal yeniden ölçeklendirme faktörü M_L , banda özgü ilave yeniden ölçeklendirme faktörü A_L , Q_{cal} ise düzeltilmiş DN değerine karşılık gelmektedir (Chander ve Markham, 2003; Ünal Çilek, 2022). Atmosfer üstü spektral parlaklık elde edildikten sonra termal bant verisi ve uydu termal sabitleri kullanılarak TOA spektral parlaklığı, parlaklık sıcaklığına dönüştürülmelidir (Chander ve Markham, 2003; Coll vd., 2010). Parlaklık sıcaklığı (TB) değerleri, dünya yüzeyinin kara cisim olarak kabul edildiği spektral parlaklık haritasından ve Landsat veri setinin K_1 ve K_2 kalibrasyon sabitleri kullanılarak tahmin edilmektedir (USGS, 2021; Ünal Çilek, 2022).

$$TB = (K_2 / \ln(K_1 / L) + 1)) - 273.15 \quad (3)$$

Formülde BT, TOA parlaklık sıcaklığı iken, K_1 ve K_2 kalibrasyon sabitleridir (Avdan ve Jovanovska, 2016). Dördüncü aşamada NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) hesaplanmaktadır (Tucker, 1979). Landsat 8 için Eşitlik (4) kullanılmıştır. Landsat 5 TM sensörüne ait kırmızı (bant 3) ve yakın kızılötesi (bant 4) kullanılmıştır.

$$NDVI = (Band\ 5(IR) - Band\ 4(R)) / (Band\ 5(IR) + Band\ 4(R)) \quad (4)$$

Dördüncü aşamada, NDVI ile yüksek oranda ilişki bulunan bitki örtüsü oranı (P_v) ve beşinci aşamada P_v ile ilişkili olan yayırlılık (emissivity) oranı (ϵ) aşağıdaki denklemlerden elde edilmektedir (Sobrino vd., 2004; Sobrino vd., 2008; Ünal Çilek, 2022).

$$P_v = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2 \quad (5)$$

$$\epsilon = 0.004 * P_v + 0.986 \quad (6)$$

En son işlem aşamasında kullanılan formülde Atmosfer üstü (TOA) parlaklık sıcaklığı ve yayırlılık oranı ile YYS hesaplanmaktadır (Sobrino vd. 2004; Sobrino vd. 2008):

$$YYS = (BT / (1 + 0.0015 * BT / 1.4388) * \ln(\epsilon)) \quad (7)$$

İlk aşamada elde edilen YYS verisinin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla görüntü zamanına en yakın zamandaki çeşitli meteoroloji istasyonların hava sıcaklığı değerleri (MGM, 2022) ve istasyonun bulunduğu koordinatın YYS değerleri kullanılmıştır. Karşılaştırma için meteoroloji istasyonunun bulunduğu hücrenin YYS değeri kullanılmıştır. Farklı çalışma alanlarına katkı sunması açısından YYS değerleri toprak üstü minimum sıcaklık ve 5 cm derinlikteki toprak sıcaklığı değerleri ile bir tabloda sunulmuştur. Üçüncü aşamada Landsat ve Google Earth Engine'de sunulan Google uydu görüntüleri üzerinden 1990 ve 2019 yıllarına ait kent sınırları çizilmiştir. Sonra 2019 YYS haritasından 1990 YYS haritası çıkarılarak YYS fark haritası elde edilmiştir. Ardından YYS fark haritaları ve çizilen kent sınırları kullanılarak YYS fark ortalamaları bulunmuş, ortalamanın üstünde, altında kalan alanlar haritalanmıştır. Fark ortalaması, 2019 kent sınırına göre YYS fark haritası kesildikten sonra raster verinin meta verisinden elde edilmiştir. Dördüncü aşamada CORINE AÖ/AK verileri kent sınırlarına göre kesilerek sınıflar belirlenmiş ve alansal değerleri elde edilmiştir. 1990 ve 2018 yıllarına ait CORINE AÖ/AK verileri kullanılarak kentlerin ve yakın çevresindeki AÖ/AK değişimi ortaya konmuştur. Aynı yıla ait CORINE AÖ/AK verisi ve YYS haritası ArcGIS for Desktop Spatial Analyst modülündeki Zonal Statistics aracında işlenerek CORINE AÖ/AK sınıflarının ortalama YYS değerleri elde edilmiştir. Zonal Statistics aracı ile AÖ/AK sınıflarıyla kesişen tüm YYS hücrelerinin ortalaması alınmıştır. Bu sayede daha doğru ve güvenilir sonuçlara ulaşılmıştır. 1990 ile 2019 karşılaştırmasına imkân veren CORINE AÖ/AK sınıfları, kent içindeki detaylı arazi kullanımı göstermede yetersiz kalmaktadır. Bu sorunu aşmak için kentsel AÖ/AK sınıfları kullanılmıştır. Son aşamada ise sadece 2019 yılına ait olan kentsel AÖ/AK sınıflarının 2019 yılı minimum, ortalama ve maksimum YYS değerleri Zonal Statistics aracı kullanılarak elde edilmiştir. Ardından elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

Bu bölümde her kent merkezi için elde edilen bulgular ayrı ayrı analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. YYS haritaları elde edildikten sonra YYS verisinin doğrulaması için hava sıcaklığı verisi kullanılmıştır. Ayrıca toprak üstü minimum sıcaklık ve 5 cm derinlikteki toprak sıcaklığı değerleri karşılaştırılmıştır (Tablo 4). Buna göre hava sıcaklığı ile YYS arasındaki asgari farkın 0,4°C, azami farkın ise 4,5°C olduğu görülmüştür. Bu farklar Şanlıurfa ve Diyarbakır'daki istasyonlarda 1°C'den az iken Mardin'de 3-4°C civarındadır.

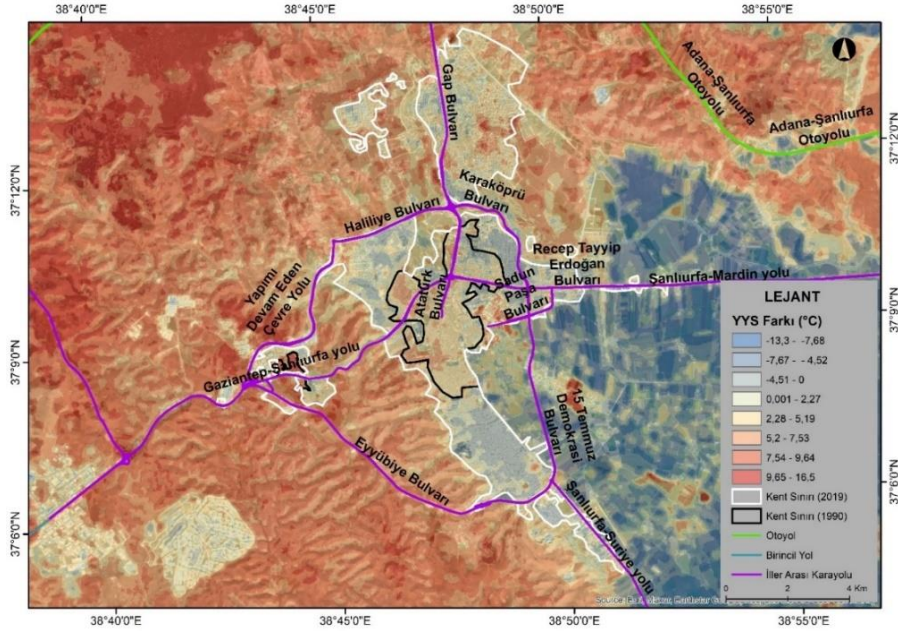
YYS ile toprak üstü minimum sıcaklıklar arasındaki fark 9 ile 13°C arasında değişmektedir. 5 cm derinlikteki toprak sıcaklığı ile YYS arasındaki fark 2 ile 17,3°C arasında değiştiği tespit edilmiştir. YYS verilerinin doğrulanmasında çoğunlukla meteoroloji istasyonlarındaki hava sıcaklığı parametresi kullanılmaktadır. Çalışmamızda YYS ile hava sıcaklığı arasındaki farklar literatürdeki çalışmalarla genel olarak örtüşmektedir (Uysal ve Polat, 2015; Avdan ve Jovanovska, 2016; Good, 2016). 1990-2019 arasında aynı istasyonlardaki hava sıcaklığı farkına bakıldığında Şanlıurfa istasyonunda 7,4°C ve Mardin'de 6,2°C pozitif bir fark varken, Diyarbakır'da yılın aynı gününde 0,5°C'lik pozitif bir fark bulunmaktadır. YYS haritalarının doğrulamasından sonra şehir şehir bulgulara yer verilmiştir.

Tablo 4. YYS verisinin doğrulamasında kullanılan istasyonların YYS, hava ve toprak üstü sıcaklık değerleri (MGM, 2022)

Görüntü Yeri	Görüntü Kaynağı ve Zamanı	Uydu Görüntüsünden Hesaplanan YYS Değeri (°C)	Meteoroloji İstasyonu					
			Hava Sıcaklığı Ölçüm Zamanı	Hava sıcaklığı değeri (°C)	Toprak Üstü Minimum Sıcaklık Ölçüm Zamanı	Toprak Üstü Minimum Sıcaklık (°C)	Saatlik 5 cm Derinlikteki Toprak Sıcaklığı Ölçüm Zamanı	Saatlik 5 cm Derinlikteki Toprak Sıcaklığı (°C)
Şanlıurfa	Landsat 5 TM 30/07/1990 09:23	32	Şanlıurfa (17270) 30/07/1990 09:00	31	Şanlıurfa (17270) 30/07/1990	-	Şanlıurfa (17270) 30/07/1990 11:00	45,5
Şanlıurfa	Landsat 8 (OLI ve TIRS) 30/07/2019 10:03	37,3	Şanlıurfa (17270) 30/07/2019 10:00	38,4	Şanlıurfa (17270) 30/07/2019 12:00	49,9	Şanlıurfa (17270) 30/07/2019 10:00	33,7
Diyarbakır	Landsat 5 TM 08/08/1990 10:17	36,8	Sur/Ünal Erkan Heliport (17283) 08/08/1990 10:00	39,3	Sur/Ünal Erkan Heliport (17283) 08/08/1990	-	Sur/Ünal Erkan Heliport (17283) 08/08/1990	-
Diyarbakır	Landsat 8 (OLI ve TIRS) 08/08/2019 10:56	38,4	Sur/Ünal Erkan Heliport (17283) 08/08/2019 11:00	38,8	Sur/Ünal Erkan Heliport (17283) 08/08/2019 12:00	49,5	Sur/Ünal Erkan Heliport (17283) 08/08/2019 11:00	40,4
Mardin	Landsat 5 TM 08/08/1990 10:17	34,5	Mardin (17275) 08/08/2019 10:00	30	Mardin (17275) 08/08/2019	-	Mardin (17275) 08/08/1990 11:00	51,8
Mardin	Landsat 8 (OLI ve TIRS) 08/08/2019 10:56	40,1	Mardin (17275) 08/08/2019 11:00	36,2	Mardin (17275) 08/08/2019 11:00	49	Mardin (17275) 08/08/2019 11:00	54,5

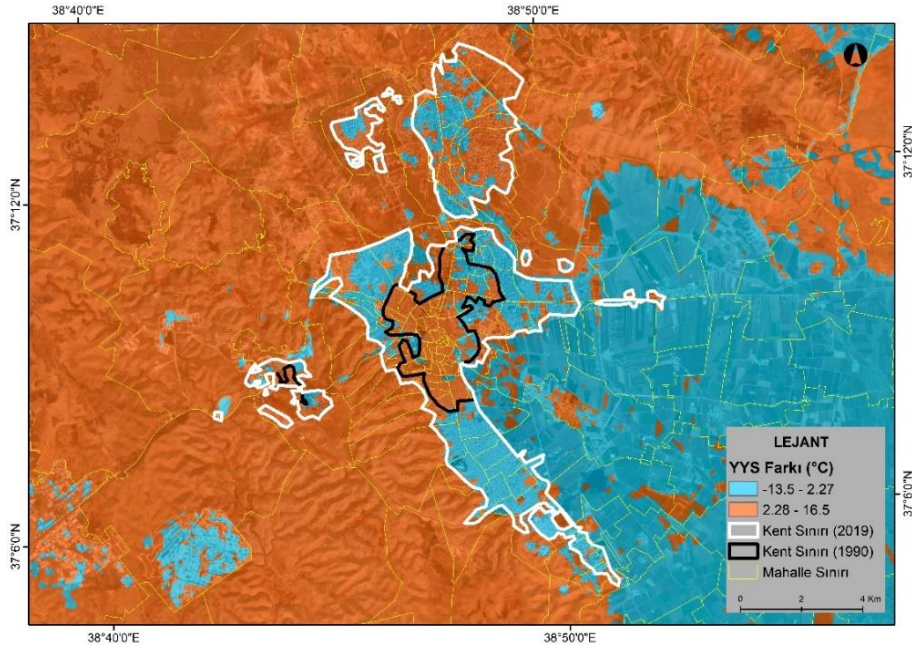
Şanlıurfa

Doğudan ve güneyden Harran ovası ile sınırlanan Şanlıurfa kent merkezinde 1990 yılında kentleşmiş alanların neredeyse tümünün 2019 yılında daha yüksek YYS değerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3). TUREF_TM39 (EPSG 5257) koordinat sistemine göre, Şanlıurfa’da 1990 yılı kentleşmiş alan 10,9 km² iken 2019’da 52,9 km² olarak tespit edilmiştir. Bant istatistiği ile Şanlıurfa 2019 kent sınırının YYS fark ortalaması 2,27 °C, YYS minimum farkı - 8,09 °C, YYS maksimum farkı 13,74 °C olarak tespit edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Şanlıurfa şehri ve çevresinin YYS fark haritası

2019 kentsel alanının %51,89’u YYS fark ortalamasının üstünde iken, %48,10’u fark ortalamasının altında kalmıştır. Bu ortalama değerinin üstünde ve altında kalan alanlar haritalandığında kent çekirdeği ile 1990 yılı kent sınırının özellikle batı yarısının ortalamasının üstünde kaldığı tespit edilmiştir. 1990 yılı kent sınırına göre fark ortalaması ayrıca üretildiğinde YYS artışının 3,78 °C olarak bulunmuştur (Şekil 4).



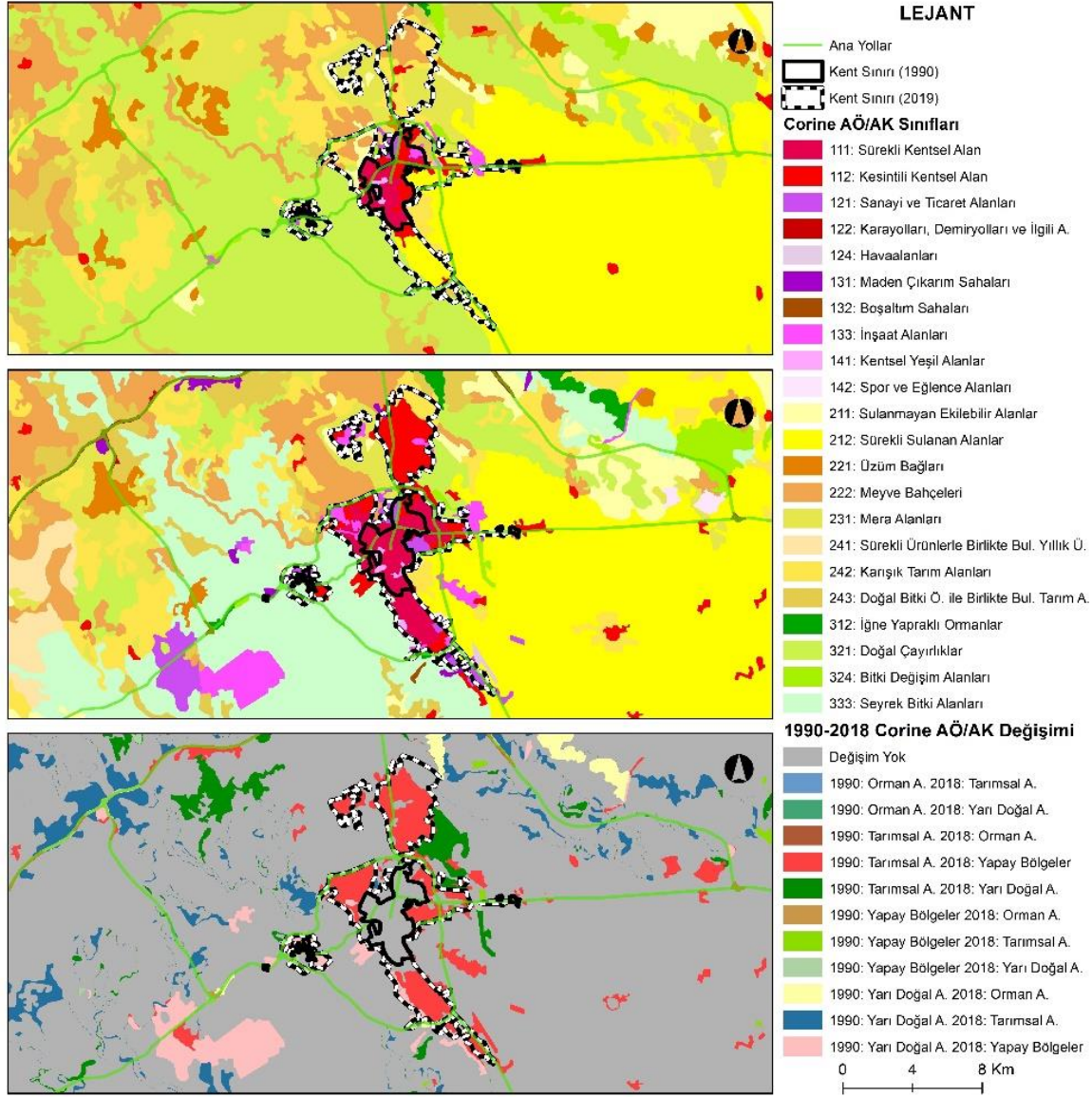
Şekil 4. Şanlıurfa 2019 yılı kentsel alan sınırına göre YYS fark ortalamasının üstünde ve altında olan alanlar

Şanlıurfa'nın 1990 ve 2019 kent sınırlarındaki CORINE AÖ/AK sınıflarının alanları ve ortalama YYS değerleri incelenmiştir. 1990 kent sınırına göre kesilmiş 1990 yılı CORINE AÖ/AK alanları değerlendirildiğinde kent sınırının %93'ünün geçirimsiz alanlardan oluştuğu görülmüştür. Toplam alanın %78,6'sı süreksiz ve sürekli kentsel alanlardan oluşmaktadır. Bu sınıflardaki YYS değerleri incelendiğinde inşaat sahalarının sürekli kentsel alanlardan daha yüksek YYS değerine sahip olduğu saptanmıştır. Süreksiz kentsel alanların sürekli kentsel alanlardan daha yüksek YYS değeri bulunmaktadır. Ayrıca kentsel yeşil alanlar ile sürekli kentsel alanların birbirine çok yakın YYS değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Diğer bulgu ise sürekli sulanan alanlar ile karışık tarım alanların inşaat alanları kadar YYS değerine sahip olduğudur (Tablo 5).

2019 kent sınırındaki 2018 yılı CORINE AÖ/AK alanları incelendiğinde sınırın %89,6'sının geçirimsiz yüzeylerden oluştuğu tespit edilmiştir. Süreksiz kentsel alanların 4,9 kat, inşaat alanlarının 8 kat, kentsel yeşil alanların 2,7 kat büyüdüğü tespit edilmiştir. 1990 yılından 2019 yılına kadar kent sınırının 4,8 kat büyüdüğü düşünüldüğünde süreksiz kentsel alanların bu değerle uyumlu olduğu saptanmıştır. Diğer iki sınıf ise kentleşen alan miktarıyla uyumsuzdur. Kentsel yeşil alanların tüm sınıflar içinde en düşük YYS değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Süreksiz kentsel alanların ise 1990 yılında olduğu gibi sürekli kentsel alanlardan daha yüksek YYS değeri olduğu görülmüştür (Tablo 4). Ayrıca 1990 yılından 2019 yılına kadar kentleşen yaklaşık 42 kilometrekarelik alanın %63,8'inin tarım alanlarından yapay alanlar sınıfına geçtiği (Şekil 5) ve bu alanların YYS fark ortalamasının 1,16 °C olduğu saptanmıştır.

Tablo 5. Şanlıurfa'nın 1990 ve 2019 yılı kent sınırında kalan 1990 ve 2018 yıllarına ait CORINE AÖ/AK sınıflarının alanları ve YYS değerleri

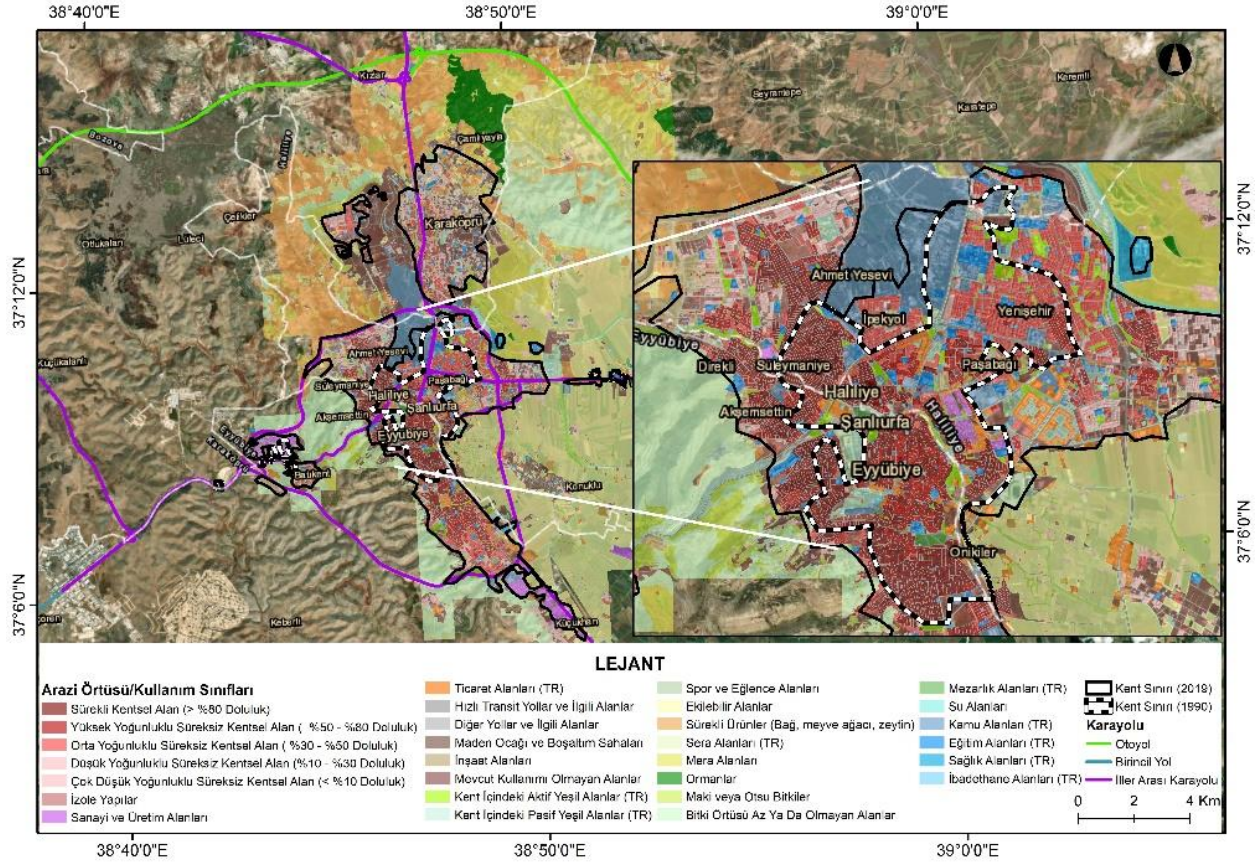
CORINE AÖ/AK	1990			2019		
	Ortalama YYS (°C)	Alan (Ha)	Alan Oranı (%)	Ortalama YYS (°C)	Alan (Ha)	Alan Oranı (%)
111: Sürekli kentsel alan	33,11	527,59	48,18	37,77	1945,19	36,74
112: Süreksiz/Kesintili kentsel alan	35,08	332,73	30,38	39,23	1656,16	31,29
121: Endüstri ve ticari alanlar	33,16	111,73	10,20	39,43	609,13	11,50
133: İnşaat alanları	36,24	47,58	4,34	40,18	380,44	7,19
141: Kentsel yeşil alanlar	33,45	41,58	3,79	36,34	112,99	2,13
242: Karışık tarım alanları	36,48	19,43	1,77	40,21	245,12	4,63
333: Seyrek bitki alanları	-	-	-	40,15	106,74	2,02
Diğer sınıflardaki alanlar	34,28	14,38	1,31	40,82	168,80	4,34



Şekil 5. Şanlıurfa şehri ve çevresinin CORINE AÖ/AK sınıfları ve değişimleri (Copernicus, 2022)

1990 ile 2019 karşılaştırmasına imkân veren CORINE AÖ/AK sınıfları, kent içindeki detaylı arazi kullanımı göstermede yetersiz kaldığı için kentsel AÖ/AK sınıfları kullanılmıştır. Bu sınıfların alanları ve 2019 YYS değerlerinden çeşitli bulgulara ulaşılmıştır.

2019 kent sınırı içindeki kentsel AÖ/AK sınıflarının kapladığı alanlara ait çeşitli bulgular tespit edilmiştir. Buna göre kentin %38,15'i sürekli ve süreksiz kentsel alanlardan oluşmaktadır. Kentte orta (%11,63) ve düşük (%11,24) yoğunluklu süreksiz kentsel alanlar hâkimdir. Buna ek olarak transit ve diğer karayolları kentin %15,5'ini kaplamaktadır. Ticaret, endüstri ve donatı alanlarıyla birlikte kentin %74,20'si geçirimsiz yüzeylerden oluşmaktadır. Aktif ve pasif yeşil alanların oranı ise %6,76'dır. Kentte sanayi ve üretim alanları ile ticaret alanları toplam alanın %7,27'sini kaplamaktadır. Alansal bulgulara ek olarak kentsel AÖ/AK ile 2019 yılı YYS değerlerinin ilişkisi incelenmiştir. Çok düşük yoğunluklu süreksiz kentsel alan sınıfı hariç tutulacak olursa, Şanlıurfa'da kentsel yoğunluk içeren sınıflar (sürekli, süreksiz kentsel alanlar) ile 2019 yılı ortalama YYS değerleri arasında negatif ilişki görülmüştür. Diğer bir ifade ile Şanlıurfa kentinde kentsel yoğunluk arttıkça ortalama YYS değeri düşmektedir. Bununla tutarlı olarak sürekli kentsel alan (37,53 °C) ve yüksek yoğunluklu süreksiz kentsel alanların (37,67 °C) ortalama YYS değerleri aktif yeşil alanların (37,28 °C) değerine çok yakındır. İnşaat alanlarının (40,15 °C) ortalama YYS değerleri ise geçirimsiz yüzeyler arasında ilk sıradadır. Kentsel AÖ/AK sınıflarının maksimum YYS değerleri de incelenmiştir. Buna göre sırasıyla mevcut kullanımı olmayan alanlar, diğer yollar ve ilgili alanlar ile inşaat alanları en yüksek YYS değerlerine sahip olan sınıflardır. Maksimum ile minimum YYS arasındaki farkın en fazla olduğu sınıflar ise sırasıyla diğer yollar ve ilgili alanlar, mevcut kullanımı olmayan alanlar ve ekilebilir alanlardır (Şekil 6, Tablo 6).



Şekil 6. Şanlıurfa şehri ve çevresinin kentsel AÖ/AK sınıfları (Kent Atlası, ÇŞİDB, 2019)

Tablo 6. Şanlıurfa şehrinin 2019 yılı kent sınırı içindeki AÖ/AK sınıflarına ait alan ve YYS değerleri

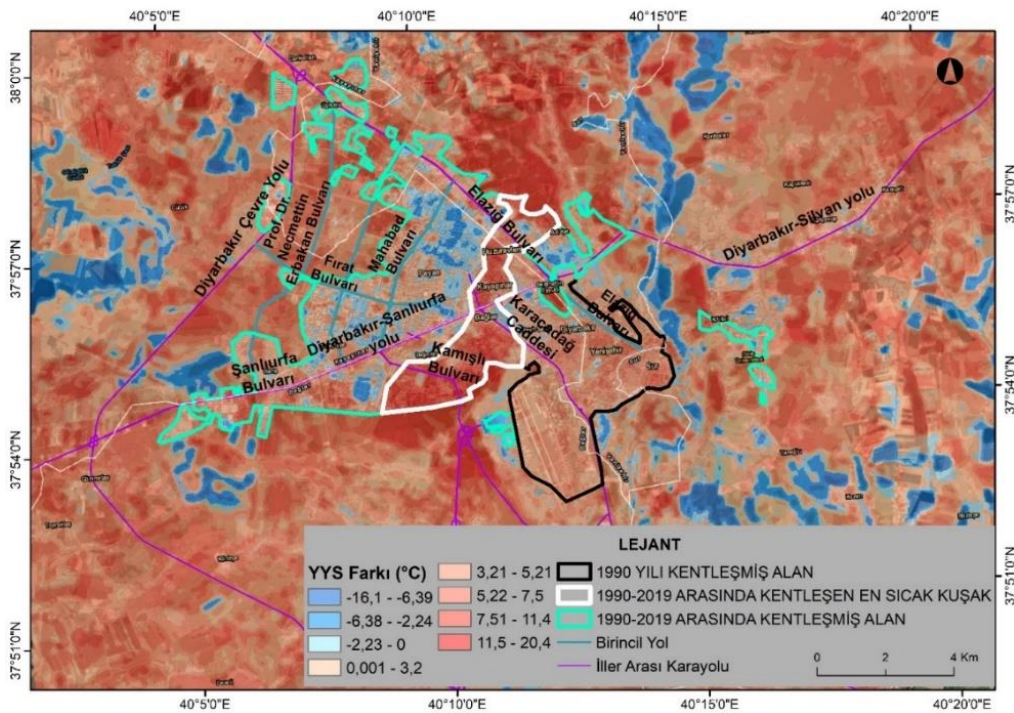
Kentsel AÖ/AK Sınıfı	Nesne Sayısı	Alan (%)	2019 Ortalama YYS (°C)	2019 Minimum YYS (°C)	2019 Maksimum YYS (°C)
Sürekli Kentsel Alan (> %80)	2468	8,44	37,53	35,02	41,42
Yüksek Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (%50 - %80)	1244	6,78	37,67	34,35	41,84
Orta Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (%30 - %50)	1268	11,63	38,15	34,80	46,37
Düşük Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (%10 - %30)	1093	11,24	39,05	32,62	46,18
Çok Düşük Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (< %10)	11	0,06	38,14	36,65	41,31
Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	19	0,63	41,08	37,01	45,34
Diğer Yollar ve İlgili Alanlar	911	13,83	38,32	31,72	46,75
Eğitim Alanları	196	3,50	39,14	33,55	44,32
Ekilebilir Alanlar	115	2,34	40,12	31,08	45,13
Hızlı Transit Yollar ve İlgili Alanlar	34	1,66	38,98	33,58	45,42
İbadethane Alanları	226	0,69	37,95	33,43	42,63
İnşaat Alanları	199	2,68	40,15	35,94	46,82
Kamu Alanları	130	4,67	39,62	33,11	44,82
Kent İçindeki Yeşil Alanlar (Aktif)	258	2,81	37,28	31,84	41,96

Tablo 6'nın devamı

Kentsel AÖ/AK Sınıfı	Nesne Sayısı	Alan (%)	2019 Ortalama YYS (°C)	2019 Minimum YYS (°C)	2019 Maksimum YYS (°C)
Kent İçindeki Yeşil Alanlar (Pasif)	960	3,95	38,58	31,77	45,36
Maden Ocağı ve Boşaltım Sahaları	2	0,13	39,86	38,34	41,75
Maki veya Otsu Bitkiler	54	0,39	38,96	33,82	43,71
Mera Alanları	9	0,38	41,85	37,83	45,26
Mevcut Kullanımı Olmayan Alanlar	1013	12,53	40,29	33,18	47,39
Mezarlık Alanları	16	0,25	36,53	34,22	39,31
Sağlık Alanları	41	0,59	39,30	35,22	43,42
Sanayi ve Üretim Alanları	202	4,04	39,11	32,85	43,62
Spor ve Eğlence Alanları	67	1,03	39,21	33,65	45,68
Su Alanları	76	0,20	37,42	31,99	41,56
Sürekli Ürünler	124	2,20	40,53	34,56	45,19
Ticaret Alanları	247	3,23	38,85	33,42	43,19

Diyarbakır

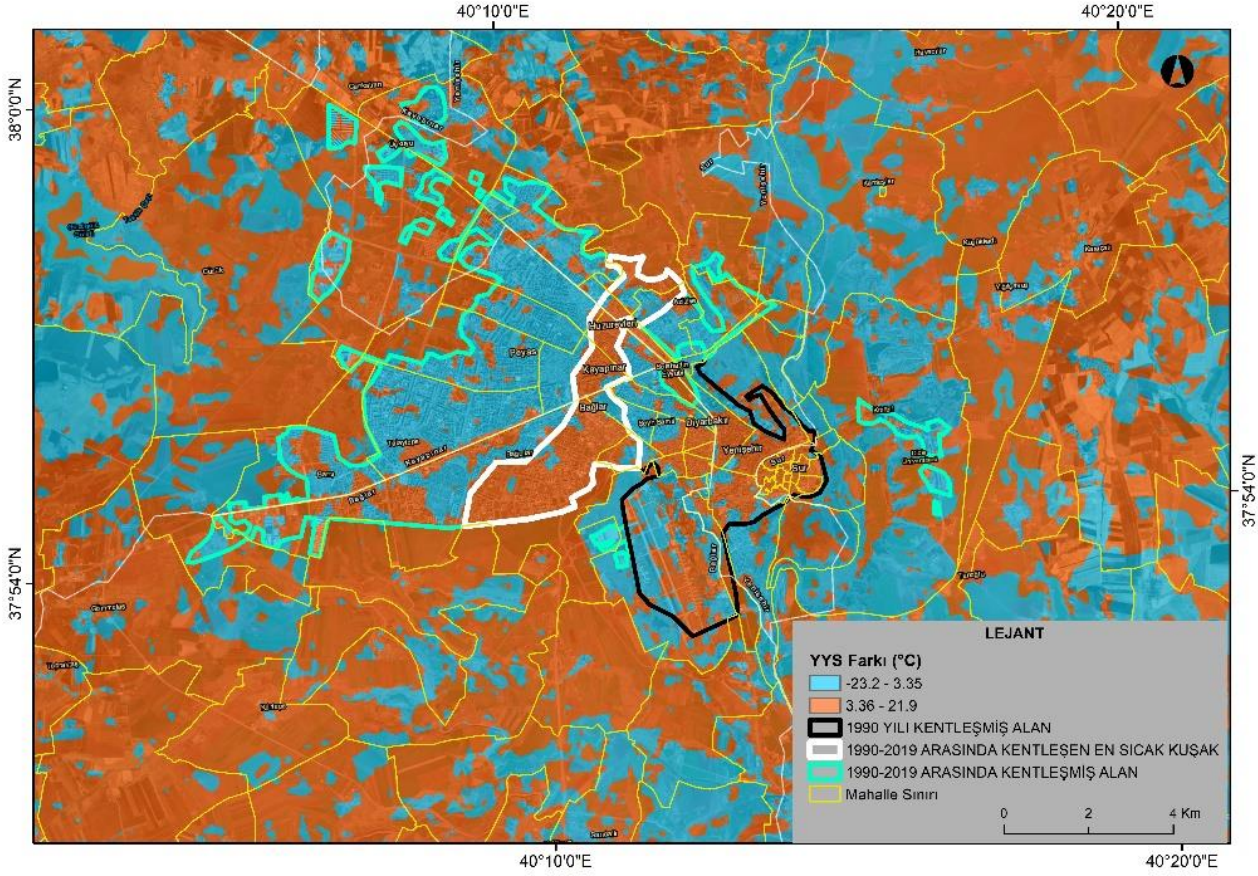
Diyarbakır kent merkezi doğudan Dicle Nehri ve tarım alanları, güneyden ise Diyarbakır Havalimanı ile sınırlanmaktadır. 1990 ve 2019 yılları arasında çoğunlukla batıya ve kuzeye doğru genişlemiştir. TUREF_TM39 (EPSG 5257) koordinat sistemine göre, Diyarbakır'ın 1990 yılı kentleşmiş alanı 18,9 km², 2019 yılı kentleşmiş alan 77,6 km² olarak tespit edilmiştir. 1990 yılında kentleşmiş alanın (siyah sınır) yaklaşık olarak YYS artışı 3,46 °C'dir. 2019 yılında kentleşmiş alanların (turkuaz sınır) yaklaşık olarak YYS artışı ise 3,3 °C'dir. Fakat batıya ve kuzeye doğru genişleyen ilk kuşağın (beyaz sınır) yaklaşık YYS artışı 7,8 °C'dir (Şekil 7).



Şekil 7. Diyarbakır şehri ve çevresinin YYS fark haritası

2019 kent sınırında YYS fark ortalaması 3,35 °C'dir. YYS minimum farkı -9 °C, maksimum farkı ise 20,2 °C'dir. 2019 kentsel alanının %46,38'i YYS fark ortalamasının üstünde kalırken, %53,61'i altında kalmıştır.

Bu ortalama değerin üstünde ve altında kalan alanlar haritalandığında kent çekirdeği ve hemen sonrasında gelişen ilk kuşağın (beyaz) bu sınırın üstünde kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Diyarbakır 2019 yılı kentsel alan sınırına göre YYS fark ortalamasının üstünde ve altında olan alanlar

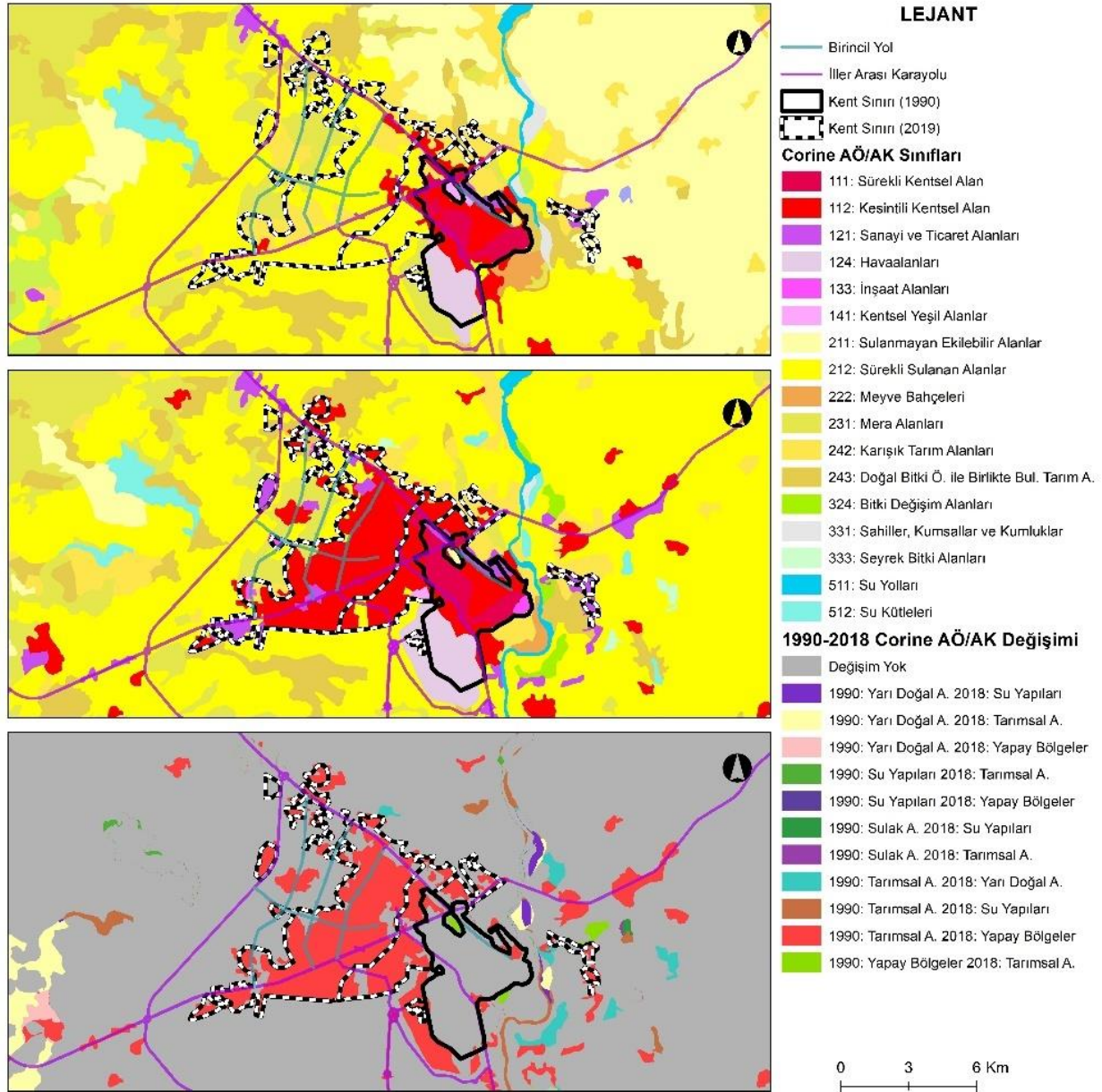
1990 yılı kentleşmiş alanının 2019 yılı ortalama YYS değeri 40 °C iken, 1990 yılı ortalama YYS değeri 36,9 °C'dir. 1990-2019 arasında kentleşen ve en sıcak olan kuşağın 2019 yılı ortalama YYS değeri 40,2 °C iken, 1990 yılı ortalama YYS değeri 32,3 °C'dir. Bu kuşak bitki örtüsünden planlı gelişim gösteren kentsel alana dönüşmüştür. Bu bağlamda kent bütününe göre neden daha fazla YYS artışı olduğunun sebebi araştırılmıştır. 1990 yılında şehrin daha batısındaki bölgede, bu kuşaktaki kadar bitki örtüsü bulunmamaktadır. Çünkü yüksek NDVI değerinden kentsel alana dönüşen alanlarda daha fazla YYS artışı yaşanırken düşük NDVI değerinden kentsel alana dönüşen alanlarda görece daha az YYS artışı tespit edilmiştir.

1990 kent sınırına göre kesilmiş 1990 yılı CORINE AÖ/AK sınıflarının alanları değerlendirildiğinde kent sınırının %91,6'sının geçirimsiz alanlardan oluştuğu görülmüştür. Havaalanı sınıfının diğer AÖ/AK türlerinden daha yüksek YYS değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Süreksiz kentsel alanlar sürekli kentsel alanlardan 0,9 °C daha yüksek YYS değerine sahiptir. Kentsel yeşil alanların sürekli ve süreksiz kentsel alanlardan daha yüksek YYS ortalaması olduğu ve endüstri, ticaret alanlarıyla neredeyse aynı YYS değerine sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca 1990 yılında Diyarbakır kent sınırı içinde ve yakın çevresinde hiç inşaat alanı bulunmadığı görülmüştür (Tablo 6).

2019 kent sınırına göre kesilmiş 2018 yılı CORINE AÖ/AK sınıfları değerlendirildiğinde kent sınırının %89,6'sının geçirimsiz yapay alanlardan oluştuğu görülmüştür. İnşaat alanları sınıfının 1990 yılında bulunmayıp 2018 yılında 123,65 ha alan kapladığı saptanmıştır. 1990 yılından 2019'a kadar kent alanının 4,1 kat büyüdüğü düşünüldüğünde sürekli kentsel alanların buna göre çok az arttığı fakat süreksiz kentsel alanın 6,92 kat arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca endüstri ve ticaret alanlarının 9,67 kat arttığı saptanmıştır. Bunun yanında kentsel yeşil alanların 26,4 hektardan 33,7 hektara çıktığı görülmüştür. Havaalanı sınıfı diğer türlere göre daha yüksek bir YYS değerine sahiptir. 2019 yılında süreksiz kentsel alanların sürekli kentsel alanlardan 1,19 °C daha yüksek YYS değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kentsel yeşil alanların YYS değerinin sürekli kentsel alanlardan daha yüksek olduğu saptanmıştır. İnşaat alanları sınıfı sürekli ve süreksiz kentsel alanlardan daha yüksek YYS değerine sahiptir (Tablo 7). Ayrıca 1990 yılından 2019 yılına kadar kentleşen yaklaşık 59 kilometrekarelik alanın %76,7'sinin tarım alanlarından yapay alanlar sınıfına geçtiği (Şekil 9) ve bu alanların YYS fark ortalamasının 3,12 °C olduğu saptanmıştır.

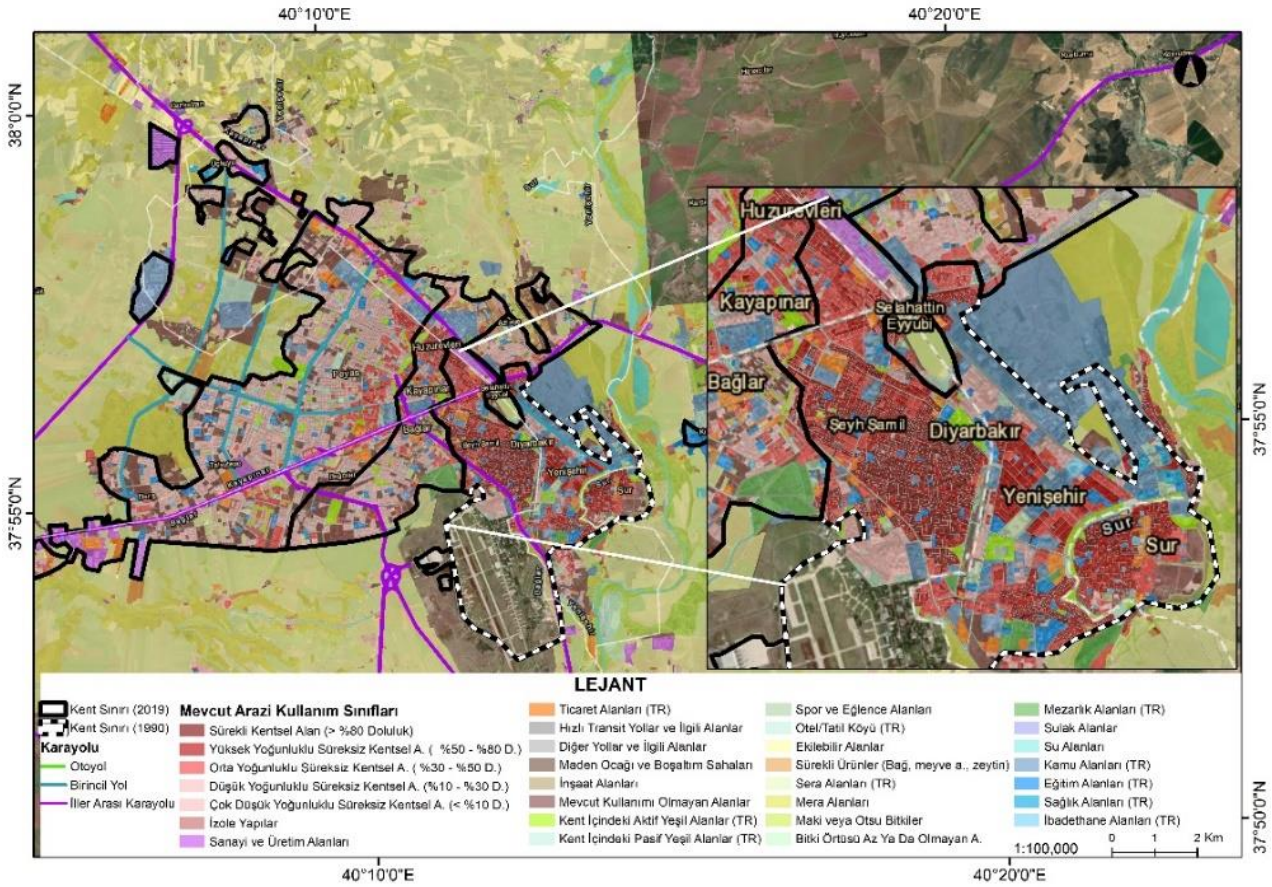
Tablo 7 Diyarbakır'ın 1990 ve 2019 yılı kent sınırında kalan 1990 ve 2018 yıllarına ait CORINE AÖ/AK sınıflarının alanları ve YYS değerleri

CORINE AÖ/AK	1990			2019		
	Ortalama YYS (°C)	Alan (Ha)	Alan Oranı (%)	Ortalama YYS (°C)	Alan (Ha)	Alan Oranı (%)
111: Sürekli kentsel alan	34,98	565	29,92	38,52	701,57	10,33
112: Süreksiz/Kesintili kentsel alan	35,92	579,84	30,71	39,71	4009,06	59,03
121: Endüstri ve ticari alanlar	37,33	65,89	3,49	40,72	629,38	9,26
124: Havaalanları	39,08	518,69	27,47	42,36	590,25	8,69
133: İnşaat Alanları	-	-	-	41,14	123,65	1,82
141: Kentsel yeşil alanlar	37,48	26,40	1,40	39,52	33,74	0,49
Diğer sınıflardaki alanlar	36,31	132,38	7,01	41,72	703,49	10,35



Şekil 9. Diyarbakır şehri ve çevresinin CORINE AÖ/AK sınıfları ve değişimleri (Copernicus, 2022)

1990 ile 2019 karşılaştırmasına imkân veren CORINE AÖ/AK sınıfları, kent içindeki detaylı arazi kullanımı göstermede yetersizdir. Bu sorunu gidermek için kentsel AÖ/AK sınıfları kullanılmıştır. Bu sınıfların alanları ve 2019 YYS değerlerinden çeşitli bulgulara ulaşılmıştır. 2019 kent sınırının içindeki kentsel AÖ/AK sınıflarının kapladıkları alanlar incelenmiştir. Ticaret, endüstri ve donatı alanlarıyla birlikte geçirimsiz yüzeyler kentin %76,3'ünü kaplamaktadır. Düşük yoğunluklu süreksiz kentsel alanlar %22,96'lık oran ile kentte hâkim sınıftır. Hızlı transit karayolları ve diğer yollar sınıfı şehrin %11,12'sini kaplamaktadır. Şehrin %5,88'i aktif ve pasif yeşil alanlardan oluşmaktadır. Kentte sanayi ve üretim alanları ile ticaret alanları toplam alanın %5,57'sini kaplamaktadır. Buna ek olarak kentsel AÖ/AK ile 2019 yılı YYS değerlerinin ilişkisi incelenmiştir. Diyarbakır şehrinde kentsel yoğunluk içeren sınıflar ile 2019 yılı ortalama YYS değerleri arasında negatif ilişki görülmüştür. Bununla tutarlı olarak sürekli kentsel alanların (38,12 °C) ortalama YYS değerleri aktif yeşil alanların (37,97 °C) değerine çok yakındır. Tüm sınıflar arasında ortalama YYS değeri en düşük olan sınıf aktif yeşil alanlardır. Havaalanı sınıfının (42,11 °C) ortalama YYS değerleri geçirimsiz yüzeyler arasında ilk sıradadır. Kentsel AÖ/AK sınıflarının maksimum YYS değerleri incelenmiştir. Buna göre sırasıyla ekilebilir alanlar, mevcut kullanımı olmayan alanlar ile diğer yollar ve ilgili alanlar en yüksek YYS değerlerine sahiptir. Maksimum ile minimum YYS arasındaki farkın en fazla olduğu sınıflar ise sırasıyla sanayi ve üretim alanları, diğer yollar ve ilgili alanlar ile spor ve eğlence alanlarıdır (Şekil 10, Tablo 8).



Şekil 10. Diyarbakır şehri ve çevresinin kentsel AÖ/AK sınıfları (Kent Atlası, ÇŞİDB, 2019)

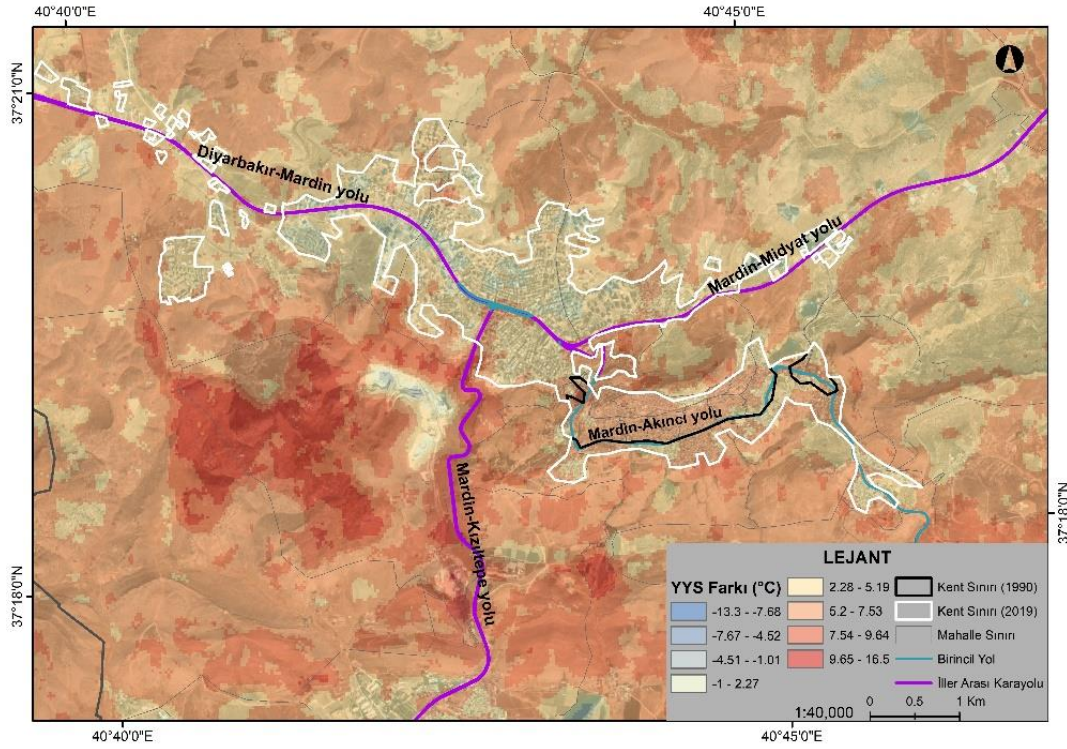
Tablo 8. Diyarbakır şehrinin 2019 yılı kent sınırı içindeki kentsel AÖ/AK sınıflarına ait alan ve YYS değerleri

Kentsel AÖ/AK Sınıfı	Nesne Sayısı	Alan (%)	2019 Ortalama YYS (°C)	2019 Minimum YYS (°C)	2019 Maksimum YYS (°C)
Sürekli Kentsel Alan (> %80)	902	1,88	38,12	36,21	41,38
Yüksek Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (%50 - %80)	873	3,89	38,43	34,44	43,86
Orta Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (%30 - %50)	798	7,22	38,98	34,95	44,69
Düşük Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (%10 - %30)	1247	22,96	39,42	35,15	45,92
Çok Düşük Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (< %10)	2	0,05	40,46	36,86	44,41
Demiryolları ve İlgili Alanlar	30	0,35	40,66	36,02	44,91
Diğer Yollar ve İlgili Alanlar	883	9,25	39,59	32,79	47,14
Eğitim Alanları	187	4,37	39,89	34,31	45,72
Ekilebilir Alanlar	140	3,70	42,52	35,72	48,13
Havaalanları	3	9,29	42,11	34,78	46,62
Hızlı Transit Yollar ve İlgili Alanlar	37	1,87	40,16	35,48	46,42
İbadethane Alanları	91	0,44	39,44	36,48	44,61
İnşaat Alanları	19	0,57	40,66	36,27	44,67
Kamu Alanları	113	6,75	40,04	33,51	44,55
Kent İçindeki Yeşil Alanlar (Aktif)	117	2,47	37,97	32,96	44,01
Kent İçindeki Yeşil Alanlar (Pasif)	783	3,41	40,06	34,59	47,12
Maden Ocağı ve Boşaltım Sahaları	7	0,16	40,96	34,42	43,55
Maki veya Otsu Bitkiler	60	0,35	39,62	34,68	43,28
Mera Alanları	22	0,53	41,02	35,12	45,48
Mevcut Kullanımı Olmayan Alanlar	610	11,47	41,98	36,12	48,11
Mezarlık Alanları	21	0,72	39,33	37,36	42,11
Otel/ Tatil Köyü	9	0,03	39,21	37,69	41,38
Sağlık Alanları	30	0,53	39,42	36,70	43,08
Sanayi ve Üretim Alanları	149	2,58	40,88	25,96	44,76
Spor ve Eğlence Alanları	70	1,39	39,96	31,12	44,65
Sürekli Ürünler	45	0,60	40,97	37,14	44,15
Ticaret Alanları	230	3,16	40,86	32,43	44,81

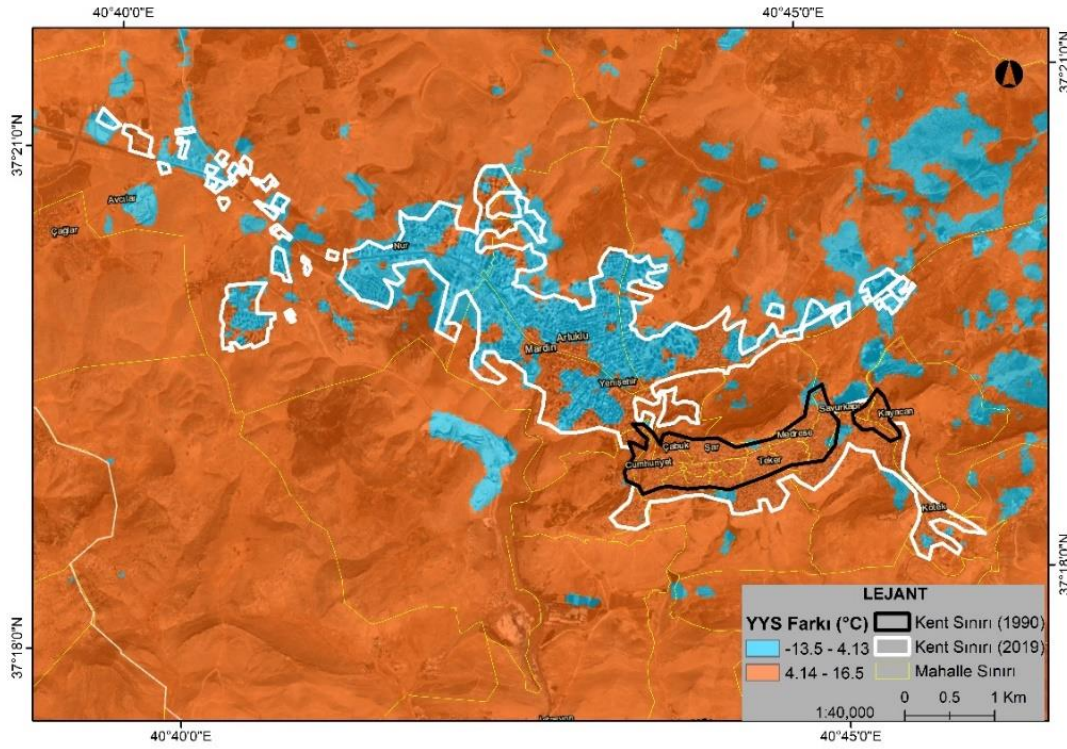
Mardin

Mardin kent çekirdeği 1200 metre civarında bir tepenin (Mardin Kalesi) güney yamacında kurulmuştur. Potansiyel bir gelişim yönünün olmayışı kentin Diyarbakır-Mardin ile Mardin-Midyat karayolu civarında ayrı bir parça (Yeni Mardin) olarak genişlemesini sağlamıştır (Şekil 11). Kent çekirdeğinde diğer Güneydoğu kentlerine benzer geleneksel mimari ve dar sokaklı bir görünüm hâkimdir. Bölgedeki diğer kentlere göre bu çekirdek daha eğimli biçimde yapılaşmıştır. TUREF_TM42 (EPSG 5258) koordinat sistemine göre, 1990 yılı kentleşmiş alanı 1,36 km² iken 2019'da 9,6 km²'dir. 1990 yılındaki kent sınırının YYS fark ortalaması 5,8 °C, YYS minimum farkı 3, YYS maksimum farkı 8,36 °C olarak tespit edilmiştir. 2019 kent sınırının YYS fark ortalaması 4,17 °C, minimum farkı -2,82 °C, maksimum farkı 9,47 °C'dir. 2019 kentsel alanının %52,24'ü YYS fark ortalamasının üstünde kalırken, %47,75'i bu ortalamanın altında kalmıştır. Ortalama YYS değerinin üstünde ve altında kalan alanlar haritalandığında tarihi kent çekirdeği ve çeperinin ortalamasının üstünde kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 12).

1990 yılı kentsel alan YYS fark ortalaması 5,8 °C, 2019 yılı kentsel alanların YYS fark ortalaması ise 4,17 °C'dir. 2019 yılı kentsel alanına Diyarbakır-Mardin karayolunun devamındaki üniversite kampüsü ve daha seyrek yapılaşmış alanlar ile Mardin-Kızıltepe karayolundaki organize sanayi bölgesi, askeri alanlar dâhil edilmemiştir. Mardin-Kızıltepe karayolundaki bu bölgelerde kentsel AÖ/AK verisi bulunmamaktadır (Şekil 14).



Şekil 11. Mardin şehri ve çevresinin YYS fark haritası



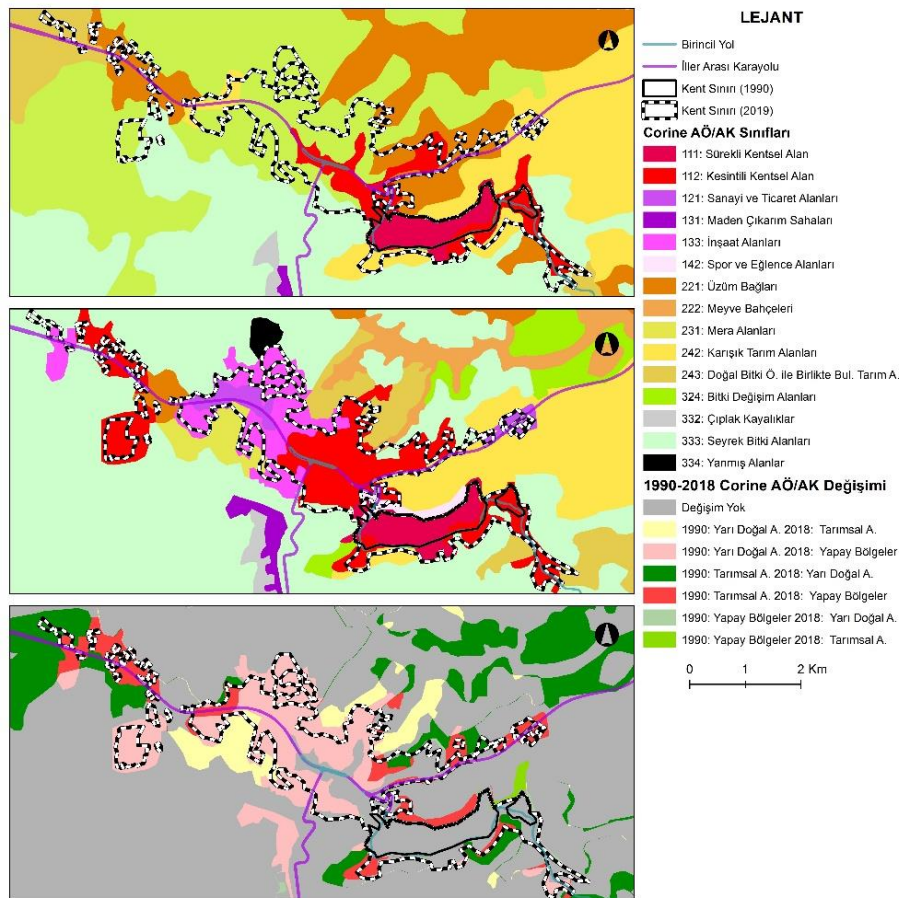
Şekil 12. Mardin 2019 yılı kentsel alan sınırına göre YYS fark ortalamasının üstünde ve altında olan alanlar

1990 kent sınırına göre kesilmiş 1990 yılı CORINE AÖ/AK sınıfları değerlendirildiğinde kent sınırının %98'inin geçirimsiz yapay alanlardan oluştuğu görülmüştür. Kent sınırının %74'ü sürekli, %24'ü süreksiz kentsel alanlardan meydana gelmiştir. Süreksiz kentsel alanlar sürekli kentsel alanlardan 1,2 °C daha yüksek YYS değerine sahiptir (Tablo 8).

2019 kent sınırına göre kesilmiş 2018 yılı CORINE AÖ/AK sınıfları değerlendirildiğinde kent sınırının %90,5'inin geçirimsiz yapay alanlardan oluşmaktadır. İnşaat alanları ve endüstri alanları sınıfının 1990 yılında bulunmayıp 2018 yılında toplamda 221,24 ha alan kapladığı saptanmıştır. Buna ek olarak 1990 yılında bulunmayan spor ve eğlence alanları 2018 yılında 6,86 ha alan kaplamaktadır. 1990 yılından 2019'a kent alanının 7 kat büyüdüğü düşünüldüğünde sürekli kentsel alanların buna göre çok az (%25) arttığı fakat süreksiz kentsel alanın 12 kat arttığı tespit edilmiştir. Tüm sınıfların YYS değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür (Tablo 9). Ayrıca 1990 yılından 2019 yılına kadar kentleşen yaklaşık 8,24 kilometrekarelik alanın %52,9'unun tarım ve yarı doğal alanlardan yapay alanlar sınıfına geçtiği ve bu alanların YYS fark ortalamasının 3,4 °C olduğu saptanmıştır (Şekil 13).

Tablo 9. Mardin'in 1990 ve 2019 yılı kent sınırında kalan 1990 ve 2018 yıllarına ait CORINE AÖ/AK sınıflarının alanları ve YYS değerleri

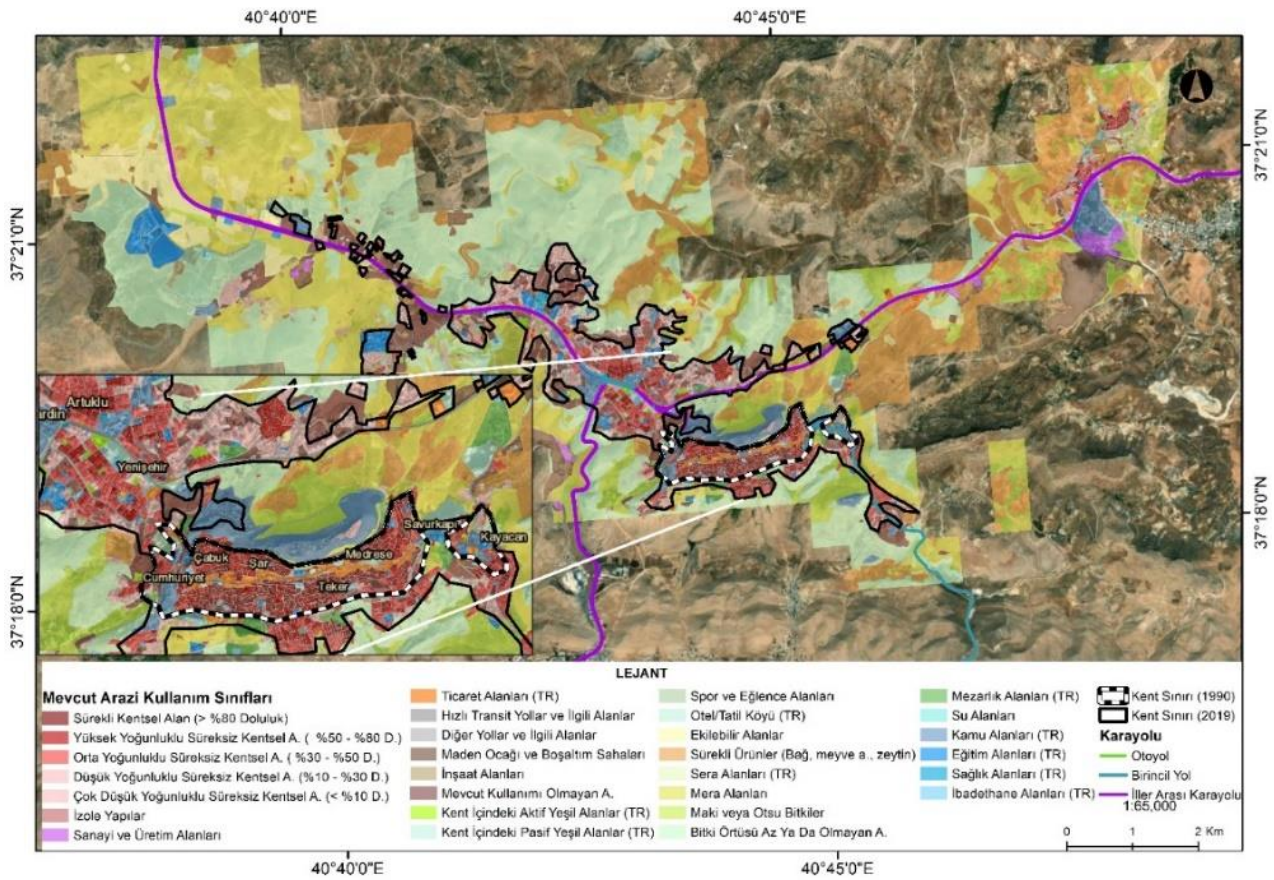
1990 CORINE AÖ/AK	1990			2019		
	Ortalama YYS (°C)	Alan (Ha)	Alan Oranı (%)	Ortalama YYS (°C)	Alan (Ha)	Alan Oranı (%)
111: Sürekli kentsel alan	32,23	100,7	74	38,11	125,34	15,19
112: Süreksiz/Kesintili kentsel alan	33,41	32,68	24	38,46	392,7	47,61
121: Endüstri ve ticari alanlar	-	-	-	38,41	72,14	8,74
133: İnşaat alanları	-	-	-	38,36	149,1	18,1
142: Spor ve eğlence alanları	-	-	-	38,95	6,86	0,83
Diğer sınıflardaki alanlar	33,46	2,67	1,96	39,04	78,55	9,52



Şekil 13. Mardin şehri ve çevresinin CORINE AÖ/AK sınıfları ve değişimleri (Copernicus, 2022)

1990 ile 2019 karşılaştırmasına imkân veren CORINE AÖ/AK sınıfları, kent içindeki detaylı arazi kullanımı göstermek için genel seviyede kalmaktadır. Daha fazla detay için kentsel AÖ/AK sınıfları kullanılmıştır. Bu sınıfların alanları ve 2019 YYS değerlerinden çeşitli bulgulara ulaşılmıştır.

2019 kent sınırının içindeki kentsel AÖ/AK sınıflarının kapladıkları alanlar incelenmiştir. Ticaret, endüstri ve donatı alanlarıyla birlikte geçirimsiz yüzeyler kentin %81,47'sini kaplamaktadır. Orta ve düşük yoğunluklu süreksiz kentsel alanlar %37,50'lik oran ile kentte hâkim sınıftır. Hızlı transit karayolları ve diğer yollar sınıfı şehrin %12,47'sini kaplamaktadır. Şehrin %2,49'u aktif ve pasif yeşil alanlardan oluşmaktadır. Buna ek olarak kentsel AÖ/AK ile 2019 yılı YYS değerlerinin ilişkisi incelenmiştir. Mardin şehrinde kentsel yoğunluk içeren sınıflar ile 2019 yılı ortalama YYS değerleri arasında bir ilişki görülmemiştir. Sürekli kentsel alanların (38,21 °C) ortalama YYS değerleri aktif yeşil alanların (37,78 °C) değerine çok yakındır. Tüm sınıflar arasında ortalama YYS değeri en düşük olan sınıf aktif yeşil alandır. Ticaret alanı sınıfının (39,98 °C) ortalama YYS değerleri geçirimsiz yüzeyler arasında ilk sıradadır. Kentsel AÖ/AK sınıflarının maksimum YYS değerleri incelenmiştir. Buna göre sırasıyla bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar, orta yoğunluklu süreksiz kentsel alanlar ile mevcut kullanımı olmayan alanlar en yüksek YYS değerlerine sahip olan sınıflardır. Maksimum ile minimum YYS arasındaki farkın en fazla olduğu sınıflar ise sırasıyla bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar, orta yoğunluklu süreksiz kentsel alanlar ile mevcut kullanımı olmayan alanlardır (Şekil 14, Tablo 10).



Şekil 14. Mardin şehri ve çevresinin kentsel AÖ/AK sınıfları (Kent Atlası, ÇŞİDB, 2019)

Tablo 10. Mardin şehrinin 2019 yılı kent sınırı içindeki AÖ/AK sınıflarına ait alan ve YYS değerleri

Kentsel AÖ/AK Sınıfı	Nesne Sayısı	Alan (%)	2019 Ortalama YYS (°C)	2019 Minimum YYS (°C)	2019 Maksimum YYS (°C)
Sürekli Kentsel Alan (> %80)	268	3,46	38,21	34,96	40,33
Yüksek Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (%50 - %80)	232	7,29	38,19	35,26	41,29
Orta Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (%30 - %50)	259	14,69	38,23	35,03	42,68
Düşük Yoğunluklu Süreksiz Kentsel Alan (%10 - %30)	233	22,82	38,53	35,43	41,95
Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	15	2,34	39,52	35,72	43,09
Diğer Yollar ve İlgili Alanlar	128	10,21	38,45	34,91	42,39
Eğitim Alanları	47	4,60	38,38	35,72	41,54
Ekilebilir Alanlar	4	0,18	38,51	37,19	39,52
Hızlı Transit Yollar ve İlgili Alanlar	5	2,26	38,77	36,12	41,44
İbadethane Alanları	35	0,85	38,26	35,81	40,77
İnşaat Alanları	18	2,38	38,41	35,15	40,98
Kamu Alanları	46	7,55	38,50	34,96	41,72
Kent İçindeki Yeşil Alanlar (Aktif)	20	1,03	37,78	35,99	40,84
Kent İçindeki Yeşil Alanlar (Pasif)	70	1,46	38,64	35,38	41,43
Maki veya Otsu Bitkiler	16	0,65	40,71	40,64	40,73
Mera Alanları	19	1,25	38,56	36,06	41,19
Mevcut Kullanımı Olmayan Alanlar	146	10,42	39,76	35,04	42,77
Mezarlık Alanları	17	1,06	38,90	35,41	42,46
Otel/ Tatil Köyü	8	0,52	39,44	36,29	41,63
Sağlık Alanları	16	0,66	38,91	35,76	41,54
Spor ve Eğlence Alanları	10	0,98	38,32	36,66	40,48
Sürekli Ürünler	7	0,13	39,56	35,77	42,66
Ticaret Alanları	85	3,20	39,98	38,86	41,55

4. Tartışma

Çalışma sahasında ele alınan Mardin kentsel alanı 7,8 kat, Şanlıurfa kentsel alanı 4,8 kat, Diyarbakır kentsel alanı ise 4,1 kat büyümüştür. Üç kentin de orta ve düşük yoğunluklu bir biçimde kentleştiği ortaya konmuştur. 1990 yılından 2019 yılına kadar üç kentin de nüfusunun bu kadar artmadığı bilinmektedir. Bu durum kentsel AÖ/AK sınıflarını gösteren haritalardan anlaşılmaktadır. 1990 kent sınırından hemen sonra gelen tarım alanlarının yerleşmeye açılması üç kentte de ortak durumdur. Bu bulgu CORINE AÖ/AK değişimiyle ortaya konmuştur. 1990-2019 arası kentleşen alanların en az üçte ikisi tarımdan yerleşmeye dönen alanlardan oluşmaktadır.

Üç kentin 1990 yılı kent sınırının büyük kısmı YYS fark ortalamasının üstünde kalmaktadır. Diğer bir ifade ile kent çekirdeklerinin YYS değerleri 1990 sonrasında kentleşen bölgelere göre daha yüksektir. Şanlıurfa kentinin 1990 yılı kentsel alanının YYS fark ortalaması 3,78 °C, 2019 yılı kentsel alanların YYS fark ortalaması ise 2,27 °C'dir. Mardin kentinin 1990 yılı kentsel alan YYS fark ortalaması 5,8 °C, 2019 yılı kentsel alanların YYS fark ortalaması ise 4,17 °C'dir. Diyarbakır kentinin 1990 yılı kentsel alan YYS fark ortalaması 3,46 °C'dir. Diyarbakır kentinin 2019 yılı kentsel alan fark ortalaması ise 3,3 °C'dir. Fakat 1990 kent sınırından sonra batıya ve kuzeye doğru genişleyen ilk kuşağın YYS artışı 7,8 °C'dir. Diyarbakır şehrinin doğudan ve güneyden sınırlanması şehrin kuzey ve batısını saran bitki örtüsü kuşağının yok edilerek büyümesi ile Şekil 7 ve 8'deki en sıcak kuşak oluşmuştur. Bu kuşakta, 2019 kent sınırı YYS fark ortalamasının iki katı kadar daha fazla YYS artışı meydana gelmiştir. Ayrıca kentin 1990 sonrası ilk yapılaştığı alan olan bu en sıcak kuşakta daha batı ve kuzeye göre daha az yeşil alan bulunması YYS artışını destekleyen bir diğer faktördür. Bu kuşağın yaklaşık olarak 966,4 ha olduğu, içinde aktif yeşil alanların ise 44 ha (%4,55) alan kapladığı, bir yeşil altyapı kurgusuyla yapılandırılmadığı, şehrin batısına göre yeşil alanların daha seyrek ve az olduğu tespit edilmiştir. CORINE AÖ/AK sınıflarının alanları üzerinden bir karşılaştırma yapmak gerekirse üç kentin de tüm yıllardaki geçirimsiz yüzey oranı kentin yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır. Bu oran kentsel AÖ/AK verilerine göre %75 ile %81 arasında değişmektedir. Bu durumun kentsel AÖ/AK verilerinin detay seviyesinin daha iyi olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Mardin ve Diyarbakır kentlerinde 1990 yılında hiç inşaat alanı bulunmazken 2018 yılına gelindiğinde Mardin’de şehrin %18’ini, Diyarbakır’da ise %2’sini kapladığı görülmektedir. Şanlıurfa şehrinde ise 1990 yılına kıyasla 2018 yılında inşaat alanlarının 8 kat büyüdüğü bulunmuştur.

CORINE AÖ/AK ve YYS ilişkisi üzerinden kentler ele alındığında ise sürekli kentsel alanlar süreksiz kentsel alanlara göre daha düşük YYS ortalamasına sahiptir. Bu durum üç kentten 1990 ve 2019 kent sınırlarında da aynıdır. Bu bulgu kentsel AÖ/AK’deki kentsel yoğunluk içeren sınıflar ile 2019 yılı ortalama YYS değerleri arasında negatif ilişki görülmesiyle tutarlıdır. Şanlıurfa’da bulunan 2018 yılı kentsel yeşil alan sınıfının diğer sınıflara göre daha düşük YYS değerine sahip olması literatürdeki diğer çalışmalarla uyumludur (Kuşak ve Küçükali, 2020; Soydan, 2020). 2019 yılında Diyarbakır şehrinde havaalanı sınıfının YYS değeri diğer sınıflara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu bulgu 2019 yılı kentsel AÖ/AK’deki havaalanı sınıfının (42,11 °C) ortalama YYS değerlerinin diğer geçirimsiz yüzeylerden daha yüksek olmasıyla tutarlıdır.

Kentsel AÖ/AK verileri ve Landsat uydu görüntülerine göre çalışma sahasındaki üç kentten sadece Şanlıurfa’da kentle ilişkili bir orman sınıfı bulunmaktadır. Diyarbakır ve Mardin kent merkezleriyle ilişkili ve erişilebilir bir orman alanı bulunmamaktadır. Ayrıca çalışma sahasında tüm kentlerin çekirdeğinde çok az aktif yeşil alan bulunduğu veya hiç olmadığı tespit edilmiştir. 2019 kent sınırına göre üç kentte de geçirimsiz yüzeylerin %75’ten fazla alan kapladığı bulunmuştur. Diyarbakır şehrinde havaalanı (%9,29) ile birlikte bu oran %76,30’dur. Şanlıurfa’da sürekli kentsel alanlar kentin %8,44’ünü, Mardin’in %3,46’sını, Diyarbakır’ın %1,88’ini kaplamaktadır. Aktif ve pasif yeşil alanların Şanlıurfa’da şehrin %6,76’sını, Diyarbakır’da şehrin %5,88’ini, Mardin’de ise şehrin %2,49’unu kapladığı tespit edilmiştir. Ek olarak Şanlıurfa ve Diyarbakır kentlerinde kentsel yoğunluk içeren sınıflar ile 2019 yılı ortalama YYS değerleri arasında negatif ilişki görülmüştür. Bolu kentinde ise kentsel yoğunluk sınıfları ile ortalama YYS değerleri arasında pozitif bir ilişki çıkmıştır. Bu açıdan Diyarbakır ve Şanlıurfa’daki bulgumuz Bolu kentindeki durumla uyumsuzdur (Kırkık Aydemir vd. 2022). Mardin şehrinde ise kentsel yoğunluk içeren sınıflar ile 2019 yılı ortalama YYS değerleri arasında bir ilişki görülmemiştir. Son olarak kentsel AÖ/AK sınıfları arasındaki ortalama YYS farkının (2,74 °C) en az olduğu kent Mardin’dir. Diğer iki kentte bu fark 5 °C’nin üzerindedir. Diyarbakır ve Mardin kentlerinde en düşük ortalama YYS değeri aktif yeşil alanlara aittir. Şanlıurfa’da en düşük ortalama YYS değeri mezarlık alanlarındadır. Bu bulgu literatürdeki pek çok çalışma ile uyumludur (Rosenfeld vd., 1995; Akbari vd., 2001; Oğuz, 2015; Schwaab vd., 2021).

Çalışmamızda kentsel AÖ/AK sınıfları için kullanılan kent atlası verilerinin 1990 yılında bulunmaması, kent içindeki YYS değerlerinin karşılaştırılmasını sınırlamıştır. Bu durumdan dolayı da kentsel AÖ/AK sınıflarının 1990-2019 yıllarındaki YYS değerleri karşılaştırılamamıştır. Bunun yerine daha genel seviyede kalan CORINE AÖ/AK verisi kullanılmıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Şanlıurfa, Diyarbakır ve Mardin kent merkezlerinin gelişimi ile CORINE ve kentsel AÖ/AK sınıflarının YYS ile arasındaki ilişki ele alınmıştır. 1990 ve 2019 yılındaki kent sınırları ve arazi kullanım türlerinin YYS değerleri üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Bu kapsamda önce kentlerden ayrı ayrı elde edilen bulgular sunulmuş, sonrasında arasındaki benzerlik ve farklılıklar incelenmiştir. Bunların sonucunda çeşitli öneriler ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar ortaya konmuştur. Üç kentte de 1990 yılı kent sınırının genel olarak YYS fark ortalamasının üstünde kaldığı tespit edilmiştir. Diğer yandan Diyarbakır ve Şanlıurfa’da kentsel yoğunluk arttıkça ortalama YYS değerinin düştüğü görülmüştür. Bu iki kentte kentsel yoğunluğun arttığı bölgeler daha çok 1990 yılı kent sınırının içinde kalan geleneksel mimariye sahip olan yerlerdir. Bu nedenle söz konusu durumu oluşturan nedenlerin araştırılması gerekmektedir.

Fahmy vd. (2017), bu çalışma alanına göre daha güney enlemlerde yer alan Kahire’deki çalışmalarında dış ve iç mekandaki iklimik konforu farklı bitki türleri ve enerji tasarrufuyla ilişkili biçimde ölçmüş ve simülasyonunu oluşturmuştur. Ayrıca Yıldırım (2020), sıcak ve kuru iklime sahip Şanlıurfa’nın geleneksel mimarinin hâkim olduğu kent çekirdeğindeki 10 tarihi geçit ile yüksek duvarlı ve dar sokakların açık hava gölgelendirmesi sağlayarak konforlu sosyal alanlar oluşturduğunu tespit etmiştir. Bu kapsamda çalışma sahasında yüzey sıcaklığı ile ilişkilendirilerek geleneksel mimari (yüksek yoğunluklu) ile planlı gelişim gösteren (orta ve düşük yoğunluklu) bölgelerdeki yapıların içindeki iklimik konforu karşılaştıran araştırmalar yapılabilir.

IPCC’nin +3°C’lik iklim projeksiyonlarına göre art arda gelen sıcak günlerin sayısının artacağı öngörülmektedir (IPCC, 2022). Çalışma sahasında yakın kentlerden Gaziantep’te 40 °C’nin üzerindeki gün sayısına fazladan 41 gün daha ekleneceği tespit edilmiştir (World Bank Group, 2022). Bu kapsamda iklim değişikliğini önleme ve uyum sağlamada kentlerdeki ısı adası etkisini azaltmak için dünyada çeşitli kentlerinde farklı çözümler uygulanmaktadır. En sık kullanılan yöntemler çatılar ve güneşlenen yüzeylerin özel yansıtıcı kaplamalarla boyanması, mavi ve yeşil altyapı çalışmalarıdır. Üç kentte de alansal yeterlilik ve erişilebilirlik dikkate alınarak bir yeşil altyapı kurgusu ile çeşitli yapı ve çatı çözümlerinin uygulanması tavsiye edilmektedir (Costanzo vd., 2016; Sharma vd., 2016; Shao ve Kim, 2022). YYS fark ortalamasının üstünde kalan üç kentten çekirdek alanlarında gelecek yıllarda YYS artışına bağlı olarak yansıtıcı veya yeşil çatı, yeşil altyapı ve bölgeye özgü mimari çözümler ile bölgenin yaşam kalitesinin artırılması tavsiye edilmektedir.

Çalışma sonuçları yeşil dokuya sahip alanların daha düşük YYS değerine sahip olduğunu ve bu alanlarda yıllara göre YYS fark değerinin diğer arazi kullanımlarından daha düşük olduğunu göstermiştir. Ağaç çeşitliliği arttıkça ısı adası etkisinin azaldığı ortaya koyulmuştur (Wang vd., 2021). Bu yüzden çalışma sahasındaki kentlerde yeşil alanların miktarının ve ağaç çeşitliliğinin artırılması ve korunması önemlidir.

Genel olarak yenilikçi ve iklim değişikliğine uyum sağlayacak yapıların test edilmesi, yenileme ve dönüşüm projelerinin işbirlikçi ve katılımcı biçimde oluşturulması tavsiye edilmektedir. Bu kapsamda akıllı şehir, sürdürülebilir enerji ve iklim eylem planlarının (SECAP) hayata geçirilmesi önerilebilir. Geçmişte sanayileşme ve motorlu araçlara göre şekillenen kentlerin en ekonomik ve kendine özgü yöntemlerle kentsel ısı adası etkisiyle ilgili çalışmalar yapması önemlidir.

Teşekkür

Çalışmamızda emeği geçen dergi kuruluna ve tüm hakemlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295-310.
- Aksu, V., & Ulu, F. (2004). *Kentsel mekanlarda açık ve yeşil alanların önemi ve Trabzon kenti ölçeğinde değerlendirilmesi* (DKOA Yayın No: 21). Trabzon: Doğu Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü.
- Almeida C. Rd., Teodoro A. C., & Gonçaves A. (2021). Study of the Urban Heat Island (UHI) using remote sensing data/techniques: A systematic review. *Environments*, 8(10), 105. doi: 10.3390/environments8100105.
- Avdan, U., & Jovanovska G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016, 1480307. doi: 10.1155/2016/1480307.
- Barsi, J. A., Schott, J. R., Hook, S. J., Raqueno, N. G., Markham, B. L., & Radocinski, R. G. (2014). Landsat 8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 6(11), 11607-11626.
- Bektaş Balçık, F., (2014). Determining the impact of urban components on land surface temperature of Istanbul by using remote sensing indices. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 859-872.
- Carnahan, W. H., & Larson, R. C. (1990). An analysis of an urban heat sink. *Remote Sensing of Environment*, 33(1), 65-71.
- Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), 2674-2677.
- Coll, C., Galve, J. M., Sánchez, J. M., & Caselles, V. (2010). Validation of Landsat-7/ETM+ thermal band calibration and atmospheric correction with ground-based measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(1), 547-555.
- Copernicus. (2012, Ocak 27). *Urban atlas supplement I*. Retrieved from <https://acp.copernicus.org/preprints/acp-2019-127/acp-2019-127-supplement.pdf>.
- Copernicus. (2022, Kasım 15). *CORINE land cover*. Retrieved from <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>.
- Costanzo, V., Evola, G., & Marletta, L. (2016). Energy savings in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs. *Energy and Buildings*, 114(2016), 247-255.
- Çiçek, İ., & Doğan, U. (2005). Ankara'da şehir ısı adasının incelenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 3(1), 57-72.
- ÇŞİDB. (2019, Aralık 24). *Urban atlas*. Retrieved from http://ecbsservis.csb.gov.tr/arcgis/rest/services/YAYIN/urbanatlas_ondokuz/MapServer.
- Dihkan, M., Karsli, F., Guneroglu, N., & Guneroglu, A. (2018). Evaluation of urban heat island effect in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 186. doi: 10.1007/s12517-018-3533-3.
- Ekinci Yelen, K. (2019, Kasım 28). *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı CBS Genel Müdürlüğü kentsel alanlarda arazi kullanım haritası*. Retrieved from <https://www.basarsoft.com.tr/download/konferans2019/kubra-ekinci-konferans-2019-sunum.pdf>.
- ESRI. (2022, Aralık 12). *Environmental Systems Research Institute*. Retrieved from <https://www.esri.com/en-us/home>.
- Fahmy, M. El-Hady, H., Mahdy, M., & Abdelalim, M. F. (2017). On the green adaptation of urban developments in Egypt; predicting community future energy efficiency using coupled outdoor-indoor simulations. *Energy and Buildings*, 153(2017), 241-261.
- Giannini, M.B., Belfiore, O.R., Parente, C., & Santamaria, R. (2015). Land surface temperature from landsat 5 TM images: comparison of different methods using airborne thermal data. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8(3), 83-90.

- Good, E. J. (2016). An in situ-based analysis of the relationship between land surface "skin" and screen-level air temperatures. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(15), 8801-8819.
- GEE. (2022, Ekim 16). *Google Earth Engine*. Retrieved from <https://earthengine.google.com/timelapse/>
- Güzel, A. (2020). Şanlıurfa ili doğal coğrafya özellikleri. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(71), 195-215.
- IPCC. (2022, Şubat 27). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Retrieved from https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf
- Kaçmaz, G., & Gürbüz, E. (2022). Arazi örtüsü değişiminin arazi yüzey sıcaklığına etkisinin uzaktan algılama ve CBS entegrasyonu ile belirlenmesi: Aksaray ili örneği. *Harita Dergisi*, 88(167), 38-54.
- Karadoğan, S., & Kavak, M. T. (2017). Diyarbakır havzasında iklim üzerinde etkili olan yer şekilleri ve litolojik faktörlerin MODIS uydu görüntüsü verileri ile incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60(4), 557-568.
- Kırkık Aydemir, K. P., Kazancı Altınok, G., & Ünsal, Ö. (2022). Determining UHI effect by remote sensing method in Bolu city centre, Turkey. *International Journal of Architecture and Planning*, 10(2), 735-758.
- Kuşak, L., & Küçükali, U. F. (2020, November). Evaluation of the change of Istanbul Anatolian Side land surface temperature values with CORINE data. In *1st Intercontinental Geoinformation Days, 2020. Proceedings*. (pp. 64-67).
- Mercan, Ç. (2020). Yer yüzey sıcaklığının termal uzaktan algılama görüntüleri ile araştırılması: Muş ili örneği. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(2), 42-49.
- MGM. (2022). *Şanlıurfa, Diyarbakır ve Mardin illerinin sıcaklık ve yağış verileri*. Retrieved from <https://mevbis.mgm.gov.tr/mevbis/ui/index.html#/Workspace>.
- Li, D., Liao, W., Rigden, A. J., Liu, X., Wang, D., Malyshev, S., & Shevliakova, E. (2019). Urban heat island: Aerodynamics or imperviousness?. *Science Advances*, 5(4). Eaaau4299. doi: 10.1126/sciadv.aau4299.
- Oğuz, H. (2015). ASTER uydu görüntüsünden yer yüzey sıcaklığını hesaplayan bir yazılım aracı geliştirilmesi. *Journal of Agricultural Sciences*, 21(4), 471-482.
- OSM. (2022, Ekim 12). *Open Street Map*. Retrieved from <https://www.openstreetmap.org/#map=14/37.8972/41.1272>
- Orhan, O., Ekercin, S., & Dadaşer Çelik, F. (2014). Use of Landsat land surface temperature and vegetation indices for monitoring drought in the Salt Lake Basin Area, Turkey. *The Scientific World Journal*, 2014, 142939. doi: 10.1155/2014/142939.
- Orhan, O. & Yakar, M. (2016). Investigating land surface temperature changes using Landsat data in Konya, Turkey. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B8, 285-289.
- Özmekik İ. M., Ersoy Tonyaloğlu E., & Göktuğ T.H. (2022). Kent atlası verilerinden kentsel saçaklanmanın belirlenmesi: Samsun ili örneği. *Turkish Journal of Landscape Research*, 5(2), 102-111.
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Ottle C., Bréon, F. M., Nan, H., Zhou, L., & Myneni, R. B. (2012). Surface urban heat island across 419 global big cities. *Environmental Science & Technology*, 46(2), 696-703.
- Polat, N. (2020). Mardin ilinde uzun yıllar yer yüzey sıcaklığı değişiminin incelenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(1), 10-15.
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B. L., Kurn, D. M., Sailor, D., & Taha, H. (1995). Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings*, 22(3), 255-265.
- Schwaab, J., Meier, R., Mussetti, G., Seneviratne, S., Bürgi, C., & Davin, E. L. (2021). The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nature Communications*, 12(1), 6763. doi: 10.1038/s41467-021-26768-w.
- Shao, H., & Kim, G. (2022). A Comprehensive Review of Different Types of Green Infrastructure to Mitigate Urban Heat Islands: Progress, Functions, and Benefits. *Land*, 11(10), 1792. doi: 10.3390/land11101792.
- Sharma, A., Conry, P., Fernando, H. J. S., Hamlet, A. F., Hellman, J. J., & Chen, F. (2016). Green and cool roofs to mitigate urban heat island effects in the Chicago metropolitan area: evaluation with a regional climate model. *Environmental Research Letters*, 11(6), 064004. doi: 10.1088/1748-9326/11/6/064004.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434-440.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Guillem, Sòria, M., Luis Guanter, R., Moreno J., Plaza, A., & Martínez, P. (2008). Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2), 316-327.
- Soydan, O. (2020). Effects of landscape composition and patterns on land surface temperature: Urban heat island case study for Nigde, Turkey. *Urban Climate*, 34, 100688. doi: 10.1016/j.uclim.2020.100688
- TOB. (2023, Nisan 8). *CORINE projesi*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Retrieved from <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/araziortususuniflari.html>.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
- Uğur, A., & Aliğaçoğlu, A. (2019). *Şehir coğrafyası*. İstanbul: Nobel Akademik Yayıncılık.

- USGS. (2021, Aralık 9). *United states geological survey using the USGS Landsat level-1 data product*. Retrieved from <https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product>.
- USGS. (2022, Ekim 12). *Earth explorer*. Retrieved from <https://earthexplorer.usgs.gov>.
- Uysal, M., & Polat, N. (2015). An Investigation of the relationship between land surface temperatures and biophysical indices retrieved from Landsat TM in Afyonkarahisar (Turkey). *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, 22(1), 177-182.
- Ünal Çilek, M., & Çilek, A. (2021). Analyses of land surface temperature (LST) variability among local climate zones (LCZs) comparing Landsat-8 and ENVI-met model data. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102877. doi: 10.1016/j.scs.2021.102877.
- Ünal Çilek, M. (2022). Kentsel yüzey ısı adalarının belirlenmesinde yer yüzey sıcaklık verilerinin kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 33, 213-222. doi: 10.31590/ejosat.1039572.
- Wang, X., Dallimer, M., Scott, C. E., Shi, W., & Gao, J. (2021). Tree species richness and diversity predicts the magnitude of urban heat island mitigation effects of greenspaces. *Science of The Total Environment*, 770, 145211. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145211.
- World Bank Group. (2022, Ekim 18). *Türkiye country climate and development report*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10986/37521>.
- Yıldırım, M. (2020). Shading in the outdoor environments of climate-friendly hot and dry historical streets: The passageways of Sanliurfa, Turkey. *Environmental Impact Assessment Review*, 80(2020), 106318. doi: 10.1016/j.eiar.2019.106318.
- Yücel, T. (1987). *Türkiye coğrafyası*. Ankara: Türk Kültürünü Araştırma Enstitüsü.

Soil Erosion Assessment of a Hilly Terrain by RUSLE Model - A Case Study of Chittagong Hill Tracts

RUSLE Modeli ile Tepelik Bir Arazinin Toprak Erozyonunun Değerlendirilmesi - Chittagong Hill Tracts Örneği

Easmat Ara Afrin¹, M. M. Abdullah Al Mamun^{2*}, M. Mozaffar Hossain¹, Li Zhang²

¹Institute of Forestry and Environmental Sciences, University of Chittagong, 4331, Chattogram, Bangladesh.

²Key Laboratory of Digital Earth Science, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, 100094, Beijing, China.

ORIGINAL PAPER

*Corresponding author:

M. M. Abdullah Al Mamun
mamun@cu.ac.bd

doi: 10.48123/rsgis.1197801

Article history

Received: 25.11.2022

Accepted: 03.04.2023

Published: 28.09.2023

Abstract

Among many environmental problems, soil erosion poses a serious threat to the region known as Chittagong Hill Tracts (CHTs) in Bangladesh, comprising three districts, namely Bandarban, Rangamati, and Khagrachari. The annual soil erosion rate for this hilly terrain was calculated using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model integrated with Remote Sensing and Geographic Information System (GIS). The ranges of the estimated erosivity of rainfall, erodibility of the soil, slope length and slope steepness, crop management factor and conservation practices are 806.2 to 1513.2 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.yr⁻¹ (or an average of 1121.5 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.yr⁻¹), 0 to 0.02 t.h.MJ⁻¹ mm⁻¹, 0 to 78.8 (or average 0.41), 0 to 0.63 (or average 0.57) and 0.55 to 1 (or average 0.73), respectively. As per the findings, the study area is expected to lose 182621.5 tons of soil annually, with the estimated annual soil erosion rate of 15.18 t.ha⁻¹.yr⁻¹ also predicted. The weighted overlay index approach was used to produce the probability zone map, which shows that the majority of the research region falls within the slight probability zone and that only a small percentage falls inside the high and very high probability zones. This study proves RS-GIS is useful for predicting erosion and can be used in soil conservation programs.

Keywords: Soil erosion, USLE, RUSLE, Remote sensing and GIS

Özet

Pek çok çevre sorunu arasında toprak erozyonu, Bangladeş'teki Bandarban, Rangamati ve Khagrachari olmak üzere üç ilçeden oluşan ve Chittagong Hill Tracts (CHTs) olarak bilinen bölge için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu engebeli arazi için yıllık toprak erozyon oranı, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ile entegre edilmiş olan Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (YETKE) modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Yağışın tahmini erozivitesi, toprağın erodibilitesi, eğim uzunluğu ve eğim dikliği, mahsul yönetim faktörü ve koruma uygulamaları aralıkları, sırasıyla, 806,2 ila 1513,2 MJ.mm. ha⁻¹.h⁻¹.yr⁻¹ (veya ortalama 1121,5 MJ.mm. ha⁻¹.h⁻¹.yr⁻¹), 0 ila 0.02 t.h.MJ⁻¹ mm⁻¹, 0 ila 78.8 (veya ortalama 0.41), 0 ila 0.63 (veya ortalama 0.57) ve 0.55 ila 1 (veya ortalama 0.73) olarak ölçülmüştür. Elde edilen bulgulara göre, çalışma alanında yılda 182621,5 ton toprak kaybı beklenmektedir ve tahmini yıllık toprak erozyon oranı da 15,18 t.ha⁻¹.yr⁻¹ olarak öngörülmüştür. Ağırlıklı bindirmeli indeks yaklaşımı kullanılarak oluşturulan olasılık bölgesi haritası araştırma bölgesinin çoğunluğunun hafif olasılık bölgesi içinde kaldığını ve yalnızca küçük bir yüzdesinin yüksek ve çok yüksek olasılık bölgeleri içinde kaldığını göstermektedir. Bu çalışma, Uzaktan Algılama (RS) ve CBS teknolojilerinin erozyonu tahmin etmede yararlı olduğunu ve toprak koruma programlarında kullanılabileceğini kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Toprak erozyonu, USLE, RUSLE, Uzaktan algılama ve CBS

1. Introduction

Soil erosion is a natural occurrence of the earth caused due to the displacement of the top layer of soil by water or wind to another location as well as anthropogenic actions, including agro-economic practices, deforestation, shifting forest into agricultural land, etc., would also enhance erosion. Some factors – for example, slope steepness, climatic changes including heavy precipitation, inept land use and land cover patterns – drive soil erosion (Ganasri and Ramesh, 2016). It is regarded as the second significant environmental issue confronted by the world following population expansion (Jahun et al. 2015). It decreases the efficiency of soil and ecosystems, such as vegetation and agricultural ecosystems, and has a negative impact on the biodiversity of plants, animals, and soil microorganisms. Every year, around 10 million hectares of agricultural land are abandoned worldwide due to a lack of productivity brought by soil erosion (Saha et al. 2022).

Soil erosion is a major problem in several hilly areas of Bangladesh, including Sylhet, Chattogram, and the Chittagong Hill Tracts (CHTs), while more than half of the CHTs are in danger of experiencing it. With heavy monsoon rains, the topsoil of the area is washed away, while the areas of Bangladesh have gradually declined due to soil erosion over time (Islam et al. 2015). Given the encroachment on reserve forests, the earlier management method is no longer practicable. Farmers are under increasing pressure to reduce fallow time, which hastens soil erosion and depletion of nutrients, putting rural livelihoods at risk (Bai, 2006). Furthermore, Jhum cultivation and burning, accounting for almost 37%, has also exacerbated soil loss in the area, which could negatively influence biodiversity, stream flow, agricultural production, soil condition, and flood severity (Das et al. 2018). The maximum erosion in the fallow season is $7.40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, whereas it is $70.05 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ during the cropping season (Hasan and Alam, 1970).

Geospatial innovation has recently progressed, transforming it into an effective technology for managing, analyzing, and monitoring natural resources (Prasannakumar et al. 2011). Models of soil erosion can be categorized into two basic categories such as empirical models and physically-based models. RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), USLE (Universal Soil Loss Equation), MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation), and CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems), etc., are empirically based models, whereas EUROSEM (European Soil Erosion Model), SHE (Systeme Hydrologique Europeen or European Hydrological System), etc., are physically-based models (Jha and Paudel, 2010). One of the most common techniques is USLE, which was first designed for the assessment of soil erosion in such areas with a gentle slope (Wischmeier and Smith, 1978). Afterwards, RUSLE was improved, expanding its spectrum of uses by incorporating conditions such as forests, farmlands, and barren lands (Renard et al. 1997). Because of its simplicity of computation and application, the RUSLE has been frequently used for soil loss evaluation at the catchment level (Lu et al. 2004). Over the past few decades, geographic information systems (GIS) have played a significant role in the creation and analysis of maps, enhancing the RUSLE and making it a more precise and advanced model (Farhan et al. 2013).

However, in Bangladesh, no baseline research on soil erosion exists in any part of the country (Saha and Sauda, 2019). With this perspective, the current study is conducted in CHTs of Chattogram, Bangladesh, to identify the most vulnerable areas and estimate the geographic distribution of surface soil erosion using RUSLE. Therefore, the overall objective of this research is – to calculate the total surface soil erosion by delineating the probability zone in a tropical hilly area, CHTs using the RUSLE model.

2. Study Area and Data

2.1 Description of the study area

The location of CHTs, as seen in Figure 1, has a physical area of 13,184 square kilometers, or 10% of Bangladesh's total land. Without Kaptai lake, however, the area of CHTs would be 12,027.5 square kilometers. Rangamati, Khagrachari, and Bandarban are the three districts that make up the area. The Chittagong Hill Tracts (CHTs) are predominantly composed of alluvial plains, rivers, hills, ravines, and cliffs, which are heavily forested, in contrast to the majority of Bangladesh. The annual rainfall ranges from 2540 mm to 3810 mm in the north and east, and is nearly 2540 mm in the south and west. The cold and dry season runs from November to March; the sunny and hot pre-monsoon season runs from April to May; in addition, the cloudy and rainy monsoon season runs from June to October. The soils of the hill (dystric cambisols) consist of yellowish-brown to reddish-brown loams that develop into fractured sandstone or shale and mottled sand at various depths. The grounds are pretty acidic. Despite the challenges of farming on hills, there is still enough natural vegetation to be found. According to Bangladesh's physiography, the CHTs is part of the Eastern and Northern Hill units.

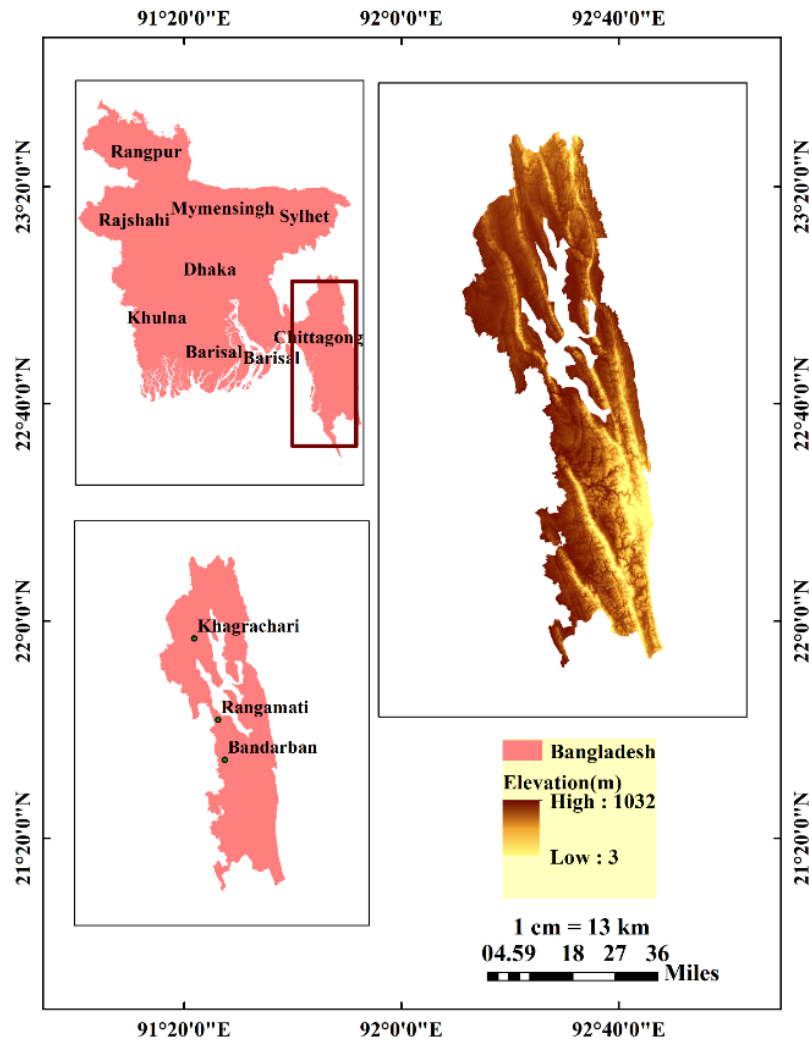


Figure 1. Study area map of the CHTs with Digital Elevation Model (DEM) in Bangladesh

2.2 Data source

In this study, the data was used to calculate all factors derived from secondary databases, remote sensing methods and open-source sources, as seen in Table 1. The ASTER DEM was obtained from NASA EARTHDATA and the LANDSAT 8 images from Earth Explorer. The NDVI is calculated on the Google Earth Engine platform using JavaScript code. The Digital Soil Map (vector data) of the world can be freely downloaded from mentioned website (Table 1). The soil loss map was created using ArcGIS 10.8 after all the data had been collected.

Table 1. Comprehensive overview of the data used

Category	Source	Spatial Resolution	Temporal Period	Variables	Reference
Rainfall Data	Giovanni	-	2009-2019	10 years average annual rainfall	Earthdata (2022a)
Soil Data	FAO-UNESCO	5 arc min	1974	Texture: Sand, silt and clay, and organic matter (%)	FAO (2022)
DEM	ASTER	30 m	-	Slope	Earthdata (2022b)
Satellite Image	LANDSAT 8	30 m	2009-2019	Normalized Difference vegetation index (NDVI)	USGS (2022)

3. Methodology and Parameter Estimation

RUSLE is a combination of mathematical formulas that may calculate average soil loss annually from erosive processes. This method- has been used to assess soil erosion loss, and help to develop conservation strategies for soil erosion management in various scenarios, including rangelands, croplands, and disturbed forestlands. A schematic representation of the general methodology followed in the study is presented in Figure 2.

3.1 Estimation of RUSLE parameter

The Universal Soil Loss Equation (USLE) (Wischmeier and Smith, 1978) and the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Renard et al. 1997) remain the most commonly used formula for evaluating soil erosion, despite the flaws and limitations (Zhang et al. 2013). RUSLE is easy to use since it uses a modern computer interface with physically relevant input variables often accessible in current databases. Besides, it can also be retrieved quickly from DEM and remotely sensed images. RUSLE is the most effective method for erosion analysis currently available, and it may be used locally or regionally. Climate, topography, soil properties, and land cover management are part of the RUSLE model, which is an equation that depicts the essential components that cause soil erosion. The RUSLE equation is expressed as:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Where,

- A = The predicted spatial average annual soil loss per unit of area ($t \text{ ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$);
- R = Rainfall-Runoff Erosivity Factor ($\text{MJ mm. ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$);
- K = Soil Erodibility Factor ($t \cdot \text{h} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$);
- LS = Slope length and slope steepness Factor (dimensionless);
- C = Cover-Management Factor is the ratio of soil erosion from a defined site (dimensionless);
- P = Conservation/Support Practices Factor is soil erosion ratio with contour tillage and support practice, terracing, and strip cropping (dimensionless).

3.2 Rainfall Erosivity Factor (R)

The influence of rainfall intensity on surface soil erosion is calculated using the rainfall erosivity factor (R), and it requires a large amount of consistent precipitation data (Ganasri and Ramesh, 2016). Regional differences in precipitation patterns are reflected in R factor variations. Low erosivity R-values are seen in regions with downward slope degrees, meaning that low areas would improve water infiltration on the surface, preventing raindrops from eroding soil particles. When the R factor exceeds a specific level, it indicates more severe weather. Rainfall values may be obtained from computed using existing data or iso-erodent maps and tables (Farhan et al. 2013).

The Monthly precipitation data from 2009 to 2019 was used in this study to estimate the R factor using the following equation established by Singh et al. (1981).

$$R = 79 + 0.363R_N \quad (2)$$

Where R_N is the average annual rainfall (mm).

The Chittagong Hill Tracts' study area accounted for 11 years of rainfall data from 36 locations over 25 Upazillas. The inverse distance weighted (IDW) technique of interpolation was utilized to estimate the spatial distribution of average annual rainfall (R_N) in the study area.

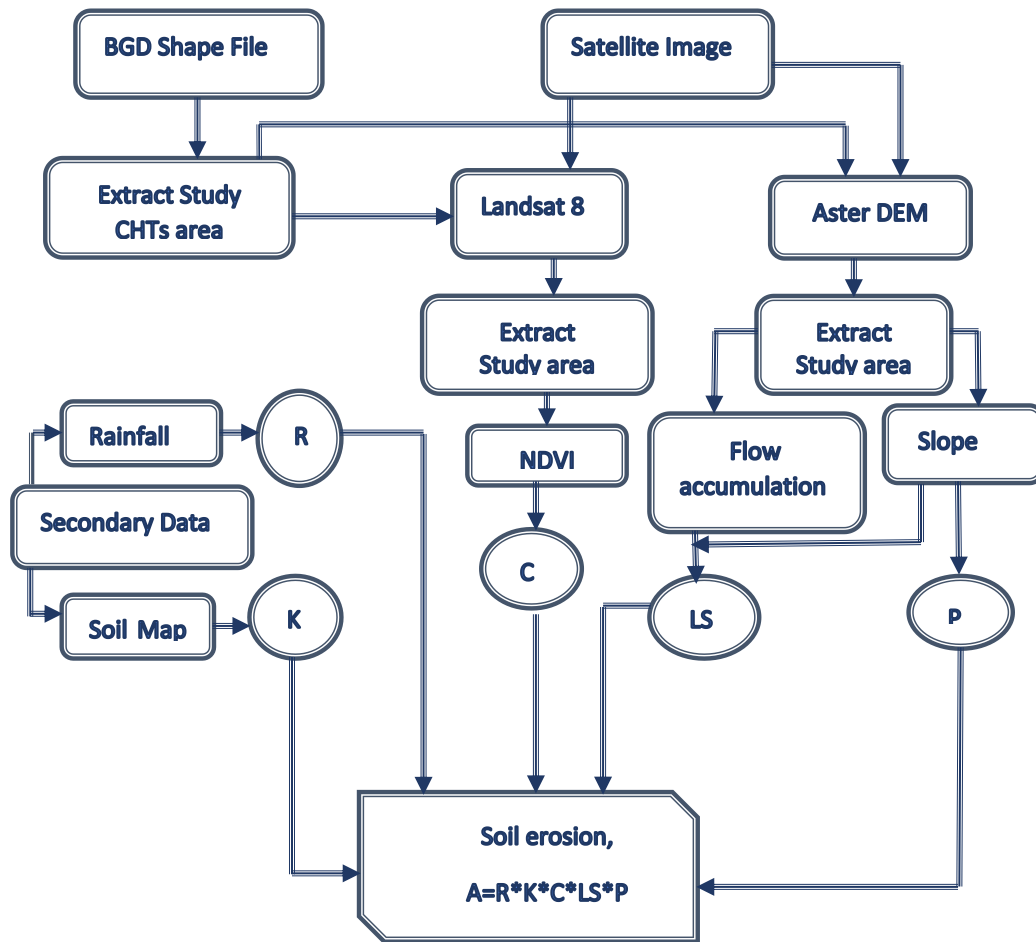


Figure 2. Flow chart of RUSLE methodology

3.3 Soil Erodibility Factor (K)

Soil erodibility is influenced by structure (e.g. macro porosity, aggregate characteristics), texture, organic matter content, hydraulic properties, and wettability. Several meteorological, physical, hydrological, chemical, mineralogical, and biological variables impact soil erodibility, are also known as soil susceptibility to erosion (Ostovari et al. 2017). The combined effect of soil properties as seen in Table 2, and profile features on soil erosion rates are important for the soil erodibility factor (K) (Kim et al. 2005). The following is the equation developed by Williams and Singh (1995) for calculating the K-factor:

$$k_{usle} = k_w = f_{c/sand} \times f_{cl/si} \times f_{orgc} \times f_{hisand} \times 0.1317 \quad (3)$$

Where,

$f_{c/sand}$ is a factor that affects how much or how little coarse sand is in a soil's composition, reducing the k indicator.

$f_{cl/si}$ provides high soil erodibility factors on soils with low clay-to-silt ratios

f_{orgc} indicates that soils with a high carbon content have lower k values, and

f_{hisand} rises in K values for shallow soils with sand content.

$$f_{c/sand} = 0.2 + 0.3 \times \exp[-0.256 \times m_s \times (1 - \frac{m_{silt}}{100})] \quad (4)$$

$$f_{cl/si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3} \quad (5)$$

$$f_{orgc} = \left(1 - \frac{0.25 \times C_{org}}{C_{org} + \exp[3.72 - 2.95 \times C_{org}]} \right) \quad (6)$$

$$f_{hisand} = \left(1 - \frac{0.7 \times \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \times \exp \left[-5.51 + 22.9 \times \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right) \tag{7}$$

Here,

m_s = the proportion of sand with a diameter of 0.05 to 2.00 mm [%];

m_{silt} = the proportion of silt with a diameter of 0.002–0.05 mm [%];

m_c = the percentage of clay with a diameter of <0.002 mm [%] and

C_{org} = the proportion of carbon content in organic matter (SOC) [%].

Table 2. Soil characteristics of the CHTs region (FAO-UNESCO, 1987)

Soil unit symbol	Types of soil	Sand % topsoil	Silt % topsoil	Clay % topsoil	OC % topsoil
Bd	Dystric Cambisols	32.7	30.3	37.1	3.28
Af	Ferric Acrisols	61.7	14.4	23.9	0.91
Bd	Dystric Cambisols	32.7	30.3	37.1	3.28
Af	Ferric Acrisols	61.7	14.4	23.9	0.91
Ge	Eutric Gleysols	42.8	20.4	36.8	1.3
Bd	Dystric Cambisols	32.7	30.3	37.1	3.28

Here,

Af = Ferric Acrisols;

Bd = Dystric Cambisols

Ge = Eutric Gleysols.

The K ($t.h.MJ^{-1} mm^{-1}$) value was calculated using Eq. 3, and the K factor map was created as a result in ArcGIS. The soil map was obtained from the FAO website, and the organic matter and texture of the soil, (silt (%), sand (%), clay (%)) were found from the FAO information excel sheet and calculated using Eq. 4, Eq. 5, Eq. 6, Eq. 7, and the estimated findings can be as seen in Table 3.

Table 2. Estimated soil properties according to the formula

Soil unit symbol	$f_{c/sand}$	$f_{cl/si}$	f_{orgc}	f_{hisand}
Bd	0.2009	0.7867	0.9744	0.99998
Af	0.2000	0.7457	0.9937	0.98986
Bd	0.2009	0.7867	0.9744	0.99998
Af	0.2000	0.7457	0.9937	0.98986
Ge	0.2001	0.7340	0.9848	0.99980
Bd	0.2010	0.7867	0.9744	0.99998

3.4 Slope length and slope steepness (LS)

The dimensionless LS, or topographic factor, demonstrates how topography affects soil erosion by combining the slope length factor (L) and slope steepness factor (S). Slope steepness is relatively more responsible for soil loss compared to slope length (Thomas et al. 2018; Shi et al. 2004). The slope length and slope steepness (LS) factor in this study were computed using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Digital Elevation Model with a 30 m spatial resolution, as seen in Figure 1. The following equation developed by Moore and Burch (1986) was used to calculate the slope length and slope steepness factor (LS):

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \times \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^n \times Z \tag{8}$$

where,

β is the angle of slope in radian and $= 3.14 \times \frac{\theta}{180}$

Z is the riling factor of value = 1.62 and n is a coefficient of value = 1.3 (Moore and Burch, 1986).

λ = flow accumulation x cell size

m = 0.14, which is a universal constant.

LS factor has no dimension. Using the ArcHydro tools of ArcGIS 10.8, the slope angle, flow accumulation, and flow direction from the DEM were obtained. The LS factor was then calculated using the above equations.

3.5 Crop Management Factor (C)

The C factor is most likely the critical USLE component since it highlights conditions that are easier to control in terms of erosion reduction. Depending on the season and agricultural production method, plant canopy and ground cover influence soil erosion in the forest environment. The seasonal change in the C-factor is influenced by several factors, including rainfall, agricultural practices, crop variety, and so on (Ganasri and Ramesh, 2016).

Data sets based on remotely sensed sources were utilized to estimate the C factor because the variability in land cover, fluctuations in spatial and temporal aspects. A clear indication for calculating plant health, vegetation energy, and green biomass is the Normalized Vegetation Difference Index (NDVI) (Mukanov et al. 2019). NDVI is generated from the equation for Landsat-8 OLI, represents the energy reflected by the earth under various circumstances of surface cover type. The NDVI scale has two bands, ranging from -1.0 to +1.0. NDVI readings at the extremities of the data range are caused by a substantial discrepancy between the two bands. Landsat 8 (band 4 and 5) satellite images were used from January 2009 to December 2019 to calculate NDVI. The formula is:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (9)$$

Under tropical climate conditions the cover management factor (C) of the study area was calculated by using the equation proposed by Durigon et al. (2014).

$$C = \frac{-NDVI+1}{2} \quad (10)$$

3.6 Conservation support-practice factor (P)

By modifying the flow pattern, slope, or direction of surface runoff and reducing runoff rates, the P factor shows the need for supporting measures that prevent soil loss. P factor compares soil loss caused by one support system to losses caused by gradual incline and downhill slope tillage. Lower P values, in general, imply that conservation practices are effective in reducing soil erosion (Thomas et al. 2018).

Khosrokhani and Pradhan (2014) used the following equation for calculating the P factor.

$$p = 0.03 \times S + 0.2 \quad (11)$$

Where, S = slope in percentage.

Based on this computation, the P factor value was applied as a slope function for regions lacking support practices or locations where support practices weren't accessible. The only thing needed for the equation is the slope, which may be easily derived from a DEM.

The activities that conserve soil in order to prevent soil erosion are referred to as Support Practice Factor, P. Some of the most well-known and documented management strategies are contour farming, terracing, and strip cropping (Byizigiro et al. 2020). Table 4 displays the P values are between 0 and 1, with 1 indicating no conservation and 0 showing excellent resistance. Contouring conservation indicators were used because the research region features steep slopes, and farming methods have evolved in response to topographical changes.

Table 3. According to the soil conservation practice, support practice factor values (Shin, 1999)

Slope %	Contouring	Strip Cropping	Terracing
0.0-7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 -11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 – 17.6	0.80	0.40	0.16
17.6 - 26.8	0.90	0.45	0.18
26.8 >	1	0.50	0.20

3.7 Identifying Risky Areas: Depiction of Soil Erosion Probability Zones

To identify and prepare map vulnerable areas to soil erosion involves the integration of various thematic maps in a Geographic Information System (GIS). To achieve this, major factors that influence soil erosion are taken into consideration, including land use-land cover as shown in Figure 3, soil properties, rainfall intensity, and slope. Weighted Index Overlay (WIO) is a raster overlay analysis technique that involves assigning a weightage to each factor based on their contribution to soil erosion. In WIO, the maximum value is assigned to the feature that is most susceptible to soil erosion, and the minimum value is given to the least susceptible feature. This method integrates all the thematic maps and creates a single map that represents the overall soil erosion vulnerability of the study area. This map can then be used to prioritize areas for conservation and management interventions (Ganasri and Ramesh, 2016).

3.8 Sediment delivery ratio (SDR)

The sediment delivery ratio (SDR) of a watershed represents its overall potential to stock and transport eroded soil, and is influenced by a range of physical characteristics such as drainage area, slope, land use land cover change, relief-length ratio, sediment particle size and runoff-rainfall factors (Gelagay, 2016). In this study, Boyce Model (1975) empirical methods were used to calculate the sediment delivery ratio.

$$SDR = 0.3740 \times (B)^{0.2382} \tag{12}$$

B = Watershed Area in km². The SDR was calculated 0.12. The sediment yield or soil loss was calculated by simply multiplying the soil erosion (A) obtained from the RUSLE with the SDR value (Tufekcioglu et al. 2018).

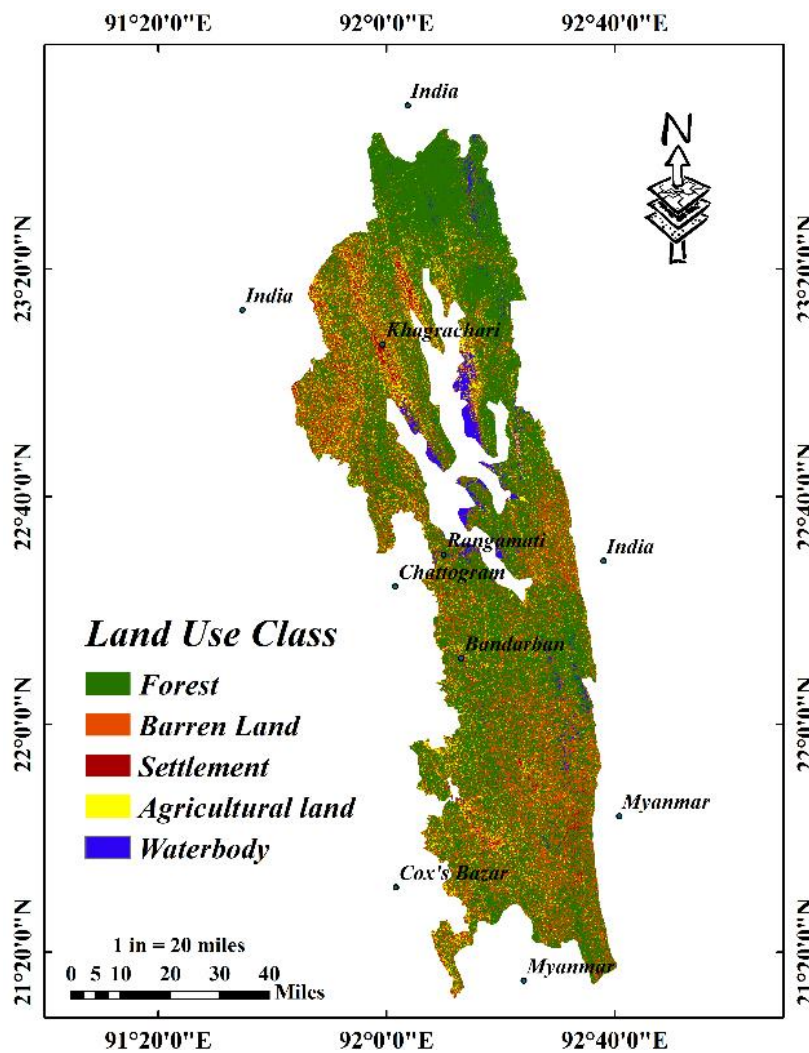


Figure 3. Land use and land cover map

4. Results and Discussion

In the south and south-western portion of CHTs the annual average rainfall distribution is evident from higher compared to north and north-eastern portion. The mean rainfall per year can be as low as 2720.4 mm.yr⁻¹ in the south-eastern, which increases to as high as 2934.4 mm.yr⁻¹ in the northeast. As a result, Bandarban districts have the highest mean annual rainfall, whereas Khagrachari districts have the lowest mean annual rainfall. The Rangamati area, which lies in the middle of the study, has moderate annual rainfall. With a mean of 1121.5 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.yr⁻¹, the R-factor values varied from 806.2 to 1513.2 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.yr⁻¹ as found in Figure 4. Because the R factor is roughly related to rainfall, therefore the regions with higher annual average precipitation also had greater R factor values. The R factor map, Figure 4(b), shows a similar trend from south to north as like the average annual rainfall.

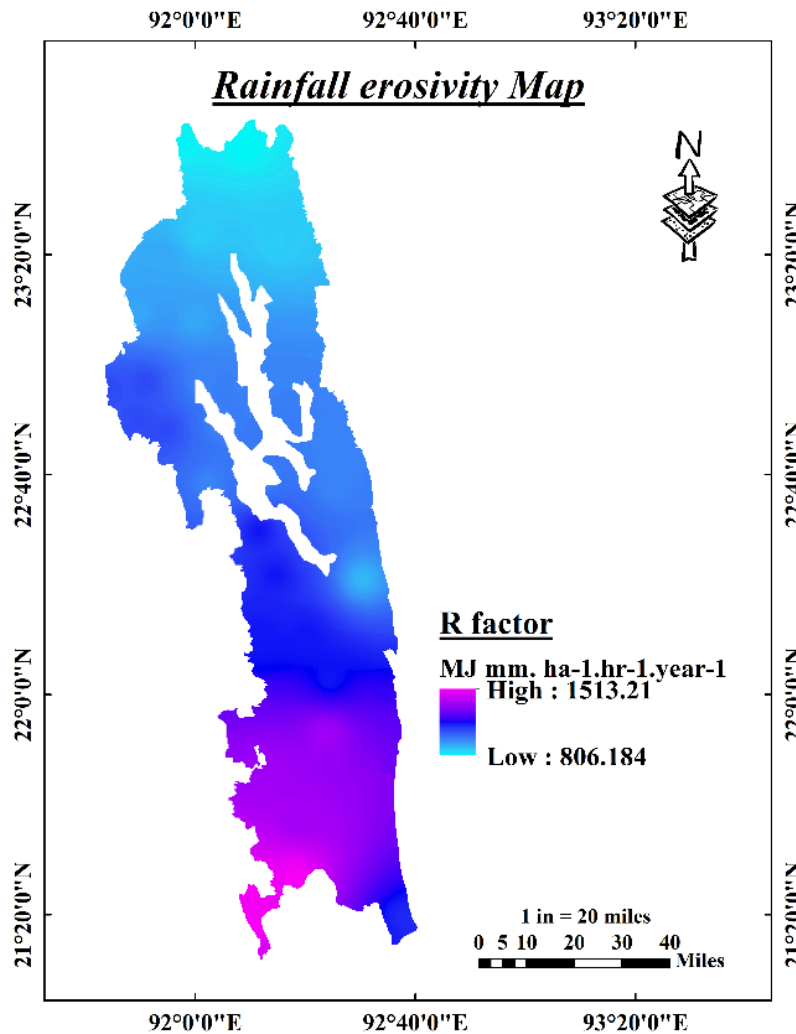


Figure 4. Rainfall erosivity factor map

Figure 5 shows the spatial distribution of the K factor. Since the majority of the research area is made up of the acidic Dystric Cambisols soils, which have heavy precipitation and low organic matter, it may be concluded that the soil has a moderate level of resistance to soil erosion and high K values, 0.02 t.h.MJ⁻¹ mm⁻¹. Some of the areas in the north-western portion of Khagrachari are ferric Acrisol, thick soils including clay loam or clay with high organic matter cause the K factor to be low, almost zero, as shown in Figure 5.

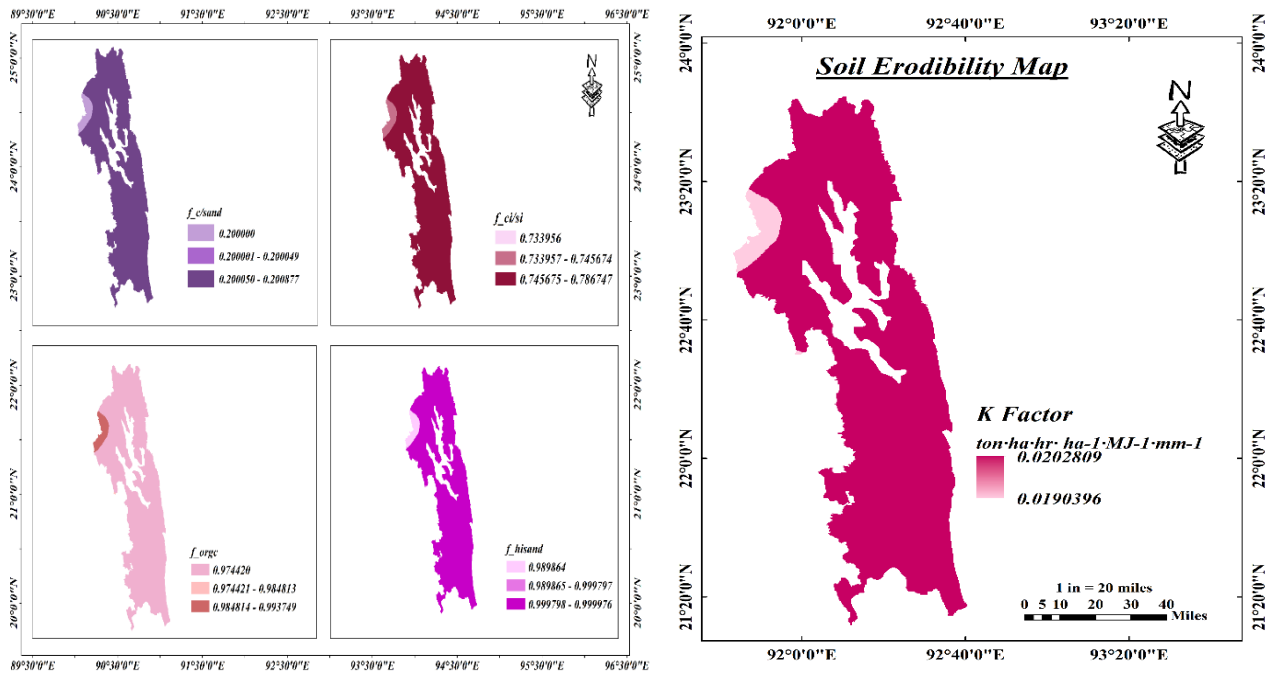


Figure 5. Spatial distribution of soil erodibility map

The study found a variation in the LS-factor values across the study area, with a range of 0 to 78.8 and a mean of 0.41 as seen in Figure 6(b) . However, most of the area falls in the 0-2 $t.ha^{-1}.yr^{-1}$ range, with the hilly sections exhibiting the lowest LS values. The slope of the terrain in Figure 6(a) also shows differences, with Rangamati in the south-east having a high slope and Khagrachari in the north-east having a low slope. Despite these differences, the mean slope length across the research area is relatively similar, with a low mean LS factor of 0.29 and a high mean LS factor of 0.63.

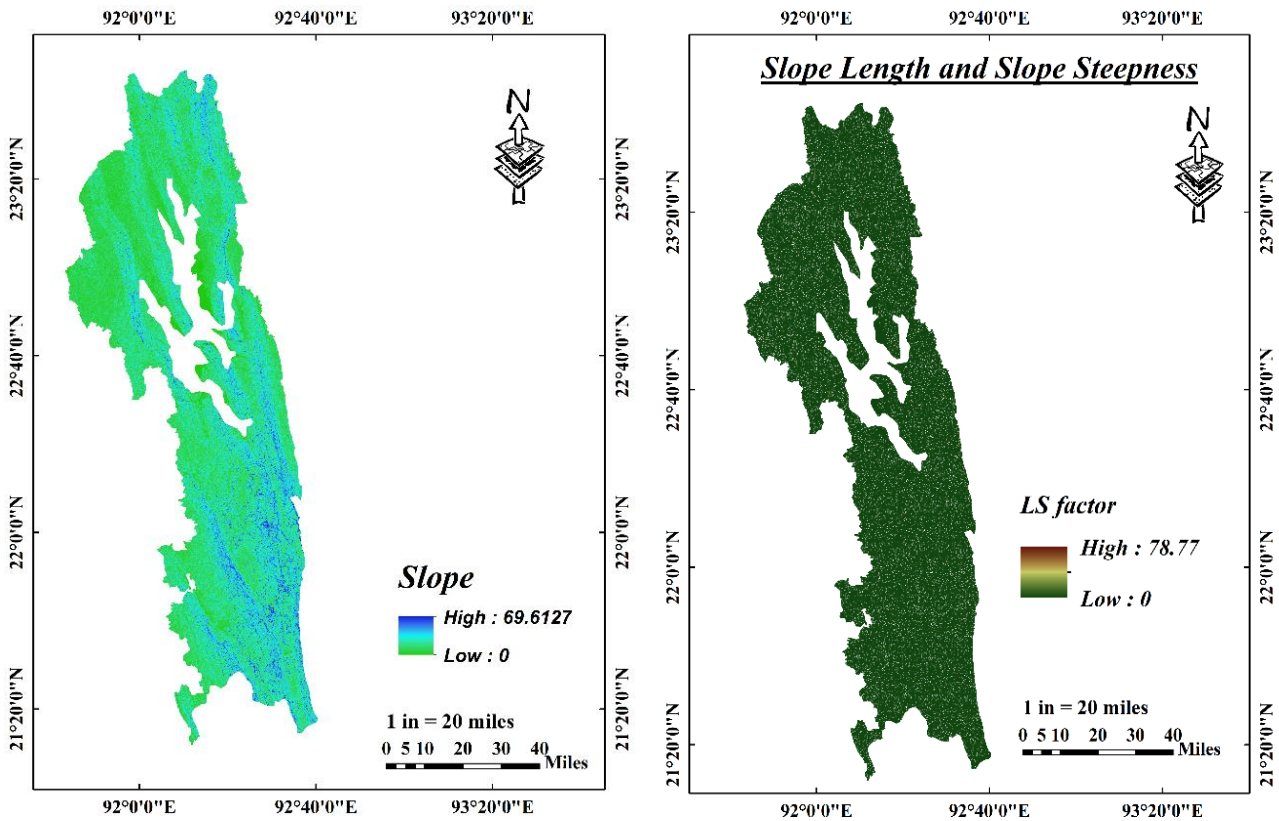


Figure 6. a) Slope and b) slope length and slope steepness map

The NDVI map, as presented in Figure 7(a), shows the distribution of vegetation in the CHTs. Higher NDVI values, indicating dense vegetation, are found in the north-western portion. These areas have poor cover management practices and lower soil erosion rates. On the contrary, region with lower NDVI, representing bare land, have higher cover management factors and higher soil erosion rates in the north-eastern and south-eastern regions. The C factor value, as mentioned in Figure 7(b), ranges from 0.35 to 0.67, with higher values in the Bandarban region and lower values in the north-western part of Khagrachari, where precipitation is high and vegetation is thick, but the north-eastern portion of Khagrachari has higher C factor values.

In the map of the Conservation Practice Factor (P) (Figure 8), the values range from 0.55 to 1, with the value of 1 assigned to jhum cultivation being most common in the study area. The Bandarban and Rangamati districts area have the highest P factor values, indicating a lack of proper conservation measures and a higher likelihood of soil loss. Conversely, lower P factor values are found in the north-western portion of the Khagrachari district, less likely to experience soil loss compared to other districts, as indicated by the P factors values of these districts.

4.1 Estimation of net soil erosion

GIS and erosion model RUSLE has been incorporated to assess the geographical distribution of soil erosion potential and the annual soil loss in the study area on a pixel-by-pixel basis. Five factors, such as Rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), slope length and steepness (LS), crop management factor (C), and Conservation Practice factor (P), are displayed in Figures 4,5,6,7,8. Then these values were integrated using the empirical formula mentioned in Eq. (1) to obtain annual average soil loss. The final map demonstrates the average soil loss per hectare per year at the pixel level. With an average of 15.18 t.ha⁻¹.yr⁻¹, the predicted soil loss values for CHTs vary from 0 to 65.21 t.ha⁻¹.yr⁻¹. The total soil loss of the study area is 182621.5 t.yr⁻¹ covering an area of 12,027.5 square kilometers. In Figure 9(a), it has been found that higher soil loss was observed in the Bandarban districts. In comparison, Khagrachari showed lower amounts of soil loss.

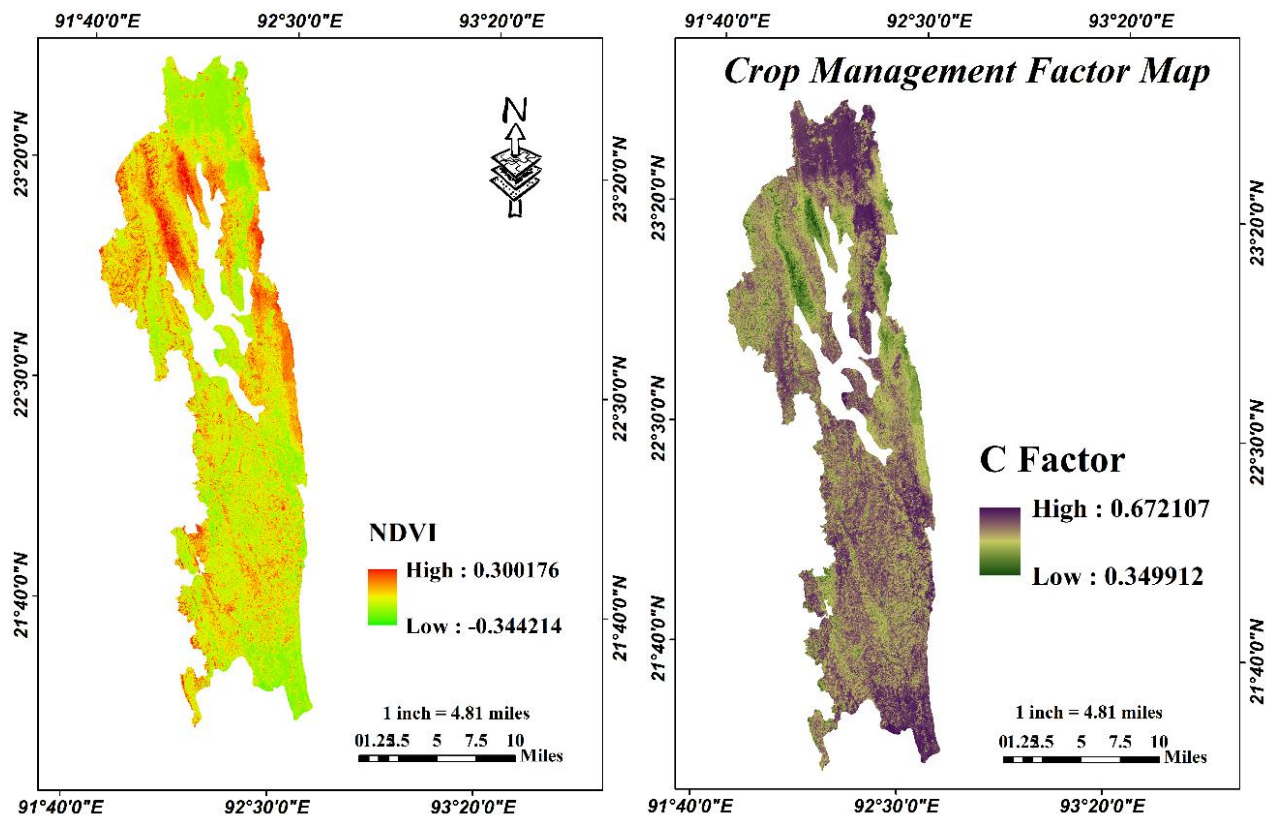


Figure 7. a) Normalized difference vegetation index (NDVI) and b) crop management map

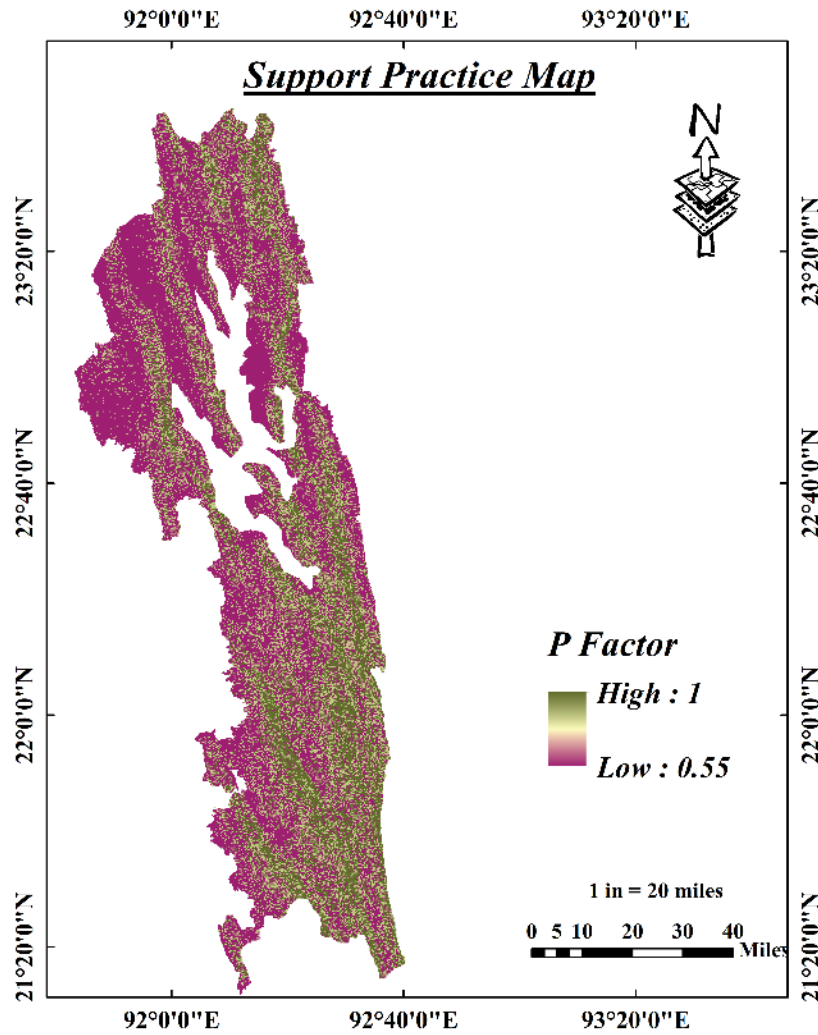


Figure 8. Conservation support practice map

Following the histogram distribution, the estimated pixel level soil loss value was divided into five classes, and Figure 9(a) shows the soil loss's spatial distribution. Approximately 76% of the study area is classified as having 'Very Slightly' erosion risk ($0-2 \text{ t.ha}^{-1}.\text{yr}^{-1}$), as based on the findings from Table 5. About 4 % of the area of research is under the high to very high erosion risk ($20 \text{ t.ha}^{-1}.\text{yr}^{-1}$). In accordance with the final soil loss map Figure 9(a), nearly 94% of the basin will have low erosion risk, 5.7% will have moderately severe erosion risk, and 4.4% of the basin will have extremely severe soil erosion.

The soil erosion probability zone with the final soil loss map, as depicted in Figure 9(b), was created by employing the weighted index overlay method to superimpose various layers, including land use-land cover, soil, slope, and rainfall maps. The four types of soil erosion probability zones in the study area are very slight, slight, moderately severe, severe, and very severe. Figure 9(b) shows that in Khagrachari, about 52.8 percent of the basin area produces low erosion, amounting to 1747.6 t yearly, while a very moderate probability zone covers nearly 45% of the basin area in the Rangamati and Bandarban.

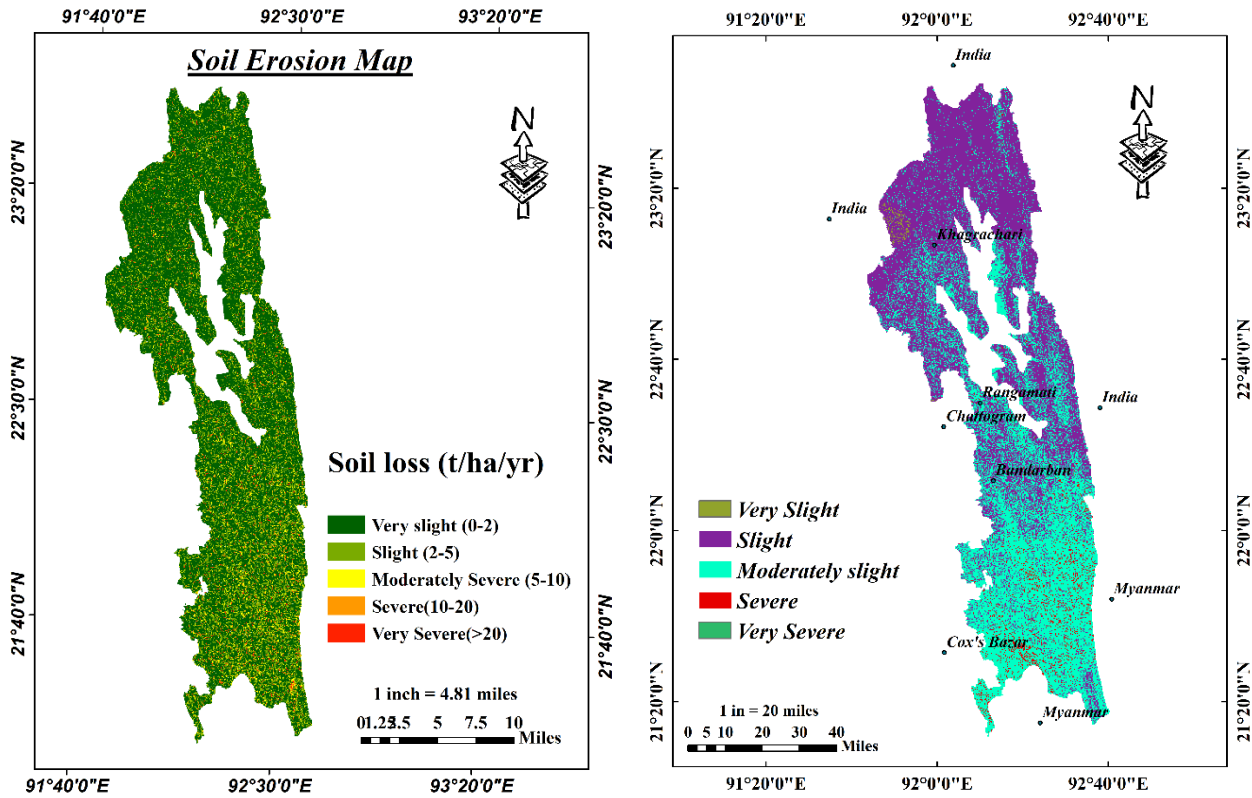


Figure 9. a) Soil erosion and b) probability zone map

Saha et al. (2022) conducted a study using RUSLE methodology in the Jamuna basin of Bangladesh and discovered comparable soil loss rates to the current study (mean soil erosion rates of 29.5 t.ha⁻¹.yr⁻¹). About 75% of hilly areas in Bangladesh are very vulnerable to erosion, 20% are somewhat vulnerable, and 5% are moderately vulnerable (Hasan and Alam, 1970). Due to shifting agriculture, soil loss is predicted to be 4.2 t.ha⁻¹.yr⁻¹ on 30-40 percent slopes and 7-120 t.ha⁻¹.yr⁻¹ on 40-80 percent slopes, respectively (Malek, 2016). According to another study, inadequate 'Jhum' cultivation causes gully erosion and soil losses ranging from 10 to 120 t.ha⁻¹.yr⁻¹ in hilly areas (Farid et al. 1992).

Table 5. Erosion risk class distribution in hectares and percentage for CHTs

Erosion Risk Classes	Range of Soil Losses (t.ha ⁻¹ .yr ⁻¹)	Area (ha)	Area (%)
Very slight	0-2	875823.1	76.9
Slight	2-5	203381.9	17.8
Moderately Severe	5-10	65196.5	5.7
Severe	10-20	27530.6	2.4
Very Severe	20-65	19101.7	1.7

Numerous studies from various parts of the world with comparable climate zones revealed roughly similar mean erosion rates. A study in the southern Western Ghats of India's tropical mountain range, where 86 percent of the study region receives only slight erosion (< 5 t.ha⁻¹.yr⁻¹), used a reported erosion rate of 14.36 t.ha⁻¹.yr⁻¹ (Thomas et al. 2017). As per Prasannakumar et al. (2011), the average erosion rate for the Siruvani river watershed in Attapady valley, Kerala, India, is 14.917 t.ha⁻¹.yr⁻¹, with 5.76% (1,184 hectares) of the land lying under the severe soil erosion zone and 11.50% being under the high- erosion zone. A study by Tufekcioglu et al. (2018) in the Coruh River Basin of Turkey found that the Velikoy sub-watershed had an average surface soil loss rate of 3.9 t ha⁻¹ yr⁻¹, with 8.2% of the area at high or very high risk for potential erosion. Another study by Sheikh et al. (2011) observed that mean soil erosion rate of 12.2 t.ha⁻¹.yr⁻¹ at the Upper South Koel Basin, Jharkhand, India.

5. Conclusion and Recommendation

Soil erosion is a serious issue in Bangladesh, with high rates of soil loss posing a threat to natural resources and biodiversity. It can have significant impacts on the ecosystem, including reduced soil fertility, poorer water quality, and increased runoff and flooding. The results of the Chittagong Hill Tracts indicate a soil erosion rate of $15.18 \text{ t.ha}^{-1}.\text{yr}^{-1}$, with around 77% of the area experiencing very slight erosion and about 2% having very severe erosion. The high rate of soil erosion in this area is influenced by the increasing population and agricultural activities, along with the presence of sandy soil, steep slopes, and heavy rainfall. The findings of this study area emphasize the necessity for immediate action to solve this issue and prevent further soil erosion; it can be used to raise awareness among policymakers, land managers, and stakeholders about the importance of protecting soil resources and the consequences of soil erosion. A comprehensive soil management strategy can be developed and implemented for conserving soil in CHTs because of the significant soil loss assessed from this study. Therefore, the development and improvement of tools such as RUSLE play an important role for the sustainable land use and natural resource management.

References

- Bai, Z. G. (2006). *Assessing land degradation in the Chittagong Hill Tracts, Bangladesh, using NASA GIMMS* (ISRIC Report 2006/06). Wageningen, The Netherlands: ISRIC - World Soil Information.
- Boyce R. C., (1975). *Sediment routing with sediment delivery ratios. Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources* (USDA ARS-S-40). Washington DC: U.S. Department of Agriculture.
- Byizigiro, R. V., Rwanyiziri, G., Mugabowindekwe, M, Kagoyire, C., & Biryabarema, M. (2020). Estimation of Soil Erosion Using RUSLE Model and GIS: The Case of Satinskyi Catchment, Western Rwanda. *Rwanda Journal of Engineering, Science, Technology and Environment*, 3(1), 14-33.
- Das, B., Paul, A., Bordoloi, R., Tripathi, O. P., & Pandey, P. K. (2018). Soil erosion risk assessment of hilly terrain through integrated approach of RUSLE and geospatial technology: a case study of Tirap District, Arunachal Pradesh. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(1), 373-381.
- Durigon, V. L., Carvalho, D. F., Antunes, M. A. H., Oliveira, P. T. S., & Fernandes, M. M. (2014). NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 35(2), 441-453.
- Earthdata. (2022a, August 20). *Giovanni - Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure*. NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center. Retrieved from <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
- Earthdata. (2022b, August 20). *Earthdata Search*. Retrieved from <https://search.earthdata.nasa.gov/search>
- FAO. (2022, August 20). *Data Catalog*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <https://data.apps.fao.org/map/catalog/>
- FAO-UNESCO. (1987). *Soil map of the world*. Retrieved from <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world>.
- Farhan, Y., Zregat, D., & Farhan, I. (2013). Spatial Estimation Of Soil Erosion Risk Using RUSLE approach, RS, and GIS techniques: A case study of Kufranja Watershed, Northern Jordan. *Journal of Water Resource and Protection*, 5(12), 1247-1261.
- Farid, A. T. M., Iqbal, A., & Karim, Z. (1992). Soil erosion in the Chittagong Hill Tract and its impact on nutrient status of soils in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Soil Science*, 23, 92-101.
- Ganasri, B. P., & Ramesh, H. (2016). Geoscience frontiers assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 953-961.
- Gelagay, H. S. (2016). RUSLE and SDR model based sediment yield assessment in a GIS and remote sensing environment; A case study of Koga Watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Journal of Waste Water Treatment & Analysis*, 7(2), 239. doi: 10.4172/2157-7587.1000239.
- Hasan, M., & Alam, A. A. (1970). Land degradation situation in Bangladesh and role of agroforestry. *Journal of Agriculture & Rural Development*, 4(1), 19-25.
- Islam, M., Bhuiyan, M., & Hossain, M. (2015). Vetiver Grass as a Potential Resource for Rural Development in Bangladesh. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 10, 1-18.
- Jahun, B. G., Ibrahim, R., Dlamini, N. S., & Musa, S. M. (2015). Review of soil erosion assessment using RUSLE model and GIS. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(9), 36-47.
- Jha, M. K., & Paudel, R. C. (2010). Erosion predictions by empirical models in a mountainous Watershed in Nepal. *Journal of Spatial Hydrology*, 10(1), 89-102.
- Khosrokhani, M., & Pradhan, B. (2014). Spatio-temporal assessment of soil erosion at Kuala Lumpur metropolitan city using remote sensing data and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 5(3), 252-270.

- Kim, J. B., Saunders, P. & Finn, J. T. (2005). Rapid assessment of soil erosion in the Rio Lempa Basin, Central America, using the universal soil loss equation and geographic information systems. *Environmental Management*, 36(6), 872-885.
- Lu, D., Li, G., Valladares, G. S., & Batistella, M. (2004). Mapping soil erosion risk in Rondônia , Brazilian Amazonia : Using RUSLE , remote sensing and GIS. *Land Degradation & Development*, 15(5), 499-512.
- Malek, A. (2016). *Alluvial land reclamation process of Bangladesh with special reference to historical geography, Geopolitics and Environment since the Colonial Rule* (Doctoral dissertation). Kansai University, Osaka, Japan.
- Moore I. D., & Burch G. J. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5), 1294-1289.
- Mukanov, Y., Chen, Y., Baisholanov, S., Amanambu, A. C., Issanova, G., Abenova, A., Fang, G., & Abayev, N. (2019). Estimation of annual average soil loss using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) integrated in a Geographical Information System (GIS) of the Esil River basin (ERB), Kazakhstan. *Acta Geophysica*, 67(3), 921-938.
- Ostovari, Y., Ghorbani-Dashtaki, S., Bahrami, H. A., Naderi, M., & Dematte, J. A. M. (2017). Soil loss prediction by an integrated system using RUSLE, GIS and remote sensing in semi-arid region. *Geoderma Regional*, 11, 28-36. doi: 10.1016/j.geodrs.2017.06.003.
- Prasannakumar, V., Shiny, R., Geetha, N., & Vijith, H. (2011). Spatial prediction of soil erosion risk by remote sensing, GIS and RUSLE approach: A case study of Siruvani river watershed in Attapady valley, Kerala, India. *Environmental Earth Sciences*, 64(4), 965-972.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* (Agricultural Handbook Number 703). Washington DC: US Department of Agriculture.
- Saha, M., & Sauda, S. S. (2019, October). Estimation of annual soil erosion rate using RUSLE : A study on the Jamuna River sub-basin in Bangladesh. In *European Space Agency's Living Planet Symposium, 2019. Proceedings*. (pp. 1-4). ESA.
- Saha, M., Sauda, S. S., Real, H. R. K., & Mahmud, M. (2022). Estimation of annual rate and spatial distribution of soil erosion in the Jamuna basin using RUSLE model: A geospatial approach. *Environmental Challenges*, 8, 100524. doi: 10.1016/j.envc.2022.100524.
- Sheikh, A. H., Palria, S., & Alam, A. (2011). Predicting Soil Loss by Water Universal Soil Loss Equation (USLE). *Recent Research in Science and Technology*, 3(3), 51-57.
- Shi, Z. H., Cai, C. F., Ding, S. W., Wang, T. W., & Chow, T. L. (2004). Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: A case study in the Three Gorge Area of China. *Catena*, 55(1), 33-48.
- Singh, G., Chandra, S., & Babu, R. (1981). *Soil loss and prediction research in India* (Bulletin No. T-12/D9). Dehradun, India: Central Soil and Water Conservation Research and Training Institute.
- Shin, G. J. (1999). *The analysis of soil erosion analysis in watershed using GIS* (Doctoral dissertation). Gang-won National University, Department of Civil Engineering, Gang-won, South Korea.
- Thomas, J., Joseph, S., & Thrivikramji, K. P. (2018). Assessment of soil erosion in a tropical mountain river basin of the southern Western Ghats, India using RUSLE and GIS. *Geoscience Frontiers*, 9(3), 893-906.
- Tufekcioglu, M., Yavuz, M., Vatandaslar, C., Dinc, M., Duman, A., & Tufekcioglu, A. (2018). Çoruh Nehri Havzası'nda Bulunan Veliköy Alt Havzası'nın Yüzey Erozyon Riskinin Belirlenmesi ve Haritalandırılması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(2), 210-220.
- USGS. (2022, August 20). *Earth Explorer*. U.S. Geological Survey. Retrieved from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Wischmeier W. H., & Smith D. D., (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning* (USDA Agriculture Handbook No 537). Washington DC: U.S. Department of Agriculture.
- Zhang, H., Yang, Q., Li, R., Liu, Q., Moore, D., He, P., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2013). Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. *Computers and Geosciences*, 52, 177-188.

Evaluation of Yellow Rust Reactions in some Bread and Durum Wheat Varieties by Using Spectral Band Regions

Bazı Ekmeklik ve Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Spektral Bant Bölgeleri Kullanılarak Sarı Pas Hastalık Reaksiyonlarının Değerlendirilmesi

Metin Aydoğdu^{1*}, Kadir Akan²

¹ Soil, Fertilizer and Water Resources Central Research Institute 06172, Ankara/Türkiye.

² Kırşehir Ahi Evran University, Agriculture Faculty, Plant Protection Department, 40200, Kırşehir/Türkiye.

ORIGINAL PAPER

*Corresponding author:

Metin Aydoğdu
metin.aydogdu@tarimorman.gov.tr

doi: 10.48123/rsgis.1198224

Article history:

Received: 02.11.2022

Accepted: 02.07.2023

Published: 28.09.2023

Abstract

Yellow rust (caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) is an important fungal disease affecting wheat production and quality. The purpose of this study was to identify the spectral band regions that influence how the disease changes throughout the year by determining how the plant responds to yellow rust when it is applied to test materials at various doses (0%, 25%, 50%, and 100%). Eser, Bayraktar 2000 and Demir 2000 varieties showed high correlation in the early-mid period of the study for bread varieties, while Kenanbey variety exhibited high correlation in the mid-late period. Effective band region for all bread types are The Red+Red Edge+ Near Infrared (NIR) range and NIR range of the Kenanbey variety both showed an increase (+) in disease severity values. Eminbey and Çeşit-1252 varieties for durum varieties displayed high correlation in the early period, followed by Mirzabey 2000 variety in the early to medium period and Kızıltan-91 variety the mid to late period. Kızıltan 91 variety in Red+Red Edge+NIR region, Çeşit-1252 variety in Green+Red region, Eminbey and Mirzabey 2000 varieties in Green+Red+Red Edge were effective in band ranges in the region and showed an increase (+) in disease severity reactions.

Keywords: Wheat, Yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), Hyperspectral data, Spectral indices, Phenological stage

Özet

Sarı pas (Etmek: *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) hastalığı, buğday da üretim ve kaliteyi olumsuz yönde etkileyen önemli fungal bir hastalıktır. Bu araştırmanın amacı; test materyallerine farklı dozlarda (%0, %25, %50, %100) uygulanan sarı pas hastalığına karşı bitkinin gösterdiği reaksiyonların spektral özellikler yardımıyla belirlenmesi ve hastalığın mevsim içindeki değişimini etkileyen spektral bant bölgelerinin ortaya çıkarılmasıdır. Çalışma kapsamında, Ekmeklik çeşitler için; Eser, Bayraktar 2000 ve Demir 2000 çeşitleri erken-orta dönemde, Kenanbey çeşidi ise orta-geç dönemde yüksek korelasyon göstermiştir. Bütün ekmeklik çeşitler için etkili bant bölgesi olan Kırmızı+Kırmızı Kenar+Yakın Kızıl Ötesi (NIR) aralığında, Kenanbey çeşidi ise NIR aralığında hastalık şiddeti değerlerinde artış (+) göstermiştir. Makarnalık çeşitler için; Eminbey ve Çeşit-1252 çeşitleri erken dönemde, Mirzabey 2000 çeşidi erken-orta dönemde, Kızıltan 91 çeşidi ise orta-geç dönemde yüksek korelasyon göstermiştir. Kızıltan 91 çeşidi ise Kırmızı+Kırmızı Kenar+NIR bölgede, Çeşit-1252 çeşidi Yeşil+Kırmızı bölgede, Eminbey ve Mirzabey 2000 çeşidi Yeşil+Kırmızı+Kırmızı Kenar bölgedeki, bant aralıklarında etkili olmuş ve hastalık şiddeti reaksiyonlarında artış (+) göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Buğday, Sarı pas (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), Çok bantlı veri, Spektral indeks, Fenolojik dönem

1. Introduction

Wheat is produced worldwide for 8000 years, is the one of basic human nutrients (carbohydrates, proteins, vitamins, minerals, fiber sources). In particular, four agricultural crops were described as accounting for half of global primary crop production in 2020: sugar cane, maize, rice and wheat (FAO, 2020). Wheat cultivated in an area of 215.9 million hectares worldwide in 2019 being Number One in the world's grain production (FAO, 2020). Plant diseases that cause unfavorable effects on crop yield and quality result economic losses in crop production. Therefore, monitoring and detection of plant diseases is critical to the sustainability of agricultural production (Strange and Scott, 2005). Rust caused by *Puccinia* sp. is an important fungal disease that causes significant yield and quality losses in wheat growing ecosystems around the world (Samborski, 1985; Roelfs, 1978). The optimum temperature for the development of yellow (stripe) caused by the *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* factor is 12-20°C, which is effective in the highlands of spring and early autumn, late autumn and early summer.

Many yellow rust epidemics reduced wheat yield and quality in Türkiye, especially in the rainy and cold years following spring (Dusunçeli et al. 1996). Yellow rust adversely affects early development of crops, a percentage of which can result in an economic loss of up to 70%. It is known that the yield decreases especially in susceptible varieties and lowers the quality by reducing the original size of grain (Chen, 2005). Rust is seen on leaves and spikes of wheat, even though it appears as intensive on leaves. On the upper surface of the leaf when conditions are suitable for disease development, yellow color pustules seem the form of similar to a machine sewing mark, thus it can be called "yellow or stripe rust". According to reports on the 2010 yellow rust epidemic, the disease was observed in half of the wheat growing area in Türkiye, causing a loss of 1.52 million tonnes (50-60%) in the Southeast Anatolia region (Aktaş et al. 2012). However, the extent of the rust depends on the resistance or tolerance of the wheat, the time of the first appearance of rust, the rate of disease development and the duration of the disease on the wheat. Currently, observations are taken using traditional methods (visual, tissue analysis, deep and structural methods) in yellow rust reaction evaluations. In the evaluations made, mistakes can be made at varying levels and the evaluation may take a long time. For this reason, it is imperative to develop evaluation methods whose results are trusted and completed in a short time. By using remote sensing techniques, it is possible to obtain fast and accurate information about some plant diseases and different morphological features of plant vegetation with the spectral reflection values obtained from different parts of plants (leaves, branches, seeds, soil, etc.) (Zhang et al. 2011). Advances in optical sensors and Remote Sensing technology provide the opportunity to continuously record the parameters that reveal precise and accurate results by eliminating the error arising from bias, the relationship between vegetation development in large areas and the index of biotic stress. Using a variety of simple but effective optical tools, it can detect objects or structures in a much broader spectral range than that of human observation (Hatfield and Pinter, 1993; Nicolas, 2004; Moshou et al. 2005; Qin and Zhang, 2005).

Among the various types of remote sensing techniques, hyperspectral remote sensing is the most effective method for detecting weak signals in the spectrum due to its high resolution characteristics (Goetz et al. 1985). Hyperspectral analysis can be widely used to monitor plant vitality and stress factors (Leaf Area Index-LAI, pigment coverage, plant diseases and pests, etc.) (Haboudane et al. 2004; Moshou et al. 2004; Oppelt and Mauser, 2004; Duveiller et al. 2011; Zhang et al. 2012a). For this reason, the diverse vegetation files (VI) are created to decide these with the investigations within the final period. The in situ determination of disease infections is based on the principle that different reflectance values of different morphological anomalies observed in plants on the electromagnetic spectrum can be followed with different spectral indices. Different research was performed in canopy and leaf layers to identify rust under field conditions.

These indices are broadly utilized to decide rust (*Puccinia* spp.) and *Septoria tritici* Blotch (*Zymoseptoria tritici*) at the canopy level (Zhang et al. 2012a; Liu et al. 2020; Yu et al. 2018). Sensor technology and related remote sensing techniques are based on the spectral reflectance characteristics of the plant canopy. These characteristics depend on the health of the plant during the vegetative period, the pigment and photochemical content of the leaves and their relationship to light (Merzlyak and Chivkunova, 2001). Disease or reaction can be determined by interpreting different indicators obtained as a result of evaluations made on healthy and diseased plants by using different sensors.

Wideband vegetation indices and band regions developed based on plant stress factors are commonly used to distinguish healthy plants from diseased plants to determine plant disease and reactions (Delwiche and Kim, 2000). Moshou et al. (2004) determined that the wavebands centered at 680 nm, 725 nm, and 750 nm were the most sensitive bands for yellow rust detection. The researchers reported classification accuracy of over 95% by using the Normalized Differential Vegetation Index (NDVI). Zhang et al. (2012b) reported that there was a correlation between spectral shape and spectral characteristics in certain spectral regions of yellow rust infection. Naidu et al. (2009) used the leaf reflectance values in the diagnosis of plants infected by virus. The detection of infected and uninfected leaves can be determined with an accuracy of 70% by using vegetation indices. Devadas et al. (2009) used ten vegetation indices (VIs) in their study to distinguish three different rust types. They observed that the anthocyanin reflectance index (ARI), and the Transformed Chlorophyll Absorption Reflectance Index (TCARI) have effective results in the differentiation of plant diseases.

The aim of this study was to determine yellow rust and reaction in some bread and durum wheat at different growth stages. The specific objectives of this study were to (1) Demonstrate the reflectance characteristics of infected wheat plants under artificial yellow rust epidemic conditions at different growth stages over the spectral range of 331-1141 nm; (2) to investigate the sensitivity of spectral indices to discriminate the reactions of wheat affected by yellow rust at different growth stages; (3) to develop the optimal tri-band spectral indices for discriminating yellow rust reactions in wheat at different growth stages; (4) to evaluate the performance of the newly defined indices.

As a result of this study, the effective control practices against the yellow rust in wheat can be developed by monitoring the wheat plants in effective manner with suitable tools to save wheat yield.

2. Material and Methods

2.1. Climatic and Soil Characteristics of the Field

The study was conducted in the the Field Crops Central Research Institute (TARM) during the 2018-2019 growing season in Yenimahalle/Ankara/Türkiye (Figure 1). The climate data for the period in which the study was conducted are given in Table 1. The monthly total precipitation was 33.2 mm and the monthly average temperature was 12.08 °C. The soil texture was found to be clayey-loamy.

Figure 1. The research area (TARM) in Yenimahalle / Ankara



Table 1. The monthly climate data of Yenimahalle (Ankara) location in 2018-2019 growing season

Climatic Data	Months (2018 Year)					Months (2019 Year)							Mean
	XIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	
Average Temperature (°C)	25.0	20.0	14.94	9.0	3.3	2.0	4.8	7.2	10.8	18.2	22.4	23.1	12.08
Highest Temperature, (°C)	32.0	33.2	21.65	23.5	12.6	10.8	15.8	20.4	25.5	34.2	33.4	34.9	24.43
Lowest Temperature, (°C)	18.0	8.1	9.43	-2.3	-10.2	-10.4	-2.4	-3.3	-0.9	6.1	11.7	10.7	0.71
Precipitation, (mm)	10.0	7.4	1.57	24.9	60.4	40.6	33.2	38.0	28.9	30.8	37.4	30.4	33.2
Relative humidity, %	37.0	46	69.83	65	81	79	70.2	55.4	42.5	47.2	52.1	42.0	58.04
Windy Speed, m/s ⁻¹ (2 m)	2.0	2.1	2.2	1.6	1.5	1.7	2.0	2.1	1.3	1.3	1.6	1.8	1.7

2.2 Plant Material

Four bread and four durum wheat varieties were used in this study. The varieties were registered by Central Research Institute of Field Crops (TARM), the years of registration and their reactions to yellow rust reactions are summarized in Table 2. Little Club was used as a susceptible control genotype. The Little Club was planted both among the materials and around the research area. By using this method, it was possible to simultaneously collect spectral data on susceptible and resistant cultivars to yellow rust and to form reaction groups and to compare within and between groups.

Table 2. Varieties used in the study, year of registration and disease reaction

Bread Group			Durum Group		
Variety	Registration Year	Disease Reaction	Variety	Registration Year	Disease Reaction
Bayraktar 2000	04.28.2000	Moderate Susceptible	Çeşit-1252	04.26.2000	Moderate Susceptible
Demir 2000	04.28.2000	Susceptible	Eminbey	04.06.2009	Resistant
Eser	05.02.2003	Resistant	Kızıltan 91	04.26.1991	Moderate Susceptible
Kenanbey	04.06.2009	Susceptible	Mirzabey	04.28.2000	Moderate Susceptible

2.3 Experiment Design and Sampling

All test material seeds were sown on October 15, 2018. All plant materials were inoculated with yellow rust urediospores 0%, 25%, 50%, and 100% doses on 15 April 2019 by using urediospores to induce different indices of yellow rust (Table 3). The experimental design was planted according to the four-factor urediospores application doses for bread and durum varieties randomized trial design. The trial consisted of 8 blocks in total, including 2 blocks that were not inoculated with urediospores and six blocks with disease inoculation at 25%, 50%, and 100% spore. Each block consisted of 3 replications and 1 m and 3 rows of each variety were planted. Yellow rust symptoms can be seen in early grain filling and milk production periods. For this reason, a period after the middle of May (25 May 2019), which is the milk-filling period, was chosen depending on the location's feature to take spectral measurements.

Table 3. Experimental design for yellow rust (YR) urediospores application dose

Replication 1	YR (Dose 0%)		YR (Dose 25%)		YR (Dose 50%)		YR (Dose 100%)	
	Bread	Durum	Bread	Durum	Bread	Durum	Bread	Durum
Replication 2	YR (Dose 0%)		YR (Dose 25%)		YR (Dose 50%)		YR (Dose 100%)	
	Bread	Durum	Bread	Durum	Bread	Durum	Bread	Durum
Replication 3	YR (Dose 0%)		YR (Dose 25%)		YR (Dose 50%)		YR (Dose 100%)	
	Bread	Durum	Bread	Durum	Bread	Durum	Bread	Durum

2.4. Methodology

2.4.1 Inoculation and Disease Reaction Determination

It is possible to reveal the vegetation indices (VI) that best correlate the disease index (DI) of diseased and non-infected plants and the band ranges to be used in their differentiation. Spore inoculation was homogenized in mineral oil (Soltröl 170®) at different application doses of yellow rust and 0% (negative control group), 25%, 50%, and 100% doses (3, 6, 12 mg/200 mL spore solution) were applied on the test materials ULV. The first inoculation was applied on May 06, 2019 (Feekes 6) which can be considered as the plant's rooting period (Large, 1954). The second inoculation of yellow rust was applied 3 pre-flowering period seven days after the first inoculation (Feekes 10), on May 13, 2019.

2.4.2 Evaluation of Disease Reactions

Evaluation of disease reactions and leaf samples were collected from the plots that were not inoculated with the disease and were inoculated for the disease, once every 7 days (on May 25, 2019, June 06, 2019, June 15, 2019) 19 days after the spore's inoculation (on May 06, 2019) (Table 4). Disease reaction evaluations were made according to different phenological periods (Feekes, Zadoks) (Large, 1954; Zadoks et al. 1974).

Table 4. Date of leaf samples and physiological period

Development Period	Sampling Dates	Physiological Period	Feekes	Zadoks Scale
Early	On May 25, 2019	Flowering Beginning (Early Period)	10.5.1	60
	On June 06, 2019	Grain Binding (Early-Middle Period)	10.5.3	69
Late	On June 15, 2019	Milk Settlement Period (Middle-Late Period)	10.5.4	71
	On June 23, 2019	Yellowing Period (Late Period)	11.1	75

Calculation of yellow rust index at leaf scale and canopy level in wheat were made by applying the multi-correlation technique and utilizing the difference in spectral reflectance values determined according to different color changes (lesions) specific to yellow rust. The current Vegetation Indexes (VI) developed by using different band combinations in this experiment design was aimed to determine the period in which the disease index was most intense.

Disease reaction evaluations on leaves were made for each variety by using a tripod at the canopy level, with the help of a spectroradiometer, and 3 spectral reaction evaluations (spectral reflection measurement). After taking the average of the values, the disease severity (%DI) value was determined with an average spectral reflectance value for each variety. The index of yellow rust (Peterson et al. 1948) and the reaction types of plants to yellow rust (Roelfs et al. 1992) were, also, recorded by using the Modified Cobb scale on the collected samples. In the susceptible control Litte Club genotype, the disease reaction was evaluated as 100S. As a result of this evaluation of susceptible control genotype, the results of the reaction tests were reliable and all the materials were evaluated.

Infection Coefficients (CI) were used to calculate the index of yellow rust (%DI) in the evaluations. The scale values of rust disease indices (%DI) on the leaf surface were used to calculate CI. The area covered by the disease on the leaf (Spectral Mixture Analysis-Image Classification-unsupervised Classification (0-100) was determined to evaluate reactions. Coefficients of Infection (CI) were classified into 5 groups according to their reactions (Immune(I): 0, Resistant(R): 0.1-5.0, Moderate resistant (MR): 5.0-20.0, Moderately susceptible (MS): 20.1-40.0, Susceptible (S): 41.0-100) (Akan, 2019). In the determination of reactions.

It is critical to determine the severity of the disease in a short period time in the automatic system to give more accurate results. This process is the first step in determining of the diseased leaf image. They were obtained (acquiring) as RGB (Red, Green, Blue) with any digital or thermal camera to accurately determine the severity of disease (% DI). As a second step, in the pre-processing of the image, Spectral evaluation of disease was randomly selected from 5 leaf samples of each variety, and, then, their pictures were taken with a digital and thermal camera.

Statistical classification methods are commonly used to classify remotely sensed images. These methods assume that similar cover types have similar spectral properties, so that they can be distinguished from each other using some estimated statistical measures (Kavzoglu and Reis, 2008). Recently, vector supported machine learning techniques have been used to increase the accuracy of land use classes by using high resolution satellite images such as RapidEye in digital applications in image processing, non-parametric statistical learning methods (Ustuner et al. 2015).

In this study, high-resolution satellite images were not used to determine the diseased areas. Diseased areas were determined on the leaf through the pictures taken with digital and thermal cameras. Classification was based on a digital image to increase verification. In the disease evaluations, the disease score reading (%) was made as a visual estimation in the first stage in the calculation of disease severity for different phenological periods. In practice, true diseased areas were determined by verifying with unsupervised classification over digital leaf images including diseased areas.

Firstly, the disease-free green areas were masked on the leaf images obtained as tri-band (Red, Green, Blue) in ".tif" format by the thermal camera, and first of all, diseased areas were identified. For this, sampling areas were determined on the diseased leaf sample, and 8 different colors were classified according to the severity of the disease by using the unsupervised classification in the "Image Classification" extension in ArcGIS 10.5 (Abburu and Golla, 2015). Areas with the same disease severity were given the same number, and as a result, areas with different colors (disease rate) were determined by spreading over the entire leaf surface. The disease severity values in each different color group were expressed as a percentage (%) by adding the pixel numbers and converting to the area, and the total % Disease Score value was obtained for the calculation of disease severity (%DI). In the calculation of the disease score (%) over the total leaf area, the blue areas (pixel number) in which the pustule formation were observed on the diseased leaf image taken with a digital camera or thermal camera were considered. The disease score (%) was determined by calculating the total number of pixels in which these areas were seen and proportioning them to the total leaf area (total number of pixels). The ratio of the total number of diseased pustules to the total leaf area was determined on the digital image using the unsupervised classification technique by using the "Image Classification module" in ArcGIS (Figure 2).

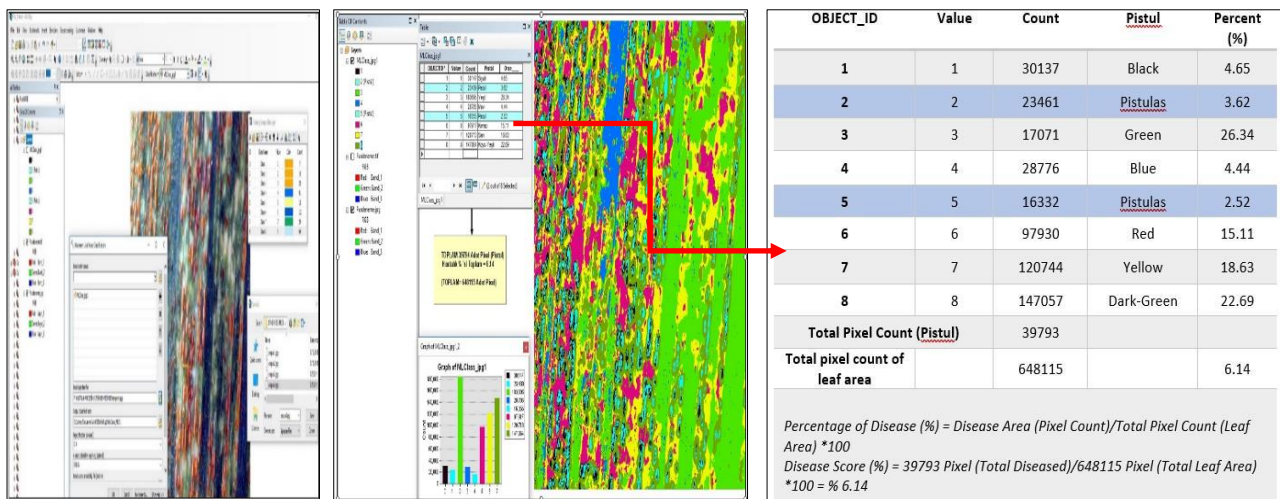


Figure 2. Revealing diseased areas with the "unsupervised classification technique" in ArcGIS

2.4.3 Generating Spectral Reflection Curves of Plants for Different Phenological Periods

Using hyperspectral remote sensing data to diagnose plant diseases and determine disease index, revealing the spectral reflection properties of wheat is important for determining index of yellow rust and its management of the disease in a timely and economical manner. The spectral reflectance of the canopy was collected with an ASD FieldSpec spectrometer (Analytical Spectral Devices, Boulder, CO, USA). All test material's canopy spectral measurements were taken at a height of 1.3 m below the soil level. A 30 cm x 30 cm Ba₂SO₄ calibration plate was used to correct the reflectance.

Healthy green plants were shown to have high absorption (low reflectance) in the visible region, as expected for the green band, and low absorption and high reflectance in the Near Infrared Region (NIR) (Nilsson, 1995). Spectroradiometric canopy reflectance measurements were taken between 11:00 and 15:00 (Istanbul local time) when the under cloudless conditions were perpendicular to the earth, by using a portable handheld Spectroradiometer device. With the help of a spectral sensor, spectral reflectance measurements were taken at 3 nm intervals with a bandwidth of 330-1150 nm at different time intervals (once a week) according to different development periods of wheat (between fraternity and milk production). Measurements were taken at a 25° angle to the soil surface and at a 25 cm height from the plant canopy surface. Measurements done by using the spectral sensor were transferred to computer environment simultaneously with cable connection. The spectroradiometer (Figure 3) used in the measurements has a single channel and includes UV/VIS/NIR band channels, and a total of 256 observations (readings) were taken, each channel being taken every 3 nm in the range of 331-1141 nm.



Figure 3. Handheld spectroradiometer used for taking canopy level spectral reflection measurements

3. Results

3.1 Determination of Sensitive Spectral Band Regions Used in Differentiating Yellow Rust in Different Phenological Development Periods

"Multi Correlation" was applied to distinguish plant samples having disease symptoms and to reveal the effective band regions in the range of 331-1141 nm in different phenological periods. It was determined that the prominent band gaps determined by using the correlation values depending on the spectral reading values on the bread and durum varieties were statistically significant (p<0.001).

Since yellow rust symptoms did not fully develop between disease index (DI) and spectral indices in the early-mid development period (beginning of flowering-Feeks 10.5.1), the correlation values were concentrated in the Green, Red, and Red Edge within the visible region, and in the middle-late (grain setting-10.5.3) and late period (milk setting period-10.5.4). Near Infrared bands were used to differentiate diseases effectively. Multi-correlation values obtained between the spectral reflectance values determined for different phenological development periods and the disease index were used for the selection of sensitive bands to be used to diagnose disease symptoms. In the early stages of phenological development, from tillering to the end of the steaming period, the difference between the spectral reflection values between the plants with and without disease symptoms is not clear. This change can be observed in the late stages of development. In the late stages of development, this separation on plants infected with yellow rust could be observed, especially on May 25, 2019, June 06, 2019 (grain filling), and June 15, 2019 (milk setting), which is the beginning of flowering.

3.2 Determination of Sensitive Spectral Band Regions Used in Differentiating Yellow Rust in Bread Wheat Varieties

In Eser variety; high correlation values were determined between 535-716 nm in the visible region and 730-1041 nm in the NIR region (Figure 4). In the early period, a high correlation was determined between the bands of 526-695 nm ($R^2=0.146$) in the Green+Red region, which is one of the visible band bands, and a high correlation in the band range of 672-796 nm in the Red Edge + NIR region in the early-mid period ($R^2=0.566$). In the mid-late period, a high correlation was found in the 726-1076 nm band in the Red Boundary+Near Infrared region ($R^2=$ When all periods were evaluated together, it was determined that the 540-716 nm band gap in the Green+Red+ RedEdge region was the most effective region in the diagnosis of disease ($R^2=0.128$) (Table 5 and Table 9). When disease variety is compared to the variety of absence of disease, high correlation values were observed in the Green and Red region bands in the early period, while low correlation values were observed in the same band intervals in the late period. In disease-free and all other phenological periods, increases in correlation values were observed starting from the Near Infrared Regions.

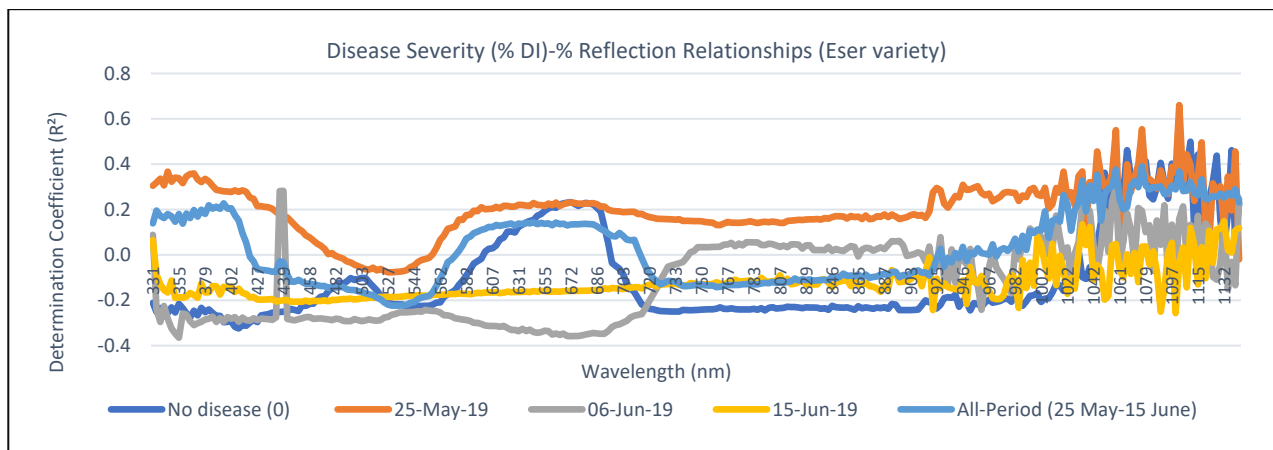


Figure 4. Disease index (%DI)-reflection (%) relationships in Eser variety

Table 5. According to phenological periods effective spectral band regions in detection of yellow rust and correlation values (determination correlation R^2) of different disease dose applications in Eser variety

Variety	Period	Application	R^2	Effective Band Range (nm)	Regression Equation
Eser	All Period May 25- June 15 2019	No Disease (0)	0.184	535-716 730-1041	$y = 0.001x - 0.2516$
	Early Period May 25, 2019 (10.5.1)	25%	0.146	526-695	$y = 0.0005x + 0.118$
		50%			
		100%			
	Early-Middle Period June 06, 2019 (10.5.3)	25%	0.566	672-796	$y = 0.0016x - 0.3479$
		50%			
		100%			
	Middle-Late Period June 15, 2019 (10.5.4)	25%	0.409	726-1076	$y = 0.0006x - 0.2098$
		50%			
		100%			
All Period May 25-June 15, 2019 (10.5.1-10.5.4)	25%	0.128	540-716	$y = 0.0007x - 0.0692$	
	50%				
	100%				

In Kenanbey variety; it was susceptible to yellow rust in the early period, a high correlation was determined in the band range of 443-495 nm in the Blue region, 551-689 nm in the Green+Red region, and 730-1047 nm in the Red Edge +NIR region in plants without any signs of disease in the visible region (Figure 5). It was determined that the band gap of 443-537 nm ($R^2= 0.440$) was effective in the early period, and 457-695 nm of the Blue+Green+Red region bands in the Early-Middle period ($R^2=0.407$). In the mid-late period, a high correlation was found in the 915-1089 nm band gap ($R^2= 0.472$). When all the periods are evaluated together, a high correlation was found with a band gap of 544-726 nm in the Green+Red+Red Boundary region (Table 6 and Table 9). Kenanbey variety showed high correlation values in all bands of the spectroradiometer in the late period (on 15 June 2019) compared to disease-free application. It followed a stable course by showing low correlation values in the early and early-middle periods. When the whole period is evaluated together, the highest correlation values were found in the Green and Red region bands.

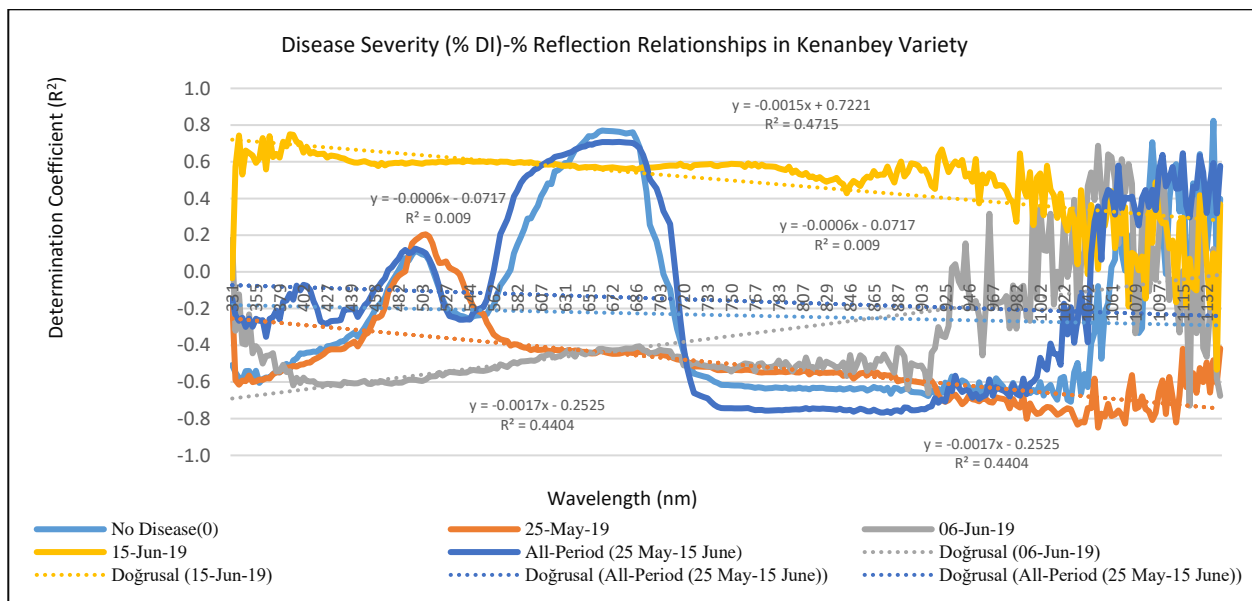


Figure 5. Disease index (%DI) - reflection (%) relations in Kenanbey variety

Table 6. Spectral band regions and correlation values effective in the detection of yellow rust in various diseases dose applications according to phenological periods in Kenanbey variety

Variety	Period	Application	R ²	Effective Band Ranges (nm)	Regression Equation
Kenanbey	All Period May 25-June 15, 2019	Not spore application (0%)	0.005	443-495 551-689 730-1047	$y = -0.0004x - 0.1804$
	Early Period May 25, 2019 10.5.1	25%	0.440	443-537	$y = -0.0017x - 0.2525$
		50%			
		100%			
	Early-Middle Period June 06, 2019 10.5.3	25%	0.407	457-695	$y = 0.0023x - 0.6925$
		50%			
		100%			
	Middle-Late Period June 15, 2019 10.5.4	25%	0.472	915-1089	$y = -0.0015x + 0.7221$
		50%			
		100%			
All Period May 25- June 15, 2019 10.5.1-10.5.4	25%	0.009	371-405 440-500 544-726	$y = -0.0006x - 0.0717$	
	50%				
	100%				

In Bayraktar 2000 variety, considering the phenological development period, it was observed that the bands of 405-500 nm in the Blue region, 558-661 nm in the Green+Red region, and 736-1038 nm in the Near Infrared Region were found to be effective in the visible region for plants without disease symptoms (Figure 6). It was observed that the band gap of 409-570 nm in the Blue+Green region in the visible region was effective for the determination of disease indices in the early development period ($R^2= 0.094$). In the early-middle period (on June 06, 2019), the band gap of 670-775 nm, which includes the Red+Red Boundary+Near Infrared region, was effective ($R^2= 0.671$). It was found to be effective in the 842-1058 nm band range in the NIR region in the Mid-Late period ($R^2 = 0.519$).

When all periods are evaluated together, it was determined that the most effective region in the diagnosis of the disease was 368-409 nm in the Blue region, 415-502 nm in the Blue+Green region and the 551-716 nm band regions in the Green+Red+Red Edge region (Table 7 and Table 9). Bayraktar variety showed high correlation in all spectral band regions in the late period, followed a stable course up to the NIR region bands in the early and early-mid periods and showed an increase in correlation values again from this region.

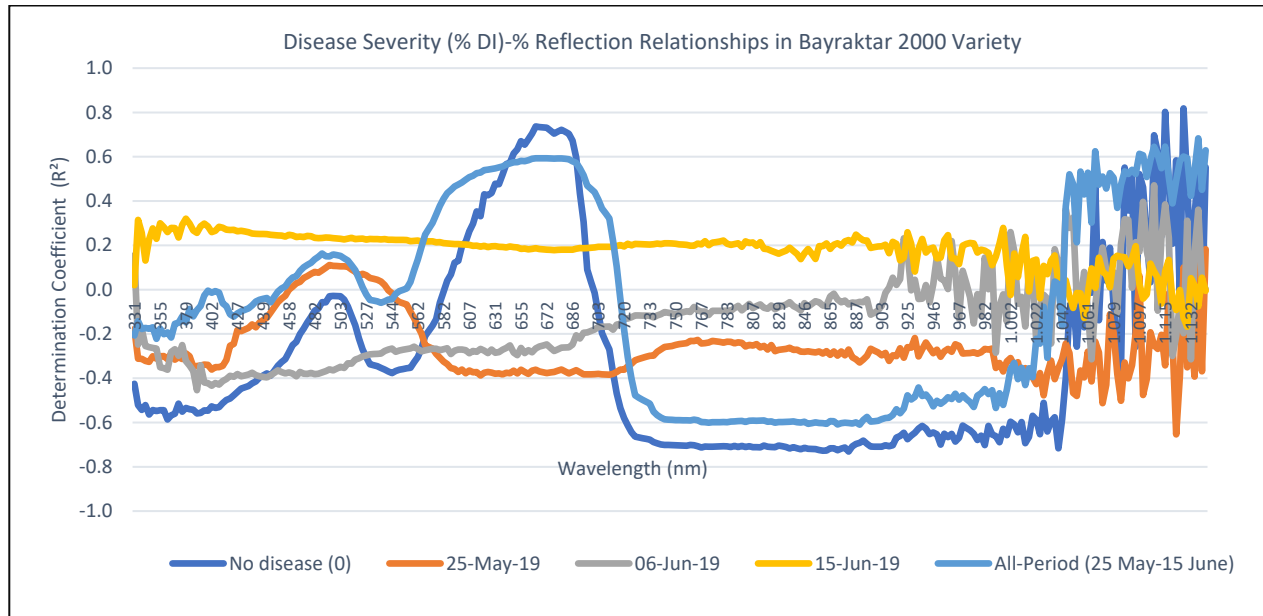


Figure 6. Disease severity (%DI)-reflection (%) relations in Bayraktar 2000 variety

Table 7. Spectral band regions and correlation values effective in the detection of yellow rust in various diseases dose applications according to phenological periods in Bayraktar 2000 variety.

Variety	Period	Application	R ²	Effective Band Ranges (nm)	Regression Equation
Bayraktar 2000	All Period 25 May-15 June 2019	Not spore application (0%)	0.005	405-500	y = -0.0005x - 0.29
				558-661	
				736-1038	
				443-537	
	Early Period May 25, 2019 10.5.1	25%	0.094	409-570	y = -0.0005x - 0.1795
		50%			
		100%			
	Early-Middle Period June 06, 2019 10.5.3	25%	0.671	670-775	y = 0.0018x - 0.4076
		50%			
100%					
Middle-Late Period June 15, 2019 10.5.4	25%	0.519	842-1058	y = -0.0007x + 0.2835	
	50%				
	100%				
All Period May 25-June 15, 2019 10.5.1-10.5.4	25%	0.0047	368-409	y = -0.0004x - 0.0058	
	50%				
	100%				

In Demir 2000 variety; considering the phenological development period, it was observed that the band gap of 405-549 nm in the Blue+Green region, 550-689 nm in the Green+Red region and 725-1044 nm in the Red Edge +NIR were effective for determination of plants without disease symptoms (Figure 7). It was determined that the Blue+Green region, located in the visible region, reached effective and high correlation values with a band gap of 402-558 nm in the determination of disease index in the early development period (R² = 0.122). High correlations were detected in the band range of 677-800 nm, which is located in the Red+Red Boundary+NIR region in the early-mid developmental period (R² = 0.464). In the mid-late period, the 796-1058 nm band gap of the NIR region was effective (R² = 0.112). When all the periods were evaluated together, the 364-405 nm and 433-485 nm bands of the Blue region and the 554-689 nm bands of the Green+Red region were effective (Table 8 and Table 9). While Demir variety showed low correlations in all spectral band regions in the late period, an increase was observed towards the NIR region starting from the Red region bands in the early-mid period.

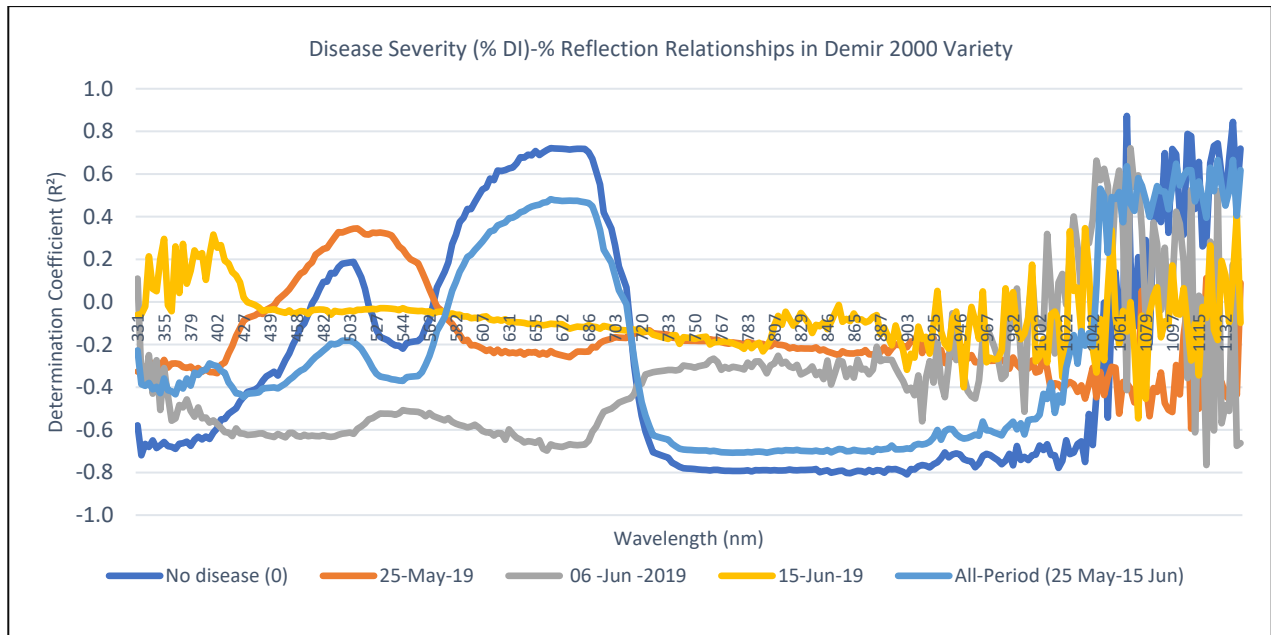


Figure 7. Disease index (%DI)-reflection relationships (%) in Demir 2000 variety

Table 8. According to phenological periods effective spectral band regions and correlation values in Yellow Rust detection of different disease dose applications in Demir 2000 variety

Variety	Period	Application	R ²	Effective Band Ranges (nm)	Regression Equation
Demir 2000	All Period May 25-June 15, 2019	Not spore application (0%)	0.001	405-549 550-689 725-1044	$y = -0.0002x - 0.2237$
	Early Period May 25, 2019 10.5.1	25%	0.122	402-558	$y = -0.001x - 0.4295$
		50%			
		100%			
	Early-Middle Period June 06, 2019 10.5.3	25%	0.464	677-800	$y = 0.0025x - 0.7149$
		50%			
		100%			
	Middle-Late Period June 15, 2019 10.5.4	25%	0.112	796-1058	$y = -0.0005x + 0.0033$
		50%			
		100%			
All Period May 25- June 15, 2019 10.5.1-10.5.4	25%	0.028	364-405 433-485 554-689	$y = 0.0009x - 0.4744$	
	50%				
	100%				

Table 9. Spectral band intervals (nm) used in the separation of disease index of plants with and without disease symptoms in bread wheat varieties

Bread Varieties	Visible			Near Infrared (NIR) Region		Visible+Near Infrared
	Blue 331-510 nm	Green 511-600 m	Red 601-699 nm	Red Edge 700-750 nm	Near Infrared 750-1141 nm	Blue+Green+Red+Red Edge+Near Infrared 331-1141 nm
Period	Early Period (May 25, 2019)			Late Period (June 06-15, 2019)		All Period (May 25-June 15)
Eser	526-695			672-796	726-1076	540-716 nm Green+Red+Red Edge
Kenanbey	443-537			457-695	915-1089	544-726 nm Green+Red+Red Edge
Bayraktar 2000	409-570			670-775	842-1058	551-716 nm Green+Red+Red Edge
Demir 2000	402-558			677-800	796-1058	554-689 nm Green+Red

3.3 Determination of Sensitive Spectral Band Regions Used in Differentiating Yellow Rust in Durum Wheat Varieties

In **Kızıltan 91 variety**, the high correlation values were found at 440-513 nm in the visible region, 561-685 nm in the Green+Red region and 987-1079 nm in the NIR region in plants without disease symptoms in the Blue+Green region (Figure 8). In the determination of disease index in the early development period, a stable course was observed in the visible region for plants with disease symptoms and the highest correlation was observed in the Blue region bands (371-415 nm) in the visible region and 675-829 nm bands in the Red+NIR region. change was determined ($R^2=0.111$). In the early-middle period, high correlation was found in the band range of 685-830 nm in the Red+Red Edge+NIR region in the visible region ($R^2=0.159$). In the mid-Late period, the disease change was highest and the highest correlation values were determined in the band range of 680-874 nm, which is located in the Red+Red Edge+NIR region ($R^2=0.181$). When all periods are evaluated together, the highest correlation change was detected in the Green+Red region in the visible region, in the band range of 533-637 nm (Table 10 and Table 14). Kızıltan 91 showed the highest correlation was seen in the Red region bands in the mid-late period. No significant change was observed in the correlation in the early and late periods.

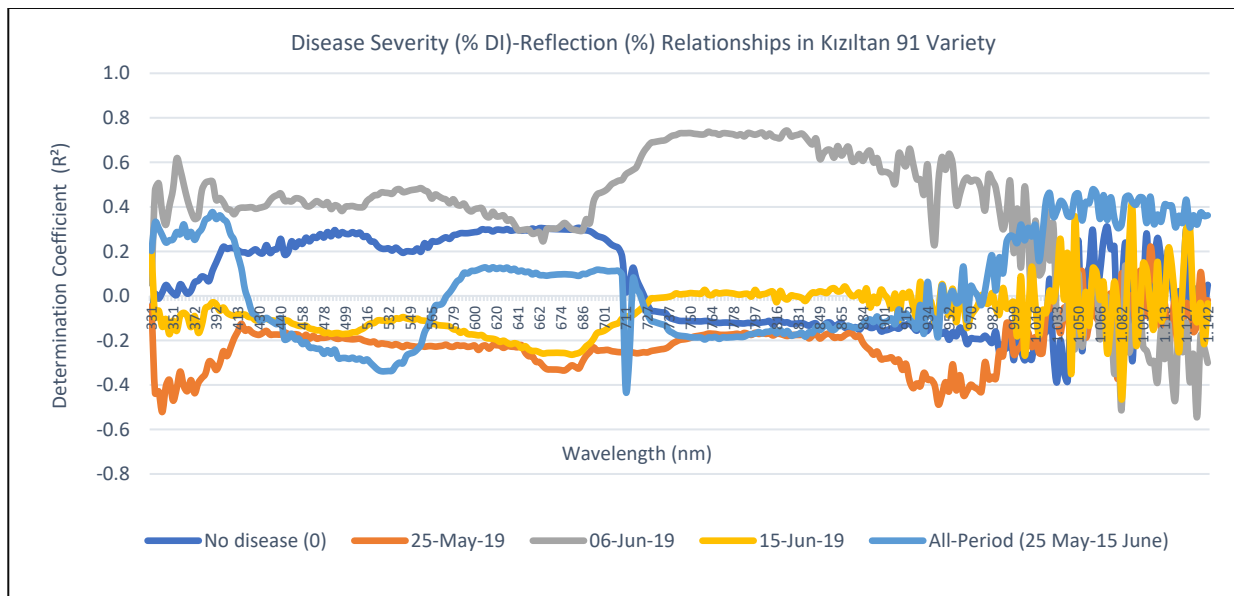


Figure 8. Disease index (%DI)-reflection relations (%) in Kızıltan 91 variety

Table 10. According to phenological periods effective spectral band regions and correlation values in the detection of yellow rust of different disease dose applications in Kızıltan 91 variety

Variety	Period	Application	R ²	Effective Band Ranges (nm)	Regression Equation
Kızıltan 91	All Period May 25-June 15 2019	Not spore application (0%)	0.324	561-685	$y = -0.0013x + 0.2434$
	Early Period May 25, 2019 10.5.1	25%	0.111	371-415	$y = 0.0004x - 0.2814$
		50%		675-829	
		100%			
	Early-Middle Period June 06, 2019 10.5.3	25%	0.159	685-830	$y = -0.0013x + 0.5903$
		50%			
		100%			
	Middle-Late Period June 15, 2019 10.5.4	25%	0.181	680-874	$y = 0.0006x - 0.1554$
		50%			
		100%			
All Period May 25- June 15, 2019 10.5.1-10.5.4	25%	0.132	533-637	$y = 0.001x - 0.1126$	
	50%				
	100%				

In **Çeşit-1252 variety**; low correlation at 433-516 nm, 550-640 nm in the Green+Red region, 533-725 nm in the Green+Red+NIR region and 990-1139 nm in the Near Infrared region in plants without disease symptoms observed in early visible Blue+Green region values were found (Figure 9). In determining the disease index in the early stages' development period, a stable course was observed in the visible region for plants with disease symptoms, and a high correlation was observed in the Green+Red 540-654 nm band range in the visible region ($R^2=0.371$). In the **early-middle period**, a low correlation in the 733-813 nm band in the Red Boundary+Near Infrared region ($R^2=0.087$) was calculated.

In the Middle-Late period, a high correlation in the Red+Red Boundary region in the 641-702 nm band range ($R^2= 0.307$) was calculated. When all periods are evaluated together, the highest correlation change was observed in the 865-1033 nm band within the NIR region ($R^2= 0.198$) (Table 11 and Table 14). eřit-1252 followed a stable course in all phenological periods and showed a slight increase in Green and Red region bands.

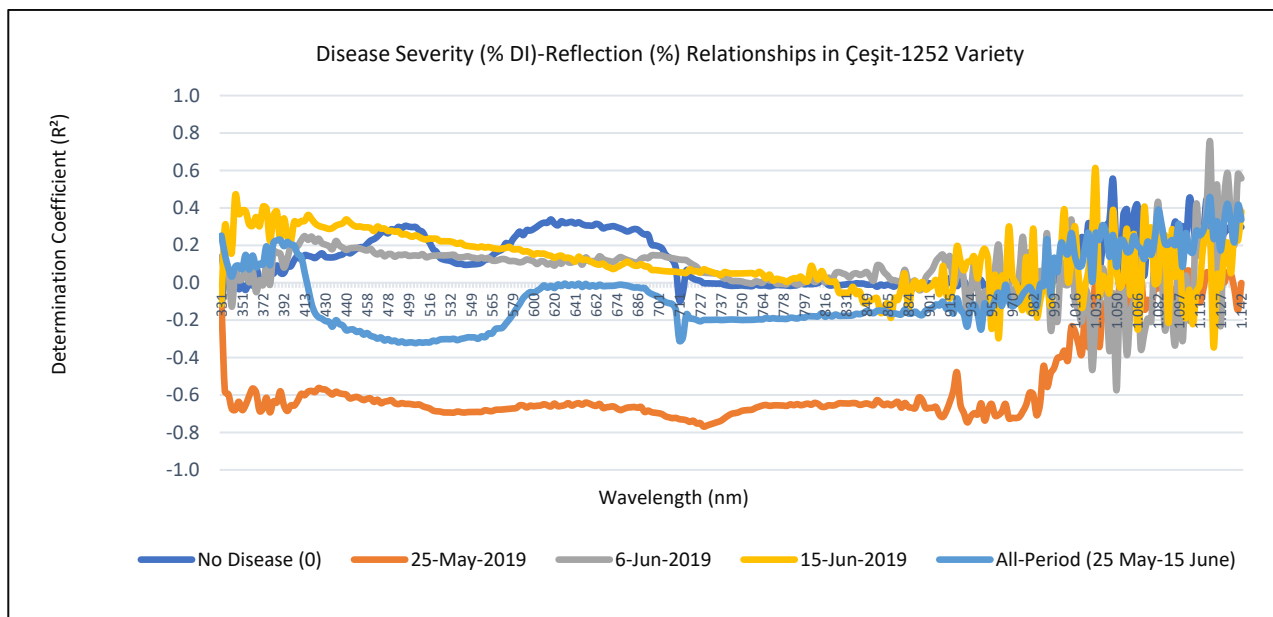


Figure 9. Disease index - % reflection relationships in the eřit-1252 Variety

Table 11. According to phenological periods effective spectral band regions and correlation values in detection of yellow rust of different disease doses in the eřit-1252 variety

Variety	Period	Application	R ²	Effective Band Ranges (nm)	Regression Equation
eřit-1252	All Period May 25- June 15, 2019	Not spore application (0%)	0.002	550-640	$y = -0.00005x + 0.13$
	Early Period May 25, 2019 10.5.1	25%	0.371	540-654	$y = 0.0016x - 0.7982$
		50%			
		100%			
	Early-Middle Period June 06, 2019 10.5.3	25%	0.087	733-813	$y = -0.0005x + 0.1478$
		50%			
		100%			
	Middle-Late Period June 15, 2019 10.5.4	25%	0.307	641-702	$y = -0.001x + 0.2605$
		50%			
		100%			
All Period May 25- June 15, 2019 10.5.1-10.5.4	25%	0.198	865-1033	$y = 0.001x - 0.2086$	
	50%				
	100%				

In Eminbey variety; low correlation values were determined at 549-682 nm in the Green+Red region and at 1016-1115 nm in the Near Infrared Region in plants without any signs of disease in the early period (Figure 10). In the early period, the highest correlation values were determined in the visible region, in the Green+Red+Red Boundary region, in the band range of 575-736 nm ($R^2= 0.523$). Increases in disease index occurred at all disease administration doses (25%, 50%, 100%). The highest increase in disease index was determined at the 100% application dose (+335.52%), followed by 50% (+287.13%) and 25% (+141.95%) dose applications, respectively. In the determination of disease index in the early-mid development period, a stable change was observed within the visible region for diseased plants, and a high correlation variation was detected in the Blue region bands (673-803 nm) in the visible region ($R^2= 0.132$). In this period, the increase in disease index in all disease application doses was +58.83% compared to plants without disease symptoms in disease index values. In the Mid-Late period, a high correlation in the 829-1004 nm band in the Near Infrared region ($R^2= 0.214$) was found. In this period, the increase in disease index was seen as +25.0% at 50% and 100% disease administration doses. When all periods are evaluated together, the highest correlation change was found in the visible region, in the Green+Red+ Red Edge region, within the band gap of 526-712 nm ($R^2= 0.040$).

The maximum change in disease index was observed at 100% disease dose (+17.56%), 50% disease dose (+16.89%) and 25% disease dose (+13.78%) (Table 12 and Table 14). Eminbey variety followed a stable course in all regional bands and showed a slight increase from the Red region bands in the early-mid period.

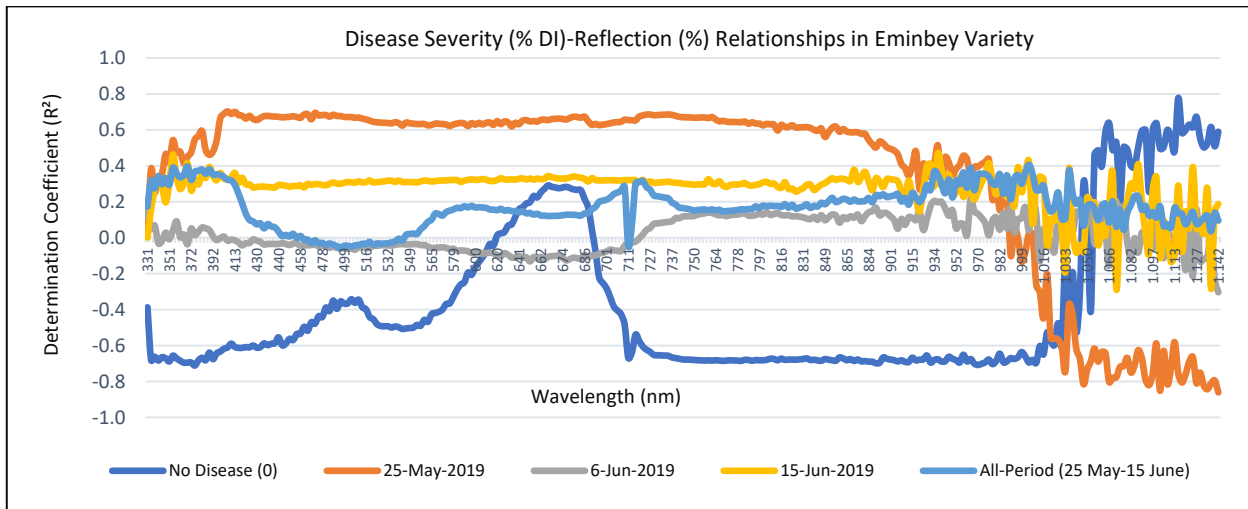


Figure 10. Disease index- reflection (%) relations in Eminbey variety

Table 12. According to phenological periods spectral effective band regions and correlation values in the detection of yellow rust of different disease dose applications in Eminbey variety

Variety	Period	Application	R ²	Effective Band Ranges (nm)	Regression Equation
Eminbey	All Period May 25- June 15, 2019	Not spore application (0%)	0.113	419-506 549-682 1016-1115	y = 0.0017x - 0.6142
	Early Period May 25, 2019 10.5.1	25%	0.523	575-712	y = -0.0042x + 0.9792
		50%			
		100%			
	Early-Middle Period June 06, 2019 10.5.3	25%	0.132	673-803	y = 0.0004x - 0.0405
		50%			
		100%			
	Middle-Late Period June 15, 2019 10.5.4	25%	0.214	829-1004	y = -0.0006x + 0.3619
		50%			
		100%			
All Period May 25- June 15, 2019 10.5.1-10.5.4	25%	0.040	526-712	y = 0.0003x + 0.1329	
	50%				
	100%				

In Mirzabey 2000 variety; in the early period, a stable course was observed throughout the visible region, and disease correlation values showed a high correlation in the range of 575-680 nm in the Green+Red region bands (Figure 11). It followed a stable course again up to the 1024 nm band gap in the Near Infrared Region, and a high correlation was determined in the band gap from this point to 1084 nm (R² = 0.330). In the determination of disease index in the early period, it was determined that there was a high correlation in the 334-381 nm band range (Blue band) located in the visible region for plants with disease symptoms (R²= 0.433). During this period, the increases in disease index were detected in all disease administration doses (25%, 50%, 100%). These increases were observed at the maximum application dose of 100% (+100%), at 50% application dose (+66.67%) and 25% application dose (+33.33%), respectively. It was determined that the Green+Red+Red Boundary bands within the visible region are effective in the 544-736 nm range (R² = 0.437). In this period, the greatest increase in disease index was observed at 25% disease dose (+66.67%) compared to plants without any disease symptoms, followed by 50% disease dose (+65.0%) and 100% disease dose (+20.0%), respectively. In the Mid-Late period, the band gap of 699-893 nm, located in the Red+Red Boundary+NIR region, was determined to be effective. The highest increase in disease index was observed at 50% disease dose (+39.71%) compared to plants having no signs of disease in the mid-late period, and a decrease was determined at other application doses. When all periods are evaluated together, the band range of 760-971 nm within the NIR region showed a high correlation change (R²= 0.401) (Table 13 and Table 14). Mirzabey variety showed a slight increase in correlation values in the Red region bands in all phenological periods, and generally followed a stable course.

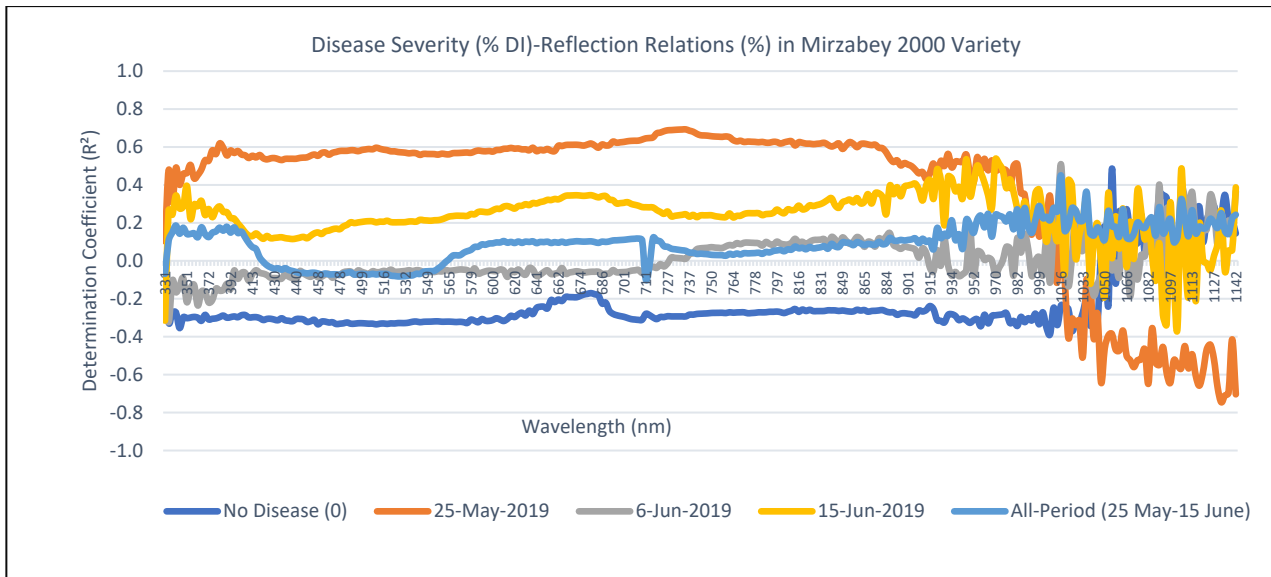


Figure 11. Disease index (DI%) - reflection (%) relationships in the Mirzabey 2000 variety

Table 13. According to phenological periods effective spectral band regions and correlation values in detection of yellow rust of different disease doses in Mirzabey 2000 variety

Variety	Period	Application	R ²	Effective Band Ranges (nm)	Regression Equation
Mirzabey 2000	All Period 25 May-15 June 2019	Not spore application (0%)	0.330	419-506 575-680 1016-1115	y = 0.0011x - 0.3946
	Early Period 25 May 2019 10.5.1	25%	0.433	334-381	y = -0.0031x + 0.8464
		50%			
		100%			
	Early-Middle Period 06 June 2019 10.5.3	25%	0.437	544-736	y = 0.0009x - 0.1269
		50%			
		100%			
	Middle-Late Period 15 June 2019 10.5.4	25%	0.0035	699-893	y = -9E-05x+0,2515
		50%			
		100%			
All Period 25 Mayıs-15 Haziran 2019 10.5.1-10.5.4	25%	0.401	760-971	y = 0.0007x + 0.0146	
	50%				
	100%				

Table 14. Spectral band Intervals (nm) used in distinction of disease index of diseased and non-disease plants in durum wheat varieties

Durum Varieties	Visible			Near Infrared (NIR) Region		Visible+Near Infrared
	Blue 331-510 nm	Green 511-600 nm	Red 601-699 nm	Red Edge 700-750 nm	Near Infrared 750-1141 nm	Blue+Green+Red+Red Edge+Near Infrared 331-1141 nm
Period	Early Period (May 25, 2019)			Late Period (June 06-15, 2019)		All Period (May 25-June 15)
Kızıltan 91	371-415		675-829	685-830	680-874	533-637 Visible Region (Green+Red)
Çeşit-1252		540-654		733-813	641-702	865-1033 Near Infrared
Eminbey		575-712		673-803	829-1004	526-712 Red+Near Infrared
Mirzabey 2000	334-381	544-736		699-893	760-971	531-719 Green+Red

Accuracy of Classification (Accuracy Assessment)

The Kappa (χ) coefficient, which summarizes the information provided by the error matrix, is used as a statistical measure that predominantly calculates the accuracy of classification. Kappa value was calculated based on disease severity (%DI) values for bread and durum varieties. In order to test the accuracy of the classified image, sample plots were selected from bread and durum wheat materials, and disease severity values (%DI) were visually read, and the obtained readings values were compared with the disease reading values obtained from the classified image. For this aim, a total of 200 sampling points were determined for bread and durum varieties. 86 readings in bread varieties and 80 readings in durum varieties matched one-to-one with the classification values. The General Accuracy Rates were 65.83% with Kappa value (X) 0.449 for bread varieties, and 61.87% with Kappa value (X) 0.423 for durum wheat varieties (Table 15). In general, Kappa grade represents 0-20% poor, 20-60% moderate, grade accuracy 60-80% good and 80-100% very good.

Table 15. Calculation of error matrix for bread and durum varieties (Accuracy Assessment) bread varieties

Bread Varieties	Observed Parcel Data (%DI) (Total)	Data from Classification (%DI) (Total)	Number of correct	Producer Accuracy (%)	User Accuracy (%)	Kappa values
Eser	24	26	19	79.17	73.08	0.460
Bayraktar 2000	31	34	26	83.87	76.47	0.482
Kenanbey	32	37	27	84.38	72.97	0.460
Demir 2000	15	23	14	93.33	60.87	0.384
Total	100	120	86	85.19	70.85	0.447
Rate of General Accuracy (RGA) = 65.83% - Average Kappa Coefficient (χ) = 0.449						

Durum Varieties	Observed Parcel Data (%DI) (Total)	Data from Classification (%DI) (Total)	Number of correct	Producer Accuracy (%)	User Accuracy (%)	Kappa values
Kızıltan 91	23	28	20	86.96	71.43	0.450
Eminbey	33	32	26	78.79	81.25	0.512
Çeşit-1252	28	35	21	75.00	60.00	0.378
Mirzabey 2000	16	25	13	81.25	52.00	0.328
Total	100	120	80	80.50	66.17	0.417
Rate of General Accuracy (RGA) = 61.87% - Average Kappa Coefficient (χ) = 0.423						

*%DI Disease Intensity

With our findings, the presence of disease, its description methods, the influenced area, effective indices and band intervals for bread varieties are summarized below;

For bread varieties; apart from Kenanbey, Eser, Bayraktar 2000, and Demir 2000 varieties showed a high correlation in the early-mid period, while the Kenanbey variety showed a high correlation in the mid-late period, the effective band area for all bread varieties was in the range of Red+Red Edge+NIR, while Kenanbey variety was Near Infrared range and an increase in disease index values (+) was observed. The list of vegetation indices used in the differentiation of disease-inoculated and disease-inoculated plants and their areas of influence are given below (Table 16).

Table 16. Vegetation indices used in the distinction of diseased and disease-free plants

Vegetation indices	Description	Formula	References	Area of Influence
NBNDVI	Narrow-Band Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{850} - R_{680}) / (R_{850} + R_{680})$	Thenkabail et al. 2000	Following Vegetation
NRI	Nitrogen Reflectance Index	$(R_{570} - R_{670}) / (R_{570} + R_{670})$	Filella et al. 1995	Nitrogen Status
TCARI	The Transformed Chlorophyll Absorption and Reflectance Index	$3 \times [(R_{700} - R_{675}) - 0.2 \times (R_{700} - R_{550}) \times (R_{700}/R_{670})]$	Haboudane et al. 2002	Chlorophyll a + b Concentration
PhRI	Physiological Reflectance Index	$(R_{550} - R_{531}) / (R_{550} + R_{531})$	Gitelson et al. 2001	Calculating Light Usage Efficiency
NPCI	Normalized Pigment Chlorophyll Ratio Index	$(R_{680} - R_{430}) / (R_{680} + R_{430})$	Kim et al. 1994	Pigment Concentration
CARI	Chlorophyll Absorption Ratio Index	$((aR_{670} + R_{670} + b) / (a^2 + 1)^{1/2}) \times (R_{700}/R_{670})$ a = $(R_{700} - R_{550})/150$, b = $R_{550} - (a \times 550)$	Zarco-Tejada et al. 2005	Calculating Chlorophyll Absorption

Table 16. Continued

Vegetation Indices	Description	Formula	References	Area of Influence
GI	Green Index	R_{554}/R_{677}	Broge and Leblanc, 2001	Pigment Concentration
PSRI	Plant Senescence Reflectance Index	$(R_{680} - R_{500})/R_{750}$	Merzlyak et al. 1999	Pigment Coverage, Leaf Maturation and Yellowing
RVSI	Red Edge Vegetation Stress Index	$RVSI = [(R_{712} + R_{752})/2] - R_{732}$	Merton and Huntington, 1999	Internal Structure Parameters
WI	Water Index	$WI = R_{900}/R_{970}$	Peñuelas et al. 1997	Calculation of Changes in Water Amount
LCCI	Leaf and Canopy Chlorophyll Index)	$LCCI = (R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})$	Gitelson and Merzlyak, 1994	Calculating Chlorophyll Absorption
NVI	New Vegetation Index	$NVI = (R_{777} - R_{747}) / (R_{673})$	Gupta et al. 2001	Calculating Chlorophyll Absorption
GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index	$GNDVI = (R_{750} - R_{550}) / (R_{750} + R_{550})$	Gitelson et al. 1996	Leaf Area Index, Photosynthetically Active Radiation (PAR), or Biomass (PAB)
SRPI	Simple Ratio Pigment Index	$SRPI = R_{430} / R_{680}$	Peñuelas et al. 1994	Pigment Concentration
MSR	Modified Simple Ratio Index	$MSR = (R_{800}/R_{670} - 1) / \sqrt{R_{800}/R_{670} + 1}$	Chen and Cihlar, 1996	Leaf Area Index Calculation
YRI	Yellow Rust Index	$YRI = (R_{730} - R_{419}) / (R_{730} + R_{419}) + 0.5R_{736}$	Huang et al. 2014	Wheat Disease

For durum varieties; It showed high correlation in the early period in Eminbey and Çeşit-1252 varieties, in the early-middle period in Mirzabey 2000 variety, and in the mid-late period in Kızıltan 91 variety. It was effective in the band gaps in the Red+Red Edge+NIR region for the Kızıltan 91 variety, the Green+Red region for the Çeşit-1252 variety, the Green+Red+Red Edge region for the Eminbey variety, and the Green+Red+Red Edge region for Mirzabey 2000 variety, and increased (+) disease index reactions was determined. Prominent indexes for durum varieties; SRPI, TCARI, NRI, MSR, LCCI, NPCI, NBNDVI, PSRI, PR (Table 17).

Table 17. Sensitive spectral band regions and indices effective in monitoring disease indices of different disease application doses in bread and durum wheat varieties according to phenological periods

Varieties	Spore Doses (%)	R ²	Band Ranges (nm)	Effective Band Region	Effective Period	%DI	Effective Indices	Correlation Ranges (R ²)
Eser	25%, 50%, 100%	0.566	672-796	Red+Red Edge+NIR	Early-Middle	+	NPCI, SRPI, PSRI, NRI, GI	0.256-0.212
Kenanbey	25%, 50%, 100%	0.472	915-1089	Near Infrared Region	Middle-Late	+	NRI, GI, MSR, YRI	0.521-0.380
Bayraktar 2000	25%, 50%, 100%	0.671	670-775	Red+Red Edge+NIR	Early-Middle	+	PhRI, NPCI, SRPI, GNDVI, GI	0.399-0.274
Demir 2000	25%, 50%, 100%	0.464	677-800	Red+Red Edge+NIR	Early-Middle	+	PhRI, NPCI, SRPI, RVSI, WI	0.288-0.222
Kızıltan 91	25%, 50%, 100%	0.181	680-874	Red+Red Edge+NIR	Middle-Late	+	SRPI, NPCI, PSRI, LCCI, NBNDVI	0.514-0.472
Çeşit-1252	25%, 50%, 100%	0.371	540-654	Green+Red	Early	+	TCARI, NBNDVI, NVI, CARI, LCCI	0.442-0.413
Eminbey	25%, 50%, 100%	0.523	575-712	Green+Red+Red Edge	Early	+	NRI, PSRI, ARI, GI, NPCI	0.607-0.402
Mirzabey 2000	25%, 50%, 100%	0.437	544-736	Green+Red+Red Edge	Early-Middle	+	WI, MSR, NDVI, NBNDVI, CARI	0.480-0.457

Within the scope of the study, sensitive band areas to be used in within the exploring of yellow rust at the end of the stem and the starting of blooming (10.5.1) are in the visible (visible) region for bread wheat varieties, (Red+Red Edge) 619-767 nm, grain filling and sensitive band areas to be used in the late period (10.5.3-10.5.4) including the milk production period, in the range of 820-1070 nm within the Near Infrared region, and in within early period (10.5.1) for durum varieties. It was determined that the band range of 586-733 nm in the Green+Red+Red Edge region, and in the late period (10.5.3-10.5.4) and 768-951 nm in the Near Infrared Region is remarkable (Table 18).

Table 18. Effective spectral band ranges (nm) determined by using reflectance values for disease detection at different yellow rust spore doses (0%, 25%, 50%, 100%) in bread and durum varieties

	Varieties	Band Intervals by Regions (nm)	
		Visible	Near Infrared (NIR)
Bread	Eser	672-796	726-1076
	Kenanbey	457-695	915-1089
	Bayraktar 2000	670-775	842-1058
	Demir 2000	677-800	796-1058
	Mean	619-767	820-1070
Durum	Kızıltan 91	685-830	680-874
	Çeşit-1252	540-654	865-1033
	Eminbey	575-712	829-1004
	Mirzabey 2000	544-736	699-893
	Mean	586-733	768-951

4. Discussion

The most obvious symptoms seen in winter wheat with yellow rust are signs within the shape of yellow machine stitches on green leaves and some parameters such as biomass, morphological and physiological parameters that cause changes in the chlorophyll and water contents. (Feng et al. 2016; Zhao et al. 2004). The basis for diagnosing plant diseases based on optical properties is based on the contrast between the spectral characteristics of healthy and infected plants. Within the scope of the study, sensitive band regions that can be used to diagnose yellow rust at distinctive development stages were determined in some bread and durum wheat varieties. Depending on the increasing amount of disease spores in the later stages of development, these spores can cause significant changes in pigment and water concentrations and canopy structure in wheat. Due to the increasing effect of the disease on the plant, a change in leaf color is observed depending on the increasing pustules and lesions (Devadas et al. 2009; Zhang et al. 2011). The sensitive wavelength changes during grain filling and milk setting are in the range of the visible and Near Infrared Regions. Within the assurance of yellow rust, deformations in the leaf structure are less in the early-mid development period when compared to the mid-late period (Devadas et al. 2009). Therefore, diseased plants in early to mid-season are less susceptible to Near Infrared region bands than mid-late plants. In some studies, on the subject, it was reported that the most effective indices used at the canopy level in detecting yellow rust by remote sensing methods were ARI (700-550 nm) and PRI (570-531nm) (Devadas et al. 2009; Huang et al. 2007).

It is known that these records have a critical part within the discovery of photosynthetic changes. The PRI indices, which employments 525 nm, 570 nm and 705 nm groups within the delicate range within the early-mid advancement period, can be used to distinguish yellow rust. The 570 nm and 525 nm bands in the Green region are related to photosynthesis in the plant, affect the chloroplasts and are remarkable in the deterioration of chloroplasts. Therefore, these region bands trigger spectral features in the plant. The 526 nm band region is the region where chlorophyll and carotenoids are strongly absorbed for photosynthetic activity in the plant. The 705 nm band, found within the Red Edge locale, is a pointer of the stress reaction made within the plant. Due to disease infection in the plant, canopy density and leaf area vary in the Near Infrared region. In this case, the Near Infrared region is a sensitive region for changes in canopy structure. Especially in the Near Infrared region, the 860 nm and 790 nm bands can be used to predict changes in canopy structure and differences in photosynthesis. The bands in the Red Edge region (700-750 nm) can be used to determine parameters such as vegetation progress, growth, moisture status, leaf area. The 750 nm band in the Red Edge region was used to distinguish diseased wheat from healthy wheat in the mid-late development period. These results are consistent with Bravo et al. (2003) in research results (750±10 nm and 861±10 nm). Similarly, Yu et al. (2018) reported that the Red Edge hyperspectral narrow bands in the Near Infrared region are effective in the differentiation (diagnosis) of diseases in vegetation. This method can be a guide for determining and controlling two- and three-band spectral indices for wheat rust monitoring in the early-mid growth stage and estimating crop losses in the mid-late period.

The present study was carried out simultaneously at the Central Research Institute of Field Crops Ankara Yenimahalle location to primarily test the reactions of some bread and durum varieties to yellow rust for different phenological periods and to determine the effects of different disease dose applications on disease development. In this study, 4 bread varieties (Eser, Bayraktar 2000, Kenanbey, Demir 2000) and 4 durum wheat varieties (Kızıltan 91, Çeşit-1252, Eminbey, Mirzabey 2000) known to have different reactions to the disease were used. Observation at different growth stages is important in monitoring plant diseases. For this reason, within the scope of the study, the development of the disease was evaluated by dividing the growth stages into four stages.

The first of these stages is the beginning of early flowering (25.05.2019, DAS-191 (Days After Sowing), the second, grain filling early-middle (06.06.2019, DAS-203) third, the period of milk formation (15.05.2019 term, DAS-212), and the late period fourth yellowing (23.06.2019, DAS-229). In order to determine the disease reactions, control (no disease application) and three different disease application (25%, 50%, 100%) doses were inoculated into the plant material. In the test material, the disease index and spectral reflectance values were evaluated simultaneously in four periods and recorded in the database. Disease reaction evaluations were made for each period within themselves by one-way ANOVA analysis of variance, and the effects of different disease dose applications on the disease reaction were evaluated at the variety level. Graphs showing the relationships between the disease index values determined depending on the different observed disease application doses and the spectral reflectance values collected simultaneously with the handheld spectroradiometer were created. In addition, multiple correlations between disease index and spectral indices were determined to determine the band gaps of the spectral regions that attract attention in disease development for different phenological periods and in which the stress relations between diseased and non-diseased plants are best expressed, and the spectral indices that correlate these band regions. Charts shows the relationships (Multiple Correlation) between Disease index (DI%) - reflection (%) for each variety. In the prediction of the disease, it was evaluated that the visible region bands in the early and early-middle (flowering onset-grain filling) development period and the Near Infrared Region in the mid-late period are more determinative in bread and durum varieties. The mid-late period (milking and yellowing) was effective in estimating crop losses. Sensitive varieties most affected by different disease dose applications; Bayraktar for bread varieties and Eminbey for durum wheat varieties. It was determined that two growth stages were effective in estimating the yellow rust reaction using two and three band spectral indices. It was determined that the early-mid growth stage (flowering) is important for the detection and control of diseases, and the mid-late growth stage (grain development) is important for estimating crop losses.

5. Conclusion

Observations were evaluated using multi-correlation and analysis of variance (One-Way ANOVA) technique, and according to the results obtained, it was concluded that visible bands in the early-mid developmental period and Near Infrared Regions in the mid-late period are more decisive in the diagnosis of the disease. Compared to the healthy wheat plant, the spectral reflectance values of the yellow rust-infected wheat plants increased in the visible region during the same growth period, while a decrease was detected in the Near Infrared region. In the early middle period (10.5.1), which is the beginning of flowering (on 25 May, 2019) in Eser, Bayraktar 2000, Kenanbey and Demir 2000 varieties with no disease observed among the bread wheat varieties, low reflectance values were detected in the visible region bands, and an increase has been observed in the reflectance values from the Red region. A decrease in reflection values was determined in the Near Infrared region in the mid-late period (10.5.3) which is the grain setting period (on 06 June, 2019) and the late period (10.5.4) which is the milk production period.

Similar to bread varieties, the beginning of flowering (on 25 May, 2019) in durum varieties were observed in the visible region bands in the early middle period (10.5.1), while low reflectance values were observed. The highest reflectance values were determined, especially in the Near Infrared Region, starting from the Red region in plants without disease. In the advanced stages of development, a decreasing trend in reflectance values was determined in the Near Infrared Region bands.

Acknowledgement

This study was conducted by Metin AYDOĞDU in the master's thesis "Determination of the Seasonal Effects of Different Iron and Zinc Applications on Yellow Rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) Disease in Winter Wheat Using Multi-Band Data" at Kırşehir Ahi Evran University, Institute of Science, Department of Agricultural Biotechnology (YÖK Thesis No: 671046/Date: 25.05.2021). We would like to thank to Dr. Nilüfer AKCI who works in the Department of Plant Diseases of the Central Research Institute of Agricultural Control for contribution to the preparation and execution of the thesis, to Thesis Monitoring Committee members Prof. Dr. Hikmet GÜNAL (Harran University) and Dr. Nurullah ACİR (Kırşehir Ahi Evran University) for their contributions.

References

- Abburu, S., & Golla, S. B. (2015). Satellite image classification methods and techniques: A review. *International Journal of Computer Applications*, 119(8), 20-24.
- Akan, K. (2019). Sarı pas (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) hastalığına dayanıklı makarnalık buğday hatlarının geliştirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(4), 661-670.

- Aktaş, H., Karaman, M., Tekdal, S., Kılıc, H., & Kendal, E. (2012, August). Evaluating of yield losses caused by yellow rust pressure in some bread wheat genotypes. In *13th International Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference, 2012. Proceedings.* (pp. 16).
- Bravo, C., Moshou, D., West, J., McCartney, A., & Ramon, H. (2003). Early disease detection in wheat fields using spectral reflectance. *Biosystems Engineering*, *84*(2), 137-145.
- Broge, N. H., & Leblanc, E. (2001). Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, *76*(2), 156-172.
- Chen, J. M., & Cihlar, J. (1996). Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Landsat TM images. *Remote Sensing of Environment*, *55*(2), 153-162.
- Chen, X. M. (2005). Epidemiology and control of stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, *27*(3), 314-337.
- Delwiche, S. R., & Kim, M. S. (2000, December). Hyperspectral imaging for detection of scab in wheat. In *Biological Quality and Precision Agriculture II, 2000. Proceedings.* (pp. 13-20). SPIE.
- Devadas, R., Lamb, D. W., Simpfendorfer, S., & Backhouse, D. (2009). Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves. *Precision Agriculture*, *10*, 459-470.
- Dusunceli, F., Cetin, L., Albustan, S., & Beniwal, S. P. S. (1996, September). Occurrence and impact of wheat stripe rust (*Puccinia striiformis*) in Turkey in 1994/95 crop season. In *9th European and Mediterranean Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference, 1996. Proceedings.* (pp. 309).
- Duveiller, G., Weiss, M., Baret, F., & Defourny, P. (2011). Retrieving wheat Green Area Index during the growing season from optical time series measurements based on neural network radiative transfer inversion. *Remote Sensing of Environment*, *115*(3), 887-896.
- FAO. (2020) *FAOSTAT Statistical Database*. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- Feng, W., Shen, W., He, L., Duan, J., Guo, B., Li, Y., Wang, C., & Guo, T. (2016). Improved remote sensing detection of wheat powdery mildew using dual-green vegetation indices. *Precision Agriculture*, *17*, 608-627.
- Filella, I., Serrano, L., Serra, J., & Penuelas, J. (1995). Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminant analysis. *Crop Science*, *35*(5), 1400-1405.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., & Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, *58*(3), 289-298.
- Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N., & Chivkunova, O. B. (2001). Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochemistry and Photobiology*, *74*(1), 38-45.
- Gitelson, A., & Merzlyak, M. N. (1994). Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology*, *143*(3), 286-292.
- Goetz, A. F., Vane, G., Solomon, J. E., & Rock, B. N. (1985). Imaging spectrometry for earth remote sensing. *Science*, *228*(4704), 1147-1153.
- Gupta, R. K., Vijayan, D., & Prasad, T. S. (2001). New hyperspectral vegetation characterization parameters. *Advances in Space Research*, *28*(1), 201-206.
- Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J., & Strachan, I. B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, *90*(3), 337-352.
- Haboudane, D., Miller, J. R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. J., & Dextraze, L. (2002). Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, *81*(2-3), 416-426.
- Hatfield, P. L., & Pinter Jr, P. J. (1993). Remote sensing for crop protection. *Crop Protection*, *12*(6), 403-413.
- Huang, W., Guan, Q., Luo, J., Zhang, J., Zhao, J., Liang, D., Huang, L., & Zhang, D. (2014). New optimized spectral indices for identifying and monitoring winter wheat diseases. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *7*(6), 2516-2524.
- Huang, W., Lamb, D. W., Niu, Z., Zhang, Y., Liu, L., & Wang, J. (2007). Identification of yellow rust in wheat using in-situ spectral reflectance measurements and airborne hyperspectral imaging. *Precision Agriculture*, *8*, 187-197.
- Kavzoglu, T., & Reis, S. (2008). Performance analysis of maximum likelihood and artificial neural network classifiers for training sets with mixed pixels. *GIScience & Remote Sensing*, *45*(3), 330-342.
- Kim, M. S., Daughtry, C. S. T., Chappelle, E. W., McMurtrey, J. E., & Walthall, C. L. (1994). The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation (A par). In *6th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, 1994. Proceedings.* (pp. 299-306). CNES.
- Large, E. C. (1954). Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes scale. *Plant Pathology*, *3*, 128-129.

- Liu, L., Dong, Y., Huang, W., Du, X., Ren, B., Huang, L., Zheng Q., & Ma, H. (2020). A disease index for efficiently detecting wheat fusarium head blight using Sentinel-2 multispectral imagery. *IEEE Access*, 8, 52181-52191.
- Merton, R., & Huntington, J. (1999, February). Early simulation results of the ARIES-1 satellite sensor for multi-temporal vegetation research derived from AVIRIS. In *Eighth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, 1999. Proceedings.* (pp. 9-11). NASA.
- Merzlyak, M. N., Gitelson, A. A., Chivkunova, O. B., & Rakitin, V. Y. (1999). Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, 106(1), 135-141.
- Moshou, D., Bravo, C., Oberti, R., West, J., Bodria, L., McCartney, A., & Ramon, H. (2005). Plant disease detection based on data fusion of hyper-spectral and multi-spectral fluorescence imaging using Kohonen maps. *Real-Time Imaging*, 11(2), 75-83.
- Moshou, D., Bravo, C., West, J., Wahlen, S., McCartney, A., & Ramon, H. (2004). Automatic detection of 'yellow rust' in wheat using reflectance measurements and neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44(3), 173-188.
- Naidu, R. A., Perry, E. M., Pierce, F. J., & Mekuria, T. (2009). The potential of spectral reflectance technique for the detection of Grapevine leafroll-associated virus-3 in two red-berried wine grape cultivars. *Computers and Electronics in Agriculture*, 66(1), 38-45.
- Nicolas, H. (2004). Using remote sensing to determine of the date of a fungicide application on winter wheat. *Crop Protection*, 23(9), 853-863.
- Nilsson, H. (1995). Remote sensing and image analysis in plant pathology. *Annual Review of Phytopathology*, 33(1), 489-528.
- Oppelt, N., & Mauser, W. (2004). Hyperspectral monitoring of physiological parameters of wheat during a vegetation period using AVIS data. *International Journal of Remote Sensing*, 25(1), 145-159.
- Peñuelas, J., Gamon, J. A., Fredeen, A. L., Merino, J., & Field, C. B. (1994). Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen-and water-limited sunflower leaves. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 135-146.
- Peñuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R., & Filella, I. (1997). Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing*, 18(13), 2869-2875.
- Peterson, R. F., Campbell, A. B., & Hannah, A. E. (1948). A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canadian Journal of Research*, 26(5), 496-500.
- Qin, Z., & Zhang, M. (2005). Detection of rice sheath blight for in-season disease management using multispectral remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7(2), 115-128.
- Roelfs, A. P. (1978). Estimated losses caused by rust in small grain cereals in the United States, 1918-76. In A. P. Roelfs (Eds.), *Estimated losses caused by rust in small grain cereals* (pp. 1356-1372). Washington DC: US Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- Roelfs, A. P., Singh, R. P., & Saari, E. E., (1992). *Rust Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Samborski, D. J. (1985). Wheat leaf rust. In A.P. Roelfs & W.R. Bushnell (Eds.), *Diseases, distribution, epidemiology, and control* (pp. 39-59). Cambridge, Massachusetts: Academic Press.
- Strange, R. N., & Scott, P. R. (2005). Plant disease: a threat to global food security. *Annual Review of Phytopathology*, 43(1), 83-116.
- Thenkabail, P. S., Smith, R. B., & De Pauw, E. (2000). Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote Sensing of Environment*, 71(2), 158-182.
- Ustuner, M., Sanli, F. B., & Dixon, B. (2015). Application of support vector machines for land use classification using high-resolution rapideye images: A sensitivity analysis. *European Journal of Remote Sensing*, 48(1), 403-422.
- Yu, K., Anderegg, J., Mikaberidze, A., Karisto, P., Mascher, F., McDonald, B. A., Walter, A., & Hund, A. (2018). Hyperspectral canopy sensing of wheat *Septoria tritici* blotch disease. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1195. doi: 10.3389/fpls.2018.01195.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T. and Konzak, C.F. (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-21.
- Zarco-Tejada, P. J., Berjón, A., Lopez-Lozano, R., Miller, J. R., Martín, P., Cachorro, V., González, M. R., & De Frutos, A. (2005). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*, 99(3), 271-287.
- Zhang, J. C., Pu, R. L., Wang, J. H., Huang, W. J., Yuan, L., & Luo, J. H. (2012a). Detecting powdery mildew of winter wheat using leaf level hyperspectral measurements. *Computers and Electronics in Agriculture*, 85, 13-23.
- Zhang, J., Huang, W., Li, J., Yang, G., Luo, J., Gu, X., & Wang, J. (2011). Development, evaluation and application of a spectral knowledge base to detect yellow rust in winter wheat. *Precision Agriculture*, 12, 716-731.
- Zhang, J., Pu, R., Huang, W., Yuan, L., Luo, J., & Wang, J. (2012b). Using in-situ hyperspectral data for detecting and discriminating yellow rust disease from nutrient stresses. *Field Crops Research*, 134, 165-174.

Zhao, C., Huang, M., Huang, W., Liu, L., & Wang, J. (2004). Analysis of winter wheat stripe rust characteristic spectrum and establishing of inversion models. In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. Proceedings.* (pp. 4318-4320). IEEE.

CBS Ağ Analizi Yöntemleri ile Hayvansal Gübre Kaynaklı Biyogaz Üretim Tesisi Yer Seçimi: Eskişehir Örneği

Site Selection of Animal Manure Operated Biogas Power Plant with GIS Network Analysis: Eskişehir Case

Hakan Oktay Aydın^{1*}, Hakan Uyguçgil²

¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Eskişehir/Türkiye.

² Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Hakan Oktay Aydın
aydinlihanoktay@gmail.com

doi: 10.48123/rsgis.1220098

Yayın süreci

Geliş tarihi: 16.12.2022

Kabul tarihi: 10.07.2023

Basım tarihi: 28.09.2023

Özet

Dünya enerji ihtiyacının yüzde 63'ü fosil yakıt kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu kaynakların zaman içerisinde azalması ve sıfır karbon emisyonu destekli projelere ilginin artması sonucunda tüm dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ve kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik ve biyokütle başlıca kaynaklar olarak yer almaktadır. Biyokütle hem kaynak ürün çeşitliliği hem de düşük kurulum maliyetleri açısından mevcut yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandığında ön plana çıkmaktadır. Biyokütle enerjisi için gerekli ham maddeler arasında temel olarak tarım ve hayvan kaynaklı organik atıklar gösterilebilir. Ham maddelerin farklı konumlardan elde edilerek enerji üretim tesisine transfer edilmesi sırasında Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımı ile nakliye maliyetleri minimuma indirilerek üretim tesisi için en uygun yer seçimi belirlenebilmektedir. Bu kapsamda, pilot proje olarak seçilen Eskişehir ili ve ilçelerindeki büyükbaş ve küçükbaş hayvanların oluşturduğu organik atık miktarları üzerinden yapılan değerlendirme sonucu ağ analizleri – konum tahsis analizi (location-allocation) yardımı ile biyokütle (biyogaz) santrali için en uygun yer belirleme çalışması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji, Biyokütle, Eskişehir, Ağ analizleri, Konum tahsis analizi

Abstract

Fossil fuel sources meet 63 percent of the world's energy demands. The development and use of renewable energy resources have spread worldwide as a consequence of the decline in fossil fuel sources through time and a growth in interest in projects backed by zero carbon emissions. Solar, wind, geothermal, hydropower, and biomass are the most common renewable energy sources. In terms of supply diversity and inexpensive installation costs, biomass stands out among renewable energy sources. Organic wastes of agricultural and animal origin can be found among the raw materials necessary for biomass energy. Transportation expenses are minimized during the transfer of raw materials from various locations to the production facility by the help of Geographic Information Systems (GIS), and the most appropriate site for the production facility may be determined. In this context, as a result of an evaluation of the quantity of organic waste created by bovine and ovine in Eskişehir province and its districts, the most appropriate location for the biomass (biogas) power plant has been tried to be established using network analysis – location allocation.

Keywords: Renewable energy, Biomass, Eskişehir, Network analysis, Location-allocation

1. Giriş

Dünyadaki enerji talebinin yüzde altmış üçü kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar tarafından sağlanmaktadır (IEA, 2023). Kanıtlanmış rezervlerin sınırlı olması ve yüksek düzeyde sera gazı üretimi nedeniyle fosil yakıtların kullanımının belli dezavantajları bulunmaktadır. Mevsimsel sıcaklık ortalamalarındaki artış ve iklimdeki dalgalanma, sera gazının potansiyel sonuçları olarak kabul edilmektedir. İklim istikrarsızlığı ve sera gazı üretiminin olumsuz etkileri, hükümetleri fosil yakıtlardan yenilenebilir kaynaklara geçiş konusunda bir vizyon geliştirmeye sevk etmiştir (Mediavilla, 2013). Paris Anlaşması (Davenport, 2015) ve Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 7 (SDG7) (UN, 2023), ülkeleri yenilenebilir enerji kullanmaya teşvik etmek için tasarlanmış uluslararası anlaşmalardır. Bu bağlamda, enerji güvenliği ve sürdürülebilirliği ile ilgili son dönemde yapılan akademik ve endüstriyel çalışmalara bakıldığında yenilenebilir enerji araştırmaları ön plana çıkmıştır (Kim vd., 2018). Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş, rüzgâr, biyokütle, hidroelektrik ve jeotermal enerji gösterilmektedir (Takan ve Kandemir, 2020). Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından farklı olarak biyokütle doğrudan yakma yoluyla enerji üretebilen (Stevenson ve Hojati, 2007) veya çeşitli biyoyakıt formlarına dönüştürülerek dolaylı olarak enerji üretebilen tamamen yenilenebilir bir kaynaktır (Bomani vd., 2009). Biyokütle enerjisi düşük karbon salınımı ve çevre dostu özelliği ile yükselen enerji talebini karşılamak üzere iyi bir alternatif enerji kaynağı olarak göze çarpmaktadır. Tarım ve orman ürünleri, hayvan gübreleri, evsel ve endüstriyel organik atıklar biyokütle santralleri için kullanılan ham maddeler olarak öne çıkmaktadır (Kapluhan, 2014). Biyokütle kaynaklarının havasız bir ortamda çeşitli bakteri grupları tarafından parçalanması (oksijensiz çürüme) sonucu havadan hafif, rensiz, kokusuz, büyük miktarda metan ve karbondioksit ihtiva eden ve biyogaz olarak adlandırılan yanıcı gaz ortaya çıkmaktadır (Kılıç, 2007).

Coğrafi olarak oldukça dağınık yayılmış bir enerji türü olan biyogaz, aynı zamanda bazı yakıt ve kimyasalların üretimi için de kullanılmaktadır. Üretilen yakıtların ve kimyasalların toplam üretim maliyetlerinin önemli bir bölümünü (%33-50) ham maddelerin nakliye maliyeti oluşturmaktadır (Kumar vd., 2006). Bu açıdan bakıldığında, ekonomik olarak sürdürülebilir bir biyogaz tesisi kurmak için kaynakların biyogaz tesislerine nakliye maliyetlerinin düşük tutulması ve tedarik zinciri devamlılığının sağlanması işletme maliyetlerini düşürmekte ve işlem süreçlerinde sürekliliği sağlamaktadır (de Jong, 2017). Buna örnek olarak, Şangay'da yapılan çalışmada, atık geri dönüşüm tesisleri için en uygun yer seçimi belirlendiği esnada atıkların tesise taşınması için konum tahsis analizleri kullanmanın servis maliyetlerini azalttığı belirtilmiştir (Wang vd., 2021).

1.1 Literatür Özeti

Biyogaz sistemleri tesis kurulumları ile ilgili CBS tabanlı analizler yardımı ile yapılan çalışmalar incelendiğinde ağ analizleri yöntemi kullanılarak farklı kaynak türlerinin (tarımsal, hayvansal, endüstriyel vb.) coğrafi olarak dağılımlarını incelenmiş ve en uygun yer seçimi belirleme çalışmaları yapılmıştır.

Tarımsal üretim kaynaklı çalışmalara bakıldığında, Perpina vd. (2009), Valencia'da yaptığı çalışmada tarımsal atıklar ve orman kalıntılarından oluşan kaynaklar ile kurulması planlanan biyogaz tesisi için zaman, mesafe ve nakliye maliyetleri parametreleri ile sınırlandırılmak üzere ağ analizi metodunu kullanarak en uygun yer seçimi çalışması yapmıştır. Benzer bir çalışmada, Kurka vd. (2012), İskoçya'da orta ölçekli, yerel kullanıma uygun ısı ve enerji üreten birleşik bir biyogaz tesisi kurulumu için hem nakliye kaynaklı düşük CO₂ salınımı hem de düşük nakliye bedelleri açısından optimum yer seçimi için konum tahsis analizini yaparak CBS tabanlı uygulamaların yer seçiminde lojistik bedellerini düşürme adına faydalı bir metot olduğunu göstermiştir. Valenti vd. (2023) tarımsal endüstri zincirini güçlendirerek atıkların endüstriye kazanç olarak geri dönmesi hedefiyle domates atıklarından biyogaz üretebilme adına CBS tabanlı analiz yöntemi ile İtalya'nın Sicilya bölgesinde en uygun yer seçimi çalışması yapmıştır. Nakliye rotalarının belirlenmesi adına Open Street Map veri tabanı kullanılarak 50 km uzunluğunda bir tampon bölge içerisinde var olan kaynak noktalar belirlenerek, en düşük nakliye maliyetleri amaçlanarak yapılan analizde biyogaz tesisi için uygun aday noktalar bulunmuştur. Ferrari vd. (2022) tarafından Kuzey İtalya'da yapılan bir diğer çalışmada, konum tahsis analizi yöntemi kullanılarak geliştirilen senaryolar üzerinden yol ağı, yol geometrisi, kaynak-hedef (Origin-Destination) matrisi tanımlanarak alternatif nakliye çözümleri geliştirilerek 246,8·10⁶ Nm³ - 503,6·10⁶ Nm³ arası biyogaz üretimi gerçekleştirilerek ekonomiye katkı sağlayacağı belirtilmiştir.

Tarımsal atıkların yanında hayvan kökenli ve endüstriyel atıkların dâhil olduğu çalışmalara bakıldığında, Höhn vd. (2014) tarafından Finlandiya'nın Turku, Salo ve Kymenlaakso bölgelerinde yapılan, geri dönüştürülebilir bitkisel, hayvansal ve tarımsal atıklar ile endüstriyel yan ürünlerin kaynaklar olarak değerlendirildiği çalışmada potansiyel aday noktaları bulabilmek adına ArcGIS Servis Alanı analizi yapılmıştır. Kaynak noktaları ve aday noktalar arası mesafeler ve taşıta özgü kilometre başına nakliye maliyetleri hesaplanarak planlanan tesis için en uygun yer seçimi önerileri verilmiştir. Buna ek olarak, East Midland – İngiltere'de bir biyogaz tesisi kurmak için 3 farklı kaynağın (ev yemek atıkları, hayvansal atıklar ve saman) kaynak noktalarının p-medyan modeli ile mekânsal dağılımı ve bu dağılımın sınırlarının belirlenmesi için konum tahsis analiz modeli kullanıldığı görülmektedir (Comber vd., 2015).

Son dönemde gelişen teknolojik gelişmelere paralel olarak makine öğrenmesi yöntemini kullanan bir çalışmada bulunmaktadır. Bu çalışmada, Sahoo vd. (2018) tarafından Ohio'da saman ve mısır koçanlarının kaynak olarak kullanıldığı biyogaz tesisi için ArcGIS üzerinden konum tahsis analizi yapılarak potansiyel aday noktalar belirlenmiştir. Çalışmada yapay sinir ağları üzerinden toprak erozyonu, toprak durum endeksi ve organik madde faktörü gibi parametreler kullanılarak kaynağın sürekliliği ile ilgili tahminleme çalışması yapılmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

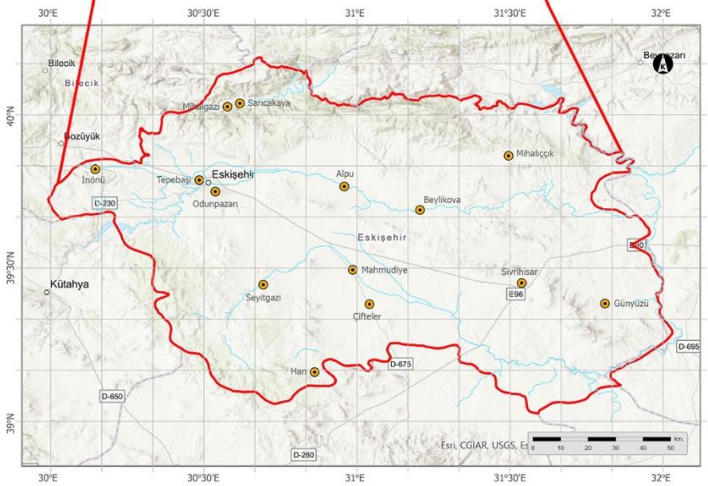
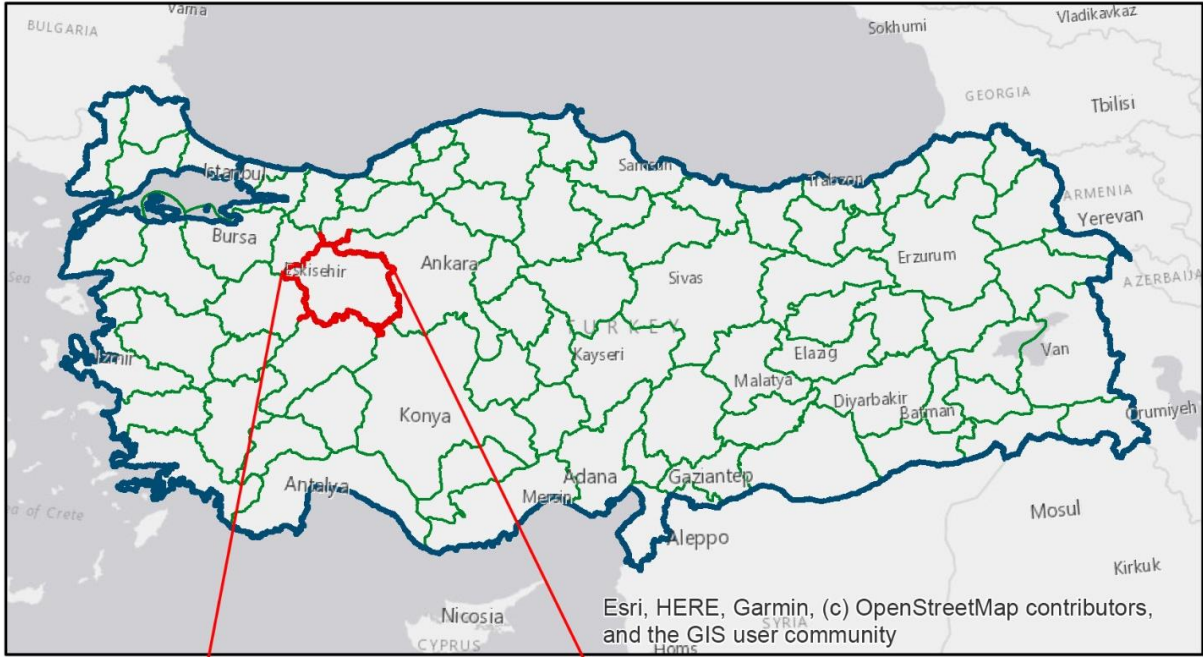
Türkiye genelinde tarım, hayvancılık ve endüstri kökenli atıklar ülke coğrafyası içerisinde geniş bir alana yayılmış durumdadır. Bu atıkların minimum maliyetle toplanması ve tesise ulaştırılması için uygun çözümler geliştirilmelidir. Ülkemizde yenilenebilir enerji alanında CBS kaynaklı uygulamaların kullanıldığı çalışma sayısı kısıtlıdır. Bu çalışmanın amacı, son yıllarda artan enerji gereksinimini karşılamak ve fosil yakıt bağımlılığını azaltmak suretiyle odaklanılan yenilenebilir enerji çözümlerinden birisi olan biyogaz için tesis kurulum süreçlerinde en uygun yer seçimi için CBS tabanlı analizlerden faydalanılmasının öneminin gösterilmesidir.

Geniş düz arazileri ve sulama kaynakları ile tarım ve hayvancılık faaliyetlerine uygun olmasının yanında, ilçe merkezlerinin mahallelere yakınlığı sebebiyle Eskişehir ili bu çalışma için pilot bölge seçilmiştir. Çalışmamız, dağınık bir coğrafyada bulunan hayvan kökenli atıkların CBS tabanlı konum tahsis analizi kullanılarak kaynak ağırlıkları esasına göre alternatif biyogaz tesis yerleri önererek en uygun yer seçimi yapması sebebiyle ülkemizde yapılan diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Buna ek olarak, bu çalışmanın sürdürülebilir ve dengeli enerji politikalarına katkı sunacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda, Eskişehir ili ve ilçelerindeki büyükbaş ve küçükbaş hayvanların oluşturduğu yıllık organik atık miktarları üzerinden yapılan değerlendirme sonucu ağ analizleri yardımı ile pilot bir biyogaz tesisi için hazırlanan senaryoya göre en uygun yer belirlenmesine çalışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma Alanı

Eskişehir il sınırlarının kapsadığı alan Şekil 1'de gösterildiği gibi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Eskişehir, İç Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Sakarya Bölümü'nde yer alan bir ilimizdir. Eskişehir kent merkezi ve ilçe nüfusları dâhil edildiğinde, toplam nüfusu 888.828 kişidir. Yüzölçümü ise 13.960 km²'dir. Toplamda 14 ilçe sınırı içerisinde 535 mahalle bulunmaktadır (Kaynarca vd., 2021).



Lejant

- Ülke Sınırı
- İl Sınırı

Şekil 1. Çalışma alanı - Eskişehir

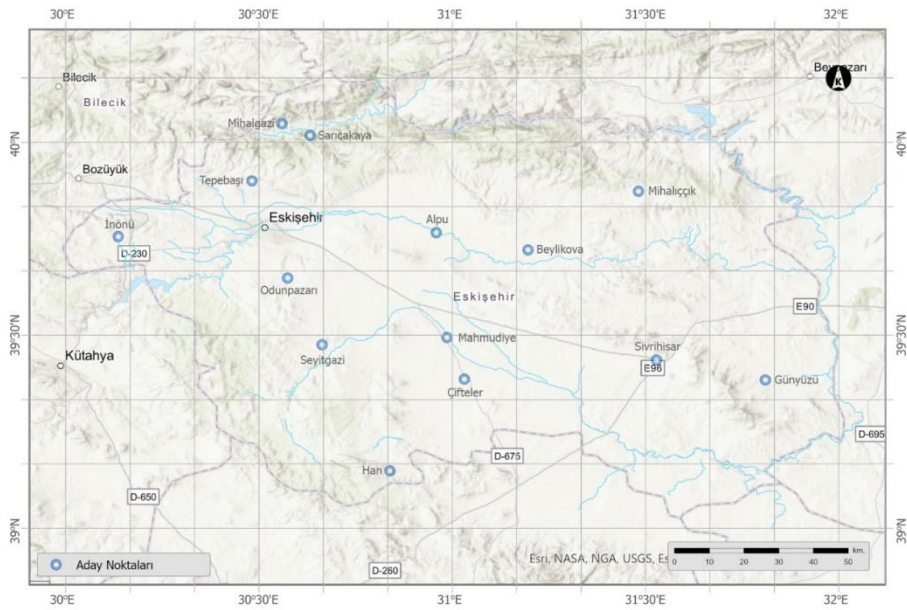
2.2 Materyal

Çalışma kapsamında Eskişehir ilinde kurulması planlanan biyogaz tesisi için ilçelerin potansiyellerini öğrenebilmek adına 2021 yılına ait büyükbaş ve küçükbaş hayvan verisi Tarım Orman İl Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında ilçeler bazında büyükbaş ve küçükbaş hayvanların ürettiği gübre miktarlarına bakılarak yıllık toplam potansiyel enerji üretim bilgisi hesaplanmıştır. Hesaplamalara büyükbaş hayvan türleri için sığır ve manda, küçükbaş hayvan türleri için de koyun ve keçi dâhil edilmiştir. Kaynarca vd. (2021)'e göre büyükbaş hayvanların yıllık ürettiği birim metan miktarı $406,7 \text{ m}^3\text{-CH}_4/\text{yıl}$ olarak hesaplanırken, küçükbaş hayvanların ürettiği birim metan miktarı $6,57 \text{ m}^3\text{-CH}_4/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Çalışma içerisinde hesaplanan değerler üzerinden ilçelere ve mahallelere göre ağırlıklı dağılım yapılarak Tablo 1 içerisinde gösterilmiştir.

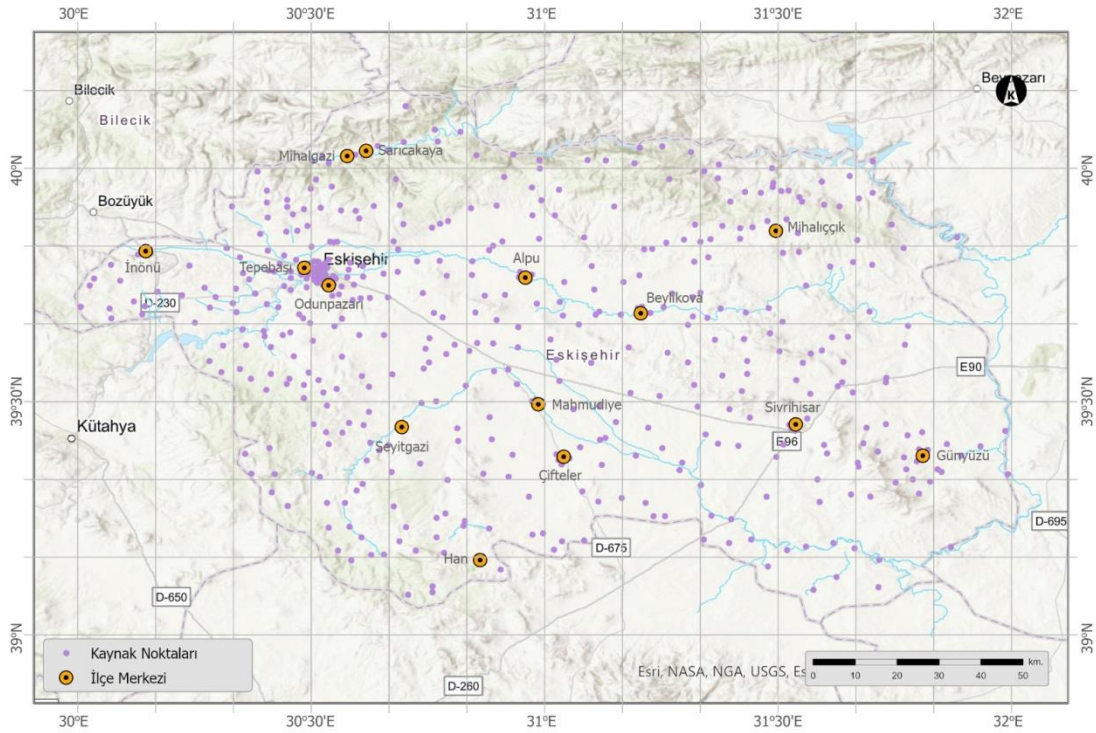
Tablo 1. 2021 yılı verilerine göre kaynakların dağılımı

Kaynak Noktaları - 2021					
Numara	İlçeler	Mahalle Sayısı	Büyükbaş	Küçükbaş	Toplam Enerji Potansiyeli (Yıllık Metan - m ³)
1	ALPU	33	27.506	92.599	11.794.855
2	BEYLİKOVA	25	7.961	58.208	3.627.899
3	ÇİFTELER	28	5.838	113.700	3.121.320
4	GÜNYÜZÜ	22	1.748	55.466	1.075.703
5	HAN	15	1.437	16.425	692.341
6	İNÖNÜ	16	4.554	33.096	2.069.389
7	MAHMUDIYE	19	11.540	46.451	4.997.961
8	MİHALGAZİ	9	828	3.139	357.366
9	MİHALIÇCIK	53	8.983	114.499	4.405.827
10	ODUNPAZARI	85	34.750	76.950	14.637.520
11	SARICAKAYA	14	2.451	11.162	1.069.750
12	SEYİTGAZİ	51	13.991	92.220	6.295.321
13	SİVRİHİSAR	78	12.434	401.416	7.693.855
14	TEPEBAŞI	91	38.507	157.470	16.695.208

Potansiyel kaynak noktalarının sayısal olarak belirlenmesinin ardından, ağ analizlerini yapabilmek adına gerekli haritalar Google Haritalarım yardımı ile oluşturulmuştur. Endüstriyel tesis kurulumu için yer seçimi aşamalarında sosyal, ekonomik ve çevresel faktörler dikkate alınmaktadır. Bu faktörler işletmenin türüne ve işletmenin hedeflerine göre değişiklik gösterebilmektedir (Çetin, 1994). Pazarlama, ham madde, kamu kurum ve kuruluşlarına olan uzaklık, elektrik ve su ihtiyacı, çevre kirliliği, oluşabilecek kazalar ve rakip tesisler ile olan mesafeleri dikkate alınarak planlama yapılabilmektedir (Somer, 1979; Müftüoğlu, 1989; Dilworth, 1992;). Biyogaz tesisleri ile ilgili yapılan önceki teorik çalışmalar dikkatle incelendiğinde bu alanda yer seçimi için faktörler ile ilgili detay ortaya koymamakla beraber diğer endüstriyel tesis uygulamaları değerlendirilerek teorik bir modelleme yapmak suretiyle ihtiyaç noktaları ve rakip tesisler bilgisi analize dâhil edilmiştir. Oluşturulan haritalar sırasıyla aday noktalar, kaynak noktaları, ihtiyaç noktaları (itfaiye, hastane, atık yönetimi) ve rakip tesis noktalarından oluşmaktadır. Her bir ilçe merkezi potansiyel aday noktası olarak düşünüldüğü için 14 aday noktası Şekil 2’de gösterilmektedir.

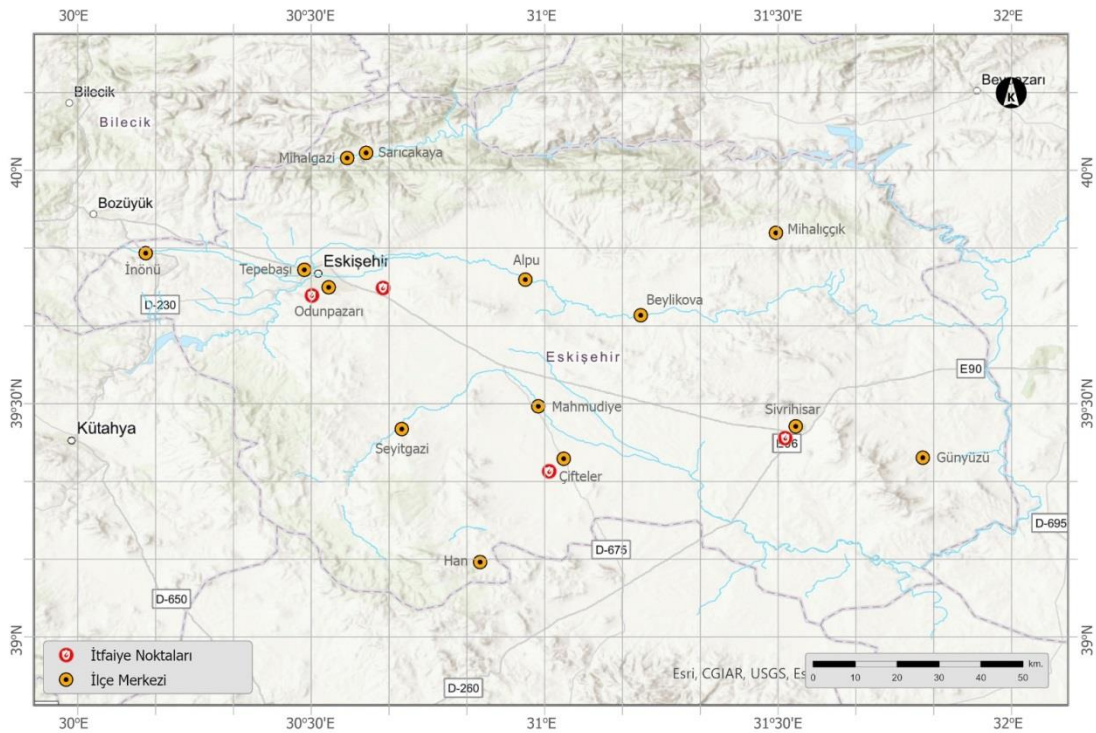
**Şekil 2.** Aday noktalar

Kaynak noktaları mahalle merkezleri dikkate alınarak belirlenmiştir. 535 mahalle merkezi – kaynak noktaları olarak Şekil 3’de sunulmaktadır.



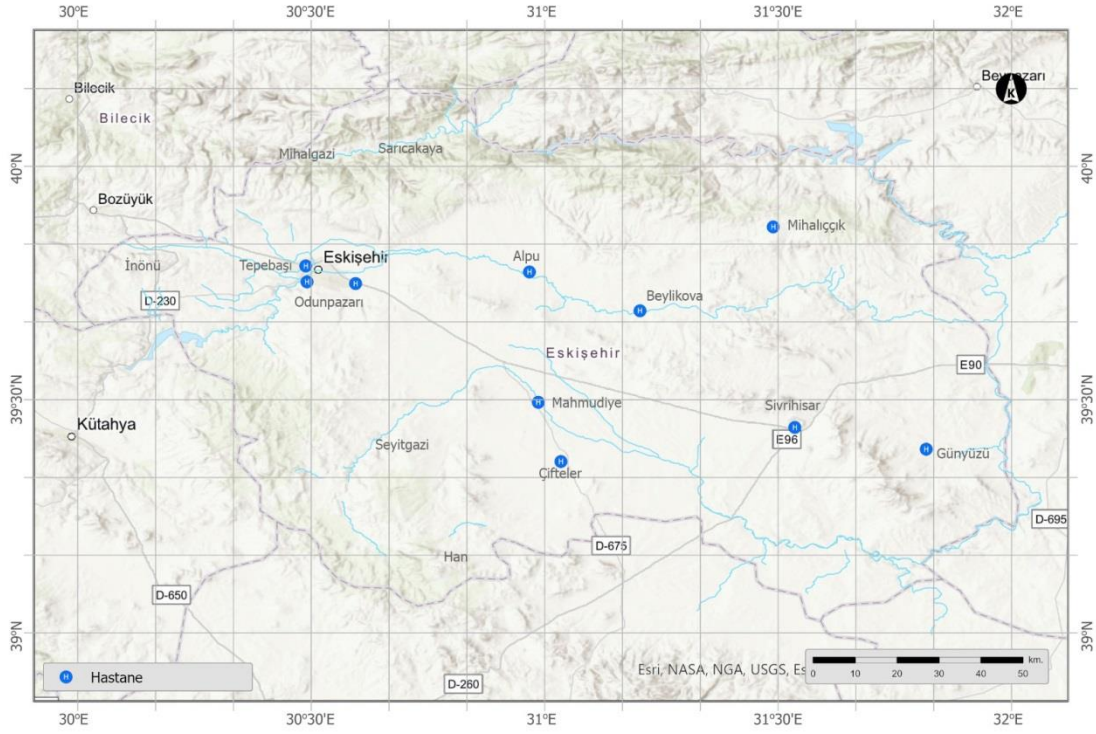
Şekil 3. Kaynak noktaları

İl ve ilçeler genelinde 4 adet itfaiye istasyonu Şekil 4’de gösterilmektedir.



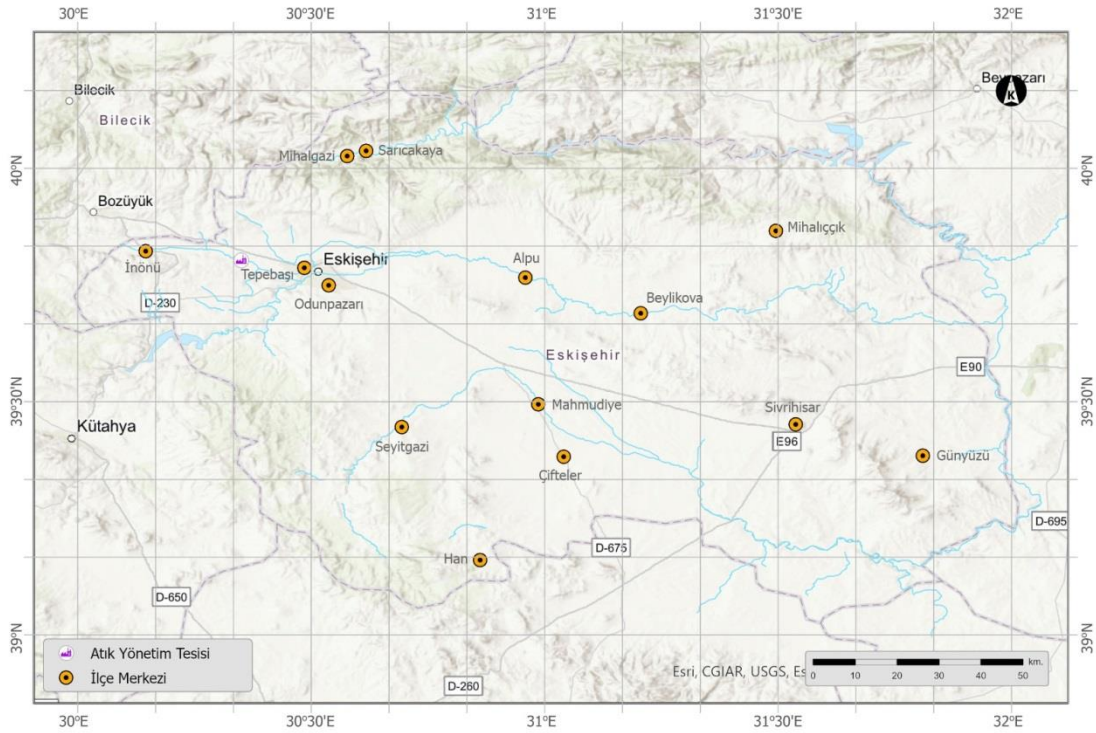
Şekil 4. İtfaiye noktaları

Olası bir iş kazası ve acil yardım gerekliliği olması durumunda il ve ilçeler genelindeki devlet hastaneleri dikkate alınarak 10 hastane seçilmiştir (Şekil 5).



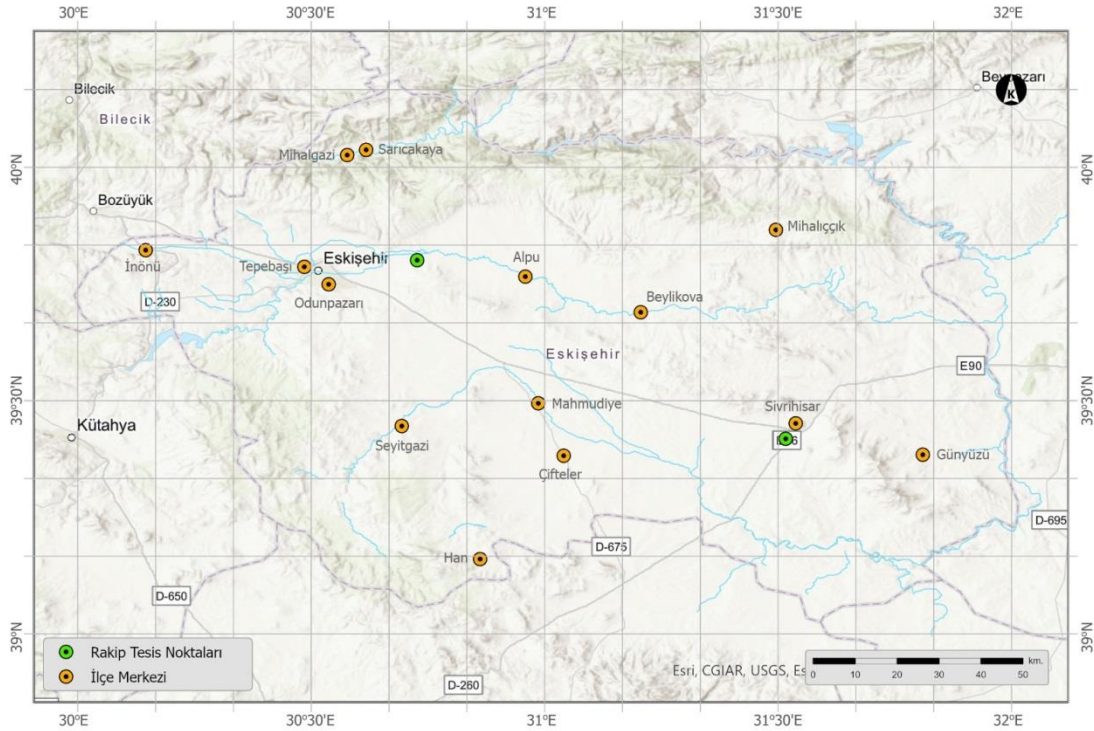
Şekil 5. Hastane noktaları

Atık yönetimi ve bertaraf ihtiyacı olması durumunda, ihtiyacı karşılayabilecek tek bir tesis bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Atık yönetim tesisi

Odunpazarı (Çavlum) ve Sivrihisar'da iki adet alternatif biyogaz tesisi bulunmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Rakip tesis noktaları

2.3 Yöntem

Bu çalışmada, konum tahsis analizi kullanılarak Eskişehir ilinde kurulması planlanan biyogaz tesisi için analiz yapılmıştır. Konum tahsis analizi, tesis noktaları ile kaynak noktaları arasındaki ilişkinin kurulmasını hedeflemektedir. Bu ilişkilerin kurulması genel olarak n sayıda uygun konumun, potansiyel kaynak noktaları ile kümelenmesi esasına dayalı olarak geliştirilmektedir. Konum tahsis analizi algoritmaları, mevcut tesis sayısı, maliyetleri ve tesisten bir kaynak noktasına maksimum empedans gibi faktörleri dikkate alarak kaynak noktalarını bir veya daha fazla tesise atayabilir (Scaparra vd., 2001). Konum tahsis analizlerinde kabul gören metod kaynak ağırlıklı mesafedir. p-medyan olarak da bilinen bu yöntemde kaynak ve tesis arasındaki mesafenin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Bunun yanında, Katılımı En Üst Düzeye Çıkarma, Pazar Payını En Üst Düzeye Çıkarma ve Hedef Pazar Payı gibi çeşitli algoritmalara ek olarak var olan problemi belli mesafe sınırları içerisinde çözmek isteyen Maksimum Yer Kaplama (maximal covering location) ve tesis sayısını sınırlayarak kaynak kapsamını optimum olarak dağıtmayı hedefleyen Konum Seti Kapsamı (location set coverage) bulunmaktadır (Comber vd., 2015).

Kurulması planlanan biyogaz tesisi için en uygun yer seçimi çalışmasında konum tahsis analizini oluşturabilmek adına, Google Haritalarım üzerinden hazırlanan haritalar KML formatında dışa aktarılarak ArcGIS Pro'ya yüklenmiştir. ArcGIS Pro üzerinden ağ analizleri çalışması yapmadan önce Aday Noktalar – Facilities, İtfaiye, Hastane, Atık Yönetimi – Required, Rakip Tesis- Competitor ve Kaynak Noktaları – Demand Points olacak şekilde katmanlar oluşturulmuştur. Network Data Seti ArcGIS Pro üzerinden eklenmiştir. Yol ağlarını tanımlamak için Dünya Trafik Seti üzerinden sadece Avrupa seçeneği açık olacak şekilde düzenlenmiştir. Anlık trafik verisi kullanmak için de ağ veri seti uzantısı da aktif hale getirilmiştir. Analiz için eklenen verilerden poligon olarak verilen mahalle verileri nokta şekline dönüştürülmüş ve noktalar mahalle merkezlerini simgelemiştir. Yapılan analizde, kaynak noktaları ve tesisler üzerindeki trafik durumu en yoğun trafik senaryosuna göre planlandığı için analiz yapılan süre trafiğin en yoğun olduğu hafta içi 17.00-18.00 arası olarak seçilmiştir. Valenti vd. (2023)'e göre tampon bölge seçilerek kaynak noktaları ve tesis arası mesafe en fazla 50 km olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Empedans değeri doğrusal (lineer) olarak seçildiği için maliyet değeri 1 olarak kabul edilerek maliyet değerlerinin etkisi analize dahil edilmemiştir. Kaynak tesis arası nakliye süresi (cut-off) 30 dakika ile sınırlandırılmıştır.

Biyogaz tesisinin kurulum ve işletilmesi sürecinde yapılan maliyet analizlerine bakıldığında, tesiste kullanılacak ham maddenin kaynak noktalarından tesise ulaştırılmasının genel giderler içerisinde yüksek maliyet oranına sahip olduğu görülmektedir. Tesis kapasitesi, üretim ihtiyacını tam olarak karşılamak, yüksek verim sağlamak ve süreklilik hedefleri

doğrultusunda var olan kaynakları tedarik zinciri içerisinde tesise ulaşmasını hedeflemektedir. Bu çalışmada, kaynak ağırlıklarına göre hesaplama yapıldığı ve bu senaryo içerisinde rakip tesisler bulunduğu için En Yüksek Pazar Payı (maximize market share) analizi seçilmiştir. En yüksek pazar payının en düşük transfer maliyetleri ile oluşturulmasını sağlayacak yönde analizler yapılmıştır. Analizler yapılmadan önce var olan kaynak noktaları ağırlıklarına göre sınıflandırılmış ve aynı alanda faaliyet göstererek aynı kaynak noktalarını hedefleyen rakip tesislerin bulunması sebebiyle bu analiz yöntemi tercih edilmiştir. Analizler sırasında, kaynağın tesise ulaşması için transfer maliyetlerini düşük tutmak ve transfer esnasında çevre koşulları göz önünde bulundurularak karbon salınımını minimuma indirmek için kaynak- tesis ya da tesis- kaynak arası transfer zamanı minimum olacak olacak şekilde belirlenmiştir.

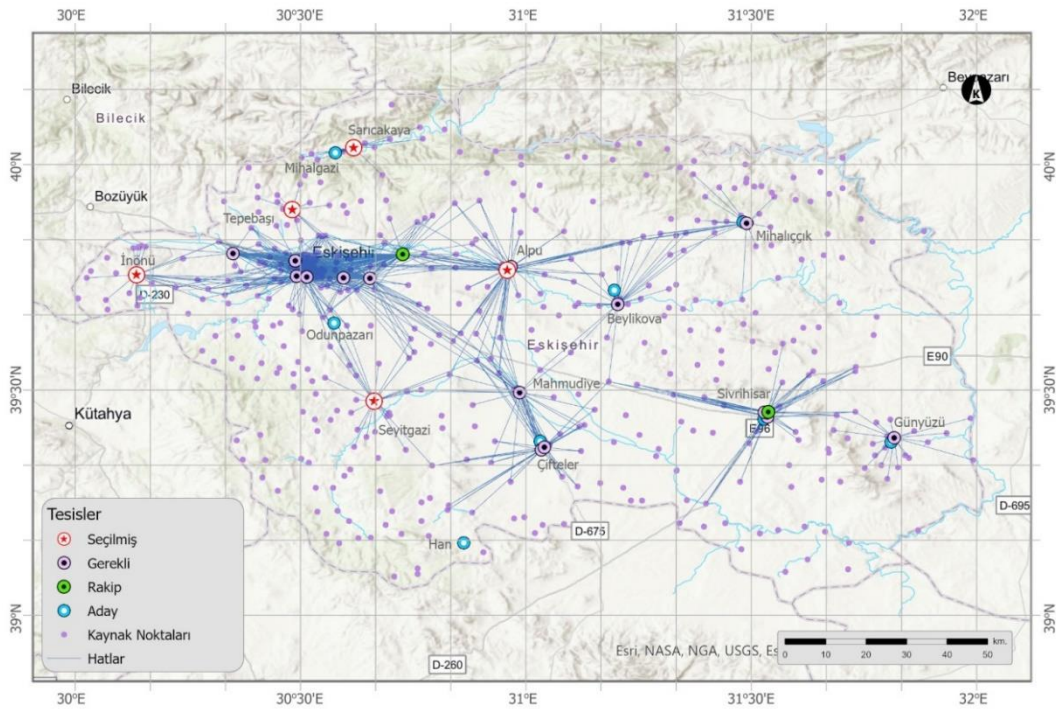
3. Bulgular

Eskişehir il sınırları içerisinde hayvan kökenli kaynaklardan elde edilecek organik atıklar ile kurulması planlanan biyogaz tesisi için ağ analizi çalışması yapılmıştır. Analiz sonucuna göre 5 farklı konum, kaynak ağırlıklarının büyüklüklerine göre sıralanmıştır. Konum tahsis analizi sonuçları öz nitelik tablosu üzerinden değerlendirildiğinde ortaya çıkan değerlerin 1 ve üzerinde olanları kaynak noktalarının aday noktaya hizmet verebilme ihtimalini göstermektedir. En çok kaynak noktasının ihtiyacına karşılık verebilecek aday noktalar, aday katmanı üzerinde öz nitelik tablosu Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kaynak noktalarının ağırlıklarına göre seçilmesi muhtemel aday noktaları

Nesne Numarası	Şekil	İsim	Tesis Tipi	Ağırlık	Kapasite	Kaynak Sayısı	Kaynak Ağırlığı
1	Nokta	Seyitgazi	Seçilmiş	1	Belirsiz	26	2333266,36
7	Nokta	Tepebaşı	Seçilmiş	1	Belirsiz	13	1748980,12
8	Nokta	Alpu	Seçilmiş	1	Belirsiz	41	3842603,34
11	Nokta	İnönü	Seçilmiş	1	Belirsiz	21	1793513,53
14	Nokta	Sarıcakaya	Seçilmiş	1	Belirsiz	20	1197884,60

Bu çalışmada Alpu ilçesi 41 farklı kaynak noktasının ortak olarak en uygun seçtiği yer olarak görülmektedir. Kaynak noktalarının oluşturduğu ağırlık üzerinden yapılan değerlendirmeye göre Alpu ilçesinden sonra Seyitgazi 26, İnönü 21, Sarıcakaya 20 ve Tepebaşı 13 kaynak noktasının ihtiyacına karşılık vermektedir. Kaynak noktalarından oluşturulan aday noktaları Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. Konum tahsis (Location - Allocation) Modeline Göre Ağ Analizi Sonuçları

Tablo 1 içerisinde gösterilen kaynak noktalarının ağırlıklı dağılımlarına göre değerlendirilmesi yapıldığında Tepebaşı, Odunpazarı ve Alpu ilçeleri büyükbaş ve küçükbaş hayvanların ürettiği atıklar sonucu toplam potansiyel enerji üretim dereceleri açısından tesis noktaları olma açısından en uygun yerler olarak görülmektedir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde birçok kaynak noktasının belirlenen tampon alanı dışında kaldığı görülmektedir. Tampon alan değiştirilerek yeni analizler yapılabilir. Alpu ilçesinin, iki büyük merkez ilçe olan Odunpazarı ve Tepebaşı ilçelerinin kaynak yoğunluğunu üzerine aldığı gözlemlenmiştir. Analiz sonucuna göre 535 mahallesi bulunan Eskişehir ili için 41 mahallenin ihtiyacının tek bir aday noktada toplandığı görülmüştür. Bu sonuca göre, biyogaz enerji tesislerinin yakın mesafelerdeki yerel enerji ihtiyacını karşılamak üzere uygun bir alternatif olduğunda söz edilebilir. Bu çalışma kapsamında yapılan analiz bulgularına göre Odunpazarı ve Sivrihisar'da var olan rakip biyogaz tesisleri, kaynak noktalarının değerlendirilmesi açısından limit oluşturmaktadır. Alpu ilçesi, Tepebaşı ilçesi ve mahallelerine yakınlığı ve var olan rakip tesisler ile aynı kaynak noktalarını paylaşmadığı için bu analiz sonucuna göre en uygun tesis noktası olarak ön plana çıkmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Enerji ihtiyacı, dünya nüfusunun artışı ve sanayideki üretim bolluğu sebebiyle sürekli yükselme eğilimi göstermektedir. Enerjiye olan talebin büyük bir kısmı uzun yıllardır fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Son yıllarda enerjide sürekliliği sağlamak ve sürdürülebilir temiz enerji politikaları oluşturmak adına başta Avrupa ülkeleri olmak üzere bütün dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarını teşvik eden projeler ön plana çıkmıştır. Bu kapsamda güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik ve biyogaz başlıca yenilenebilir enerji kaynakları olarak göze çarpmaktadır.

Biyogaz, tarım ve hayvan kaynaklı organik atıkların varlığında ısı ve elektrik enerjisi üretmek esasına dayalı, düşük kurulum maliyetleri olan bir yenilenebilir enerji türüdür. Bölgesel olarak Türkiye'de kurulması teşvik edilen birçok tesis bulunmaktadır. Tarım ve hayvancılığın yoğun olarak yapıldığı ve organik atıkların yüksek olması sebebiyle İç Anadolu Bölgesi biyogaz tesisleri kurulumu için uygun alt yapıya sahiptir.

Eskişehir, büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları bakımında şehrin ihtiyacı olan enerjinin belirli bir kısmını biyogaz tesisi üzerinden karşılayabilecek kapasiteye sahiptir. Bunun yanında, kurulması planlanan biyogaz üretim tesisinde üretilecek atık gübre tekrardan tarımda kullanılması amacıyla çiftçilere dağıtılıp gübre maliyetlerini azaltarak tarımı daha az maliyetli hale getirmektedir.

Biyogaz tesisleri kurulumu girdi maliyetlerine bakıldığında en yüksek oranda paylar kaynağın tesise taşınması ile ilgili nakliye maliyetleridir. Bu maliyetlerin azaltılması amacıyla CBS esasına dayalı geliştirilmiş uygulamalar sayesinde tesis için en uygun yer seçimi yapılabilmektedir. En uygun yer seçimi aşamasında olası riskler ve fırsatlar göz önünde bulundurularak hedeflenen pazar büyüklüğü, rakip tesis varlığı/yokluğu ve ihtiyaç noktaları gibi parametreler dikkate alınarak en uygun yer seçimi yapılabilmektedir. Bu kapsamda yapılan analizler sonucunda rakip tesislerin varlığı göz önünde bulundurulduğunda Eskişehir ili için Alpu ilçesine kurulacak biyogaz tesisi 41 farklı kaynak noktası açısından en uygun yer olarak tespit edilmiştir. Çalışmamız öncesinde ilgili yönetmelikler incelenerek tesislerin kurulumu sürecinde ihtiyaç duyulacak hâkim rüzgâr yönü, yerleşim yerlerine uzaklığı, zemin koşulları gibi kriterler incelenmiş ancak bu çalışma özelinde elde edilen veriler ve kullanılan analiz yöntemi bu faktörleri çalışmaya dâhil etmeye izin vermemiştir. Bu sebeple çalışma belirlenen senaryo kapsamında teorik olarak aday noktaların bulunması şeklinde sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada, kaynak tesis arası mesafenin minimuma indirgenmesi ve bu sayede en fazla kaynak noktasının ihtiyacını karşılayabilecek aday noktaların bulunması esasına göre ağ analizi çalışması yapılmıştır. Yapılan analizlerde en uygun yerler belirlenmiş olup elde edilen bulgulara ek olarak çevresel, ekonomik ve sosyal faktörler dikkate alınarak transfer sonucu oluşan karbon salınımı, seçilen konumun jeolojik ve coğrafi açıdan tesis kurmaya uygunluğu ve iş gücünün tesis ihtiyacını karşılaması gibi faktörlerde dâhil edilerek daha detaylı çalışmalar da yapılabilmektedir. Çalışmanın bulguları incelendiğinde, özel sektör ve kamu teşviki ile yapılacak biyogaz tesis yatırımları için CBS tabanlı uygulamalar sayesinde konum tahsis analizleri ile en uygun yer seçimi yapılabilmektedir.

Kaynaklar

- Bomani, B. M., Bulzan, D. L., Centeno-Gomez, D. I., & Hendricks, R. C. (2009). Biofuels as an alternative energy source for aviation-a survey (Report No: 215587). Washington, DC: NASA.
- Comber, A., Dickie, J., Jarvis, C., Phillips, M., & Tansey, K. (2015). Locating bioenergy facilities using a modified GIS-based location-allocation-algorithm: Considering the spatial distribution of resource supply. *Applied Energy*, 154, 309-316.
- Çetin, N. (1994). *Endüstride fabrika yer seçimi* (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Davenport, (2015, Aralık 12). *Nations Approve Landmark Climate Accord in Paris*. Retrieved from <https://www.nytimes.com/2015/12/13/world/europe/climate-changeaccord-paris.html>.
- de Jong, S., Hoefnagels, R., Wetterlund, E., Pettersson, K., Faaij, A., & Junginger, M. (2017). Cost optimization of biofuel production—The impact of scale, integration, transport and supply chain configurations. *Applied Energy*, 195, 1055-1070.
- Dilworth, J. (1992). *Operation Management, Design Planning and Control for Manufacturing and Service*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Ferrari, G., Marinello, F., Lemmer, A., Ranzato, C., & Pezzuolo, A. (2022). Network analysis for optimal biomethane plant location through a multidisciplinary approach. *Journal of Cleaner Production*, 378, 134484. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134484.
- Höhn, J., Lehtonen, E., Rasi, S., & Rintala, J. (2014). A Geographical Information System (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in southern Finland. *Applied Energy*, 113, 1-10.
- IEA (2023, Şubat 15). *World Energy Balances 2016*. International Energy Agency. Retrieved from <https://webstore.iea.org/world-energy-balances-2018>.
- Kaynarca, H., Kılıç, T., Açıklık, E., & Kandemir, S. Y. (2021). Eskişehir'in Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Coğrafya Dergisi*, 42, 271-282.
- Kapluhan, E. (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: biyokütle enerjisinin dünyadaki ve Türkiye'deki kullanım durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30, 97-125.
- Kılıç, F. Ç. (2007). Biyogaz, önemi, genel durumu ve Türkiye'deki yeri. *Renewable Energy World*, 8(6), 94-106.
- Kim, S., Kim, S., & Kiniry, J. R. (2018). Two-phase simulation-based location-allocation optimization of biomass storage distribution. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 86, 155-168.
- Kumar, A., Sokhansanj, S., & Flynn, P. C. (2006). Development of a multicriteria assessment model for ranking biomass feedstock collection and transportation systems. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 129(1), 71-87.
- Kurka, T., Jefferies, C., & Blackwood, D. (2012). GIS-based location suitability of decentralized, medium scale bioenergy developments to estimate transport CO2 emissions and costs. *Biomass and Bioenergy*, 46, 366-379.
- Mediavilla, M., de Castro, C., Capellán, I., Miguel, L. J., Arto, I., & Frechoso, F. (2013). The transition towards renewable energies: Physical limits and temporal conditions. *Energy Policy*, 52, 297-311.
- Müftüoğlu, T. (1989). *Yatırım projelerinin değerlendirilmesi* (Rapor No: 283). Ankara: Makina Mühendisleri Odası.
- Perpina, C., Alfonso, D., Pérez-Navarro, A., Penalvo, E., Vargas, C. & Cárdenas, R. (2009). Methodology based on Geographic Information Systems for biomass logistics and transport optimisation. *Renewable Energy*, 34(3), 555-565.
- Sahoo, K., Mani, S., Das, L., & Bettinger, P. (2018). GIS-based assessment of sustainable crop residues for optimal siting of biogas plants. *Biomass and Bioenergy*, 110, 63-74.
- Scaparra, P. M., & Scutella, M. G. (2001). *Facilities, Locations, Customers: Building Blocks of Location Models. A Survey*, (Technical Report TR-01-18). Pisa, Italy: Università degli Studi di Pisa.
- Somer, T. G., (1979). *Fabrika kuruluşunda yer seçimi* (Rapor No: 14). Ankara: Makina Mühendisleri Odası.
- Stevenson, W. J. & Hojati, M. (2007). *Operations management*. Boston: McGraw-Hill Irwin.
- Takan, M. A. V., & Kandemir, S. Y. (2021). Türkiye'deki Jeotermal Enerjinin Birincil Enerji Arzı Yönünden Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 381-385.
- UN. (2023, Mart 5). *Global Sustainable Development Report 2019: Future Is Now - Science for Achieving Sustainable Development*. United Nations (UN). Retrieved from https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/24797GSDR_report_2019.pdf.
- Valenti, F., Parlato, M. C., Pecorino, B., & Selvaggi, R. (2023). Enhancement of sustainable bioenergy production by valorising tomato residues: A GIS-based model. *Science of The Total Environment*, 869, 161766. doi: 10.1016/j.biombioe.2015.10.015.
- Wang, Z., Duan, Y., & Huo, J. (2021). Maximal covering location problem of smart recycling infrastructure for recyclable waste in an uncertain environment. *Waste Management & Research*, 39(2), 396-404.

Çekirdek Tabanlı Aşırı Öğrenme Makinesi ile Hiperspektral Görüntü Sınıflandırma

Kernel Extreme Learning Machine for Hyperspectral Image Classification

Mustafa Üstüner^{1*} 

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Mustafa Üstüner
mustuner@artvin.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1237772

Yayın süreci

Geliş tarihi: 17.01.2023
Kabul tarihi: 04.05.2023
Basım tarihi: 28.09.2023

Özet

Hiperspektral görüntüler, zengin spektral bilgi içerdiklerinden dolayı uzaktan algılama başta olmak üzere birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Yüksek spektral boyutu ve karmaşık yapılarından dolayı, hiperspektral görüntülerin sınıflandırılmasında bazı sıkıntılar yaşanmaktadır ve bu nedenle sınıflandırma işlemlerinde ileri düzey algoritmalar (topluluk öğrenme algoritmaları, çekirdek tabanlı yöntemler vb.) tercih edilmektedir. Bu çalışma kapsamında, çekirdek tabanlı aşırı öğrenme makinesinin (ÇAÖM) hiperspektral görüntü sınıflandırmadaki kabiliyeti araştırılmış ve sınıflandırma performansı, iki farklı makine öğrenme algoritması (destek vektör makineleri ve rastgele orman) ile karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında "Indian Pines" hiperspektral veri seti kullanılmıştır ve çalışma alanında 16 adet arazi örtüsü sınıfı bulunmaktadır. Boyut indirgeme amacıyla veriye temel bileşenler analizi yöntemi uygulanmıştır. Sınıflandırma işlemi hem orijinal hiperspektral verisine hem de temel bileşenler analizi ile boyutu indirgenmiş veriye uygulanmıştır. Boyut indirgeme işlemi sonucunda ilk 40 temel bileşen bant olarak seçilmiştir. En yüksek sınıflandırma doğrulukları hem orijinal veri seti için (%91,64) hem de boyutu indirgenmiş veri seti için (%83,45) DVM yöntemi ile elde edilmiştir. Ayrıca, orijinal veri setinin sınıflandırılması ile elde edilen doğrulukların boyutu indirgenmiş verinin sınıflandırması ile elde edilen doğruluklardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Uzaktan algılama, Aşırı öğrenme makinesi, Hiperspektral

Abstract

Hyperspectral images have been actively used in many real-life applications, primarily in remote sensing, since it provides detailed and rich spectral information. There are several challenges in hyperspectral image classification because of the high spectral dimension and the complex structure and hence the advanced classification algorithms (ensemble learning and kernel-based methods) are usually preferred. In this study, the ability of kernel extreme learning machine for the classification of hyperspectral image was investigated and the classification performance was compared with two machine learning algorithms (support vector machines and random forest). "Indian Pines" hyperspectral dataset was used in this experimental study and there are 16 land cover classes in the study area. The principal component analysis was used for the dimensionality reduction and first 40 principal components were selected. The classification was performed for both original dataset and dimensionality reduction applied data. Highest classification accuracies were achieved by support vector machines with overall accuracies of 91,64% and 83,45% for the original dataset and dimensionality reduction applied data, respectively. Furthermore, the original data achieved higher performance with respect to dimensionality reduction applied data in terms of overall accuracy for all methods.

Keywords: Remote sensing, Extreme learning machine, Hyperspectral

1. Giriş

Hava araçları ve uydu tabanlı hiperspektral görüntüleme teknolojisi (görüntüleme spektrometreleri) özellikle son yıllarda hızlı bir şekilde gelişmekte ve yüksek spektral, mekânsal ve zamansal çözünürlükte görüntüler sunmaktadır. Hiperspektral görüntülerdeki artan veri hacmi, yer gerçekliği verisinin kısıtlı olması, karışık pikseller ve farklı geometrik bozulmalardan dolayı verinin işlenmesinde çeşitli sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu tarz zorlukların üstesinden gelebilmek ve optimum çözümler sunabilmek amacıyla özellikle sinyal işleme ve örüntü tanıma alanlarında ileri düzey yöntem ve algoritmalar kullanılmaya başlanmıştır (Plaza vd., 2006; Bilgin, 2009; Bioucas-Dias vd., 2013; Ghamisi vd., 2017a). Hiperspektral görüntülerden bilgi çıkarımındaki en önemli uygulamaların başında uydu görüntülerinin sınıflandırılması gelmektedir. Bu verilerin yüksek boyutlu olmaları ve aynı zamanda spektral anlamda fazlalık bilgileri bünyesinde barındırması, uzaktan algılamada kullanılan klasik makine öğrenme algoritmalarının performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Kontrollü sınıflandırma işleminde kullanılacak olan eğitim verisinin (yer gerçekliği verisinin) sınırlı sayıda olması ve hiperspektral görüntülerdeki yüksek boyutluluk, hiperspektral verilerin işlenmesinde “boyut belası–curse of dimensionality–” olarak adlandırılan problemin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu problemin çözümü için de temel olarak iki farklı yol izlenmektedir, bunlardan birincisi boyut indirgeme diğeri ise robust (gürbüz) sınıflandırma algoritmasının seçimidir (Melgani ve Bruzzone, 2004; Plaza vd., 2005; Bioucas-Dias vd., 2013).

Boyut indirgeme işlemlerinde, hiperspektral veri daha düşük boyutlu uzayda temsil edilerek, boyut belası olarak adlandırılan problemin etkisi en alt seviyeye düşürülmeye çalışılır. Hiperspektral görüntülerde boyut indirgeme işlemleri, özellik çıkarımı veya özellik seçimi yöntemleri ile yapılır. Bu iki farklı yaklaşım, sınıf bilgilerini (eğitim verisini) kullanma durumuna göre, kontrollü (denetimli) ya da kontrolsüz (denetimsiz) yöntemler olarak ikiye ayrılabilir. (Bilgin, 2009; Bioucas-Dias vd., 2013; Rasti vd., 2020). Uzaktan algılamada kullanılan kontrolsüz (denetimsiz) boyut indirgeme yöntemlerinin başında, temel (ana) bileşenler analizi (TBA) gelmektedir. Bu yöntem, veriyi daha düşük boyutlu uzayda temsil etmeyi (boyut azaltmayı) ve aynı zamanda bilgi kaybını en aza indireyecek şekilde dönüşüm yapmayı hedeflemektedir. Bu sayede, varyans değeri yüksek, birbiri ile korele olmayan ve bilgi kaybının az olduğu, düşük boyutlu veriler oluşturulmuş olur. Kontrollü sınıflandırma işlemindeki yüksek boyutluluk probleminin etkisi de bu sayede azaltılmış olur (Rodarmel ve Shan, 2002; Plaza vd., 2005; Mohan vd., 2007; Datta vd., 2022).

Uydu görüntülerin sınıflandırılması, uzaktan algılama alanındaki aktif araştırma konularından birisidir. Örüntü tanıma ve makine öğrenmesindeki son gelişmeler ile birlikte, özellikle hiperspektral verilerin sınıflandırılması işleminde yeni nesil ve ileri düzey sınıflandırma algoritmaları kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmiş algoritmalar, klasik makine öğrenme algoritmalarına kıyasla hem işlem gücü ve süresi hem de sınıflandırma başarımları açısından üstünlük sağlamaktadır. En sık kullanılan algoritmaların başında yapay sinir ağları, destek vektör makineleri (DVM) ve rastgele orman (RO) algoritmaları gelmektedir. Yapay sinir ağları yönteminde, ağı eğitilmesinde kullanılan parametrelerin (gizli katman sayısı, her bir gizli katmandaki nöron sayısı, öğrenme oranı vb.) optimizasyonu zahmetli ve zaman alan bir işlem adımı olduğundan DVM ve RO algoritmaları yöntemleri daha sık tercih edilmektedir. Özellikle, yüksek boyutlu verilerin sınıflandırılmasında az sayıda eğitim verisi (örneklem piksel verisi) ile yüksek başarımlar elde etmesi nedeniyle, DVM yöntemi geçmiş yıllarda sıklıkla tercih edilmiştir. Doğrusal olarak ayrılabilen iki sınıfın sınıflandırılması amacıyla geliştirilen DVM, kernel (çekirdek) fonksiyonları aracılığıyla çok sınıflı ve doğrusal olarak ayrılamayan verilerin sınıflandırılması için de başarıyla kullanılmaktadır. Girdi uzayında doğrusal olarak ayrılamayan çok sınıflı verinin, çekirdek fonksiyonları aracılığıyla yüksek boyutlu uzaya taşınarak doğrusal olarak ayrılabilmesi sağlanmaktadır (Foody ve Mathur, 2004; Bazi ve Melgani, 2006; Chen vd., 2014).

Çekirdek (kernel) tabanlı yöntemler, bir öğrenme modelindeki doğrusal olarak ayrılamayan girdi verileri orijinal uzayından çok boyutlu Hilbert uzayına taşıyarak, sınıfların birbirinden ayrılabilirliğini artırmaktadır. Hiperspektral verilerin sınıflandırılmasında kullanılan çekirdek tabanlı yöntemlerin başında DVM ve aşırı öğrenme makinesi (AÖM) yöntemleri gelmektedir (Camps-Valls vd., 2004; Camps-Valls ve Bruzzone, 2005; Pal vd., 2013; Ergül ve Bilgin, 2020). Uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında sıklıkla tercih edilen DVM yönteminde, yüksek sınıflandırma doğruluğu elde edebilmek için optimum (en uygun) parametrelerin (düzenleme ve çekirdek parametreleri) bulunması gerekmektedir ve bu işlem adımı da kullanılan çekirdeğin türü ve sınıf sayısı/karmaşıklığına bağlı olarak uzun sürmektedir. Destek vektör makinelerine kıyasla daha hızlı çalışan ve parametre optimizasyonu açısından da diğer yapay sinir ağları tabanlı yöntemlere nazaran önemli avantajlar sağlayan AÖM, son yıllarda hiperspektral verilerin sınıflandırılması işleminde sıklıkla tercih edilmiştir (Chen vd., 2014; Ergül ve Bilgin, 2020). AÖM yöntemi, giriş katmanları ağırlıklarını ve bias değerini rastsal olarak belirler ve çıkış ağırlıklarını ise tekrarlayan (iteratif) arama yerine çözümsel (analitik) yöntemlerle hesaplar. Gizli katman ağırlıklarının belirlenmesine ihtiyaç duymadığından, öğrenme (işlem) süreci de DVM ya da geri beslemeli yapay sinir ağlarına kıyasla daha hızlıdır. Orijinalinde lineer formda olan AÖM, çekirdek fonksiyonları (kernel fonksiyonları) aracılığı ile daha yüksek boyutlu uzaya transfer edilerek doğrusal olmayan (non-lineer) forma dönüştürülür ve bu yapı da çekirdek (kernel) tabanlı aşırı öğrenme makinesi (ÇAÖM) olarak adlandırılmaktadır (Pal vd., 2013; Chen vd., 2014; Samat vd., 2014; Ergül ve Bilgin, 2020).

Özellikle son birkaç yılda hiperspektral görüntü sınıflandırma alanında kullanılmaya başlanan AÖM yöntemi, basit öğrenme yapısı ve diğer yöntemlere nazaran hızlı olması nedeniyle sıklıkla tercih edilmekte ve başarılı sonuçlar vermektedir. Pal (2009) hem multispektral hem de hiperspektral verinin sınıflandırılmasında AÖM yöntemini kullanmış ve geri yayımlı yapay sinir ağları yöntemi ile karşılaştırmıştır. İki yöntemin birbirine yakın sonuçlar verdiği ve aradaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna varmıştır. Pal vd. (2013) multispektral ve hiperspektral görüntülerden oluşan farklı veri setlerinin sınıflandırılması amacıyla çekirdek (kernel) tabanlı AÖM yöntemini kullanmış ve diğer bir çekirdek tabanlı yöntem olan DVM ile sonuçları hem doğruluk hem işlem süreleri açısından karşılaştırmıştır. Bazi vd. (2014) ise çalışmalarında hiperspektral verilerin sınıflandırılmasında morfolojik profiller (özellikler) ve AÖM yönteminden faydalanmış ve AÖM yönteminin hiperspektral verileri sınıflandırma yeteneğini araştırmışlardır. Zhou vd. (2015) hiperspektral görüntülerin sınıflandırılmasında kompozit kernel tabanlı AÖM yöntemini kullanmış ve elde ettikleri sınıflandırma sonuçlarını AÖM, DVM ve kompozit kernel tabanlı DVM yöntemleri ile karşılaştırmıştır. Deneysel çalışmalarında, kompozit kernel tabanlı AÖM yönteminin diğer yöntemlerden daha yüksek doğruluk elde ettiği sonucuna varmışlardır. Ergul ve Bilgin (2017) ise hiperspektral görüntülerin melez çekirdek AÖM ile sınıflandırması yaklaşımını önermiş ve sınıflandırma başarımlarını orijinal AÖM ve diğer ÇAÖM yöntemleri ile karşılaştırmıştır. 2018 yılında Li vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, hiperspektral görüntülerin spektral-uzamsal sınıflandırılması amacıyla derin öğrenme tabanlı kernel AÖM yöntemi önerilmiş ve sonuçlar güncel yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin, karşılaştırma amacıyla kullanılan yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Ergul ve Bilgin (2020) başka bir çalışmalarında ise, hiperspektral görüntülerin sınıflandırılmasında çoklu kompozit ÇAÖM yaklaşımını önermişlerdir. Önerilen yöntemin sonuçları, farklı makine öğrenme algoritmaları ile karşılaştırılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Su vd. (2023) ise hiperspektral görüntülerin yarı-güdümlü sınıflandırılması amacıyla normalize edilmiş spektral kümeleme ve ÇAÖM yöntemlerinden faydalanmışlardır. Önerilen yöntem, literatürde kullanılan ileri düzey yöntemlere kıyasla benzer sonuçlar elde etmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, ÇAÖM yönteminin hiperspektral görüntülerin sınıflandırılmasındaki kullanımı dikkat çekmektedir.

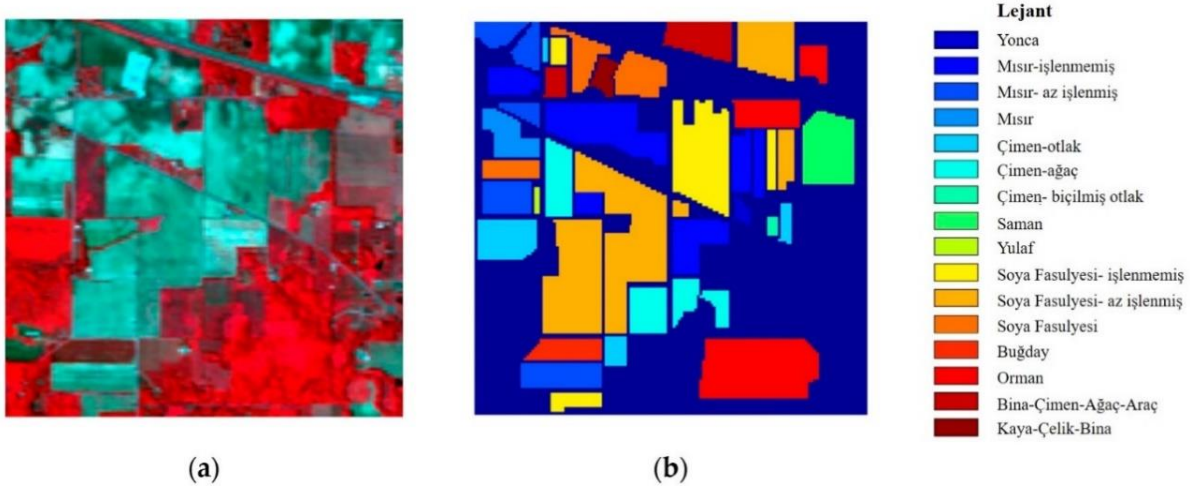
Bu çalışma kapsamında, ÇAÖM yönteminin hiperspektral görüntü sınıflandırmadaki performansı, RO algoritması ve DVM ile karşılaştırılmıştır. Sınıflandırma işlemi hem orijinal veriye hem de boyutu indirgenmiş veriye uygulanmıştır. Böylece, kullanılan algoritmaların, yüksek boyutlu verilerin sınıflandırılmasındaki kabiliyeti de test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar hem sınıf bazında hem de toplam doğruluk değerleri irdelenerek yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde, çalışma kapsamında kullanılan "Indian Pines" hiperspektral veri setinin özellikleri, kullanılan sınıflandırma yöntemleri (ÇAÖM, DVM ve RO) ve uygulaması anlatılacaktır. Ayrıca toplam sınıflandırma doğrulukları ve sınıf bazında F-ölçütü değerleri de bu bölümde paylaşılacaktır.

2.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veri

Çalışma kapsamında NASA'nın AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer) sensörü ile 1992 yılında çekilmiş olan "Indian Pines" veri seti kullanılmıştır. Çalışma alanı Amerika Birleşik Devletleri'nin Indiana eyaletinde yer alan Tippecanoe ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Kullanılan hiperspektral veride 220 spektral bant bulunmaktadır ve 20m'lik uzamsal çözünürlüğe sahiptir. Çalışma alanının yaklaşık üçte ikisi tarım alanları (yonca, mısır, çimen, yulaf, soya fasülyesi ve buğday) ile kaplıdır ve 16 adet sınıf (Yonca, Mısır-işlenmemiş, Mısır-az işlenmiş, Mısır, Çimen-otlak, Çimen-ağaç, Çimen-biçilmiş otlak, Saman, Yulaf, Soya fasülyesi- işlenmemiş, Soya fasülyesi-az işlenmiş, Soya fasülyesi, Buğday, Orman, Bina-Çimen-Ağaç-Araç ve Kaya-Çelik-Bina) bulunmaktadır. Çalışma alanında, tarım alanları ile yakın değerlerde spektral yansımaları sahip orman ve bitki örtüsü de bulunduğu için spektral sınıf karışımlarının olması beklenen bir durumdur. Bu nedenle de sınıflandırılması kolay bir veri değildir. Hiperspektral görüntü ve ilişkili olduğu yer gerçekliği verisi Purdue Üniversitesi tarafından ücretsiz olarak kullanıcılara sunulmuştur (Şekil 1) ve uzaktan algılama alanında çok sayıda çalışmada kullanılmıştır. Ayrıca sınıflara ait örnek piksellerin birbirine eşit sayıda olmaması ya da dengesiz bir veri kümesi olması nedeniyle, kullanılacak sınıflandırma algoritmasının sınıflandırma kabiliyetini test etmek açısından da uygun bir veridir (Baumgardner vd., 2015; Maxwell vd., 2018; Gao vd., 2018; Xie vd., 2020). Toplam verinin %70 i eğitim verisi, geri kalanı ise test verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 1. a) Hiperspektral Veri, b) yer gerçekliği verisi (Xie vd. (2020) çalışması referans alınarak düzenlenmiştir.)

Çalışma alanında bulunan sınıflar ve her bir sınıfa ait örnek piksel sayısı Tablo 1’de verilmiştir

Tablo 1. Sınıflar ve örnek piksel sayıları

Sınıf No	Sınıf Adı	Örnek Sayısı
1	Yonca	46
2	Mısır-işlenmemiş	1428
3	Mısır-az işlenmiş	830
4	Mısır	237
5	Çimen-otlak	483
6	Çimen-ağaç	730
7	Çimen-biçilmiş otlak	28
8	Saman	478
9	Yulaf	20
10	Soya fasulyesi- işlenmemiş	972
11	Soya fasulyesi-az işlenmiş	2455
12	Soya fasulyesi	593
13	Buğday	205
14	Orman	1265
15	Bina-Çimen-Ağaç-Araç	386
16	Kaya-Çelik-Bina	93

2.2 Sınıflandırma Algoritmaları

Uydu görüntülerinin sınıflandırılması amacıyla çok sayıda geleneksel ve ileri düzey algoritmalar kullanılmaktadır. Sınıflandırma işlemi uygulanacak olan uydu görüntüsünün boyutu, sınıfların spektral karmaşıklığı, görüntünün uzamsal ve spektral çözünürlüğü, kullanılacak yer gerçekliği verisinin arazi örtüsünü ne derece doğru temsil ettiği vb. kriterler sınıflandırma başarımlarını etkilemektedir. Özellikle son yıllarda yapay sinir ağları tabanlı algoritmalar (AÖM, ÇAÖM, evrimsel sinir ağları, tekrarlayan sinir ağları vb.) sıklıkla kullanılmaya başlanmış ve başarılı sonuçlar vermiştir. Bu bölümde, kullanılan sınıflandırma algoritmaları (ÇAÖM, DVM ve RO) anlatılacaktır.

2.2.1 Çekirdek Tabanlı Aşırı Öğrenme Makinesi

AÖM, tek bir gizli katmana sahiptir ve ileri beslemeli bir yapay sinir ağları modelidir (Pal vd., 2013; Chen vd., 2014; Ergül ve Bilgin, 2017). n sayıda eğitim örneğine sahip (x_i, y_i) eğitim veri seti için, H adet gizli katman düğümü içeren AÖM ve $f(x)$ aktivasyon fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\sum_{i=1}^H \alpha_i f(x_j) = \sum_{i=1}^H \alpha_i f(w_i \cdot x_j + c_i) = y_j \quad j = 1, \dots, n, \quad (1)$$

AÖM çıkış fonksiyonu ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$F_H(x) = \sum_{i=1}^H \alpha_i f(w_i \cdot x + c_i) = \alpha \cdot h(x) = 1, \dots, n, \quad (2)$$

Burada w_i , giriş katmanı ile i . gizli katman arasındaki, α_i ise i . gizli katman düğümü ile çıkış katman düğümleri arasındaki ağırlık değerlerini göstermektedir. c_i ise i . gizli katman düğümünün karmaşık bias değeridir. $h(x)$ vektörü ise x girdisine ilişkin gizli katman çıkış vektörüdür.

Huang vd. (2012), geri yayımlı öğrenim algoritmasındaki (w_i, α_i) ağırlıklarının iteratif yolla bulunması probleminin üstesinden gelmek için $A \alpha = Y$ denkleminin en küçük norm ve en küçük kareler çözümünü önermiştir. AÖM'in kullanıldığı çoğu durumda, gizli katman sayısı eğitim örneği sayısına kıyasla çok az olmaktadır ve bu da kare olmayan bir A matrisinin oluşumuna neden olmaktadır. Bu durumda da $A \alpha = Y$ koşulu sağlanmamaktadır. Bu sorunun çözümü için de Moore-Penrose genelleştirilmiş matris tersi alma teoremine dayalı olarak α' hesaplanmıştır.

$$\alpha' = A^* Y \quad (3)$$

Burada A^* , A matrisinin Moore-Penrose genelleştirilmiş matris tersini göstermektedir.

Huang vd. (2012) çalışmalarında, AÖM mimarisinin tasarımında çekirdek (kernel) tabanlı yöntemlerin kullanımını önermiş ve bu amaca yönelik olarak, α çıkış ağırlıklarının hesaplanmasında $\frac{1}{\rho}$ pozitif değerinin eklenmesini tavsiye etmişlerdir. Bu durumda α aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\alpha = A^T \left(\frac{I}{\rho} + AA^T \right)^{-1} Y \quad (4)$$

Yine aynı çalışmalarında Huang vd. (2012), gizli katman çıkış vektörü $h(x)$ 'in bilinmemesi durumunda çekirdek fonksiyonların kullanımını önermiştir. AÖM için bir çekirdek fonksiyonu χ aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\chi_{ELM} = AA^T: \quad \chi_{ELM_{i,j}} = h(x_i) \cdot h(x_j) = K(x_i, x_j) \quad (5)$$

Burada $K(x_i, x_j)$ bir çekirdek fonksiyonu temsil etmektedir. Böylece ÇAÖM çıkış fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} K(x, x_1) \\ \vdots \\ K(x, x_n) \end{bmatrix}^T \left(\frac{I}{\rho} + \chi_{ELM} \right)^{-1} Y \quad (6)$$

Girdi ağırlıkları ve bias değeri, eğitim verisinden bağımsız ve rastsal olarak belirlenir. Gradyan temelli yaklaşımlarda ise en uygun parametreler iteratif olarak aranır ve bu süreç uzun sürer (Pal vd., 2013; Chen vd., 2014). Bu nedenle aşırı öğrenme makinesinin öğrenme süreci, klasik gradyan tabanlı yaklaşımlardan (geri yayılım algoritması gibi) daha kolay ve hızlıdır (Pal vd., 2013; Chen vd., 2014; Ergul ve Bilgin, 2017). Fakat, gizli düğüm sayısının sabit bir değerde alınmasına rağmen, girdi ağırlıkları ve bias değerinin her bir sınıflandırma işlemindeki rastsal seçimi sınıflandırma doğruluğunda varyasyonlara neden olmaktadır. Bu sorunun çözümü için, Huang vd. (2012) aşırı öğrenme makinesinin gizli katmanı yerine bir çekirdek fonksiyonu kullanımını önermişlerdir ve böylece girdi ve gizli katmanlar arasındaki ağırlıkların rastsal seçimine gerek kalmamıştır (Pal vd., 2013; Chen vd., 2014; Ergul ve Bilgin, 2017; Zhou ve Ma, 2019; Cao vd., 2019).

ÇAÖM yönteminin diğer önemli avantajı ise, çekirdek tabanlı diğer bir yöntem olan DVM gibi Mercer's teoremi şartını sağlamasına gerek olmamasıdır (Pal vd., 2013; Chen vd., 2014; Ergul ve Bilgin, 2017; Zhou ve Ma, 2019). Bu çalışma kapsamında Radyal Tabanlı Fonksiyon kerneli kullanılmıştır (ELM, 2023).

2.2.2 Rastgele Orman Algoritması

Topluluk öğrenme algoritmalarından birisi olan RO algoritması, karar ağacı tabanlı bir yöntemdir ve uzaktan algılama verilerinin sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kolay uygulanabilirliği ve başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir (Waske vd., 2012; Belgi ve Drăguț, 2016; Ghamisi vd., 2017b).

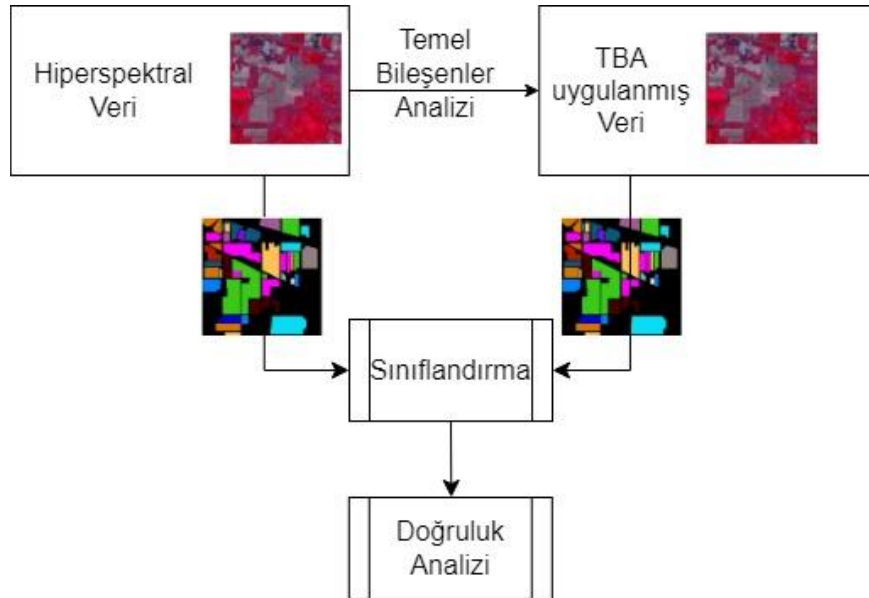
RO algoritması, tek bir ağaç kullanmak yerine, çok sayıda karar ağacından faydalanarak karar verme sürecini tamamlar. Karar verme sürecinde, torbalama ve rastgele alt uzay metotlarından faydalanır. 2001 yılında Breiman tarafından, artırma algoritmalarına daha fazla rastsallık sağlamasından dolayı önerilmiştir. İlk olarak çok sayıda ikili sınıflandırma ağaçları üretir ve bu ağaçları üretirken bootstrap örnekleme yöntemiyle elde edilen örneklem verileri kullanır (Waske vd., 2012; Belgiu ve Drăguț, 2016; Ghamisi vd., 2017b). Karar ormanında her bir ağaç bir birim oya sahiptir ve sonuç sınıf, çoğunluk oylama yöntemine göre belirlenir. Özellikle eşit sayıda örnek piksel (eğitim verisi) barındırmayan hiperspektral veri setlerinin sınıflandırılmasında başarılı sonuçlar vermektedir (Pal, 2005; Gislason vd., 2006; Rodriguez-Galiano vd., 2012; Akar ve Güngör, 2012; Adam vd., 2014; Ghamisi vd., 2017a).

2.2.3 Destek Vektör Makineleri

Hiperspektral görüntülerin sınıflandırılmasında sıklıkla tercih edilen DVM yöntemi, parametrik olmayan yapıdadır ve istatistiksel öğrenme teorisine, diğer bir deyişle Vapnik-Chervonenkis (VC) teorisine, dayalı bir sınıflandırma algoritmasıdır (Huang vd., 2002; Melgani ve Bruzzone, 2004; Dixon ve Candade, 2008). Görüntü verisi için herhangi bir olasılık dağılım kabulü ya da varsayımı yapmaz. Doğrusal olarak iki sınıfı birbirinden ayıran optimum hiperdüzlemin belirlenmesi esasına dayanan DVM yöntemi, sınıfların doğrusal olarak ayrılamaması durumunda ise çekirdek fonksiyonlarından faydalanır. Çekirdek fonksiyonu aracılığı ile veriyi özellik uzayına (daha yüksek boyutlu uzaya) taşıyarak, sınıfların çok boyutlu uzayda doğrusal olarak ayrılmasına olanak sağlar (Huang vd., 2002; Melgani ve Bruzzone, 2004; Dixon ve Candade, 2008). DVM yönteminde en sık kullanılan çekirdek fonksiyonları ise radyal tabanlı fonksiyon ve polinom çekirdek fonksiyonlarıdır. DVM sınıflandırma performanslarında, seçilecek çekirdek fonksiyonların türünün ve bu fonksiyonlara ait kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken parametrelerin kritik önemi vardır (Huang vd., 2002; Melgani ve Bruzzone, 2004; Dixon ve Candade, 2008; Kavzoglu ve Colkesen, 2009; Adam vd., 2014).

2.3 Uygulama

Bu çalışma kapsamında ise, ÇAÖM, RO ve DVM yöntemleri kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi hem orijinal hiperspektral veriye hem de boyutu indirgenmiş veriye uygulanmıştır ve sınıflandırma sonuçları analiz edilmiştir. Veri analizine dair iş akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.

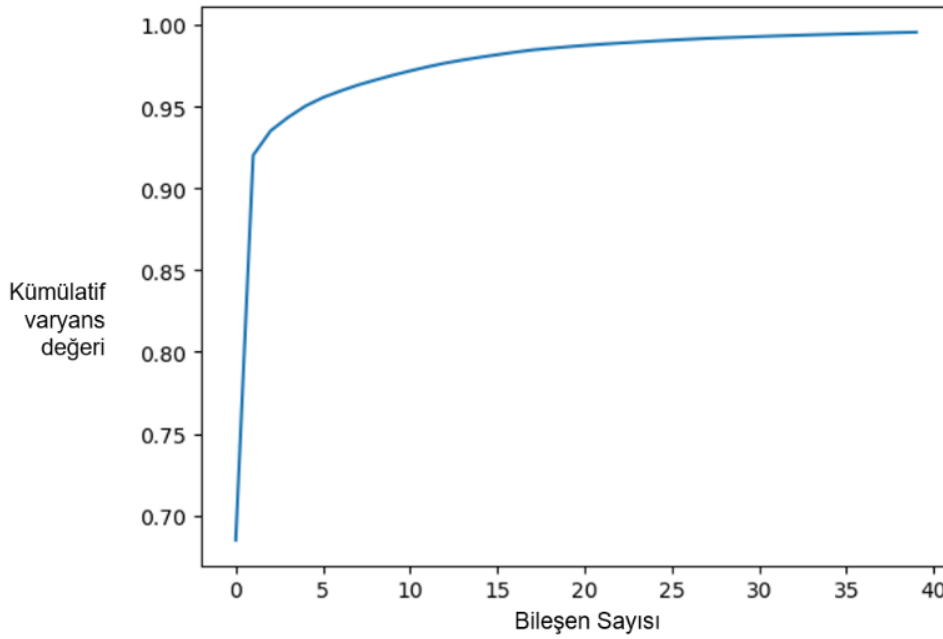


Şekil 2. İş akış şeması

Hem ÇAÖM yönteminde hem de DVM yönteminde, radyal tabanlı fonksiyon kerneli seçilmiştir. Literatür incelendiğinde, uzaktan algılama verilerinin sınıflandırılmasında en sık kullanılan kernel türünün radyal tabanlı fonksiyon kerneli olduğu görülmüştür (Foody ve Mathur, 2004; Mathur ve Foody, 2008; Kavzoglu ve Colkesen, 2009; Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010; Dihkan vd., 2013; Adam vd., 2014). Ayrıca, radyal tabanlı fonksiyon kernelinin, diğer kernel türlerine kıyasla daha üstün performansa sahip olduğu da birkaç bilimsel çalışmada ispatlanmıştır (Kavzoglu ve Colkesen, 2009; Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010; Waske vd., 2012; Adam vd., 2014).

O nedenle çalışmamızda radyal tabanlı fonksiyon kerneli tercih edilmiştir. İki yöntem için de belirlenmesi gereken iki adet parametre vardır, bunlar DVM için ceza parametresi (C) ve çekirdek boyutu (γ), ÇAÖM için ise düzenleme katsayısı ve çekirdek boyutu (ρ , γ) parametreleridir (Pal vd., 2013; Wang vd., 2017). Bu parametreler DVM için C=500 ve $\gamma=0,01$ olarak, ÇAÖM için ise $\rho=300$ ve $\gamma=0,1$ seçilmiştir. Parametrelerin seçiminde grid arama (grid search) tekniği kullanılmıştır (Kavzoglu ve Colkesen, 2009; Dihkan vd., 2013).

Boyut indirgeme işleminde TBA yöntemi kullanılmıştır. Burada amaç, orijinal veride gereksiz bilgi tekrarına neden olan yüksek korelasyonlu bantların (fazlalık bilginin) tespit edilip uzaklaştırılmasıdır. Bu işlem için, orijinal veri setinin doğrusal kombinasyonları olan temel bileşenler kullanılmaktadır (Rodarmel ve Shan, 2002; Mohan vd., 2007; Hidalgo vd., 2021). Her bir temel bileşen birbirine ortogonal yani 90° diktir. Böylece spektral bilgi tekrarının önüne geçilmektedir (Hidalgo vd., 2021). Boyut indirgeme işlemi sonucunda ilk 40 temel bileşen bant olarak seçilmiş ve sınıflandırma işlemine dahil edilmiştir (Şekil 3). Şekil 3'ten de açık bir şekilde görüldüğü üzere, kümülatif varyans değerinin 1.00'e en yakın olduğu değerdeki bileşen sayısı, TBA'da girdi bant sayısı olarak seçilmiştir.



Şekil 3. Temel bileşenler analizi

3. Bulgular ve Tartışma

Sınıflandırma işlemi hem orijinal hiperspektral verisine hem de boyutu indirgenmiş veriye uygulanmıştır. Sınıflandırma sonuçları (toplam doğruluk değerleri) Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Sınıfların sınıflandırma doğrulukları

Yöntem	Sınıflandırma doğruluğu (Orijinal Veri)	Sınıflandırma doğruluğu (TBA uygulanmış veri)
ÇAÖM	%78,86	%68,85
DVM	%91,64	%83,45
RO	%87,67	%82,11

Hem orijinal veri seti için hem de boyutu indirgenmiş veri seti için en yüksek sınıflandırma doğrulukları sırasıyla, %91,64 ve %83,45 toplam doğruluk değeri olarak DVM algoritması ile elde edilmiştir. Tüm sınıflandırma sonuçları incelendiğinde ise, en düşük sınıflandırma doğruluklarının (toplam doğruluk) ÇAÖM ile elde edildiği görülmüştür.

Toplam doğruluk (overall accuracy) değeri, doğru sınıflandırılmış toplam piksel sayısının (hata matrisindeki köşegen elemanların toplamı) referans piksellerinin toplamına bölünmesiyle elde edilir. Uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında en yaygın kullanılan doğruluk ölçütü toplam doğruluk (genel doğruluk) değeridir (Congalton, 1991; Foody, 2002; Foody, 2009; Congalton ve Green, 2019). Tablo 3'te görülen 3 sınıflı bir sınıflandırma işlemine ait hata matrisinden, doğruluk ölçütlerinin nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.

Tablo 3. Üç sınıflı bir sınıflandırmaya ait hata matrisi (confusion matrix)

Sınıf	A	B	C	Toplam
A	a_{11}	a_{12}	a_{13}	x_a
B	a_{21}	a_{22}	a_{23}	x_b
C	a_{31}	a_{32}	a_{33}	x_c
Toplam	y_a	y_b	y_c	z

Doğruluk Ölçütleri

$$\text{Toplam Doğruluk} = (a_{11} + a_{22} + a_{33})/z \quad (7)$$

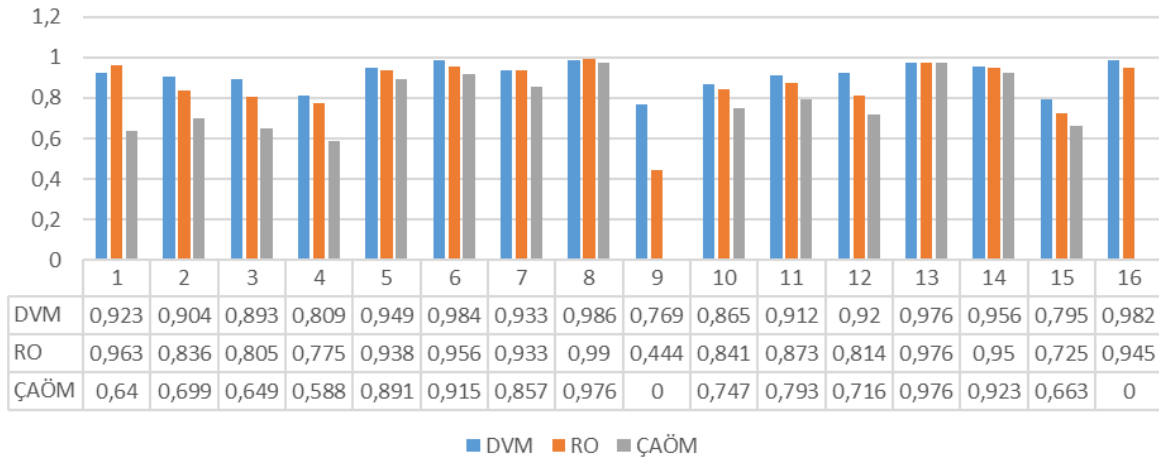
$$\text{Üretici Doğruluğu (ÜD)} = (a_{11})/y_a \text{ (A sınıfı için)} \quad (8)$$

$$\text{Kullanıcı Doğruluğu (KD)} = (a_{11})/x_a \text{ (A sınıfı için)} \quad (9)$$

$$F - \text{Ölçütü} = 2 \times ((\text{ÜD} \times \text{KD}) / (\text{ÜD} + \text{KD})) \quad (10)$$

Orijinal veri setine dair, sınıflara ilişkin F-ölçütü değerleri ve sınıf karışımlarını gösteren hata matrisleri Şekil 4 ve Şekil 5 de verilmiştir. Sınıf bazlı başarımların analiz edilmesinde, kullanıcı ve üretici doğruluğu değerlerinin harmonik ortalamasına eşit olan F-ölçütü değerleri kullanılmıştır.

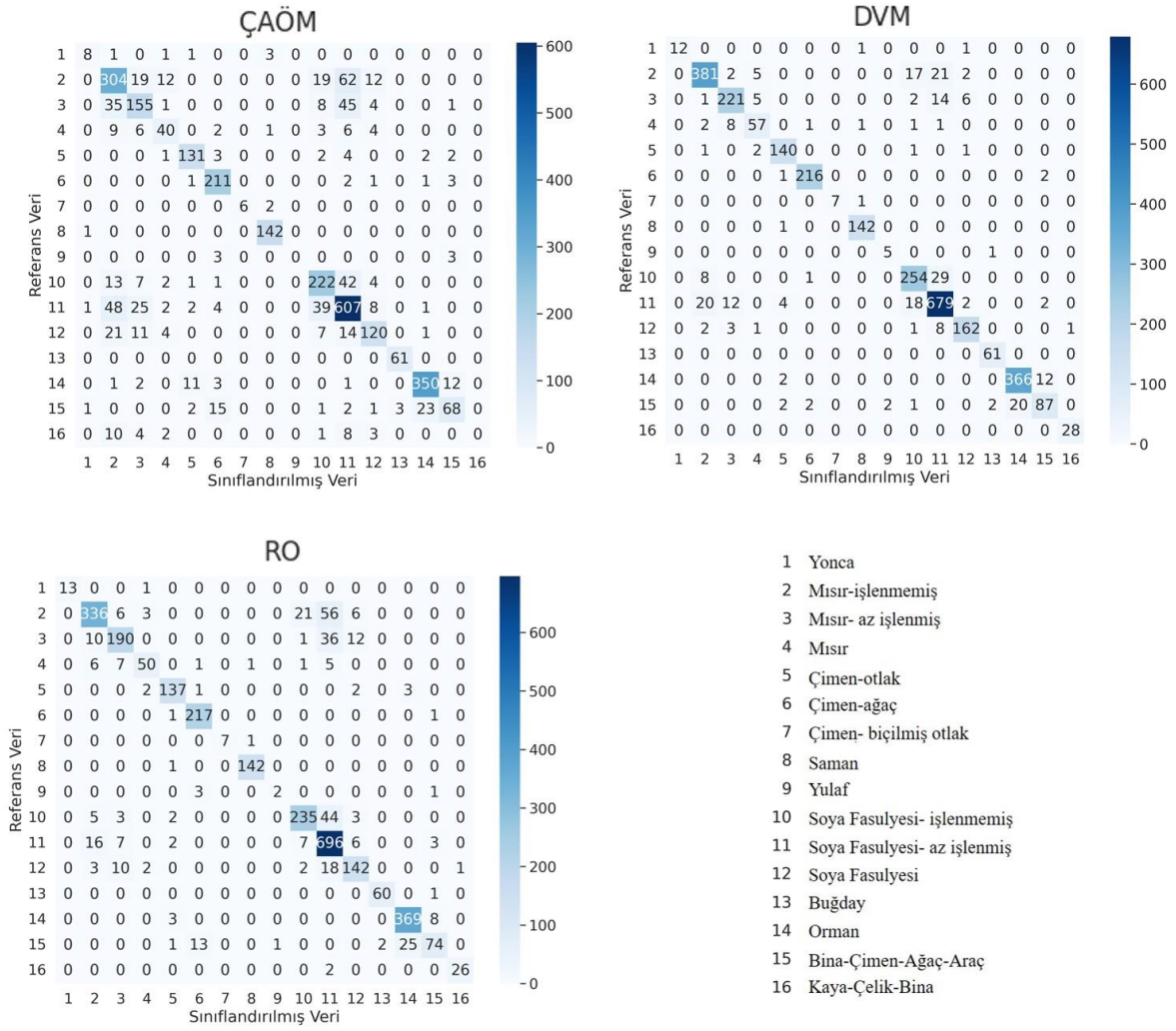
Sınıflara ait F-ölçütü Değerleri (Orijinal Veri)



Şekil 4. Sınıflara ait F-ölçütü değerleri (orijinal veri)

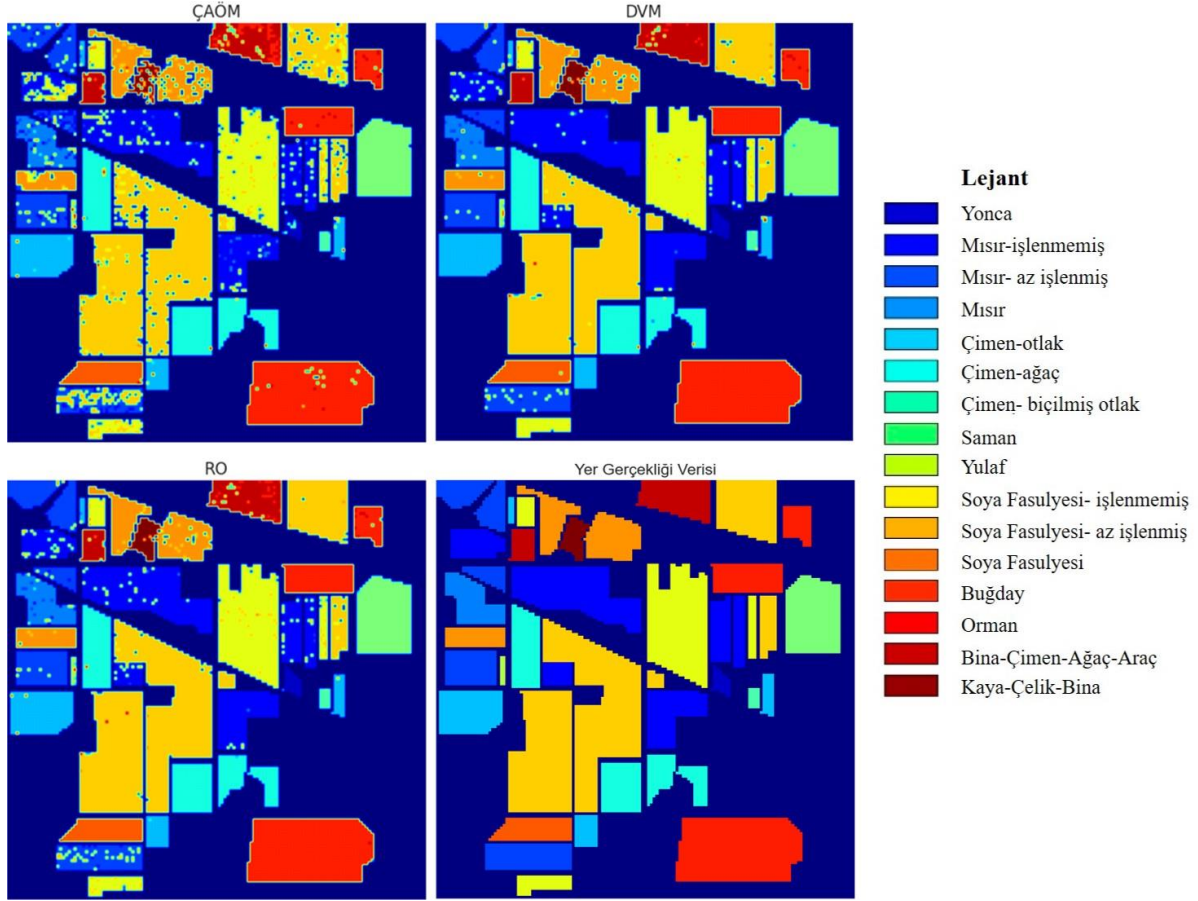
Orijinal veri setinde, sınıf bazında F-ölçütü değerleri incelendiğinde, en yüksek F-ölçütü değerlerine sahip sınıfların saman, çimen-ağaç ve kaya-çelik-bina sınıfları olduğu tespit edilmiştir. Genel doğruluk değerlerine bakıldığında RO algoritması DVM yönteminden düşük olmasına rağmen, yonca ve saman sınıfları için DVM yönteminden daha yüksek F-ölçütü değerleri elde etmiştir. DVM yöntemi özellikle az işlenmiş mısır, mısır, yulaf ve soya fasulyesi sınıfları için RO yöntemine kıyasla daha yüksek sınıflandırma başarımı (F-ölçütü değeri) göstermiştir. Yulaf ve kaya-çelik-bina sınıfları ÇAÖM yönteminde doğru tespit edilememiş ve tamamen yanlış sınıflara atanmıştır. Ayrıca yulaf sınıfı DVM ve RO yöntemlerinde, diğer sınıflara nazaran düşük F-ölçütü değerleri ile sınıflandırılmıştır. Bunun muhtemel nedeni, yulaf sınıfına ait örnek piksel sayısının az olmasıdır.

Ayrıca, Şekil 5'teki hata matrisleri incelendiğinde, yulaf sınıfının ÇAÖM yönteminde çimen-ağaç ve bina-çimen-ağaç-araç sınıfları ile RO yönteminde ise çimen-ağaç sınıfı ile karıştığı gözlenmiştir. ÇAÖM yönteminde doğru tespit edilememiş diğer bir sınıf olan kaya-çelik-bina sınıfı, DVM ve RO algoritmaları ile 0,90 F-ölçütü değerinin üzerinde değerlerle tespit edilmiştir. ÇAÖM'ye ilişkin hata matrisi (Şekil 5) incelendiğinde, kaya-çelik-bina sınıfının büyük bir kısmının işlenmemiş mısır, az işlenmiş soya fasulyesi ve az işlenmiş mısır sınıfı ile karıştığı tespit edilmiştir. ÇAÖM yönteminde, düşük F-ölçütü değerleri olan az işlenmiş mısır ve mısır sınıflarına bakıldığında ise, az işlenmiş mısır sınıfının az işlenmiş soya fasulyesi ve işlenmemiş mısır sınıfları ile mısır sınıfının ise az işlenmiş mısır, işlenmemiş mısır ve az işlenmiş soya fasulyesi ile karıştığı görülmüştür. Mısır sınıfının, az işlenmiş mısır ve işlenmemiş mısır sınıfı ile beklenen bir durumdur. Diğer sınıflara nazaran kısmen daha düşük F-ölçütü değerlerine sahip olan bina-çimen-ağaç-araç sınıfı, ÇAÖM, RO ve DVM yöntemleri için sırasıyla 0,663, 0,725 ve 0,795 değerlerini elde etmiştir. Şekil 5'teki hata matrisleri incelendiğinde, bina-çimen-ağaç-araç sınıfının ÇAÖM ve RO sınıflandırmalarında orman ve çimen-ağaç sınıfları ile DVM yönteminde ise sadece orman sınıfı ile karıştığı gözlenmiştir.



Şekil 5. Hata matrisleri (orijinal veri)

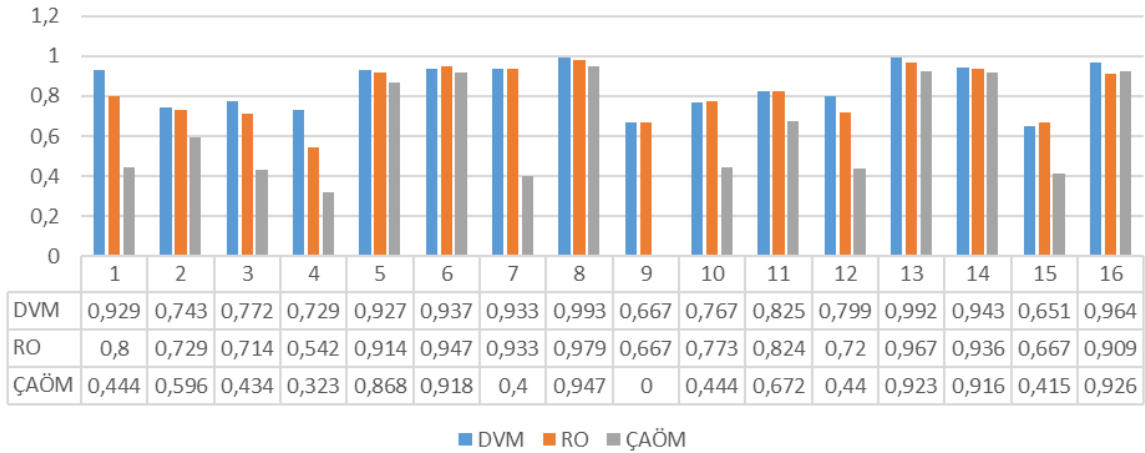
Orijinal verinin sınıflandırılması ile elde edilen sınıflandırılmış görüntüler ve yer gerçekliği verisinin görsel hali Şekil 6'da sunulmuştur. Yer gerçekliği verisinin sınıflandırılmış görüntülerin yanında sunulmasının temel nedeni, görsel yorumlamanın daha kolay yapılmasını sağlamaktır.



Şekil 6. Sınıflandırılmış görüntüler (orijinal veriden) ve yer gerçekliği verisi

Boyutu indirgenmiş veri setine dair, sınıflara ilişkin F-ölçütü değerleri ve sınıf karışımlarını gösteren hata matrisleri Şekil 7 ve Şekil 8 de verilmiştir.

Sınıflara ait F-ölçütü Değerleri (Boyutu İndirgenmiş Veri)

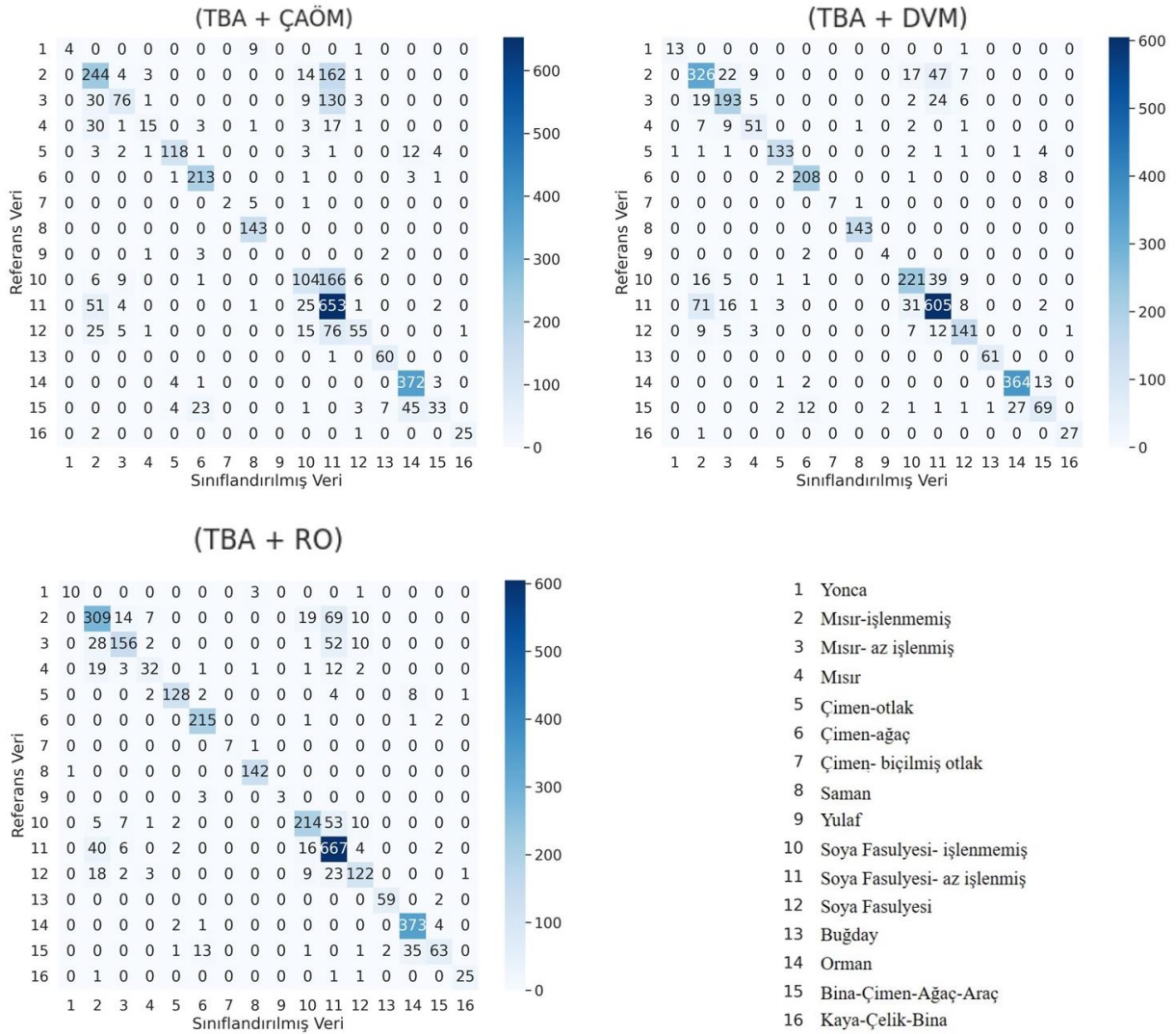


Şekil 7. Sınıflara ait F-ölçütü değerleri (boyut indirgenmiş veri)

Boyutu indirgenmiş veri setinde, sınıf bazında F-ölçütü değerleri (Şekil 7) incelendiğinde, en yüksek F-ölçütü değerlerine sahip sınıfların saman, buğday ve kaya-çelik-bina sınıfları olduğu tespit edilmiştir. Bu en yüksek F-ölçütü değerleri DVM yöntemi ile elde edilmiştir. Genel doğruluk değerlerine bakıldığında RO algoritması DVM yönteminden düşük olmasına rağmen, çimen-ağaç ve bina-çimen-ağaç-araç sınıfları için DVM yönteminden daha yüksek F-ölçütü değerleri elde etmiştir.

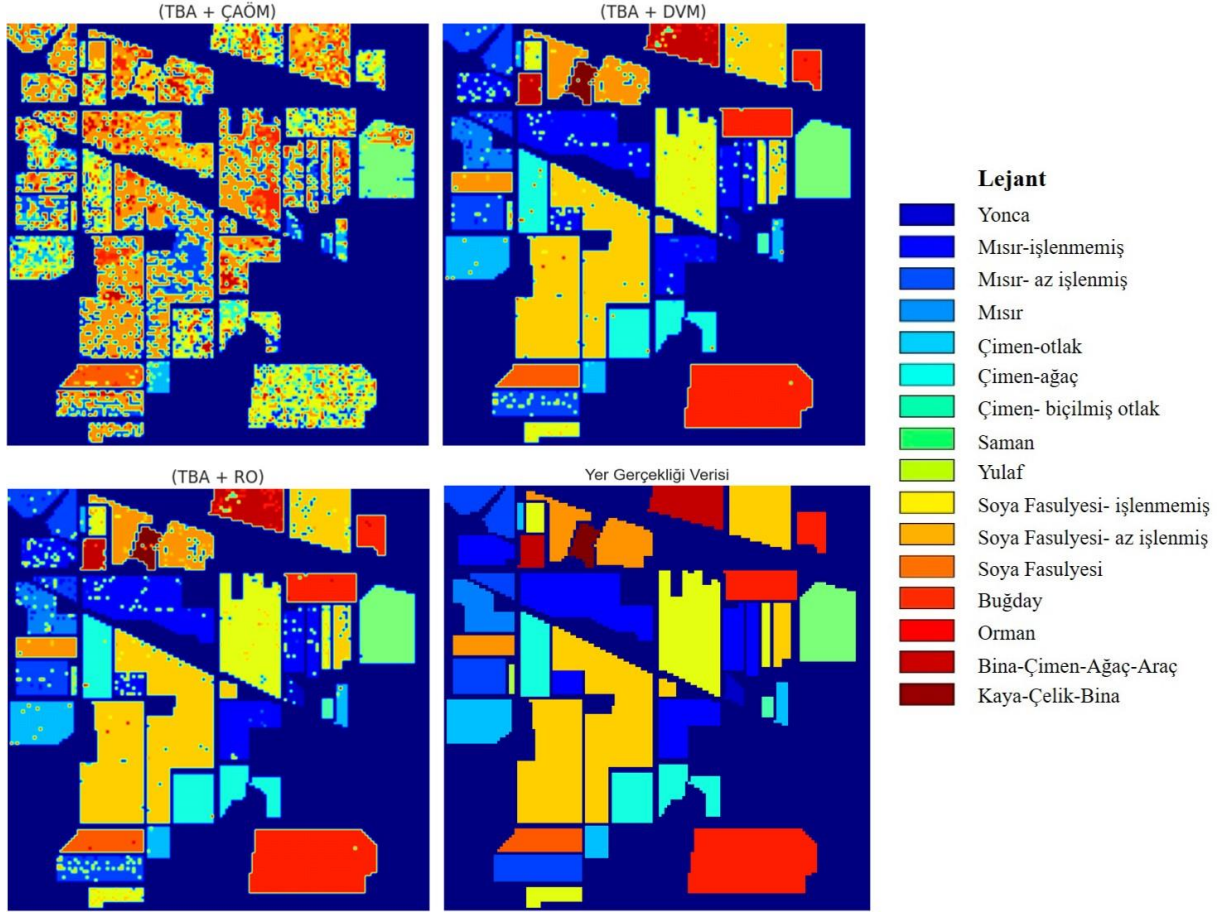
DVM yöntemi özellikle yonca, mısır ve soya fasulyesi sınıfları için RO yöntemine kıyasla daha yüksek sınıflandırma başarımı (F-ölçütü değeri) göstermiştir. Orijinal veri setine benzer şekilde yulaf sınıfı ÇAÖM yönteminde doğru tespit edilememiş ve tamamen farklı sınıflara atanmıştır. Ayrıca yulaf sınıfı DVM ve RO yöntemlerinde, diğer sınıflara nazaran düşük F-ölçütü değeri (0,667) ile sınıflandırılmıştır. Bunun muhtemel nedeni, yulaf sınıfına ait örnek piksel sayısının az olmasıdır. Kaya-çelik-bina sınıfı, orijinal veri setinin ÇAÖM ile sınıflandırılmasında, 0 F-ölçütü değeri ile tamamen yanlış sınıflara atanmış iken, boyutu indirgenmiş veri setinin ÇAÖM ile sınıflandırılmasında ise 0,926 gibi yüksek bir F-ölçütü değeri elde edilmiştir. Bu noktada farklı bir sonuç elde edilmesi, sınıflandırma algoritmalarına girdi olarak kullanılacak verinin sınıf bazlı doğruluklara olan etkisini göstermiştir.

Ayrıca, Şekil 8’deki hata matrisleri incelendiğinde, yulaf sınıfının ÇAÖM yönteminde çimen-ağaç ve buğday sınıfları ile karıştığı gözlenmiştir. Yulaf sınıfının örnek piksel sayısı az olduğu için, F-ölçütü değeri de diğer sınıflara nazaran daha düşük çıkmıştır. Bu sınıf için, DVM ve RO algoritmaları aynı F-ölçütü değerini elde etmişlerdir. ÇAÖM yönteminde diğer sınıflara kıyasla en düşük F-ölçütü değeri ile sınıflandırılan (0,323) mısır sınıfı, DVM algoritması ile 0,70 F-ölçütü değerinin üzerinde değerlerle tespit edilmiştir. ÇAÖM’ye ilişkin hata matrisi (Şekil 8) incelendiğinde, mısır sınıfının büyük bir kısmının işlenmemiş mısır ve az işlenmiş soya fasulyesi sınıfları ile karıştığı tespit edilmiştir. Mısır sınıfının, işlenmemiş mısır sınıfı ile karışması beklenen bir durumdur. Diğer sınıflara nazaran kısmen daha düşük F-ölçütü değerlerine sahip olan mısır sınıfı, ÇAÖM, RO ve DVM yöntemleri için sırasıyla 0,323 0,542 ve 0,729 değerlerini elde etmiştir. Şekil 8’deki hata matrisleri incelendiğinde, mısır sınıfının ÇAÖM ve RO sınıflandırmalarında işlenmemiş mısır ve az işlenmiş soya fasulyesi sınıfları ile DVM yönteminde ise sadece az işlenmiş mısır sınıfı ile karıştığı gözlenmiştir.



Şekil 8. Hata matrisleri (boyut indirgenmiş veri)

Boyutu indirgenmiş verinin sınıflandırılması ile elde edilen sınıflandırılmış görüntüler ve yer gerçekliği verisinin görsel hali Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 9. Sınıflandırılmış görüntüler (boyut indirgenmiş veriden) ve yer gerçeği verisi

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, ÇAÖM yönteminin hiperspektral görüntü sınıflandırmadaki kabiliyeti araştırılmış ve sınıflandırma performansı (toplam doğruluk değerleri), iki farklı makine öğrenme algoritması (DVM ve RO) ile karşılaştırılmıştır. Sınıflandırma işlemi hem orijinal veriye hem de boyutu indirgenmiş veriye uygulanmıştır. Sınıflandırma işlemine dair sınıf bazında F-ölçütü değerleri karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Sınıf bazındaki F-ölçütü değerleri incelendiğinde, RO algoritmasının genel doğruluk değeri DVM yönteminden daha düşük gelmesine rağmen bazı sınıf türlerini (orijinal veride yonca, boyutu indirgenmiş veride ise çimen-ağaç ve bina-çimen-ağaç-araç) daha yüksek F-ölçütü değeri ile sınıflandırdığı tespit edilmiştir. Toplam doğruluk (genel doğruluk) değerlerine bakıldığında ise, her iki veri seti için de en yüksek sınıflandırma doğrulukları DVM algoritması ile %91,64 ve %83,45 olarak elde edilmiştir. ÇAÖM iki veri seti için de en düşük toplam doğruluk değerlerini (%78,86 ve %68,85) elde etmiştir.

Sınıf bazında F-ölçütü değerleri incelendiğinde, yulaf sınıfı örnek piksel sayısının az olması nedeniyle ÇAÖM tarafından yanlış (0 F-ölçütü değeri ile) sınıflandırılmış ve tespit edilememiştir. Fakat DVM yöntemi ile orijinal veride 0,77 F-ölçütü değeri ile sınıflandırılmıştır. Bu farklılık, makine öğrenme algoritmalarının kontrollü (denetimli) öğrenme sürecinde eğitim verilerinin ne derece önem arz ettiğini ve aynı veriden farklı sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir.

Gelecek çalışmalarımızda, farklı hiperspektral veri setleri (Salinas, Pavia Üniversitesi vd.) ve diğer çekirdek tabanlı makine öğrenme algoritmaları (Tuia vd., 2010; Gu vd., 2017) kullanılarak, sınıflandırma başarımlarının karşılaştırmalı olarak analiz edilmesi planlanmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında kullanılan AVIRIS sensöründen elde edilmiş Indian Pines hiperspektral verisinin ücretsiz erişimine olanak sağladıkları için Purdue Üniversitesi araştırmacıları Marion F. Baumgardner, Larry L. Biehl ve David A. Landgrebe'ye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Adam, E., Mutanga, O., Odindi, J., & Abdel-Rahman, E. M. (2014). Land-use/cover classification in a heterogeneous coastal landscape using RapidEye imagery: evaluating the performance of random forest and support vector machines classifiers. *International Journal of Remote Sensing*, 35(10), 3440-3458.
- Akar, Ö., & Güngör, O. (2012). Classification of multispectral images using Random Forest Algorithm. *Journal of Geodesy and Geoinformation*, 1(2), 105-112.
- Baumgardner, M. F., Biehl, L. L., & Landgrebe, D. A. (2015). 220 band aviris hyperspectral image data set: June 12, 1992 Indian pine test site 3. *Purdue University Research Repository*, 10(7), 991. doi:/10, 4231, R7RX991C.
- Bazi, Y., & Melgani, F. (2006). Toward an optimal SVM classification system for hyperspectral remote sensing images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(11), 3374-3385.
- Bazi, Y., Alajlan, N., Melgani, F., AlHichri, H., Malek, S., & Yager, R. R. (2014). Differential evolution extreme learning machine for the classification of hyperspectral images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(6), 1066-1070.
- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31.
- Bioucas-Dias, J. M., Plaza, A., Dobigeon, N., Parente, M., Du, Q., Gader, P., & Chanussot, J. (2012). Hyperspectral unmixing overview: Geometrical, statistical, and sparse regression-based approaches. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 5(2), 354-379.
- Bioucas-Dias, J. M., Plaza, A., Camps-Valls, G., Scheunders, P., Nasrabadi, N., & Chanussot, J. (2013). Hyperspectral remote sensing data analysis and future challenges. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 1(2), 6-36.
- Bilgin, G. (2009). *Hiperspektral görüntülerin eğitimsiz bölütlenmesi* (Doktora tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Camps-Valls, G., Gómez-Chova, L., Calpe-Maravilla, J., Martín-Guerrero, J. D., Soria-Olivas, E., Alonso-Chordá, L., & Moreno, J. (2004). Robust support vector method for hyperspectral data classification and knowledge discovery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(7), 1530-1542.
- Camps-Valls, G., & Bruzzone, L. (2005). Kernel-based methods for hyperspectral image classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(6), 1351-1362.
- Cao, F., Yang, Z., Ren, J., Chen, W., Han, G., & Shen, Y. (2019). Local block multilayer sparse extreme learning machine for effective feature extraction and classification of hyperspectral images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(8), 5580-5594.
- Chen, C., Li, W., Su, H., & Liu, K. (2014). Spectral-spatial classification of hyperspectral image based on kernel extreme learning machine. *Remote Sensing*, 6(6), 5795-5814.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 37(1), 35-46.
- Congalton, R.G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices, Third Edition*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Datta, D., Mallick, P. K., Bhoi, A. K., Ijaz, M. F., Shafi, J., & Choi, J. (2022). Hyperspectral Image Classification: Potentials, Challenges, and Future Directions. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 3854635. doi: 10.1155/2022/3854635.
- Dihkan, M., Guneroglu, N., Karsli, F., & Guneroglu, A. (2013). Remote sensing of tea plantations using an SVM classifier and pattern-based accuracy assessment technique. *International Journal of Remote Sensing*, 34(23), 8549-8565.
- Dixon, B., & Candade, N. (2008). Multispectral landuse classification using neural networks and support vector machines: one or the other, or both?. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4), 1185-1206.
- ELM. (2023, January 17). *Basic ELM algorithms*. Retrieved from http://www.extreme-learning-machines.org/elm_codes.html.
- Ergul, U., & Bilgin, G. (2017, May). Hyperspectral image classification with hybrid kernel extreme learning machine. In *2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2017. Proceedings*. (pp. 1-4). IEEE.
- Ergul, U., & Bilgin, G. (2020). MCK-ELM: multiple composite kernel extreme learning machine for hyperspectral images. *Neural Computing and Applications*, 32(11), 6809-6819.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote sensing of Environment*, 80(1), 185-201.
- Foody, G. M., & Mathur, A. (2004). A relative evaluation of multiclass image classification by support vector machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(6), 1335-1343.
- Foody, G. M. (2009). Sample size determination for image classification accuracy assessment and comparison. *International Journal of Remote Sensing*, 30(20), 5273-5291.

- Gao, F., Wang, Q., Dong, J., & Xu, Q. (2018). Spectral and spatial classification of hyperspectral images based on random multi-graphs. *Remote Sensing*, 10(8), 1271. doi: 10.3390/rs10081271.
- Ghamisi, P., Yokoya, N., Li, J., Liao, W., Liu, S., Plaza, J., ... & Plaza, A. (2017a). Advances in hyperspectral image and signal processing: A comprehensive overview of the state of the art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(4), 37-78.
- Ghamisi, P., Plaza, J., Chen, Y., Li, J., & Plaza, A. J. (2017b). Advanced spectral classifiers for hyperspectral images: A review. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(1), 8-32.
- Gislason, P. O., Benediktsson, J. A., & Sveinsson, J. R. (2006). Random forests for land cover classification. *Pattern Recognition Letters*, 27(4), 294-300.
- Gu, Y., Chanussot, J., Jia, X., & Benediktsson, J. A. (2017). Multiple kernel learning for hyperspectral image classification: A review. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(11), 6547-6565.
- Hidalgo, D. R., Cortés, B. B., & Bravo, E. C. (2021). Dimensionality reduction of hyperspectral images of vegetation and crops based on self-organized maps. *Information Processing in Agriculture*, 8(2), 310-327.
- Huang, C., Davis, L. S., & Townshend, J. R. G. (2002). An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 23(4), 725-749.
- Huang, G. B., Zhou, H., Ding, X., & Zhang, R. (2012). Extreme learning machine for regression and multiclass classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 42(2), 513-529.
- Kavzoglu, T., & Colkesen, I. (2009). A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5), 352-359.
- Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İ. (2010). Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi. *Harita Dergisi*, 144(7), 73-82.
- Li, J., Xi, B., Du, Q., Song, R., Li, Y., & Ren, G. (2018). Deep kernel extreme-learning machine for the spectral-spatial classification of hyperspectral imagery. *Remote Sensing*, 10(12), 2036. doi: 10.3390/rs10122036.
- Mathur, A., & Foody, G. M. (2008). Crop classification by support vector machine with intelligently selected training data for an operational application. *International Journal of Remote Sensing*, 29(8), 2227-2240.
- Maxwell, A. E., Warner, T. A., & Fang, F. (2018). Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review. *International Journal of Remote Sensing*, 39(9), 2784-2817.
- Melgani, F., & Bruzzone, L. (2004). Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(8), 1778-1790.
- Mohan, A., Sapiro, G., & Bosch, E. (2007). Spatially coherent nonlinear dimensionality reduction and segmentation of hyperspectral images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 4(2), 206-210.
- Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 217-222.
- Pal, M. (2009). Extreme-learning-machine-based land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 30(14), 3835-3841.
- Pal, M., Maxwell, A. E., & Warner, T. A. (2013). Kernel-based extreme learning machine for remote-sensing image classification. *Remote Sensing Letters*, 4(9), 853-862.
- Plaza, A., Benediktsson, J. A., Boardman, J., Brazile, J., Bruzzone, L., Camps-Valls, G., ... & Trianni, G. (2006, July). Advanced processing of hyperspectral images. In *2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing, 2006. Proceedings.* (pp. 1974-1978). IEEE.
- Plaza, A., Martínez, P., Plaza, J., & Pérez, R. (2005). Dimensionality reduction and classification of hyperspectral image data using sequences of extended morphological transformations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(3), 466-479.
- Rasti, B., Hong, D., Hang, R., Ghamisi, P., Kang, X., Chanussot, J., & Benediktsson, J. A. (2020). Feature extraction for hyperspectral imagery: The evolution from shallow to deep: Overview and toolbox. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 8(4), 60-88.
- Rodarmel, C., & Shan, J. (2002). Principal component analysis for hyperspectral image classification. *Surveying and Land Information Science*, 62(2), 115-122.
- Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., & Rigol-Sanchez, J. P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93-104.
- Samat, A., Du, P., Liu, S., Li, J., & Cheng, L. (2014). E²LMs: Ensemble Extreme Learning Machines for Hyperspectral Image Classification. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(4), 1060-1069.
- Su, Y., Gao, L., Jiang, M., Plaza, A., Sun, X., & Zhang, B. (2023). NSCKL: Normalized Spectral Clustering With Kernel-Based Learning for Semisupervised Hyperspectral Image Classification. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 53(10), 6649-6662.

- Tuia, D., Camps-Valls, G., Matasci, G., & Kanevski, M. (2010). Learning relevant image features with multiple-kernel classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(10), 3780-3791.
- Wang, M., Chen, H., Yang, B., Zhao, X., Hu, L., Cai, Z., ... & Tong, C. (2017). Toward an optimal kernel extreme learning machine using a chaotic moth-flame optimization strategy with applications in medical diagnoses. *Neurocomputing*, 267, 69-84.
- Waske, B., Benediktsson, J. A., & Sveinsson, J. R. (2012). Random forest classification of remote sensing data. In C.H. Chen (Eds.), *Signal and Image Processing for Remote Sensing* (pp. 365-374), New York, NY: CRC Pres.
- Xie, F., Lei, C., Jin, C., & An, N. (2020). A novel spectral–spatial classification method for hyperspectral image at superpixel level. *Applied Sciences*, 10(2), 463. doi: 10.3390/app10020463.
- Zhou, Y., Peng, J., & Chen, C. P. (2015). Extreme learning machine with composite kernels for hyperspectral image classification. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(6), 2351-2360.
- Zhou, L., & Ma, L. (2019). Extreme learning machine-based heterogeneous domain adaptation for classification of hyperspectral images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(11), 1781-1785.

POI Verilerinin Semantik Tanımlarının Oluşturulması ve Görselleştirilmesi

Generating Semantic Definitions and Visualization of POI Data

Gülten Kara^{1*}, Huriye Akcan¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Gülten Kara
gispir@ktu.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1254438

Yayın süreci

Geliş tarihi: 21.02.2023
Kabul tarihi: 26.05.2023
Basım tarihi: 28.09.2023

Özet

POI verileri, navigasyon, turizm, sosyal ağ, lojistik, çevrimiçi harita yapımı, artırılmış gerçeklik, akıllı şehir çözümleri ve konum tabanlı oyunlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda bu alanlardaki uygulamaların yaygınlaşmasıyla birlikte ilgi çekici nokta verilerinin toplanması ve güncellenmesi için kitle kaynak ve gönüllü coğrafi bilgi girişimleri ile üretilen veri kaynaklarına yönelim artmıştır. Bu veri kaynakları, ilgi çekici nokta verileri açısından zengin ve değerli bir veri kaynağıdır. Ancak bu veri kaynakları farklı şemalara sahiptir ve farklı ayrıntı düzeyinde veriler içermektedir. Bu durum, farklı veri kaynaklarından çıkarılan ilgi çekici nokta verilerinin eşleştirilmesinde veya analiz edilmesinde problemlere neden olmaktadır. Farklı veri kaynaklarındaki ilgi çekici nokta verilerinin kullanılabilmesi, sözdizimsel veya semantik ortak bir şemanın tanımlanmasına bağlıdır. Bu çalışmada farklı veri kaynaklarındaki ilgi çekici nokta verilerinin eşleştirilmesi problemi ele alınmıştır. Bu bağlamda, ilgi çekici nokta verilerinin Semantik Web uygulamalarında kullanılabilirliğini sağlamak amacıyla POI Ontolojisi geliştirilmiştir ve ilgi çekici nokta verilerinin semantik tanımları oluşturulmuştur. İlgi çekici nokta verileri, Karma arayüzünde ontoloji ile ilişkilendirilmiştir ve RDF veri görselleştirme aracı olan Sextant kullanılarak görselleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: İlgi çekici noktalar, Ontoloji, RDF, Konumsal veri kaynakları

Abstract

Points of interest data is used in several areas such as navigation, tourism, social network, logistics, online mapping, augmented reality, smart city solutions, and location based games. In recent years, with the spread of applications in these areas the tendency to data sources produced by crowd sourced and volunteered geographic information initiatives has increased for the gathering and updating of points of interest data. These data sources are a rich and valuable source of POI data. Nevertheless, these data sources have different schemas and contain data at different levels of detail. This causes problems in matching or analyzing points of interest data extracted from different data sources. Usability of points of interest data from different data sources depends on defining a common syntactic or semantic schema. In this study, the problem of matching points of interest data from different data sources is reviewed. In this context, POI Ontology has been developed to ensure the usability of point of interest data in Semantic Web applications and the semantic definitions of points of interest data have been created. Points of interest data is associated with ontologies in the Karma interface and visualized using Sextant, the RDF data visualization tool.

Keywords: Points of interest, Ontology, RDF, Spatial data sources

1. Giriş

İlgi çekici noktalar; ilgi noktaları, ilgi alanları veya yerler (places) gibi benzer anlamlarla geniş çaplı kullanıma sahiptir. POI kavramı, Open Geospatial Consortium (OGC) tarafından “konum tabanlı bir servis isteğinde referans noktası veya hedef olarak kullanılabilen, bir adresle tanımlanmak yerine ad ile tanımlanan ve tür ile karakterize edilen, bir yer, ürün veya servisin bulunabileceği bir konum” olarak tanımlanmaktadır (OGC, 2022). Görevi, web üzerindeki POI verilerinin temsili için teknik şartnameler geliştirmek olan W3C POI Çalışma Grubu (W3C, 2022a) ise ilgi çekici nokta kavramını, konum bilgisi ile birlikte farklı öznitelik bilgilerini içeren noktalar olarak ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında ilgi çekici noktalar, makalenin tamamında POI kısaltması ile ifade edilmiştir. POI’ler ait oldukları konumu; genellikle ad, kategori, adres gibi o konuma ilişkin verilerle temsil ederler. POI’ler sadece bir koordinat çifti olacak şekilde basit ya da farklı verileri de içeren karmaşık bir yapıya sahip olabilmektedir. POI’ler ayrıca kitle kaynak, vatandaş bilimi ve gönüllü coğrafi bilgi yaklaşımları ile gönüllü kullanıcılar tarafından oluşturulabilir ve birbirinden farklı özniteliklere sahip olabilir. Bu öznitelikler; POI adı, enlem-boylam, tipi, id, URI, adres ve iletişim bilgileri gibi çeşitli öznitelikleri içermektedir (W3C, 2022b). Uygulama alanına bağlı olarak konum bilgisine sahip olan her detay, POI olarak temsil edilebilir ve farklı özniteliklere sahip olabilir. Bu yönüyle POI kategorisinde yer alacak detaylar çok geniş kapsamlı olabilir. Yani POI verilerinin çeşitli uygulama ve servislerde kullanımı, veri tanımlarının farklı ve özel biçimlerde tanımlanmasına neden olur. Bu durum ise farklı veri kaynaklarından çıkarılan POI verilerinin birlikte kullanımını engeller. Bunun nedeni ise uluslararası düzeyde tanımlanmış bir POI veri standardının olmamasıdır. Ancak bununla birlikte, W3C POI Çalışma Grubu tarafından 2012 yılında bir W3C tavsiyesi olmaya aday olan “Points of Interest Core” isimli taslak bir doküman yayınlamıştır (W3C, 2012). Bu model, web üzerindeki POI’ler hakkında bilgileri temsil etmek amacıyla oluşturulmuştur.

Farklı veri kaynakları, gerçekleştirilen uygulamalar gereği, veri şemalarındaki detay sınıflandırmaları farklılık göstermektedir. Farklı veri kaynaklarından POI verilerini çıkarmak için ilgili literatürde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Yöntemlerden ilki, haritalar veya uydu görüntüleri kullanılarak gönüllü kullanıcılar tarafından manuel olarak POI verilerinin işaretlenmesi ve etiketlenmesine dayanır. İkinci yöntem, POI verilerinin otomatik detay çıkarma teknikleriyle elde edilmesine dayanmaktadır. Üçüncü yöntem, POI verilerinin adres bilgilerinin enlem boylama dönüştürülmesi olarak bilinen coğrafi kodlama (geocoding) işlemine dayanmaktadır. Dördüncü yöntem, mobil veya web uygulaması aracılığıyla gönüllü kullanıcılar tarafından POI verilerinin toplanması olarak tanımlanan kitle kaynak veya gönüllü coğrafi bilgi yaklaşımlarını temel almaktadır. Beşinci yöntem, POI verilerinin yapılandırılmamış metin verilerinden çıkarılması anlamına gelen doğal dil işleme tekniklerine dayanmaktadır. Altıncı yöntem ise, Google Maps, Foursquare, Yelp ve OpenStreetMap (OSM) gibi farklı web kaynaklarından web kazıma (web scraping) teknikleri ile POI verilerinin çıkarılması esasına dayanmaktadır. POI verilerinin elde edilmesi için kullanılan yöntemlerin avantajlı ve dezavantajlı yönleri bulunmaktadır. Bu nedenle hangi yöntemin kullanılacağı, verilerin kapsamı ve gerçekleştirilecek uygulama ile doğrudan bağlantılıdır. Herhangi bir yöntemle POI verilerinin elde edilmesinin ardından ilgili literatürde POI veri eşleştirme, veri entegrasyonu, veri birleştirme, veri bütünleştirme, veri füzyonu gibi benzer isimlerle adlandırılan işlem gerçekleştirilir. Ancak birçok veri kaynağından çıkarılan verilerin herhangi bir uygulama kapsamında kullanılması ise sözdizimsel veya semantik bir ortak şema veya modelin oluşturulması ile mümkündür.

Sözdizimsel eşleştirme geleneksel veri eşleştirme yöntemidir ve farklı veri şemaları arasındaki benzerliklerin tanımlandığı eşleştirme dosyalarına dayanmaktadır. Sözdizimsel veri eşleştirme yöntemini kullanan araştırma çalışmaları mevcuttur. Web üzerindeki veri kaynaklarından çıkarılan POI verilerinin sözdizimsel olarak entegre edilmesi ve birleştirilmesi için çok sayıda akademik çalışma yapılmıştır. Spangenberg (2013), POI Core modelini baz alarak turizm açısından bir POI sınıflandırması yapmıştır. GPX (GPS Exchange Format) POI tanımlamasının sınırlı özelliklerinden dolayı, GPX waypoint (GPS konum koordinatları) sınıfını genişleten yeni bir yaklaşım önermiştir. Bu POI genişletmesinin web servisleri ve konum tabanlı servisler için kullanılabilmesi öngörülmüştür. Zhou vd. (2021), farklı veri kaynakları arasında veri birleştirme problemini ele alarak farklı veri kaynaklarındaki POI verilerini eşleştirmek için çok aşamalı bir yöntem önermiştir. Coğrafi detaylardan aday veri setlerini elde etmek için konumsal filtreleme işlemi gerçekleştirilir. Konumsal olmayan özelliklerin ağırlıkları, etiketli rasgele örneklerle makine öğrenmesine dayanan bir algoritma tarafından elde edilir. Çin’in Fuzhou şehrinde gerçekleştirilen bir uygulamada, örneklerin ortalama % 95’inin doğru bir şekilde eşleştirildiği gösterilmiştir. Farklı veri setlerinde yer alan POI verilerinin eşleştirilmesi için belirlenen öznitelikler “adı, enlem, boylam ve adres”tir. Veri birleştirme, özellikle farklı veri kaynaklarındaki POI verilerini toplayan coğrafi bilgi sisteminin sürdürülebilirliğinin sağlanmasındaki en önemli problemlerden birisidir. Gurav vd. (2021), farklı veri kaynaklarından alınan POI verilerini ve görüntü sunan iki farklı platformdan (Flickr, Mapillary) alınan coğrafi etiketli manzara görüntüleri kullanılarak veri birleştirmeyi gerçekleştirmek için çizge sinir ağlarının (graph neural networks-GNNs) uygulanmasını önermiştir. Çalışmanın ana amacı, kategorilere ayrılmış POI verileri ve coğrafi etiketli görüntü verileri değerlendirilerek, POI’ler hakkında mevcut olan bilgileri, ilgili görüntülerin içeriğiyle otomatik olarak artırmaktır. Semantik eşleştirme ise; Semantik Web Teknolojileri (SWT) kullanılarak POI verilerinin semantik tanımları arasındaki ilişkilere göre yapılan eşleştirmeye dayanır. Semantik Web, Tim Berners-Lee tarafından web üzerinde çok büyük miktarlardaki veri ve bilgi paylaşımını sağlamanın bir yolu olarak önerilmiştir (Berners-Lee, 1998).

Bu noktadan hareketle, semantik eşleştirme, farklı kaynaklardan çıkarılan POI verileri arasında veri paylaşımını gerçekleştirmek için gelecek vadeden yöntemlerden biridir. Çalışma kapsamında farklı kaynaklardan çıkarılan POI verilerinin semantik olarak eşleştirilmesi irdelenmiştir. Bu kapsamda öncelikle POI verilerinin semantik tanımlarının oluşturulduğu ve POI verileri arasında semantik eşleştirmenin gerçekleştirildiği akademik çalışmalara odaklanılmıştır. POI verilerinin semantik tanımlarını oluşturmak için öncelikle mevcut ontolojilerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla POI verilerinin semantik tanımlarının oluşturulmasına yönelik akademik çalışmalar değerlendirilmiştir. Tomai vd. (2006), web üzerinde ontolojilerin turizm alanında nasıl kullanılabilirliğini göstermek için metodoloji geliştirmiştir. Bir yeri ziyaret edecek olan kullanıcıların gezilerini planlamalarına yardımcı olmak için, kullanıcı profili ve turizm bilgileri / verileri ile ilgili olmak üzere iki ayrı ontoloji oluşturulmuştur. Kullanıcı profili ontolojisi, kullanıcının fiziksel özelliklerini ve tercihlerini tanımlarken Turizm ontolojisi ise farklı web siteleri incelenip ilgi çekici yerler belirlenerek geliştirilmiştir. Kullanıcı tercihlerini alan ontolojisi ile entegre etmeyi uygulanabilir bir yaklaşım olarak gören bir diğer çalışma Yingchen vd. (2009) tarafından yapılmıştır. Çalışmada kullanıcı tercihlerini dinamik olarak yakalayan ve kullanıcı geçmiş tercihlerini bir sönüm katsayısına ve bir zaman aralığına göre güncelleyen, ontoloji tabanlı kişiselleştirilmiş bir öneri yaklaşımı geliştirilmiştir. Alan ontolojisi ile Kullanıcı Profili Ontolojisi'nin entegrasyonu ile kullanıcı dinamik tercih ontolojisi oluşturulmuştur. Deneysel sonuçlar, yaklaşımın kullanıcı tavsiyelerinin hatırlanmasını ve doğruluğunu iyileştirebileceğini ve ayrıca kullanıcının daha çok ilgi duyduğu POI'ler sağlayabileceğini göstermektedir. Braun vd. (2010), kullanıcıların POI noktalarını oluşturabildiği, silebildiği ya da düzenleyebildiği bir mobil uygulama geliştirmiştir. Geliştirilen uygulamada kullanıcılar yeni bir POI verisi oluşturma ya da alma işleminde doğrudan POI ontolojisini kullanır ve tüm POI detaylarına ilişkin meta veriler bu ontoloji içerisinde bulunmaktadır. Kullanıcılara buldukları konuma göre POI'lerle ilgili önerilerde bulunmak için Özdikiş vd. (2011), ontoloji tabanlı bir yaklaşım önermiştir. Qall-Me ontolojisi, SiteCategory sınıfının alt kategorileri ve sınıflar için örnekleri (instances) eklenerek ve POI kategorileri arasındaki ilişkiler tanımlanarak genişletilmiştir. Ontolojideki SiteCategory sınıfı 37 POI sınıfı içermektedir ve GoogleMaps, GeoNames, DBpedia veri kaynaklarından elde edilen POI verileri ontolojideki sınıflarla ilişkilendirilmiştir. Yılmaz ve Erdur (2012), mobil kullanıcıların yakınlarında bulunan POI detayları ile ilgili olarak bilgi alabildikleri ve kullanıcıların birbiriyle iletişim kurabildikleri bir sistem geliştirmiştir. Sistem tasarımına uygun olarak ontolojiler genişletilebilir bir biçimde modellenmiştir. Bu modelde POI noktası isim, konum, zaman, tür, anahtar kelime ve hizmetlerden oluşmaktadır. SWT, kavramların tiplerini tanımlamaya, kavramlar arasında ilişki kurmaya ve bu tanımları kullanarak yeni bilgiler çıkarmaya imkân verdiği için içerik farkındalığı sağlanmış olur. Bu ise kullanıcıların çevresindeki POI, yollar, çevre ve hava koşulları, trafik durumu gibi bilgilerin kendilerine daha doğru ve anlamlı olarak sunulmasını sağlar. Bellini vd. (2014), çalışmada akıllı şehirler için yol ağı, yollarda mevcut hizmetler, trafik sensörleri vb. gibi verilerin elde edilmesi ve birleştirilmesi için bir sistem önermiştir. Sistem, hem statik hem de dinamik veriler dikkate alınarak çeşitli kaynaklardan gelen büyük bir veri hacminin yönetilmesine olanak tanır. Bu veriler, KM4City (Kent için Bilgi Modeli) adı verilen bir akıllı şehir ontolojisine eşleştirilir ve belirli kamu yönetimi uygulamaları ve girişimleri aracılığıyla kullanıcılara yeni hizmetler sağlamak için SPARQL sorguları yoluyla uygulamalar için mevcut oldukları bir RDF-Store ile depolanır. KM4City Ontolojisi Administration, Street-guide Point of interest, Public transport, Sensors, Temporal makro sınıfları altında sınıflar, nesne özellikleri (object properties) ve veri özellikleri (data properties) olarak geliştirilmiştir. Čerba vd. (2016), 2014-2017 yılları arasında SDI4Apps Projesi (SDI4Apps, 2022) kapsamında geliştirilen SPOI (Smart POInts of Interest) veri seti ile POI'ler için en büyük veri tabanını oluşturmuştur. Bu POI'ler çeşitli uygulamalar tarafından kullanılabilir ve kullanılan SPOI Ontolojisi 290 sınıf içermektedir. Ontolojideki sınıfların büyük bir çoğunluğu OSM detayları ve özneliklerinin anahtar ve değer çiftleri ile tanımlandığı harita detayları (Map Features) (OSM, 2022) ya da kullanıcı taleplerine göre geliştirilmiştir. Konumsal veri sağlama sürecini iyileştirmek için Yu vd. (2016), konumsal veri tedarik zincirinde tekrarlanan veri işleme ihtiyacını ortadan kaldırmanın bir yolu olarak veri birleştirmeye (data conflation) odaklanmıştır ve SWT'nin birleştirme sürecini otomatikleştirmek için nasıl kullanılabilirliğini ele almıştır. Önerilen yaklaşım kapsamında, konumsal veri kümeleri için ontoloji, geometri, topoloji ve politikalara dayalı ilgili kurallar oluşturulmuştur. Böylece oluşturulan ontoloji ve veri kümesinin daha sonra birden fazla amaca uygun tek yetkili ve güvenilir veri kaynağı olarak birden çok kuruluş tarafından kullanılabilir olacağı ileri sürülmüştür. Geliştirilen POI Ontolojisi kapsamında "POIClass, POISubtype, POIDomain, PointsOfInterest, Location, Adress" sınıfları ve "latitude, longitude, houseNum, roadName, locality, name, numType, roadType, hasPOIClass, hasPOIDomain, hasPOISubtype" özellikleri tanımlanmıştır. Çalışma konumsal veri birleştirme işlemini otomatikleştirmek için SWT'nin nasıl kullanılabilirliği üzerine odaklanmıştır. Aynı konuma ve adrese sahip POI detaylarını otomatik olarak ilişkilendirmek için SWRL (Semantik Web Rule Language) kuralları ile mevcut bilgiden yeni bilgiler çıkarılması hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlarda veri tabanına oranla daha hızlı veri depolama ve veri değişimi sağlanmıştır.

Sosyal ağlar üzerinde kullanıcıların paylaştığı bilgiler genellikle konum bilgisi içeren POI'ler ile bağlantılıdır. POI'ler aslında kullanıcıların günlük yaşamlarındaki olaylar hakkındaki bilgilerin doğrudan içinde yer alır. Dolayısıyla aynı POI bilgileri farklı kullanıcılar tarafından paylaşılabilir. Bu bağlamda farklı platformlardan POI verilerinin toplanması ve eşleştirilmesi problemine Gao vd. (2016), tarafından yeni bir çözüm önerisi sunulmuştur.

Farklı veri kaynaklarından alınan verilerin entegre edilmesinde kümeleme veya veri sıralama algoritmaları yerine açık bağlantılı verileri kullanarak POI verilerinin depolanmasında ontolojilerin kullanıldığı yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşıma göre POI ontolojisi; POI, Şehir, Bölge/Ülke, Tipi sınıflarını ve POI sınıfı ile Enlem, Boylam, Yükseklik, Web sitesi, Telefon, Bina numarası, Cadde, Posta kodu, açık olduğu saatler gibi sınıflar arasındaki ilişkileri içermektedir. Böylece POI verisi depolama ve veri paylaşımının ontoloji tabanlı sistemlerle ileri düzeyde geliştirileceği öngörülmektedir. Yu vd. (2018), çalışmalarında 3 farklı POI veri setinin, tek bir veri seti olarak birleştirilmesi amacıyla bir ontoloji veri modeli tasarlanmıştır. Bu ontolojiden farklı veri kaynaklarının RDF formatına dönüşümü ve öznitelik verilerinin dönüşümünde yararlanılmaktadır. POI Ontolojisi POIClass, POISubtype ve POIDomain olmak üzere 3 sınıftan oluşmaktadır. Patroumpas vd. (2019), farklı kaynaklara ait POI verilerinin birleştirilmesi ve yönetilmesini sağlayan bir ontoloji geliştirmişlerdir. Farklı alan ve uygulamalara ait farklı türlerdeki POI verilerinin ortak olarak bulunan özelliklerinin alınması amaçlanmıştır. Geliştirilen ontolojide tanımlı özellikler gösterilmektedir. Belirli türdeki POI'ler için özelliklerin eklenebilir olması ontolojinin uygulamanın gereksinimine göre genişletilebilmesini sağlamaktadır. Palumbo vd. (2019), birden fazla veri kaynağından elde edilen POI verileri arasında kategorilerin eşleştirilmesi için ontoloji geliştirmiştir. Bu ontoloji ile POI verilerinin platformlar arası analizi etkinleştirilerek, konumsal ve kategorik kapsamın genişletilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca bu çalışma POI verilerinin arazi kullanımı haritalama ve nüfus modelleme uygulamalarında kullanımını desteklemektedir. Bu bağlamda arazi kullanım haritalarını ve nüfus dağılımı tahminini çoklu veri kaynaklarındaki POI kategorilerini birleştirme problemi ele alınmıştır. Gao vd. (2020), GPS izlerinden semantik iz bölmeyi uygulamak için SEMANTIC-SEG adlı bir çerçeve önermiştir. SEMANTIC-SEG, yukarıdan aşağıya gruplara ayırma ve aşağıdan yukarıya ontoloji tabanlı akıl yürütme açıklama adımlarını içerir. GPS okumalarından başlangıç hareket ve bitiş noktalarını belirleyerek semantik olarak iz bölme işleminin gerçekleştirilmesi için ontolojiler (Geometric Ontology, Trajectory Ontology, Geography Ontology, Application Domain Ontology) geliştirilmiştir. Coğrafya Ontolojisi kapsamında tanımlanan POI sınıfı bir ada ve konuma sahiptir ve bir kategoriye aittir. Ayrıca Uygulama Alan Ontolojisi içerisinde her bir POI detayı için tanımlanan farklı kategoriler (Restaurant, School, Shopping_Mall, Transportation, vb.) yer almaktadır. Gala vd. (2021) kapalı ve açık mekânlarda kent turizmi için ontoloji geliştirmiştir. Kent turizm merkezlerinde yer alan POI verileri ontoloji kapsamında tanımlanmıştır. Ayrıca müze verilerinin CSV formatından RDF formatına dönüştürmek için çözümleyici (parser) geliştirilmiştir.

ISO, OGC, W3C gibi uluslararası kurumlara ek olarak harita servisi sunan OSM, GoogleMaps, Here, TomTom gibi platformlar POI verileri için farklı veri modeli kullanmaktadır. POI verilerinin birden çok farklı veri kaynağından farklı amaçlar için toplanması nedeniyle, POI verilerinin birleştirme sürecinde sınıflandırma ve kavramsal tanım farklılıklarından dolayı bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Cai vd. (2022), farklı kaynaklardaki POI verilerinin eşleştirme probleminin üstesinden gelmek için standart bir POI veri modeli ve ontoloji tabanlı bir POI kategori sistemi önermiştir.

Kültürel miras alanı özellikle SWT'nin ilk kullanıldığı alanlardan biridir. CIDOC CRM kültürel miras alanında en çok kullanılan ve en ünlü ontolojilerden biridir. Kültürel miras alanları, ziyaretçilerini onlar hakkında bilgi almaya çeken birçok POI noktalarını içerir. Ancak belirli bir POI hakkındaki veriler, insanlar, olaylar ve diğer nesnelere doğrudan bağlantılıdır ve bu nedenle karmaşık bir yapıya sahiptir. Ranjgar vd. (2022) kültürel miras bilgilerini konum bilgileriyle ilişkilendirmek için GeoSPARQL ontolojisi ile CIDOC CRM'deki ilgili kavramlar ilişkilendirilerek POI tabanlı bir veri modeli önermiştir. Böylece, kültürel miras alanlarında konum tabanlı servisler ve uygulamalar için veri modelini kullanarak kullanıcıların ziyaret ettikleri yerler hakkında istedikleri bilgilere ulaşmaları sağlanmıştır.

Farklı veri kaynaklarındaki POI verilerinin tek bir ontolojide birleştirilerek semantik tanımlarının oluşturulması için yapılan çalışmalarda uygulamaların kapsamı gereği ortak model olarak farklı şemalar kullanılmıştır. Ancak POI verilerinin semantik tanımlarının oluşturulması için W3C POI Çalışma Grubu çalışmaları dâhil olmak üzere mevcut literatürde standart olarak kabul edilen bir alan ontolojisine rastlanmamıştır. POI Çalışma Grubu tarafından 16 Mart 2012 tarihinde taslak olarak yayınlanan rapora göre POI veri modeli önerilmiştir. Bu model, bir POI varlığı ve bir POIS gruplama varlığından oluşur. Her POI, konumunu açıklayan bir "Location" varlığıyla birlikte tanımlayıcı bilgileri yakalamak için birçok öznitelige sahiptir. POI, POIS sınıfları ve alt varlıklarının tanımlanabileceği esnekliği en üst düzeye çıkarmak için her biri, özelliklerini tek bir ortak sınıftan devralır. Pratik anlamda bu, güncelleme zamanı, yazarlık, bağlantılar ve diğer sınıflandırmalar gibi özelliklerin veri modeli içinde birden fazla ayrıntı düzeyinde tanımlanmasına olanak tanır (W3C, 2012).

Web üzerinde POI verilerinin çıkarılmasına yönelik çalışmalar değerlendirildiğinde; POI verileri Here, OSM, Wikimapia, TomTom, GoogleMaps, Facebook, Foursquare, DBpedia, Wikidata, Wikipedia, Flickr, Eventful, Yelp gibi farklı veri kaynaklarından toplanmaktadır. Bu veri kaynaklarının veri erişim yöntemleri, POI sınıflandırmaları ve veri formatları farklılık göstermektedir. Farklı veri kaynaklarındaki POI verileri çoğunlukla id, POI adı, kategori veya türü gibi öznitelikler ve konum bilgisi içerirken diğer POI verileri bu bilgilerin yanı sıra iletişim bilgileri, çalışma saatleri, kullanıcı görüşleri ve sayısı, ortalama inceleme puanı, sunulan ürünlerin fiyatı hakkında bilgiler, fotoğraflar ve çeşitli öznitelikleri de tanımlayabilmektedir. POI verilerine ait bu özniteliklerin ilgili POI sınıfı ile ilişkilendirilerek birleştirilmesini gerektiren uygulama ve servislerde kullanımı; POI verilerinin semantik olarak tanımlarının oluşturulması ve eşleştirilmesi ile birlikte SWT'nin getirdiği bütün avantajları sağladığı anlamına gelmektedir.

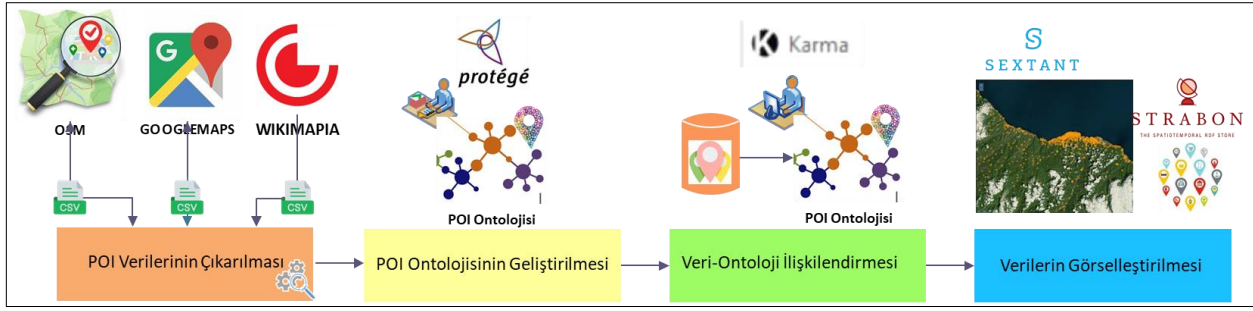
SWT ile farklı veri kaynaklarındaki POI verilerini tanımlama işlemi anlamsal olarak belirlendiği için veri birleştirme işlemi otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Böylece SWT kullanılarak bilgisayar çıkarsama süreci aracılığıyla belirlenen kuralları yerine getirerek, ilgili veri kümeleri anlamsal olarak birbirine bağlanır ve entegre edilir. Böylece farklı veri kaynaklarındaki POI verileri anlamsal olarak birbirleri ile ilişkilendirilmiş olacağı için gerçekleştirilecek tüm uygulamalarda ihtiyaç duyulan POI verileri otomatik olarak tüm veri kaynaklarından çıkarılmış olacaktır. Bu noktadan hareketle bu çalışmanın amacı; farklı veri kaynaklarında çıkarılan POI verilerinin semantik tanımlarını oluşturmak ve bu tanımları kullanarak RDF POI verilerini harita üzerinde görselleştirmektir. Bu amaçla; WikiMapia, Google Maps ve OSM veri kaynaklarından çıkarılan POI verileri POI adı ve konumsal benzerliği açısından karşılaştırılmıştır. Belirlenen POI verilerinin Semantik Web uygulamalarında kullanılabilirliğini sağlamak amacıyla semantik tanımlarının oluşturulması gerekir. POI verilerinin semantik tanımları için mevcut literatürde yer alan POI ontolojileri araştırılmıştır ve değerlendirilmiştir. POI verilerinin semantik tanımları için gerekli ontolojilerin belirlenmesinin ardından ontolojiler ve POI verileri, bir veri ve ontoloji birleştirme aracı olan Karma ile ilişkilendirilmiştir. Bütün kategorilerde yer alan POI verileri RDF olarak yayınlanmıştır. RDF olarak yayınlanan POI verileri, bağlantılı verileri görselleştirme aracı olan Sextant ile görselleştirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

POI verileri, ilk başta harita yapımı ve ölçme konusunda uzman kişiler ve ilgili kurum/kuruluşlar tarafından toplanmıştır. Ancak sonrasında Web 2.0 ile birlikte gelen uygulamalar ve internet şirketlerinin harita uygulamaları ile hem POI verilerinin sayısı artmıştır hem de geleneksel veri toplama yöntemlerine yeni bir veri toplama yaklaşımı eklenmiştir. Özellikle kitle kaynak ve gönüllü coğrafi bilgi yaklaşımlarının yaygınlaşması ve artan başarısı, bu yaklaşımların avantajlarının özellikle konumsal verilerin toplanması ve güncellenmesinde kullanılabilirliğinin değerlendirilmesini gündeme getirmiştir. Bu çalışma OSM ve Wikimapia açık harita kaynaklarından alınan verilerin entegre edilmesi için ontoloji geliştirmeye odaklanmaktadır. OSM, Wikimapia ve GoogleMaps, POI verileri açısından farklı ayrıntı düzeyleri dâhil olmak üzere oldukça farklı şemalara sahiptir. Kitle kaynak veya gönüllü coğrafi bilgi yaklaşımları kullanılarak oluşturulan konumsal veri platformları ile çok fazla konumsal veri üretilmesine rağmen web'deki veri kaynaklarında veriyi aramak ve bulmak hala çok zordur. Bunun yanında POI verilerine ihtiyaç duyan kullanıcıların farklı kaynaklarda bulunan POI verilerini birleştirmesi veya entegre etmesi beklenemez.

Farklı kaynaklardaki POI verilerinin içerikleri ve kapsamı birbirinden farklıdır. Bu verilerin kullanılacağı birçok uygulama farklı veri kaynaklarındaki bilgilerin birleştirilmesini gerektirir. Bu problem ise temel olarak veri eşleştirmeyi amaçlayan veri bütünleştirme veya birleştirme (data integration, data fusion, data blending, data mapping, data wrangling, data curation) işlemi ile çözülebilir. Ancak farklı veri kaynaklarının farklı şemalara sahip olması, veri kaynakları arasında veri eşleştirme işlemi zorlaştırmaktadır. Tek bir veri kaynağında sınırlı sayıda POI verisinin bulunması göz önüne alındığında kapsamlı bir POI veri seti oluşturmak için dağıtık veri kaynaklarındaki POI verilerinin entegre edilmesi veya birleştirilmesi çok önemli bir işlem haline gelmektedir. Farklı veri kaynaklarında yer alan POI verilerinin elde edilmesi için ilk adım veri çıkarma işlemidir. İkinci adım ise veri kaynaklarından çıkarılan veriler arasındaki eşleştirmelerin belirlenmesi ve ilgili kavramlar arasındaki bağlantıların kurulması veya ilişkilerin belirlenmesidir. Üçüncü adım ise kavramsal düzeydeki tanımlara bağlı olarak veri düzeyinde eşleştirmelerin (farklı veri kaynaklarında bulunan aynı sınıfa ait öznitelikleri birleştirerek) gerçekleştirilmesidir.

Yaygın kullanılan sözdizimsel yöntemlerle zor ve zaman alan konumsal veri birleştirme işleminde anlamsal farklılıkları belirlemek ve tanımlamak için ontolojiler en uygun çözümdür. POI verileri gibi konumsal veri içeren detayları, detaylar arasındaki ilişkileri tanımlamak ve farklı veri kaynaklarındaki POI verilerini eşleştirmek için semantik eşleştirme, sözdizimsel yöntemlere göre ontolojiler arasındaki benzerliğe dayandığı için çok daha etkili sonuçlar üretmektedir. Özellikle ontoloji kapsamında veya ontolojiler arasında tanımlanan ilişkiler yardımıyla SWT kullanılarak eşleşebilecek POI verilerinin bulunması ve ayrıca yeni bilgi ve verilerin çıkarsanması mümkündür. POI verilerinin geliştirilen ontolojiler ile ilişkilendirilmesi ve web üzerinde ilgili diğer semantik anlamlarıyla ilişkilendirilmesi, web üzerinde POI verilerinin diğer kullanıcılar tarafından bulunabilir olmasını sağlamaktadır ve Semantik Web uygulamalarında kullanılabilirliğini artırmaktadır. Bu amaçla, farklı veri kaynaklarından POI verilerinin çıkarılması ve semantik tanımlarının üretilmesinden sorgulanması ve görselleştirilmesine kadar gerçekleştirilen tüm işlem adımları Şekil 1'de detaylı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 1. İş akışı

İş akışında verilen POI verilerinin çıkarılması, POI Ontolojisinin geliştirilmesi, verilerin POI Ontolojisi ile ilişkilendirilmesi ve sorgulanan POI verilerinin görselleştirilmesi için gerekli işlem adımları bu bölümde detaylı bir şekilde verilmiştir.

2.1 Farklı Veri Kaynaklarından POI Verilerinin Çıkarılması

POI verileri genellikle büyük teknoloji şirketleri ve açık kaynaklı platformlar olmak üzere iki çeşit kaynaktan elde edilmektedir. Çalışma kapsamında POI verileri Trabzon ili kapsamında OSM, Wikimapia ve GoogleMaps harita kaynaklarından elde edilmiştir. OSM POI verileri OSM Sophox kullanılarak çıkarılmıştır. SPARQL sorguları ile bütün POI verileri csv formatında indirilmiştir. İndirilen verilerin koordinat sütunu enlem ve boylam ayrı sütunlarda olacak şekilde düzenlenmiştir. Wikimapia POI verileri GeoDeg Beta (GeoDeg, 2022) ve GoogleMaps POI Verileri Google Places API ile elde edilmiştir. OSM, Wikimapia ve GoogleMaps POI kategorilerinin karşılıkları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. OSM POI türlerine karşılık gelen GoogleMaps ve Wikimapia POI türleri

Tema	POI Türü	OSM anahtar=değer çifti	Wikimapia POI türü	GoogleMaps POI türü
Alışveriş	AVM	shop=mall	shopping_mall_center	shopping_mall
	İs_merkezi	building=office	business_centre	-
	Acik_pazaryeri	amenity=marketplace	marketplace, store/shop	shopping_mall
	Kapali_pazaryeri	amenity=marketplace	marketplace, store/shop	shopping_mall
Ulaşım	Benzin_istasyonu	amenity=fuel	petrol_gas_station	gas_station
	Dinlenme_tesisi	highway=services, highway=rest_area	leisure, recreation area/ground	-
	Havaalanı	aeroway=aerodrome	airport, aviation	airport
	Otopark	amenity=parking, building=parking	parking	parking
	Arac_muayene_istasyonu	amenity vehicle_inspection	-	car_repair
	Otobus_duragi	amenity=bus_station, highway=bus_stop, public_transport=stop_position	bus_station	bus_station
	Metro_Duragi	public_transport=stop_area, public_transport=platform	tram_stop, metro/subway/underground_station, station	subway_station
	Tren_istasyonu	railway=station, public_transport=station, railway=halt, railway=tram_stop, public_transport=stop_position,	train_station, station	train_station
Terminal	building=transportation, public_transport=platform	bus_station	bus_station	

Tablo 1'in devamı

Tema	POI Türü	OSM anahtar=değer çifti	Wikimapia POI türü	GoogleMaps POI türü
Dini Tesis	Cami	building=mosque, amenity=place_of_worship + religion=muslim	mosque	mosque
	Cemevi	building=mosque, amenity=place_of_worship + religion=muslim	temple, mosque	mosque
	Mescit	amenity=place_of_worship + religion=muslim	mosque	mosque
	Kilise	building=church, amenity=place_of_worship + religion=christian	church	church
	Havra	building=synagogue, amenity=place_of_worship + religion=jewish	synagogue	synagogue
	Sinagog	building=synagogue, amenity=place_of_worship + religion=jewish	synagogue, masonic_t emple	synagogue
Eğitim Kurumu	İlkokul	amenity=school	school	Primary school
	Ortaokul	amenity=school	school	Secondary school
	Lise	amenity=school	school	school
	Üniversite	amenity=university	university	university
	Kurs	building=mosque, amenity=place_of_worship + religion=muslim	mosque	mosque
Finansal Kurum	Banka	amenity=bank	bank	bank
	ATM	amenity=atm	bank, atm, money_exchange	atm
Kültürel Tesis	Fuar_merkezi	amenity=community_centre	exhibition_centre	art_gallery
	Kültür_kongre_me rkezi	amenity=arts_centre, amenity=community_centre	congress_centre	art_gallery
	Kütüphane	amenity=library	library	library
	Müze	tourism=museum	museum	museum
	Tiyatro	amenity=theatre	theatre, amphitheatre	movie_theater
	Sergi_salonu	tourism=gallery	exhibition_centre	art_gallery
	Sinema	amenity=cinema	cinema	movie_theater
Resmi Kurum	Valilik	office=government	government	local_government_of fice
	Belediye	amenity=townhall	townhall	local_government_of fice
	Adliye	amenity=courthouse	courthouse	courthouse
	Noter	office=notary	notary, office_building	-
	Lojman	tourism=guest_house	embassy	lodging
	Jandarma	building=military	military, gendarmerie	-
	Polis	amenity=police	police_station	police
	Gumruk_binasi	barrier=border_control	customs, border_checkpoint, government, police_station	local_government_of fice
	Il_ozel_idare	building=government	-	local_government_of fice

Tablo 1'in devamı

Tema	POI Türü	OSM anahtar=değer çifti	Wikimapia POI türü	GoogleMaps POI türü
Sağlık Kurumu	Hastane	amenity=hospital, building=hospital	hospital, health	hospital
	Aile_sagligi_merkezi	amenity=clinic	hospital, health, clinic	hospital
	Poliklinik	amenity=clinic	hospital, health, clinic	hospital
Sanayi ve Üretim Alanı	OSB	landuse=industrial	industrial_area	-
	Sanayi_sitesi	landuse=industrial	industrial_area	-
	Fabrika	man_made=works	factory	-
	Atolye	craft=atelier	repair, workshop	-
Spor Tesisi	Stadyum	leisure=stadium, building=stadium	stadium, complex	stadium
	Spor_salonu	leisure=sports_centre, building=sports_hall	sport_venue, court, gym	gym
	Futbol_Basketbol_Tenis_Voleybol_Golf_sahasi	leisure=pitch + sport=soccer/basketball/tennis/volleyball/golf_course	stadium	stadium
Su, Kanalizasyon, Çöp	Cop_depolama_alani	landuse=landfill	-	-
	Aritma_tesisi	man_made=wastewater_plant	-	-
Tarihi ve Turistik Yer	Anit	historic=monument	monument	-
	Otel	tourism=hotel, building=hotel	hotel	lodging
	Hamam	amenity=public_bath	bathhouse	-
	Kaplica	amenity=public_bath	bathhouse	-
	Misafirhane	tourism=guest_house	-	lodging
	Plaj	natural=beach	beach	-
	Tarihi_alan	historic=archaeological_site	-	-
Tarım ve Hayvancılık	Tarim_hayvan_ciftligi	landuse=farmyard	-	-
	Tarimsal_uretim_alani	landuse=farmland	-	-
	Silo	man_made=silo	-	-
Anten ve Yüksek Yapı	Baz_istasyonu	man_made=mast	Base_transceiver/GSM_station	-
	TV_radyo_verici	man_made=communications_tower	tower, tv_tower	-
	Deniz_feneri	man_made=lighthouse	lighthouse	-
	Baca	man_made=chimney	-	-
	Vinc	man_made=crane	-	-
	Degirmen	man_made=watermill, man_made=windmill	miller, factory	-
	Kule	man_made=tower	tower	-
	Bayrak_diregi	man_made=flagpole	-	-
Yeşil Alan	Park	leisure=park	park	park
	Mesire_alani	tourism=picnic_site	park, camping	park
Mezarlık	Musulman	landuse=cemetery (religion=muslim)	cemetery	cemetery
	Hristiyan	landuse=cemetery (religion=christian)	cemetery	cemetery
	Yahudi	landuse=cemetery (religion=jewish)	cemetery	cemetery

Tablo 1'de yer alan tüm POI kategorileri için veriler OSM, Wikimapia ve GoogleMaps üzerinden çıkarılmıştır. Çıkarılan verilerin tek bir kategoride değil farklı kategorilerde yer aldığı Tablo 1'de görülmektedir.

2.2 Mevcut Ontolojilerin Değerlendirilmesi ve POI Ontolojisinin Geliştirilmesi

Farklı veri kaynaklarındaki POI verilerinin içeriği ve formatı birbirinden farklı olduğu için ve çıkarılan veri hiçbir semantik bilgi içermediği için farklı kaynaklardan çıkarılan POI verilerinin anlaşılması ve kullanılması zordur. POI veri kaynaklarından seçilen üç veri kaynağını entegre etmek için referans bir POI ontolojisi geliştirilmesi gerekir. Bu ontolojinin mevcut POI hiyerarşileri dikkate alınarak daha kapsamlı ve genişletilebilir bir alan ontolojisi olması temel amaçtır. Bu sınıflandırmayı kapsamlı hale getirmek için, hiyerarşi iki derinlik düzeyinde sınırlandırılmıştır. Ancak diğer POI veri kaynaklarının semantik tanımlarının oluşturulması için genişletilebilir. Ontolojiler bilginin anlamını açıkça ifade ettikleri ve bilgisayarlar tarafından anlaşılabilir bir dil kullandıkları için içeriğinde kodlanmış bilgiyi kullanarak yeni bilgilerin çıkarılmasına imkân vermekte ve akıllı hizmetlere ve uygulamalara daha fazla esneklik sunabilmektedir. Bu bağlamda POI verilerinin semantik tanımlarını oluşturmak için öncelikle mevcut ontolojilerin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Bu amaçla POI verilerinin semantik tanımlarının oluşturulmasına yönelik akademik çalışmalar değerlendirilerek mevcut ontolojilerin yeniden kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı tarih itibariyle ontoloji arama motorlarına erişim sağlanmadığı için POI ontolojileri ile ilgili literatür araştırılarak bulunan ontolojilerin içeriği ve kapsamı incelendiğinde; aşağıda verilen POI ontolojileri belirlenmiştir.

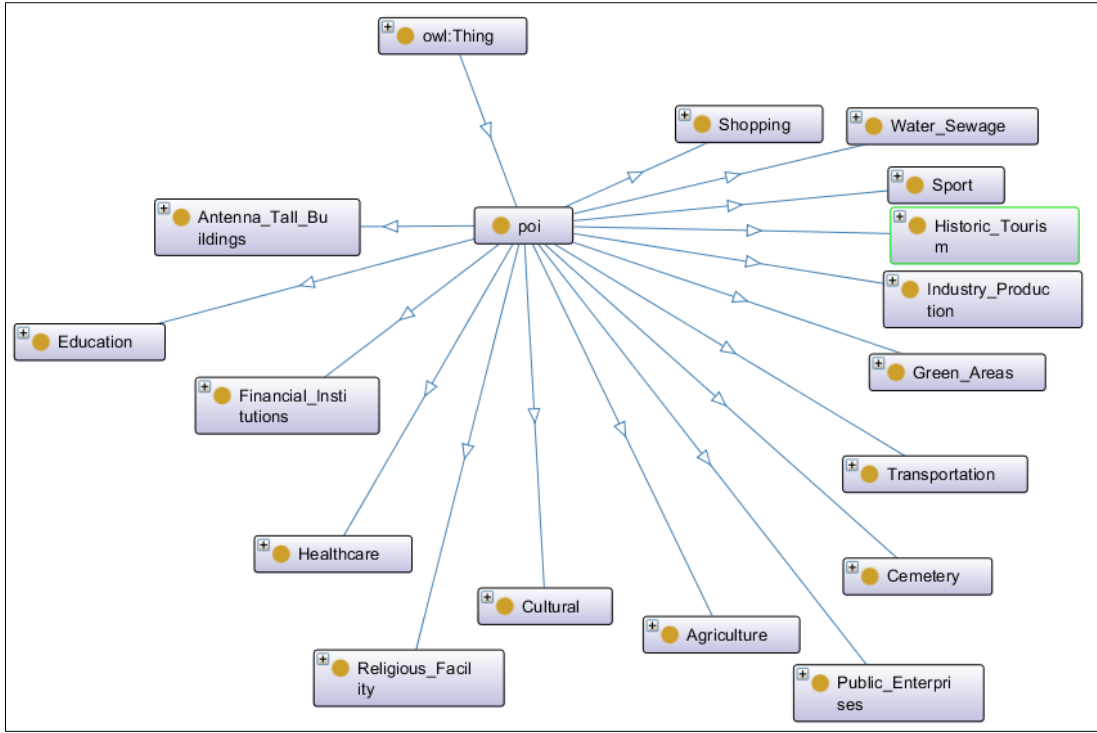
SPOI Ontolojisi (Čerba vd., 2016): SDI4Apps Projesi (SDI4Apps, 2022) kapsamında dünya genelinde çok sayıda POI verisi toplanmıştır. Toplanan veriler OSM ve GeoNames kategorileri değerlendirilerek SPOI (Smart Points of Interest) Ontolojisi oluşturulmuştur. SPOI Ontolojisi, XML, XML Şema, RDF, RDFS, SKOS, GeoSPARQL veya FOAF gibi kelime hazinelerini kullanmıştır.

POI Ontolojisi (Gao vd., 2016): Twitter, Foursquare gibi sosyal medya uygulamalarında kullanıcılar tarafından bildirimde bulunan POI verilerinin toplanması ve semantik olarak eşleştirilmesi için POI türleri için ortak özelliklerin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş bir ontolojidir. POI verileri için name, city, region/country, category, type, latitude, longitude, altitude, website, phone, house number, street, zip code, opening hour sınıfları tanımlanmıştır. POI ontolojisi kapsamında POI verilerinin öznitelikleri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

SLIPO Ontolojisi (Patroumpas vd., 2019): POI verilerini bağlantılı konumsal veriler olarak temsil etmek için genel, veri sağlayıcısından bağımsız ve genişletilebilir bir ontolojidir. Web üzerinde heterojen veri kaynaklardan gelen POI verilerini birleştirmek ve yönetmek için mevcut POI formatlarını içeren ve genişleten bir ontolojidir. SLIPO Ontolojisi, alan ontolojisi kategorisinde yer alan bir ontolojidir. Farklı POI şemalarının ilişkilendirilmesi amacıyla tanımlanmıştır.

Mevcut ontolojilerin kapsamı ve içeriği değerlendirildiğinde; POI Ontolojisi kullanıcılar tarafından bildirimde bulunan POI verilerinin toplanması ve semantik olarak eşleştirilmesi amacıyla geliştirilmiştir ve POI detayı için ortak öznitelikler belirlenmiştir. POI ontolojisi Gao vd. (2016), tarafından oluşturulmuştur ancak ontoloji web üzerinde yayınlanmamıştır. SPOI Ontolojisi ise dünya genelinde toplanan POI verilerinin semantik tanımlarının oluşturulması amacıyla geliştirilmiştir. Geonames ve OSM POI kategorileri değerlendirilerek geliştirilen kapsamlı bir ontoloji olması sebebiyle kullanılması uygun görülmüştür. Bu çalışma kapsamında, oluşturulan POI Ontolojisi SPOI ontolojisi kullanılarak geliştirilen bir ontolojidir. Ayrıca POI detaylarının geometri tipleri için GeoSPARQL Ontolojisi kullanılmıştır. Sadece açık harita kaynakları değil diğer açık veri kaynaklarındaki POI verilerinin uygulamaya dâhil edilmesi durumunda SLIPO Ontolojisinin de semantik tanımların oluşturulmasında alan ontolojisi olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

SPOI Ontolojisi amacı ve kapsamı gereği, Tablo 1'de belirlenen POI kategorilerinin tema alanlarını içermemektedir. Ancak Tablo 1'de verilen POI türlerinin üst sınıfı veya eşdeğer sınıfı olabilecek POI türlerini içermektedir. Bu nedenle Tablo 1'de belirtildiği şekilde ontoloji sınıfları oluşturularak SPOI ontolojisinde üst sınıflar ve eşdeğer sınıflar belirlenerek eşleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun haricinde SPOI Ontolojisinde yer almayan POI kategorileri de POI Ontolojisine eklenmiştir. SPOI Ontolojisi, Büyük ölçüde OSM POI verileri dikkate alınarak hazırlandığı için bu kategorileri içermektedir. Ancak Wikimapia ve GoogleMaps POI verileri için bütün POI veri kategorilerini içermemektedir. Çıkarılan POI verilerinde farklılıkların ve benzerliklerin incelenmesi sırasında bir POI kategorisinde bulunmasına rağmen farklı POI kategorisinde değerlendirilebilecek verilerin bulunduğu belirlenmiştir. Bu veriler için POI ontolojisinde ilgili POI türleri tanımlanarak semantik tanımları ile ilişkilendirilmiştir. Veri özellikleri (data properties) ve nesne özellikleri (object properties) tanımlanmıştır. Oluşturulan POI Ontolojisinin genel görünümü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Protégé arayüzünde POI ontolojisinin genel görünümü

POI Ontolojisi'nin geliştirilmesi sürecinde ayrıca Tablo 1'de verilen POI kategorilerinin OSM, Wikimapia ve GoogleMaps POI kategorileri arasında benzer kategoriler için sınıflar arasında eşleştirme yapılmıştır. Bu işlem ile SPOI Ontolojisi'nin genişletilmesi sağlanmıştır. Eşleştirme işlemi sınıflar arasında 1-1, 1-n şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında farklı kaynaklardan çıkarılan POI verileri, ya id ile birlikte konum bilgilerini ya da ad ve kategori gibi birkaç öznitelik içermektedir. Ancak uygulamalar kapsamında kullanıcılar tarafından POI'ler hakkında zaman, hava durumu, ulaşım vasıtaları, park hizmeti, park ücreti, açılış saati, kapanış saati gibi kapsamlı tanımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu öznitelikler de diğer POI veri kaynaklarından ekleneceği düşünülerek veri öznitelikleri kısmına eklenmiştir.

2.3 POI Verileri ile Ontolojilerin İlişkilendirilmesi

Farklı veri kaynaklarındaki verilerin ilgili ontolojiler ile ilişkilendirilmesinin amacı verilerin semantik olarak birlikte işlerliğini sağlamaktır. Yani, farklı veri kaynaklarının şemalarını anlamsal olarak ilişkilendirmektir. Örneğin, iki farklı veri kaynağından gelen cadde isimleri gerçek dünyada aynı caddeyi ifade edebilir. Ancak veri düzeyinde semantik olarak eşleştirmelerin gerçekleştirilmesi durumunda farklı iki kaynaktan gelen cadde isimlerinin aynı cadde ismine karşılık geldiği çıkarılabilir. Veri düzeyinde semantik olarak eşleştirme işleminin gerçekleştirilmesi semantik tanımların oluşturulması ile mümkündür. Geleneksel veri eşleştirme yaklaşımlarında çıkarsama işleminin gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Konumsal verilerin büyük bir çoğunluğu ilişkisel veri tabanlarında tutulmakta olup kapalı dünya varsayımına (closed world assumption) göre çalışmaktadır. Ancak bunun tersine ontolojiler açık dünya varsayımına (open world assumption) dayanmaktadır ve mevcut verilerden yeni verilerin çıkarsanmasına imkân vermektedir. Bu bağlamda POI verilerinin veri düzeyinde anlamsal olarak eşleştirilmesi ise kavramsal düzeyde eşleştirme ile mümkündür.

POI verilerinin semantik tanımlarının oluşturulması için POI Ontolojisi içindeki sınıfların verileri ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Karma, verilerin ontoloji sınıfları ile ilişkilendirilmesini sağlar ve ardından ontolojiyi baz alarak bu sınıfları birbirleri ile ilişkilendiren bir model önerir. Kullanıcılar daha sonra otomatik olarak oluşturulan modeli ayarlamak için sistemle etkileşime girer. Bu işlem sırasında kullanıcılar, farklı formatlarda ifade edilen verileri normalleştirmek ve yeniden yapılandırmak için verileri gerektiği gibi dönüştürebilir. Model tamamlandığında, kullanıcılar entegre verileri RDF olarak yayınlatabilir veya bir veri tabanında saklayabilir (KARMA, 2021). Belirtilen yönleri ile Karma, eşdeğeri yazılımlara üstünlük sağlaması ve özellikle ontolojiler ve veriler arasındaki ilişkilerin tanımlanmasında büyük kolaylık sağlamaktadır. Ontolojiler ve verilerin içe aktarılması için Karma arayüzünde dosyaların içe aktarılmasıyla gerçekleştirilir. Ontolojiler ve POI verileri içe aktarıldıktan sonra POI verileri Şekil 3'te gösterildiği gibi görüntülenmektedir.

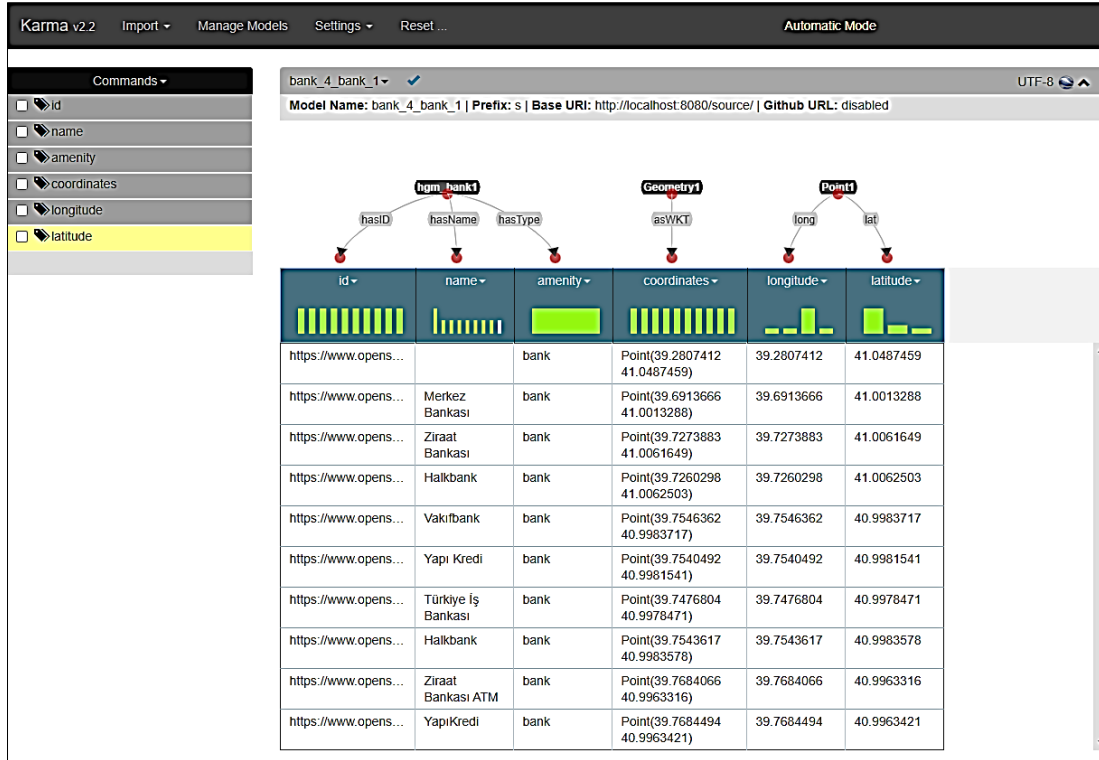
id	name	amenity	coordinates	longitude	latitude
https://www.opens...		bank	Point(39.2807412 41.0487459)	39.2807412	41.0487459
https://www.opens...	Merkez Bankası	bank	Point(39.6913666 41.0013288)	39.6913666	41.0013288
https://www.opens...	Ziraat Bankası	bank	Point(39.7273883 41.0061649)	39.7273883	41.0061649
https://www.opens...	Halkbank	bank	Point(39.7260298 41.0062503)	39.7260298	41.0062503
https://www.opens...	Vakıfbank	bank	Point(39.7546362 40.9983717)	39.7546362	40.9983717
https://www.opens...	Yapı Kredi	bank	Point(39.7540492 40.9981541)	39.7540492	40.9981541
https://www.opens...	Türkiye İş Bankası	bank	Point(39.7476804 40.9978471)	39.7476804	40.9978471
https://www.opens...	Halkbank	bank	Point(39.7543617 40.9983578)	39.7543617	40.9983578
https://www.opens...	Ziraat Bankası ATM	bank	Point(39.7684066 40.9963316)	39.7684066	40.9963316
https://www.opens...	YapıKredi	bank	Point(39.7684494 40.9963421)	39.7684494	40.9963421

Şekil 3. Karma arayüzünde bank.csv dosyasının görüntülenmesi

Karma ile verilerin semantik tanımlarının oluşturulması için POI.owl, POI verilerinin geometri tipinin tanımlanması için geosparql.rdf ve verilerin enlem boylam bilgilerinin tanımlanması için geo_2007.owl ontolojileri içe aktarılmıştır. Semantik tanımlar için tabloda her bir öznitelik üzerine tıklanarak semantik tipler ilgili ontolojiler ile ilişkilendirilmiştir. Örneğin Şekil 3'te verilen bank.csv dosyasındaki id özniteliği POI ontolojisindeki bank sınıfı ile arasında hasID ilişkisi kurularak Şekil 4'te verildiği gibi tanımlanmıştır. Tablodaki verilerin her bir sütunu için semantik ilişkilerin kurulması yani verilerin ontolojilerle ilişkilendirilmesi bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4. Karma arayüzünde semantik ilişkilerin tanımlanması

Veri ve ontoloji arasındaki ilişkilerin tanımlanmasından sonra veriler ve ontoloji arasındaki ilişkiler Şekil 5'te verildiği gibi görülmektedir.

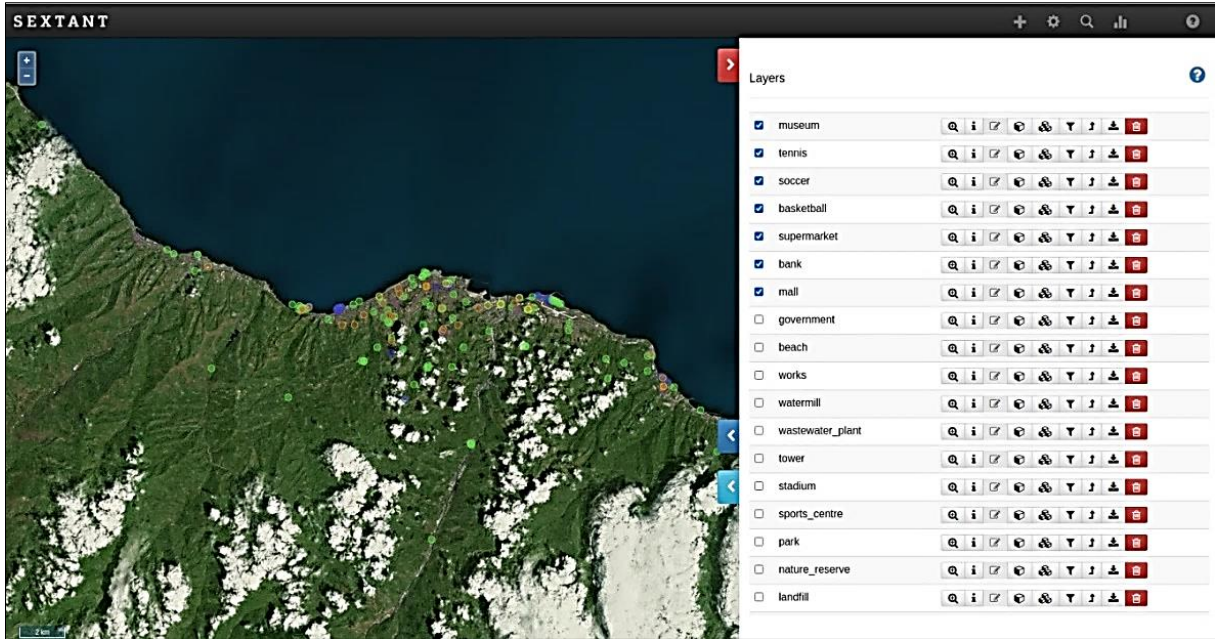


Şekil 5. Karma arayüzünde semantik ilişkilerin tanımlanması

Veriler ile ontolojiler ilişkilendirildikten sonra Karma arayüzünde RDF dosyası oluşturulmuştur. Bütün POI verileri için oluşturulan RDF dosyaları <https://www.gultenkara.com/data/> bağlantısı ile yayınlanmıştır. Örneğin banka için bağlantılı veri <https://www.gultenkara.com/data/bank.ttl> şeklinde yayınlanmıştır.

2.4 POI Verilerinin Görselleştirilmesi

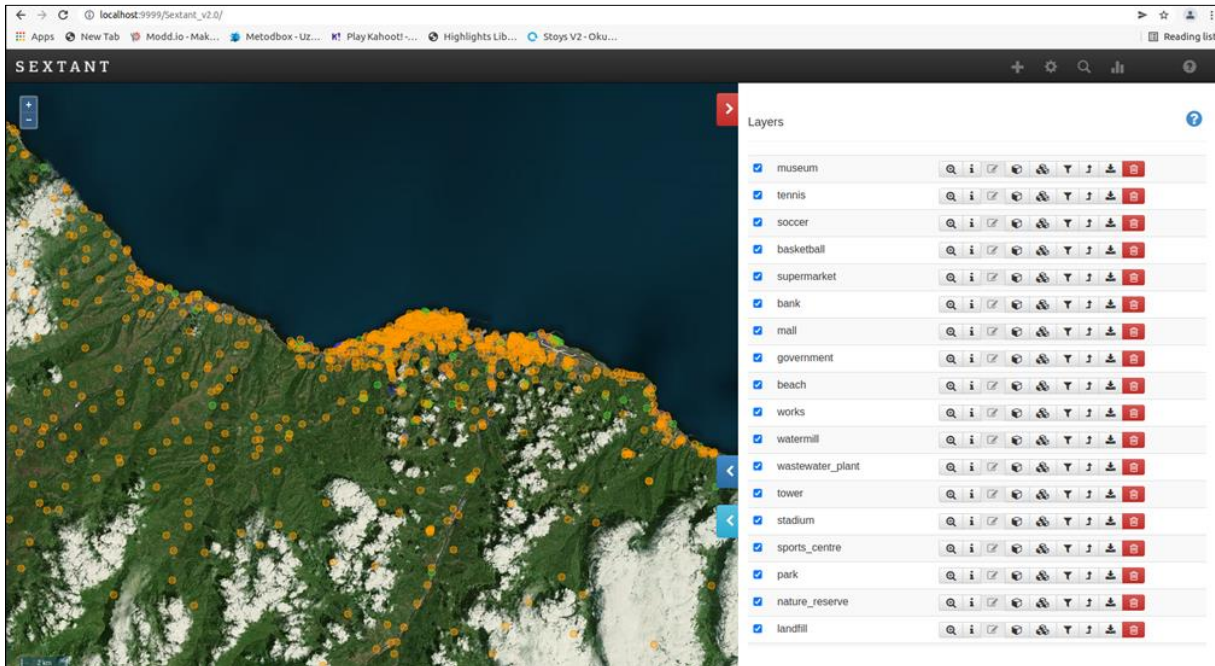
Karma yazılımı ile verilerin ontolojilerle ilişkilendirilmesinden sonra yayınlanan bağlantılı veriler Sextant (SEXTANT, 2021) yazılımı ile görselleştirilmiştir. Sextant, bağlantılı konumsal verileri görselleştirmek, incelemek için web tabanlı ve mobil kullanıma hazır bir platformdur. Sextant KR-Suite (KR-Suite, 2021) Docker kapsamında kurulan bir yazılımdır. KR-Suite GeoTriples, Strabon ve Sextant yazılımlarını içerir. Ubuntu işletim sisteminde kurulum tamamlandıktan sonra KR-Suite klasöründe iken terminalde rocket.sh komutu ile GeoTriples, Strabon, Sextant başlatılır. Tarayıcıda localhost:8080 adresi ile Sextant yazılımı açılır. RDF verileri Strabon'a yüklenir. POI RDF verileri üzerinden SPARQL sorguları gerçekleştirildikten sonra OSM, GoogleMaps ve Wikimapia POI verilerinin bütün kategorilerinde veri görselleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da gösterildiği gibi OSM, GoogleMaps ve Wikimapia POI RDF verilerinden müze, tenis sahası, basketbol sahası, süpermarket, banka, alışveriş merkezi POI veri kategorileri renklendirilerek harita üzerinde gösterilmiştir. Bağlantılı verilerin yüklenmesinden sonra POI türleri katman rengi varsayılan olarak sarı renk ile gösterilmektedir. Belirtilen POI türleri için farklı renkler belirlenmiştir.



Şekil 6. Renklendirilmiş POI türleri

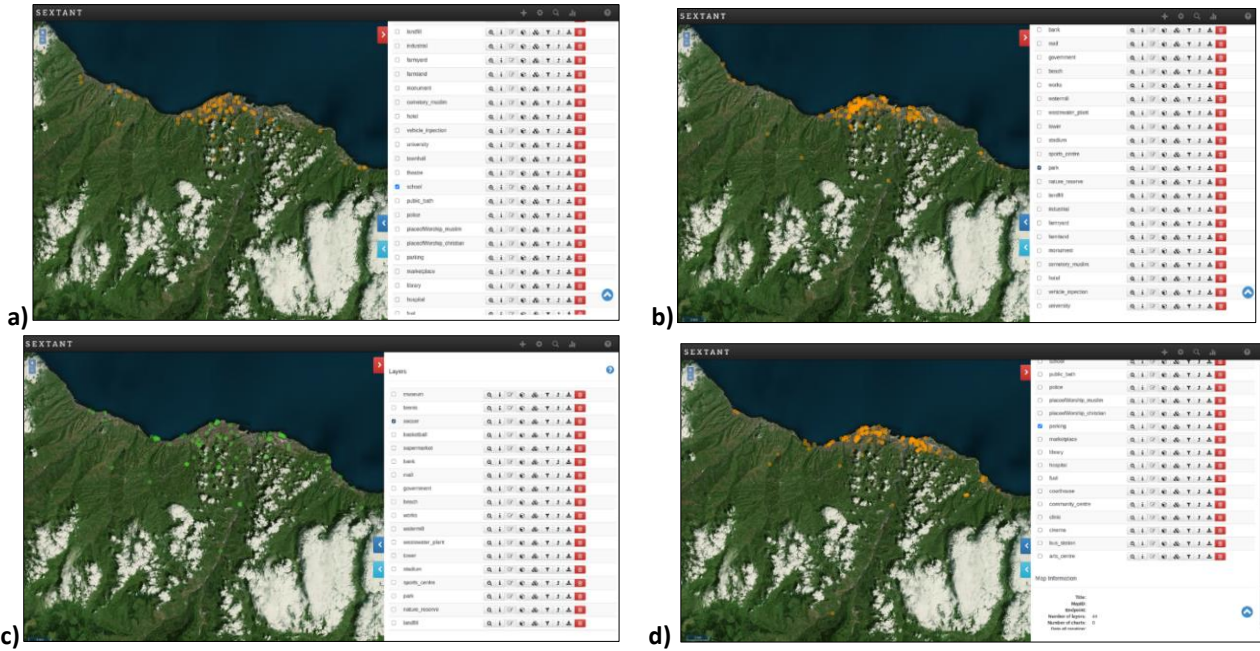
Sextant, Strabon üçlü deposu (triple store) ile entegre çalışmaktadır. Strabon üzerinde gerçekleştirilen sorgu sonuçları Sextant ile görüntülenebilmektedir. Böylece farklı kaynaklardaki POI verileri semantik tanımları sayesinde eşleştirilerek OSM, GoogleMaps, Wikimapia veri kaynaklarında yer alan POI verileri birleştirilerek kullanıcıya sunulmaktadır.

POI türlerinden müze, tenis sahası, futbol sahası, basketbol sahası, kapalı pazaryeri, banka, alışveriş merkezi, valilik, plaj, fabrika, değirmen, arıtma tesisi, kule, stadyum, spor salonu, park, milli park, çöp depolama alanı, organize sanayi bölgesi, tarım/hayvan çiftlikleri, tarımsal üretim alanı, anıt, müslüman mezarlığı, otel, araç muayene istasyonu, üniversite, belediye, tiyatro, okul (ilkokul, ortaokul, lise), hamam ve kaplıca, polis, cami, kilise, otopark, açık pazaryeri, kütüphane, hastane, benzinlik, adliye, fuar merkezi, sağlık ocağı ve poliklinik, sinema, otobüs durağı, kültür/kongre merkezi türündeki POI katmanlarının hepsi harita üzerinde açıldığında Şekli 7'deki gibi gösterilmektedir.



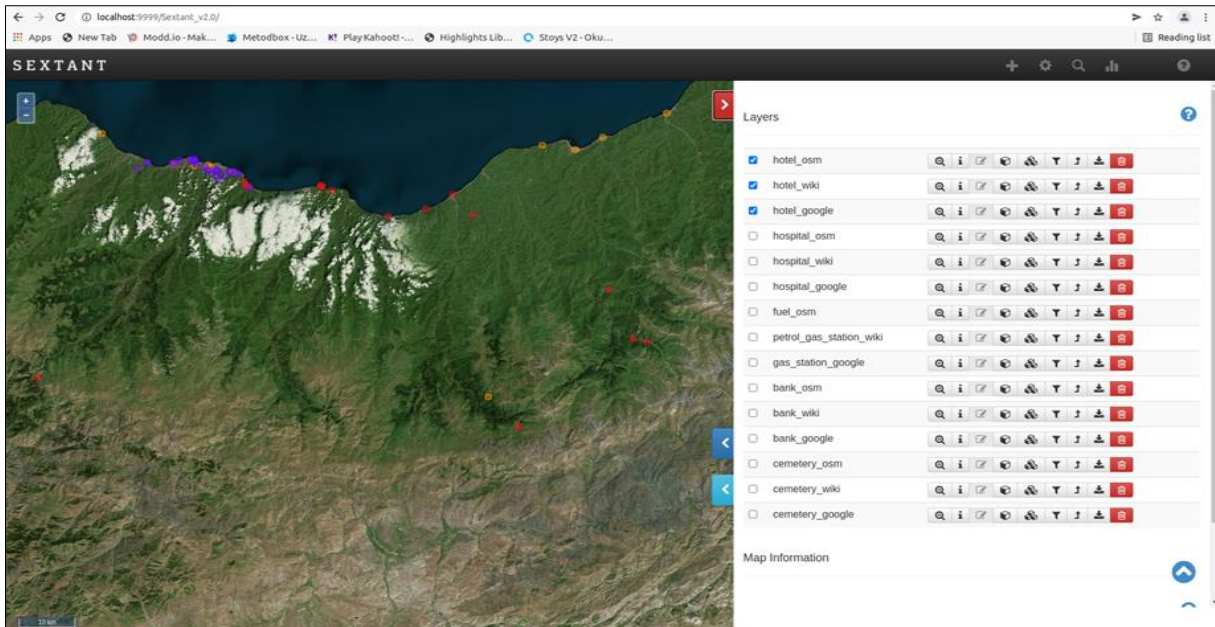
Şekil 7. Bütün POI türlerinin gösterilmesi

Sextant arayüzünde lejant gösterimi bulunmadığı için OSM, GoogleMaps ve Wikimapia RDF verileri sorgulanarak okul, park, futbol sahası ve otopark verilerinin ayrı ayrı gösterimi Şekil 8’de verildiği gibi Sextant ile gösterilmiştir.

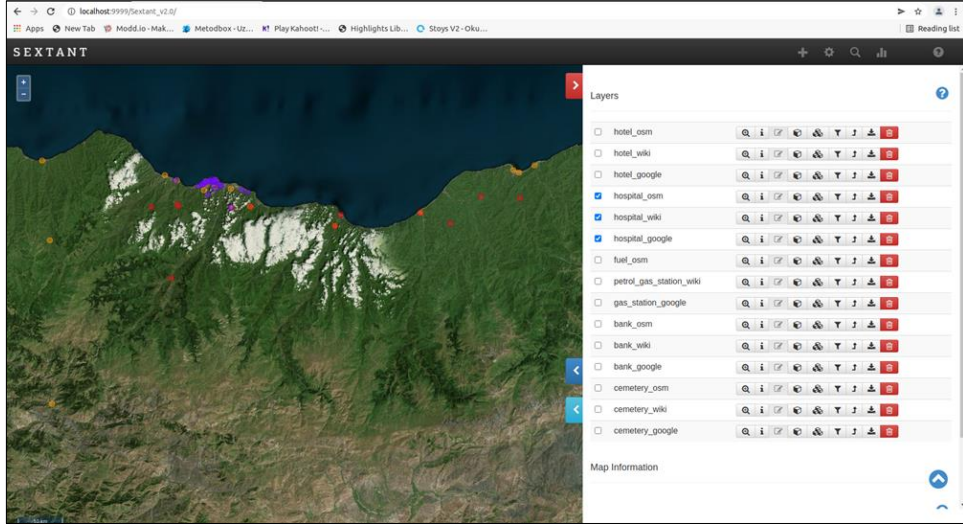


Şekil 8. Farklı POI verilerinin tek katman olarak gösterilmesi: a) okul, b) park, c) futbol sahası, d) otopark netlik

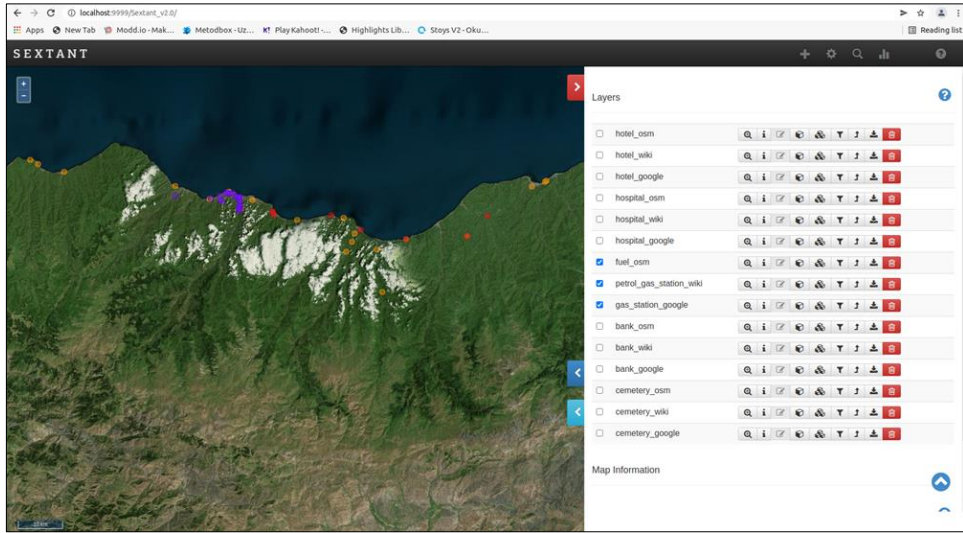
Farklı harita kaynaklarından çıkarılan POI verileri ontolojilerle ilişkilendirildikten sonra Şekil 9-10-11-12-13’te verildiği gibi Sextant ile görselleştirilmiştir. Farklı harita kaynaklarından çıkarılan verilerde aynı detaya ait veriler çok azdır. POI verileri OSM, Wikipedia ve GoogleMaps olmak üzere farklı harita kaynaklarından gelen verileri ayırt etmek için ayrı RDF dosyaları olarak kaydedilmiştir.



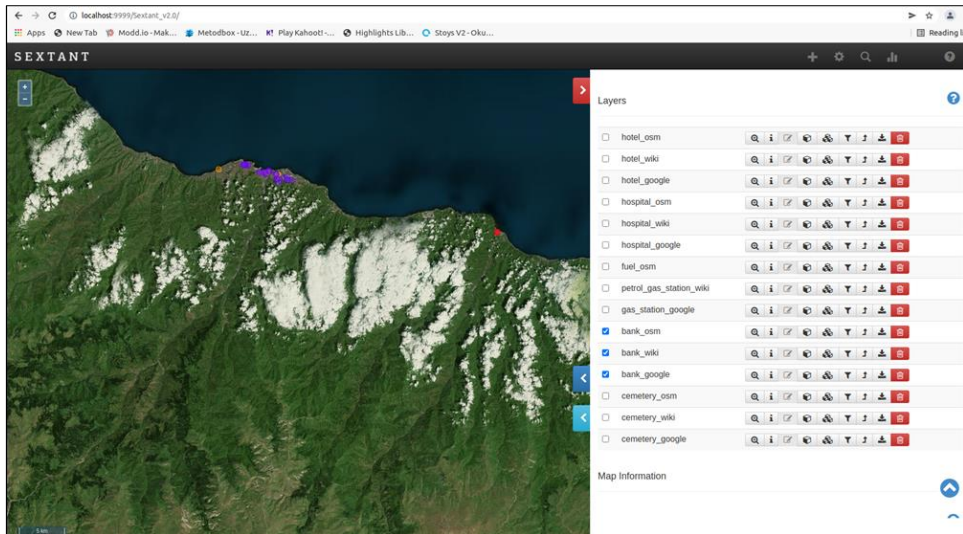
Şekil 9. OSM, Wikimapia ve GoogleMaps otel POI türündeki veriler
(*OSM POI verileri sarı, Wikimapia POI verileri kırmızı ve GoogleMaps POI verileri mor renkle gösterilmiştir)



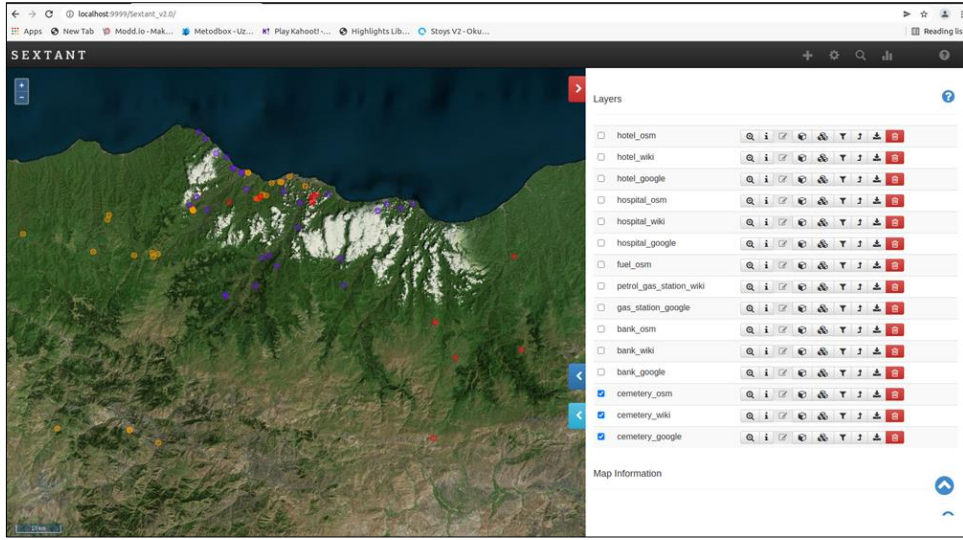
Şekil 10. OSM, Wikimapia ve GoogleMaps hastane POI türündeki veriler



Şekil 11. OSM, Wikimapia ve GoogleMaps benzin istasyonu POI türündeki veriler



Şekil 12. OSM, Wikimapia ve GoogleMaps banka POI türündeki veriler



Şekil 13. OSM, Wikimapia ve GoogleMaps mezarlık POI türündeki veriler

Seçilen POI kategorilerinde çıkarılan veriler Şekil 9-10-11-12-13'te görüldüğü gibi farklı harita kaynaklarından gelen verilerle her bir kategori için daha fazla sayıda POI verisi elde edilmiştir. SWT'nin semantik zenginliğinden yararlanılarak oluşturulan semantik tanımlar, farklı veri kaynaklarından gelen POI verilerini birleştirmek ve sorgulayarak yeni bilgiler çıkarsamak için global bir standart oluşturmaktadır.

Strabon RDF üçlü deposu üzerinde gerçekleştirilen GeoSPARQL sorgusu ile elde edilen verilerin görselleştirilmesi sağlanır. Sorgu sonucunda elde edilen veriler geleneksel CBS yazılımları tarafından gerçekleştirilen konumsal sorguların yanında sorgu sonucunda çıkarsanan verileri de içermektedir. Mevcut POI verilerinden yeni verilerin çıkarılması veya çıkarsanmasındaki semantik zenginlik ontoloji modelinin kapsamına ve kullanılan dile bağlıdır. Geliştirilen POI ontolojisi, hem SPOI ontolojisini genişletmekte hem de OSM, GoogleMaps ve Wikimapia POI kategorileri arasındaki semantik eşleştirmeleri içermektedir. POI ontolojisi ile ilişkilendirilen POI verileri SPARQL veya GeoSPARQL ile sorgulanarak anlamsal olarak eşitilmiş olacaktır.

3. Sonuçlar

POI verileri konumsal veri altyapılarının en temel gereksinimlerinden biri olarak kabul edilmektedir. POI verileri özellikle navigasyon sistemleri ve mobil navigasyon uygulamaları, arttırılmış gerçeklik uygulamaları, harita yapımı çalışmaları, turistik bilgi sistemleri, sosyal ağ uygulamaları, konum tabanlı servisler, lojistik uygulamaları, mobil seyahat uygulamaları gibi daha birçok uygulama ve servislerde kullanılmaktadır. Bu nedenle farklı veri kaynaklarında yer alan POI verilerinin içeriğinin toplanması ve verilere her yerden erişim, farklı uygulamalarda POI verilerinin kullanımı için temel gerekliliktir. POI verilerinin yüksek ticari değeri ve önemine rağmen, web üzerinde farklı veri kaynaklarındaki POI verileri, farklı formatlarda ve farklı şemalarda sunulmaktadır. Bu durum farklı veri kaynaklarındaki POI verilerinin bulunmasının veya birleştirilmesinin önündeki en büyük engeldir. Bunun nedeni, geleneksel veri eşleştirme yönteminin anlamsal değil sözdizimsel tanımlara dayanmasıdır. Anlamsal veri eşleştirme işleminin gerçekleştirilmesi, POI veri kaynaklarındaki POI verilerinin semantik tanımlarının oluşturulmasını gerektirir. POI verilerinin semantik tanımlarının oluşturulması ilgili kavramların, kavramlar arasındaki ilişkilerin ve kısıtlamaların açık bir şekilde belirtimi olarak tanımlanan ontoloji ile mümkündür. Bu nedenle çalışma kapsamında farklı veri kaynaklarındaki POI verilerinin eşleştirilmesini sağlamak için POI ontolojisi geliştirilmiştir. Geliştirilen POI Ontolojisi farklı kaynaklardan çıkarılan POI verilerinin anlamsal olarak eşleştirilmesini sağlar.

Veri eşleştirme veya veri birleştirme işleminin anlamsal olarak kolay, doğru ve hızlı bir şekilde otomatik olarak gerçekleştirilmesi ancak semantik tanımların oluşturulması ile mümkündür. Bunun öncelikli gereksinimi ise ontolojilerin oluşturulmasıdır. Ancak POI verileri için farklı uygulamalarda kullanılmak üzere çeşitli ontolojiler geliştirilmesine rağmen, POI ontolojisi henüz standart olarak benimsenmemiştir. Bu açıdan özellikle içeriği ve amacı itibarıyla alan ontolojisi düzeyinde SPOI ontolojisinin yaygın kullanılan bir ontoloji olacağı öngörülmektedir. Böylece farklı şemalara sahip veri kaynakları arasında semantik veri eşleştirme işleminin gerçekleştirilmesinde yalnızca bir kez veri şemalarının ontolojilerinin oluşturulması yeterlidir. Yani çok az kullanıcı müdahalesiyle anahtar kelimelerden bağımsız POI veri birleştirme veya eşleştirme işlemi ortak bir formatta birleştirilmiş olacaktır.

Böylece, farklı kaynaklardaki POI veri karmaşıklığının yönetimi ve veri birleştirme işlemleri anlamsal olarak gerçekleştirilecek ve aynı zamanda semantik tanımlar kullanılarak veri çıkarsama desteği sağlanacaktır.

POI verilerinin ilgili ontolojilerle ve web üzerindeki veri kaynakları ile ilişkilendirilmesi, farklı kaynaklardan gelen farklı şemalara sahip POI verilerinin semantik tanımları kullanılarak POI verilerinin çıkarılmasından doğrulanmasına kadar tüm Semantik Web uygulamalarının gerçekleştirilmesini sağlayacaktır.

Farklı uygulama ve servislerde kullanılacak POI verileri farklı açık web harita kaynaklarında yer almaktadır. Özellikle Web 2.0, kitle kaynak ve gönüllü coğrafi bilgi uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte POI verilerinin sayısı ve çeşitliliği büyük bir hızla artmıştır. Ancak farklı veri kaynaklarından gelen POI verilerinin farklı şemalara sahip olması, kullanıcılar tarafından POI verilerinin bulunmasını veya kullanılmasını zorlaştırır. Mevcut durumda bu problemin sebebi, POI verilerini içeren veri kaynakları arasında veri birleştirme, veri eşleştirme veya veri uyumluluğu gibi işlemlerin semantik olarak gerçekleştirilmemesi ve çok fazla kullanıcı müdahalesi gerektirmesidir. SWT kullanılarak tüm POI verilerinin semantik tanımlarının oluşturulması, web üzerinde ilgili tüm POI kavramları arasındaki ilişkileri tanımlayan global bir yönlü çizge oluşturulduğu anlamına gelmektedir. SWT teknolojileri kullanılarak bu çizge üzerinde yapılan aramalarda istenilen kriterlere uygun POI verilerine erişim sağlanmış olacaktır. Özellikle çoğu veri kaynağının şeması POI verilerini doğrudan sunacak şekilde tasarlanmamıştır. Bu durum ilgili POI kategorilerinin isim ya da ad özniteliklerinden çıkarılmasını gerektirir. OSM, Wikimapia ve GoogleMaps'ten çıkarılan POI verilerinin semantik tanımlarının oluşturulması ile birlikte farklı kategorilerde yer alan fakat anlamsal olarak benzer veya aynı olan POI verilerinin görselleştirilmesi sağlanmıştır. Gelecek çalışmalarda diğer POI veri kaynaklarının semantik tanımlarını oluşturarak bulunabilecek verilerin kapsamının genişletilmesi hedeflenmektedir. Açık kaynak harita platformları tarafından sunulan POI verilerinin birleştirilmesi ve entegre edilmesi için şaşırtıcı bir şekilde çok az çalışma mevcuttur. Gelecek çalışmalarda geliştirilen POI ontolojisi açık kaynak harita platformlarında sunulan tüm POI verilerini kapsayacak şekilde genişletilmesi gereklidir. Böylece POI verilerinin semantik tanımlarının bir kez oluşturulması web üzerinde tüm Semantik Web uygulamalarında her zaman bulunması ve kullanılmasına ortam hazırlayacaktır.

Kaynaklar

- Bellini, P., Benigni, M., Billero, R., Nesi, P., & Rauch, N. (2014). Km4City ontology building vs data harvesting and cleaning for smart-city services. *Journal of Visual Languages & Computing*, 25(6), 827-839.
- Berners-Lee, T. (1998). *Semantic web road map*. Retrieved from <https://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html>
- Braun, M., Scherp, A., & Staab, S. (2010). *Collaborative creation of semantic points of interest as linked data on the mobile phone*. Arbeitsberichte des Fachbereichs Informatik. Retrieved from https://kola.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/deliver/index/docId/395/file/2010_01_Arbeitsberichte.pdf
- Cai, L., Zhu, L., Jiang, F., Zhang, Y., & He, J. (2022). Research on multi-source POI data fusion based on ontology and clustering algorithms. *Applied Intelligence*, 52, 4758-4774.
- Čerba, O., Charvát, K., Mildorf, T., Bērziņš, R., Vlach, P. & Musilová, B., (2016). SDI4Apps Points of Interest Knowledge Base. In G. Gartner, M. Jobst, & H. Huang (Eds.), *Progress in Cartography* (pp. 229-237), Switzerland: Springer.
- Gala, A. P. D. L., Cardinale, Y., Dongo, I., & Ticona-Herrera, R. (2021, March). Towards an ontology for urban tourism. In *36th Annual ACM Symposium on Applied Computing, 2021. Proceedings*. (pp. 1887-1890). ACM.
- Gao, J., Cao, B. & Fan, H. (2016, November). Point of interest data storage using ontology. In *3rd International Conference on Systems and Informatics, 2016. Proceedings*. (pp. 1122-1126). IEEE.
- Gao, Y., Huang, L., Feng, J., & Wang, X. (2020). Semantic trajectory segmentation based on change-point detection and ontology. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(12), 2361-2394.
- GeoDeg. (2022, Eylül 10). *GeoDeg Beta*. Retrieved from <http://geodeg.com>.
- Gurav, R., De, D., Thakur, G., & Fan, J. (2021, November). Conflation of geospatial POI data and ground-level imagery via link prediction on joint semantic graph. In *4th ACM SIGSPATIAL International Workshop on AI for Geographic Knowledge Discovery, 2021. Proceedings*. (pp. 5-8). ACM.
- KARMA. (2021, Ekim 22). *KARMA - A data integration tool*. Retrieved from <https://usc-isi-i2.github.io/karma/>.
- KR-Suite. (2021, Kasım 07). *KR-Suite*. Retrieved from <https://github.com/GiorgosMandi/KR-Suite-docker>.
- OGC. (2022, Kasım 11). *Open geospatial consortium glossary of terms-P*. Retrieved from <https://www.ogc.org/ogc/glossary/p>.
- OSM. (2022, Ekim 12). *Map features*. Retrieved from https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_features.
- Özdikiş, O., Orhan, F., & Danismaz, F. (2011, June). Ontology-based recommendation for points of interest retrieved from multiple data sources. In *International Workshop on Semantic Web Information Management, 2011. Proceedings*. (pp. 1-6). ACM.
- Palumbo, R., Thompson, L., & Thakur, G. (2019, November). SONET: a semantic ontological network graph for managing points of interest data heterogeneity. In *3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Geospatial Humanities, 2019. Proceedings*. (pp. 1-6). USDOE.

- Patroumpas, K., Skoutas, D., Mandilaras, G., Giannopoulos, G., & Athanasiou, S. (2019, August). Exposing points of interest as linked geospatial data. In *16th International Symposium on Spatial and Temporal Databases, 2019. Proceedings*. (pp. 21-30). ACM.
- Ranjgar, B., Sadeghi-Niaraki, A., Shakeri, M., & Choi, S. M. (2022). An ontological data model for points of interest (POI) in a cultural heritage site. *Heritage Science*, *10*, 13. doi: 10.1186/s40494-021-00635-9.
- SDI4Apps. (2022, Nisan 19). *SDI4Apps: Project information*. Retrieved from <https://sdi4apps.eu/project-information/>.
- SEXTANT. (2021, Kasım 07). *Sextant*. Retrieved from <http://sextant.di.uoa.gr>.
- Spangenberg, T. (2013). Standardization, modeling and implementation of points of interest - a touristic perspective. *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, *6*(6), 59-70.
- Tomai, E., Michael, S., & Prastacos, P. (2006, September). An ontology-based Web-portal for tourism. In *2nd International workshop on web portal-based solutions for tourism and other business areas, 2006*.
- W3C. (2012). *Points of Interest Core*. Retrieved from <https://www.w3.org/2010/POI/documents/Core/core-20111216.html#pois>.
- W3C. (2022a, Eylül 10). *Points of Interest (POI) Working Group*. Retrieved from <https://www.w3.org/2010/POI/>.
- W3C. (2022b, Ekim 09). *Points of interest working group*. Retrieved from https://www.w3.org/2010/POI/wiki/Main_Page.
- Yılmaz, Ö., & Erdur, R. C. (2012). iConAwa—An intelligent context-aware system. *Expert Systems with Applications*, *39*(3), 2907-2918.
- Yingchen, X., Junzhong, G., Jing, Y., & Zhengyong, Z. (2009, July). An ontology-based approach for mobile personalized recommendation. In *2009 IITA International Conference on Services Science, Management and Engineering, 2009. Proceedings*. (pp. 336-339). IEEE.
- Yu, F., West, G., Arnold, L., McMeekin, D., & Moncrieff, S. (2016, February). Automatic geospatial data conflation using semantic web technologies. In *Proceedings of the Australasian Computer Science Week Multiconference, 2016*. (pp. 1-10). ACM.
- Yu, F., McMeekin, D. A., Arnold, L. & West, G. (2018, January). Semantic web technologies automate geospatial data conflation: conflating points of interest data for emergency response services. In *LBS 2018: 14th International Conference on Location Based Services, 2018*. (pp. 111-131). Springer.
- Zhou, Y., Wang, M., Zhang, C., Ren, F., Ma, X., & Du, Q. (2021). A points of interest matching method using a multivariate weighting function with gradient descent optimization. *Transactions in GIS*, *25*(1), 359-381.

Sentinel-2 Uydu Görüntüleri için Evrişimli Otokodlayıcı Sinir Ağı ile Süper Çözünürlük Yaklaşımı

Super Resolution Approach with Convolutional Autoencoder Neural Network for Sentinel-2 Satellite Imagery

Ahmet Ertuğrul Arık^{1*}, Reha Paşaoğlu¹, Nuri Emrahaoğlu¹

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana /Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Ahmet Ertuğrul Arık
ertugrularik@hotmail.com

doi: 10.48123/rsgis.1254716

Yayın süreci

Geliş tarihi: 22.02.2023

Kabul tarihi: 04.09.2023

Basım tarihi: 28.09.2023

Özet

Makalede, uydu görüntülerinin çözünürlüğünü arttırmak için SEN-2_CAENET adında evrişimli otokodlayıcı temelli yeni bir süper çözünürlük derin öğrenme modeli sunulmaktadır. Yapay sinir ağları, son yıllarda uydu görüntülerinde uzamsal çözünürlük artırma konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle, geliştirilebilir yapay sinir ağları, verilen girdi verilerine benzer ama tamamen farklı girdi verilerine uygulandığında da doğru çıktı verileri elde edilebilir. Bu özellik, yapay sinir ağlarının uzamsal çözünürlük artırma işlemlerinde etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar. Makalede, Sentinel-2 uydu görüntüleri için kullanılan bir otokodlayıcı temelli derin sinir ağı modelinin nasıl uzamsal çözünürlük artırma işlemlerinde kullanılabileceği açıklanmaktadır. Bu model, kullanılan veriler ve eğitim yöntemleri ile görüntülerin detaylarının daha iyi görülebilmesini ve bu sayede görüntülerin daha etkili bir şekilde analiz edilebilmesini mümkün kılmaktadır. Testlerimizde, Sentinel-2 uydu görüntüleri üzerinde uyguladığımız SEN-2_CAENET modelinin performansını PSNR, MSE ve SSIM metrikleri kullanarak ölçtük. Elde ettiğimiz bulgular, SEN-2_CAENET'in literatürde önemli bir konuma sahip olan SRCNN sinir ağından daha yüksek başarı oranlarına ulaştığını göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Yapay sinir ağları, Otokodlayıcılar, Görüntü işleme, Süper çözünürlük Uzaktan algılama

Abstract

In the article, a new super resolution deep learning model based on convolutional autoencoder named SEN-2_CAENET is presented to increase the resolution of satellite images. Artificial neural networks have been playing an important role in increasing the resolution of satellite images in recent years. In particular, when generalizable neural networks are applied to similar but completely different input data, accurate output data can be obtained. This feature enables artificial neural networks to be used effectively in resolution enhancement processes. The article explains how an autoencoder-based model used for Sentinel-2 satellite images can be used for resolution enhancement. This model makes it possible to see the details of the images better with the data and training methods used, and thus to analyze the images more effectively. In the tests applied to Sentinel-2 satellite images, SEN-2_CAENET, which we created in PSNR, MSE and SSIM metrics, received more successful results than the SRCNN neural network, which has an important place in the literature.

Keywords: Artificial neural network, Autoencoders, Super resolution, Image processing, Remote sensing

1. Giriş

Günümüzde, uydu görüntüleri coğrafi bilgi sistemleri (CBS), hava durumu tahminleri, oşinografik ölçümler, tarımsal faaliyetler, jeolojik araştırmalar ve yerleşim yönetimi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, uydu görüntülerinin çözünürlüğü sınırlıdır ve bu, bilgi toplama ve anlamlandırma sürecinde sınırlamalar getirmektedir.

Yapay sinir ağları, son yıllarda uydu görüntülerindeki uzamsal çözünürlük artırma alanında önemli bir rol oynamaktadır ve verilen girdilere dayanarak sınıflandırma, tahminleme ve diğer işlemler yapılarak, uydu görüntülerinin çözünürlüğünü artırılmaktadır. Yapay sinir ağları özellikle genelleştirme yeteneğine sahiptir, bu da verilen girdilere benzer ama farklı girdi verilerine uygulandığında da doğru çıktılar üretmesini mümkün kılar (Liu vd., 2020). Bu özelliği, yapay sinir ağlarının uydu görüntülerindeki uzamsal çözünürlük artırma işlemlerinde etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar.

Dong vd., (2015) tarafından yapılan çalışmada çalışmada evrişimli derin sinir ağı kullanarak süper çözünürlük tekniklerini kullanmışlardır. SRCNN olarak adlandırılan sinir ağı o döneme kadarki mevcut interpolasyon yöntemlerinden daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Szegedy vd., (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, 2014 yılı "ImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge" (ILSVRC14) yarışmasında sınıflandırma ve tespit problemlerinde güncel sonuçları elde etmeyi amaçlayan "Inception" adlı bir derin evrişimli sinir ağı mimarisi sunulmuştur. Bu mimarinin önemli bir özelliği, sinir ağının eğitim sürecinde ihtiyaç duyduğu hesaplama gücünün daha verimli kullanılmasıdır. Sinir ağını genişletirken ağın derinliğini ve genişliğini arttırmayı amaçlayan tasarım, hesaplama gücü ihtiyacını azaltmıştır. Liu vd., (2018) tarafından yapılan bir çalışma, derin artımlı (residual) yapay sinir ağlarının kullanımıyla pankromatik uydu görüntülerinde uzamsal çözünürlük artırma ve yapay renklendirme sürecini incelemiştir. Bu çalışma, yapay sinir ağlarının uydu görüntülerinin çözünürlüğünü yükseltirken aynı zamanda görüntülerin kalitesini de koruduğunu göstermiştir. Dong vd. (2016) tarafından yapılan bir başka çalışma ise, SRCNN sinir ağlarının uydu görüntülerinde uzamsal çözünürlük artırma sürecini hızlandırdığını göstermiştir.

Galar vd. (2020), kullandıkları SRCNN algoritması görüntülerin çözünürlüğünü bir noktaya kadar yükseltmiştir. Lanaras vd. (2018) ise, DSEN2 adında sentinel-2 verileri ile eğitilen bir derin sinir ağı algoritması, görüntülerin detaylarının daha iyi görülebilmesini sağladığını ve bu sayede görüntülerin daha etkili bir şekilde analiz edilebilmesini mümkün kıldığını ileri sürmektedir. Romero vd. (2020), RS-ESRGAN diye isimlendirilen ESRGAN derin sinir ağı yöntemini esas alan bir süper çözünürlük tekniği geliştirdiklerini ve bu yöntemle uydu görüntülerinde çözünürlüğün yükseldiğini, bu sayede daha ayırt edilebilen görüntüler elde edildiğini belirtmişlerdir. Salgueiro vd. (2020), yaptıkları çalışmada Residual network temelli Sen2-RDSR olarak isimlendirilen bir sinir ağı modeli ile Sentinel-2 uydu görüntüsü üzerinde 60m ve 20m bantlarında çözünürlüğü yükselttiklerini belirtmişlerdir. Zhang vd. (2019) ise, yaptıkları çalışmada Super-Resolution for Multispectral Multiresolution Estimation) algoritmasını kullanarak bitki sağlığı açısından önemli olan kızılötesi bantların çözünürlüğünü yükselttiklerini belirtmişler ve aynı zamanda görüntülerin renk doğruluğunu da artırdığını rapor etmişlerdir. Özellikle, Wang vd. (2022), yaptıkları çalışma ile son yıllardaki derin sinir ağı kullanan süper çözünürlük yöntemlerini incelemiş ve karşılaştırmış, YSA kullanımının uydu görüntülerinde uzamsal çözünürlük artırma işlemini iyileştirme gücüne sahip olduğunu ve daha da ilerleyecek potansiyelin mevcut olduğunu göstermiştir. Pineda vd. (2020) yürüttükleri çalışmada GAN (Generative Adversary Network) yaklaşımı ile daha az sayıda görüntü kümesinin eğitimde kullanılmasıyla Sentinel-2 uydusu görüntülerinde mekânsal çözünürlüğü artırmayı amaçlamışlardır.

Yang vd. (2018) yaptıkları tek görüntü üzerinden derin sinir ağları kullanarak süper çözünürlük üzerine derleme çalışmasında mevcut yöntemleri incelemiş, derin öğrenme algoritmalarını kıyaslamış, mevcut zorluklar ve gelecek trendleri özetlemiştir. Turhan ve Bilge (2019), çalışmalarında, yeni bir yaklaşım olan üretici çekişmeli ağ (GAN) ve Varyasyonel Otokodlayıcı (VAE) ağının bir hibriti olarak, yapay görüntülerle eğitilmeksizin, istenen uzamsal çözünürlükte görüntüler elde etmeyi sağlayan GAN ve VAE modelleri bir arada kullanılarak, VAE/CPGAN adı verilen bir model sunmuşlardır. Cengiz ve Avcı (2021) çalışmalarında sivil ve askeri amaçlı olarak görüntünün çözünürlüğünün önemini vurgulamaktadır. Bu amaçla, uydu görüntüleri üzerinde derin öğrenme tabanlı evrişimsel sinir ağları uygulanmıştır. Üç farklı derin öğrenme mimarisi (DenseNet201, SqueezeNet, Vgg16) test ve eğitim verileri üzerinde uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, süper çözünürlük yöntemi sayesinde evrişimsel sinir ağları öğrenme özelliklerinin iyileştiği ve sınıflandırma başarısının en düşük 2,4% ve en yüksek 3,6% oranında arttığı öne sürülmüştür. Dong vd. (2022) çalışmalarında KANET adını verdikleri sinir ağının, evrişim katmanında çerçeve temelli bir süper çözünürlük yaklaşımı benimsemişler ve eğitim görüntülerinin indirgenmesinde gerçek dünya görüntülerine daha yakın görüntüler elde ederek modeli eğittiklerini ifade etmişlerdir. Liu vd. (2022) çalışmasında ise pankromatik görüntülerin spektral ve uzamsal çözünürlüğünü artırmak için, görüntü renklendirme ve süper çözünürlük fikirlerinin birleştirildiği, renk duyarlı bir süper çözünürlüklü ağ tasarımı oluşturmuşlar ve öne sürdükleri sinir ağı yaklaşımı uydu görüntülerinde uzamsal çözünürlük artırma işlemini daha da ilerletebileceğine dair bulgular sunmuştur. Zabalza ve Bernardini (2022) çalışmalarında Sentinel-2 Red-Green-Blue-NIR (RGBN) bantlarının orijinali 10 metre olan çözünürlüğünü 2.5 metreye yükseltmeyi ve böylece oluşan görüntüdeki piksel sayısını 4 kat artırarak görsel kaliteyi ve verinin daha iyi yorumlanmasını sağlamaya çalışmışlardır.

Bu amaçla, Super-Resolution Residual Network (SRResNet) adında bir güncel artıklı öğrenme tabanlı model uygulamışlardır. Modeli, PlanetScope-Sentinel çift görüntüleri kullanarak eğitmişler ve modele Spectral Attention Residual Network (SARNet) adını vererek güncel yöntemlerden daha iyi sonuçlar aldığını öne sürmüşlerdir.

Bu çalışmalar, süper çözünürlük tekniklerinin uydu görüntülerinin çözünürlüğünü yükseltirken aynı zamanda görüntülerin kalitesini ve detaylarını da artırdığını göstermekle birlikte, makine öğrenimi ve bilgisayar görüşü uygulamalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu alanlarda daha doğru tahminler yapılmasına yardımcı olabilmektedir. Ayrıca, süper çözünürlük teknikleri sayesinde uydu görüntülerinin boyutları da azaltılabilmektedir. Bu nedenle, süper çözünürlük teknikleri, uydu görüntülerinin işlenmesi, analizi ve kullanımında önemli bir rol oynayan konudur.

Bu araştırmada, uydu görüntülerinin çözünürlüğünün artırılması amacıyla, son yıllarda özellik çıkarımı, gürültü filtreleme, aykırı durum tespiti ve eksik veri tamamlama gibi pek çok farklı alanda geniş kullanım alanı bulunan Evrişimli Otokodlayıcı Yapay Sinir Ağı modeli kullanılmıştır (Leite vd., 2018).

2. Materyal ve Metot

2.1. Amaç

Uydu görüntülerinde süper çözünürlük amaçlı sinir ağı için eğitim veri seti hazırlarken, zamansal ve uzamsal çözünürlüğü yüksek, erişimi kolay bir veri kaynağı gerekmektedir. Bu şartları sağlayan Sentinel-2 uyduları veri seti hazırlamak için idealdir.

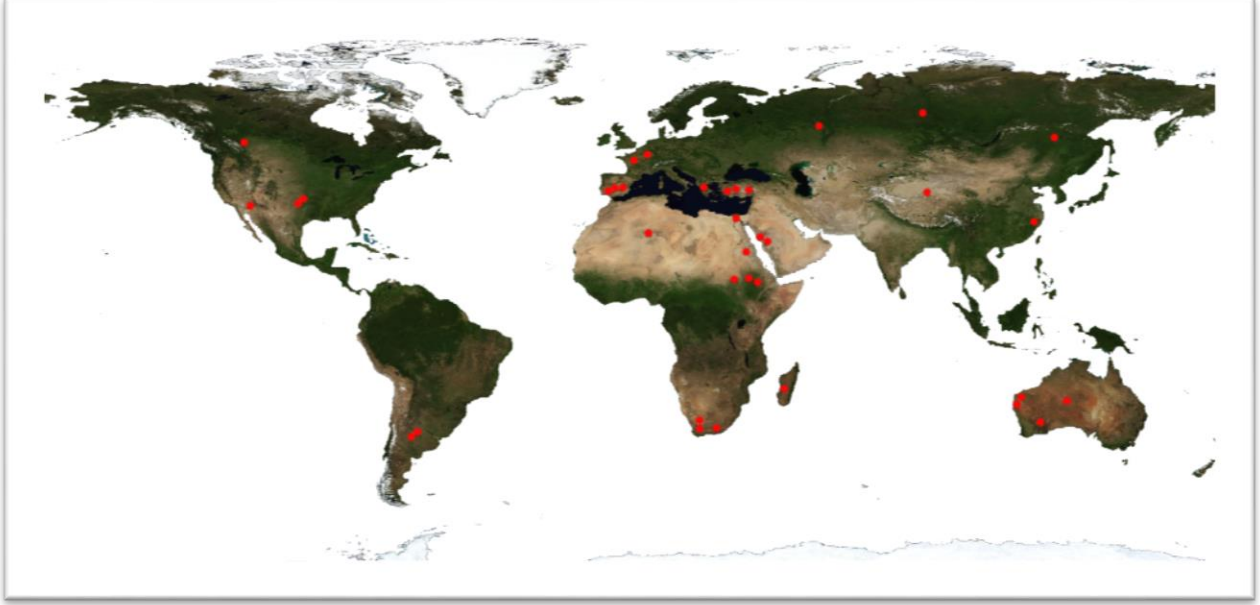
Copernicus Sentinel-2 görevi, 2015'te fırlatılan Sentinel-2A ve 2017'te fırlatılan Sentinel-2B olmak üzere iki uydu kümesini içermektedir. İki uydu, aynı yörüngede 180 derecelik faz açısıyla uçmakta ve yüksek tekrar ziyaret frekansı (yaklaşık 5 gün) sağlamaktadır. Ayrıca, Nadir'den 13 çoklu spektral bantta 3 farklı uzamsal çözünürlükte (10 m, 20 m ve 60 m) görüntüler kaydetme özelliğine sahip Çoklu Spektral Enstrümana (MSI) sahiptirler. Bu enstrüman, görünür ışıktan kısa dalga uzunlukları arasındaki spektral frekansları kapsamaktadır. Teknik detaylar tablo 1'de verilmiştir (ESA, 2023a).

Tablo 1. Sentinel-2 için spektral bant özellik tablosu

Sentinel-2 Bantları	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Uzamsal Çözünürlük(m)
	Merkezi Dalga Boyu (Nm)	Bant Genişliği (Nm)	Merkezi Dalga Boyu (Nm)	Bant Genişliği (Nm)	
Band 1 – Coastal Aerosol	442.7	21	442.2	21	60
Band 2 – Blue	492.4	66	492.1	66	10
Band 3 – Green	559.8	36	559	36	10
Band 4 – Red	664.6	31	664.9	31	10
Band 5 – Vegetation Red Edge	704.1	15	703.8	16	20
Band 6 – Vegetation Red Edge	740.5	15	739.1	15	20
Band 7 – Vegetation Red Edge	782.8	20	779.7	20	20
Band 8 – NIR	832.8	106	832.9	106	10
Band 8A – Narrow NIR	864.7	21	864	22	20
Band 9 – Water Vapour	945.1	20	943.2	21	60
Band 10 – SWIR – Cirrus	1373.5	31	1376.9	30	60
Band 11 – SWIR	1613.7	91	1610.4	94	20
Band 12 – SWIR	2202.4	175	2185.7	185	20

2.2. Çalışma Alanı

Öncelikle derin öğrenme modeli kurmak için dünya üzerinde Tablo 2’de ve şekil 1’de belirtildiği üzere 39 farklı noktadan 10980x10980 boyutunda 13 bant sentinel-2 uydu Seviye 2A görüntüleri alınmıştır.



Şekil 1. Kullanılan çalışma alanları görüntü konumları

Tablo 2. Çalışma alanı görüntü listesi

Uydu	Çok Bantlı Alet	Bölge Kodu (tile number)	Tarih	Saat
S2B	MSIL2A	T36SXJ	12.07.2022	08:26:09
S2A	MSIL2A	T14SND	2.08.2022	17:09:01
S2A	MSIL2A	T14SPE	2.08.2022	17:09:01
S2A	MSIL2A	T37QFG	14.08.2022	07:46:21
S2A	MSIL2A	T37SBC	23.08.2022	08:16:21
S2A	MSIL2A	T31UFQ	25.08.2022	10:36:41
S2A	MSIL2A	T36SXJ	26.08.2022	08:26:21
S2A	MSIL2A	T31TCN	28.08.2022	10:46:31
S2A	MSIL2A	T36PTU	2.09.2022	08:16:21
S2A	MSIL2A	T29SQC	3.09.2022	11:06:31
S2A	MSIL2A	T30SUJ	3.09.2022	11:06:31
S2A	MSIL2A	T37QFF	3.09.2022	07:46:21
S2A	MSIL2A	T30SWJ	10.09.2022	10:56:31
S2A	MSIL2A	T50RQT	10.09.2022	02:35:41
S2B	MSIL2A	T11UPU	26.09.2022	18:51:29
S2A	MSIL2A	T38KNC	5.10.2022	07:12:11
S2A	MSIL2A	T35HLE	6.10.2022	07:58:11
S2A	MSIL2A	T37RDH	6.10.2022	07:58:11
S2A	MSIL2A	T36QXH	9.10.2022	08:08:41
S2A	MSIL2A	T34SEJ	20.10.2022	09:20:31
S2A	MSIL2A	T35SPC	21.10.2022	08:50:11
S2A	MSIL2A	T50JKT	21.10.2022	02:32:51
S2A	MSIL2A	T50KLV	21.10.2022	02:32:51
S2B	MSIL2A	T36SXH	30.10.2022	08:30:09
S2A	MSIL2A	T36PYU	5.11.2022	08:01:21

Tablo 2'nin devamı

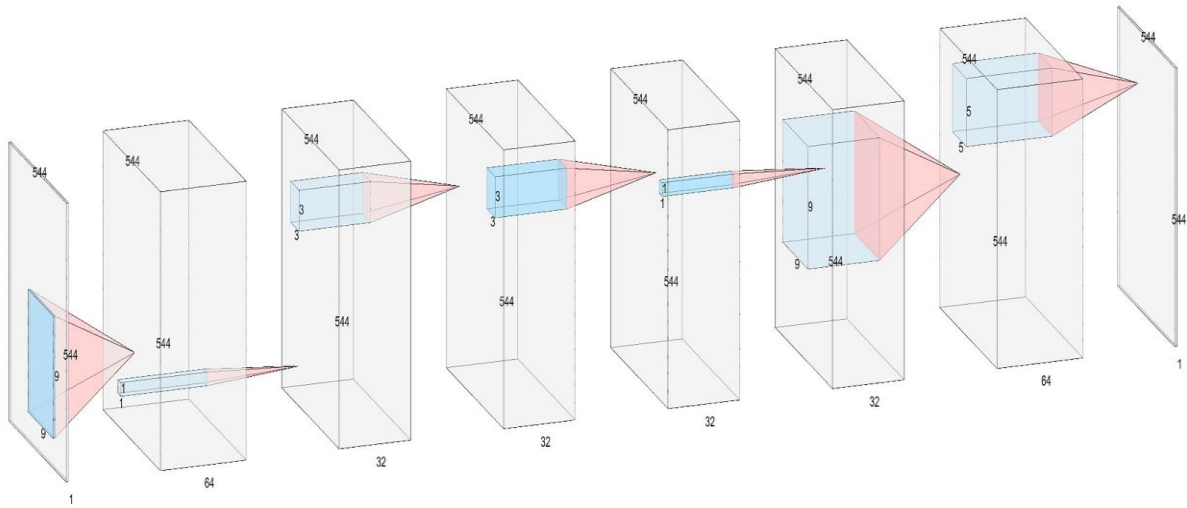
Uydu	Çok Bantlı Alet	Bölge Kodu (tile number)	Tarih	Saat
S2A	MSIL2A	T19FCD	30.11.2022	14:07:11
S2A	MSIL2A	T37PCN	2.12.2022	07:53:01
S2B	MSIL2A	T31RGJ	9.12.2022	10:13:19
S2A	MSIL2A	T36RUU	14.12.2022	08:33:41
S2A	MSIL2A	T36SUH	27.12.2022	08:43:51
S2A	MSIL2A	T36SUJ	27.12.2022	08:43:51
S2A	MSIL2A	T35SPC	9.01.2023	08:53:31
S2B	MSIL2A	T12SUC	12.01.2023	18:17:19
S2B	MSIL2A	T20HLH	14.01.2023	14:07:09
S2B	MSIL2A	T20HMJ	14.01.2023	14:07:09
S2B	MSIL2A	T34HDK	15.01.2023	08:22:09
S2B	MSIL2A	T34JDM	15.01.2023	08:22:09
S2B	MSIL2A	T51JUG	15.01.2023	01:56:19
S2B	MSIL2A	T52KEU	16.01.2023	01:27:09

2.3. Sınır Ağı Mimarisi

SEN-2_CAENET olarak isimlendirilen yeni model, Evrişimli Otokodlayıcı Derin Sınır Ağı (Convolutional Autoencoder Neural Network) kullanılarak Tensorflow/Keras kütüphaneleri ve Python programlama dili ile geliştirilmiştir. Modelin temel amacı, düşük çözünürlüklü Sentinel-2 görüntülerinden yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmektir. Modelin mimarisi, giriş katmanı, 3 evrişimli katman, 3 ters evrişimli katman ve çıkış katmanı olmak üzere toplam 8 katmandan oluşmaktadır.

Her evrişimli katman, ReLU (Rectified Linear Unit) aktivasyon fonksiyonu ile birleştirilmiştir ve ardından Yığın Normalleştirme (Batch Normalization) kullanılarak öğrenme sürecini hızlandırılmıştır. Evrişimli katmanlar, özellik haritaları oluşturarak görüntüdeki temel özelliklerin öğrenilmesini sağlar. Ters evrişimli katmanlar ise, özellik haritalarını yükseltmek ve daha büyük boyutlara getirmek için kullanılmaktadır. Bu şekilde, düşük çözünürlüklü giriş görüntülerinden yüksek çözünürlüklü çıktı görüntüleri elde edilir.

Model toplamda 194,433 adet eğitilebilir parametreye sahiptir ve modelin mimarisi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. SEN-2_CAENET Evrişimli Otokodlayıcı Sınır Ağı

Model tanımlandıktan sonra, tek görüntüde süper çözünürlük (Single-Image Super-Resolution) için kullanılmıştır. Bu amaçla, girdi olarak kullanacağımız görüntüleri önceden ayrıntılı bir şekilde ön işleme yapmak gerekmektedir. Bu işlemler arasında kırma ve renk uzayı dönüşümleri yer almaktadır.

2.4. Görüntü Ön İşleme

Alınan görüntülerde Snap uygulaması üzerinden bant 2, bant 3 ve bant 4 olmak üzere ayrı ayrı subset operatörü kullanılarak yeniden örneklenmiştir (ESA, 2023b). 12 bitlik görüntüler, OpenCv kütüphanesinden yararlanılarak normalizasyon yöntemiyle radyometrik çözünürlük azaltılarak 8 bit'lik görüntülere dönüştürülmüştür.

Derin sinir ağına verilen küçük görüntü parçalarının işlenmesi sırasında, evrişim katmanlarının yapısından kaynaklanan dış çerçevedeki bozulmalar meydana gelmektedir. Bu bozulmaları ortadan kaldırmak için, her bir görüntünün 32 pikselinin üst üste konulması ve bir örtüşme bölgesi oluşturulması tercih edilmiştir. Bu örtüşme bölgesi sayesinde, işlem sonrasında dış çerçevedeki bozulan kısımlar kırılarak kaldırılır. Daha sonra, düzeltilmiş küçük parçalar birleştirilerek büyük bir harita elde edilir. Bu yöntem, derin sinir ağı tarafından işlenen görüntülerde ortaya çıkan bozulmaları minimize etmek ve nihai haritanın kalitesini artırmak amacıyla kullanılmıştır.

Her bir 544x544 boyutunda görüntü parçası, bicubic yeniden örnekleme metodu ile 50% oranında (272x272) yeniden örneklendirilmiştir. Daha sonra, bicubic yeniden örnekleme metodu tekrar kullanılarak görüntü 200% oranında büyütülmüştür. Elde edilen düşük öz nitelikli aynı boyutlu görüntü, asıl görüntünün soluna yerleştirilerek, 1088x544 boyutunda görüntüler elde edilmiştir, bu Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. a) Düşük uzamsal çözünürlüklü görüntü, b) yüksek uzamsal çözünürlüklü görüntü

Bu yöntem kullanılarak, 11742 adet eğitim verisi oluşturuldu ve bu veriler arasından 10942 adet görüntü, sinir ağının eğitiminde kullanılmak üzere uygun görüldü. Eğitilen modelin doğruluğunu test etmek için ise 800 adet eğitim verisi seçildi.

Testler, PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio), SSIM (Structural Similarity Index Measure), ve MSE (Mean Squared Error) metrikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PSNR, yeniden oluşturulan bir görüntünün kalitesinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir metriktir. Bu metrik, sinyalin maksimum olası değeri ile oluşan görüntü arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılmaktadır. MSE (Mean Squared Error) ise, orijinal görüntü (Y) ile yeniden oluşturulmuş görüntü (Y') arasındaki ortalama karesel hata değerini gösterir. Metriklerin denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$PSNR(Y, Y') = 20 * \log_{10} \left(\frac{MAX_Y}{MSE(Y, Y')} \right) \quad (1)$$

$$MSE(Y, Y') = \frac{1}{HWC} \sum_{h=1}^H \sum_{w=1}^W \sum_{c=1}^C (Y_{h,w,c} - Y'_{h,w,c})^2 \quad (2)$$

Burada H, W, C sırasıyla görüntünün yüksekliğini, genişliğini ve kanal sayısını ifade etmektedir.

Yapısal Benzerlik (SSIM) metriği, iki görüntü arasındaki benzerliği parlaklık, kontrast ve yapı gibi faktörler dikkate alarak ölçer. Bu metrik, insanların görsel benzerlikleri algılamasına daha yakın bir yaklaşım sunmaktadır. Metrik değerleri aralığı [-1,1] olup, 1 değeri iki görüntünün aynı olduğunu gösterir. Orijinal görüntü Y ve yeniden oluşturulmuş görüntü \hat{Y} arasındaki yapısal benzerlik ise, aşağıdaki denklem ile tanımlanır. Metriğin denklemi aşağıda verilmiştir.

$$SSIM(Y, \hat{Y}) = \frac{(2\mu_y\mu_{\hat{y}} + C_1)(\sigma_y\sigma_{\hat{y}} + C_2)}{(\mu_y^2\mu_{\hat{y}}^2 + C_1)(\sigma_y^2\sigma_{\hat{y}}^2 + C_2)} \quad (3)$$

Denklemden μ_y ve $\mu_{\hat{y}}$ Y , \hat{Y} 'nin ortalamasını, σ_y ve $\sigma_{\hat{y}}$ Y , \hat{Y} 'nin varyansını, σ_y^2 ve $\sigma_{\hat{y}}^2$ ise Y ve \hat{Y} 'nin kovaryansını ifade etmektedir. C_1 ve C_2 ise denklemin daha stabil çalışmasını sağlayan sabitlerdir.

$C_1 = (K_1L)^2$ ve $C_2 = (K_2L)^2$ şeklinde hesaplanır. Burada L , görüntülerin maksimum piksel değerini ifade etmektedir ve K_1 ve K_2 sırasıyla 0,01 ve 0,03 olarak ayarlanmıştır.

2.5. Eğitim süreci

Modelimiz, Adam optimizasyon yöntemi kullanılarak $\beta_1=0,9$ ve $\beta_2=0,999$ parametreleriyle eğitilmektedir. Başlangıç öğrenme oranı olarak $3 \cdot 10^{-4}$ kullanılmıştır ve her 100 döngü(epoch) sonrası öğrenme oranı yarıya düşürülmektedir. Eğitimde kullanılan yığın (batch) büyüklüğü 8 olarak ayarlanmıştır. Son olarak, temel sinir ağı modelimiz 200% süper çözünürlük durumu için toplam 194433 adet eğitilebilir parametreye sahiptir.

Oluşturduğumuz otokodlayıcı sinir ağı modeli, TensorFlow/Keras kütüphanesi ve NVIDIA RTX 3060 grafik kartı kullanılarak Python programlama dili ile eğitilmiştir. Eğitim sonuçları, MSE, PSNR ve SSIM metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Test sonuçları, diğer yöntemler (bicubic, srcnn) ile karşılaştırmalı şekilde sunulmuştur ve bu karşılaştırma tablo 3'te verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 3'te uydu görüntü parçalarının farklı interpolasyon yöntemleri için PSNR, MSE ve SSIM metrikleri dahilinde sonuçlar görülmektedir.

Yapılan çalışmada, En Yakın Komşu, Bicubic metodu ile SRCNN ve SEN-2_CAENET (Sentinel-2 Convolutional Auto Encoder Net) sinir ağları kullanılarak görüntü iyileştirme performansları değerlendirilmiştir. Görüntülerin özneliklerini, iç yapısını, dönüşümlerini ve stil bilgisini öğrenmek için kullanılan bir sinir ağı türü olan otokodlayıcılar, süper çözünürlük yöntemi olarak kullanıldığında SRCNN gibi sinir ağlarına karşı bazı avantajları vardır. Otokodlayıcı sinir ağları, görüntülerin düşük boyutlu bir gizli uzaya sıkıştırılmasını ve daha sonra yüksek uzamsal çözünürlüklü bir görüntüye yeniden oluşturulmasını kullanarak, görüntülerin özneliklerini, iç yapısını, dönüşümlerini ve stil bilgisini yakalar (Zeng vd. 2015). Bu, süper çözünürlük yöntemi için etkili bir yaklaşımdır, çünkü görüntülerin düşük uzamsal çözünürlüklü versiyonlarından daha yüksek uzamsal çözünürlüklü görüntüler oluşturmayı sağlar.

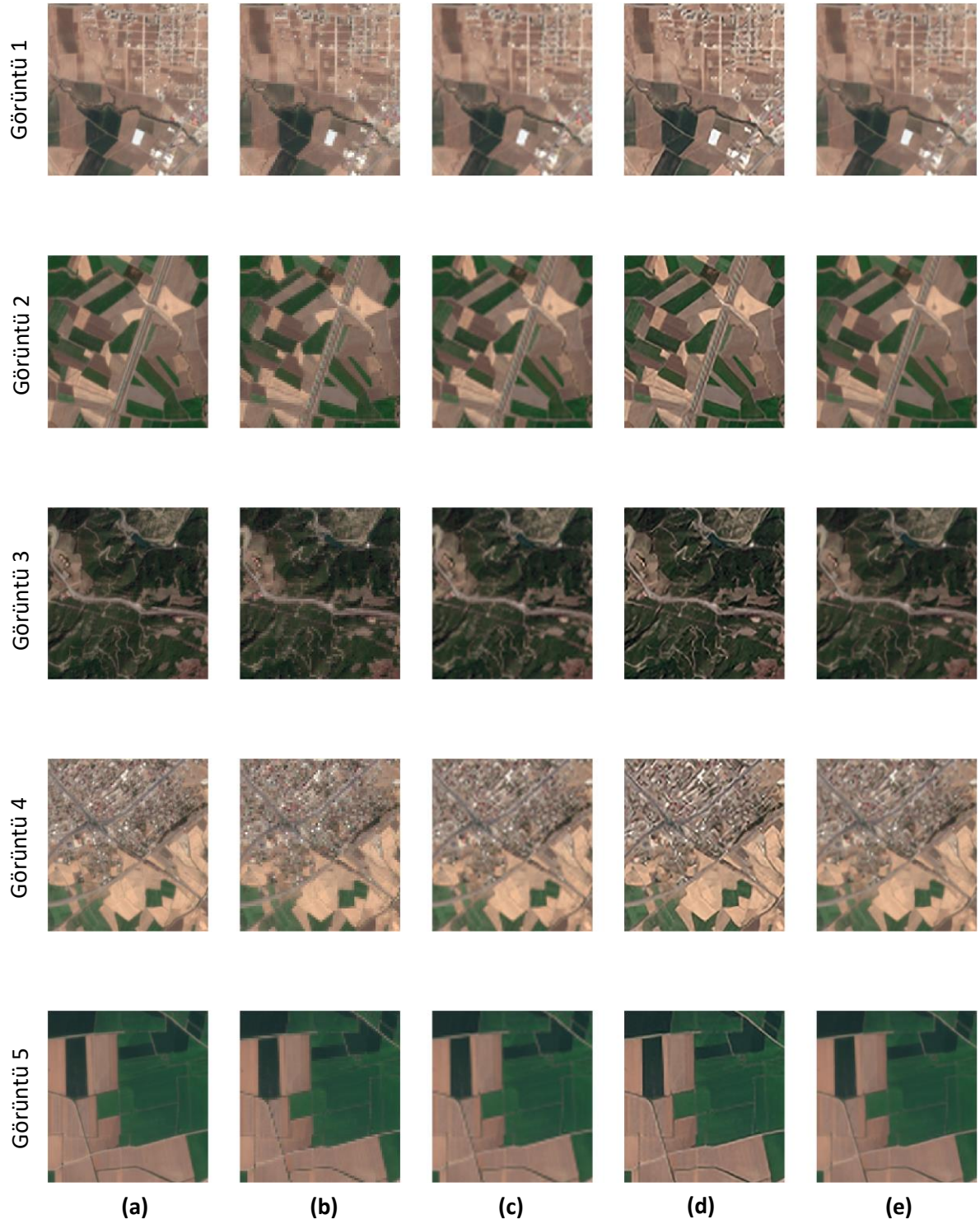
SRCNN modeline karşı üstünlük olarak, etiketli veri gerektirmeyen veya çok az gerektiren denetimsiz veya yarı denetimli bir şekilde eğitilebilirler, bu da gerçek dünya verileriyle daha uyumlu ve esnektir. Ayrıca, bu yöntem, farklı kaynaklardan gelen görüntüler arasındaki bozulma faktörlerini aktarmak veya azaltmak için görüntülerin stil bilgisini de kullanabilir (Chen ve Guo, 2023).

Çalışmadaki bulgular da göstermiştir ki, en iyi performansı sağlayan metod evrişimli otokodlayıcı süper çözünürlük yaklaşımı olan SEN-2_CAENET metodudur. Bu metod, diğer metotlara göre daha düşük MSE değerine ve daha yüksek PSNR ve SSIM değerine sahiptir ve SRCNN ağına kıyasla çözünürlük yükseltme amaçlı daha az parametre ihtiyacı duyduğunu, daha kısa sürede eğitildiğini ve daha düşük hesaplama maliyeti gerektirdiğini göstermektedir.

Tablo 3. Test sonuçları

		PSNR	MSE	SSIM
Görüntü 1	En yakın Komşu (NN)	28.13958937	299.3937142	0.832194964
	Bicubic	31.92172766	125.3224421	0.902395991
	SRCNN	34.13792911	75.23305618	0.942640911
	SEN-2_CAENET	34.42641473	70.39797108	0.947942333
Görüntü 2	En yakın Komşu	28.61196781	268.5374338	0.848078873
	Bicubic	32.89465271	100.1696935	0.917132618
	SRCNN	36.02491789	48.72028568	0.951238737
	SEN-2_CAENET	36.57139958	42.95974132	0.956290192
Görüntü 3	En yakın Komşu	26.95224926	393.5289521	0.771734962
	Bicubic	30.62953086	168.751845	0.862701864
	SRCNN	32.88058618	100.494663	0.91663712
	SEN-2_CAENET	33.02969116	97.10296699	0.920177722
Görüntü 4	En yakın Komşu	27.45648718	350.390964	0.820088027
	Bicubic	31.38165974	141.9173985	0.893843209
	SRCNN	33.71147899	82.99534165	0.936201593
	SEN-2_CAENET	34.00720942	77.531944	0.941528229
Görüntü 5	En yakın Komşu	30.49324886	174.1312547	0.878267689
	Bicubic	34.48008223	69.5333883	0.928980097
	SRCNN	37.80508327	32.33652063	0.958132996
	SEN-2_CAENET	38.57819468	27.06338699	0.963250572

En Yakın Komşu, Bicubic metodu ile SRCNN ve SEN-2_CAENET (Sentinel-2 Convolutional Auto Encoder Net) sınır ağları'nın görsel sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. a) orijinal görüntüyü, b) En Yakın Komşu algoritmasını, c) bicubic yöntemini, d) SRCNN sinir ağı yöntemini, e) SEN-2_CAENET sinir ağı yaklaşımını ifade etmektedir

Sentinel-2 uyduları veri seti, coğrafi bilgi sistemleri, hava durumu tahminleri ve diğer uygulamalarda yaygın olarak kullanılan uydu görüntüleri için idealdir. Ancak, uydu görüntülerinin sınırlı çözünürlüğü, bilgi toplama ve anlamlandırma sürecinde birtakım zorluklar oluşturabilir. Bu makalede, Sentinel-2 uyduları veri setinin süper çözünürlük amaçlı evrişimli otokodlayıcı sinir ağı için eğitim verisi olarak kullanılmasının başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmalar sonucunda, SEN-2_CAENET metodunun diğer metotlara göre daha yüksek bir performansa sahip olduğu ortaya konmuştur. Bu sonuç, PSNR, MSE ve SSIM gibi performans metriklerinin kullanımıyla desteklenmiştir. SEN-2_CAENET metodu en yüksek PSNR değerine, en düşük MSE değerine ve en yüksek SSIM değerine sahip olarak görüntü iyileştirme performansını en iyi şekilde sağlamıştır.

Bu bulgular, görüntü iyileştirme alanındaki var olan bilgi ve literatür ile karşılaştırıldığında, SEN-2_CAENET metodunun performansının SRCNN'den daha iyi performans sağladığını göstermektedir. Ayrıca, bu metodun gelecekte daha fazla veri ve metot kullanarak daha da geliştirilebileceği ve benzer çalışmalarda referans alınabileceği önerilmektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, görüntü iyileştirme alanındaki diğer uygulamalar için de faydalı olabileceği öngörülmektedir. Örneğin, bu evrişimli otokodlayıcı süper çözünürlük yaklaşımı, görüntü sıkıştırması, görüntü analizi ve görüntü işleme gibi uygulamalarda da kullanılabilir. Bununla birlikte, daha detaylı ve geniş çalışmalara ihtiyaç duyulabilir, ancak bu çalışma, görüntü iyileştirme alanında fikir verebilmek için yeterli bir temel sunmaktadır.

Kaynaklar

- Cengiz, A., & Avcı, D. (2021). Uydu imgelerine derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük yöntemlerinin uygulanması. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 21(5), 1069-1077.
- Chen, S., & Guo, W. (2023). Auto-encoders in deep learning—a review with new perspectives. *Mathematics*, 11(8), 1777. doi: 10.3390/math11081777.
- Dong, C., Loy, C. C., He, K., & Tang, X. (2015). Image super-resolution using deep convolutional networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 38(2), 295-307.
- Dong, C., Loy, C. C., & Tang, X. (2016). Accelerating the Super-Resolution Convolutional Neural Network. In B. Leibe, J. Matas, N. Sebe, M. Welling (Eds.), *Computer Vision – ECCV 2016* (pp. 391-407). Springer.
- Dong, R., Mou, L., Zhang, L., Fu, H., & Zhu, X. X. (2022). Real-world remote sensing image super-resolution via a practical degradation model and a kernel-aware network. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 191, 155-170.
- ESA. (2023a, Eylül). *MultiSpectral Instrument (MSI) Overview*. Retrieved from <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>.
- ESA. (2023b, Eylül). *Science Toolbox Exploitation Platform*. Retrieved from <https://step.esa.int/main/download/snap-download/>.
- Galar, M., Sesma, R., Ayala, C., Albizua, L., & Aranda, C. (2020). Super-resolution of Sentinel-2 images using convolutional neural networks and real ground truth data. *Remote Sensing*, 12(18), 2941. doi: 10.3390/RS12182941.
- Lanaras, C., Bioucas-Dias, J., Galliani, S., Baltsavias, E., & Schindler, K. (2018). Super-resolution of Sentinel-2 images: Learning a globally applicable deep neural network. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146, 305-319.
- Leite, N. M. N., Pereira, E. T., Gurjão, E. C., & Veloso, L. R. (2018, December). Deep convolutional autoencoder for EEG noise filtering. In *IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine, 2018. Proceedings*. (pp.2605-2612). IEEE.
- Liu, H., Fu, Z., Han, J., Shao, L., & Liu, H. (2018). Single satellite imagery simultaneous super-resolution and colorization using multi-task deep neural networks. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 53, 20-30.
- Liu, L., Jiang, Q., Jin, X., Feng, J., Wang, R., Liao, H., Lee, S. J., & Yao, S. (2022). CASR-Net: A color-aware super-resolution network for panchromatic image. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 114, 105084. doi: 10.1016/j.engappai.2022.105084.
- Liu, Z., Lian, T., Farrell, J., & Wandell, B. A. (2020). Neural network generalization: The impact of camera parameters. *IEEE Access*, 8, 10443-10454.
- Pineda, F., Ayma, V., & Beltran, C. (2020). A generative adversarial network approach for super-resolution of sentinel-2 satellite images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B1), 9-14. doi:10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2020-9-2020.
- Salgueiro Romero, L., Marcello, J., & Vilaplana, V. (2020). Super-resolution of sentinel-2 imagery using generative adversarial networks. *Remote Sensing*, 12(15), 2424. doi: 10.3390/RS12152424.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., ... & Rabinovich, A. (2015, June). Going deeper with convolutions. In *Conference On Computer Vision And Pattern Recognition, 2015. Proceedings*. (pp. 1-9). IEEE.
- Turhan, C. G., & Bilge, H. Ş. (2019). Çekişmeli üretici ağ ile ölçeklenebilir görüntü oluşturma ve süper çözünürlük. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 953-966.

- Wang, P., Bayram, B., & Sertel, E. (2022). A comprehensive review on deep learning based remote sensing image super-resolution methods. *Earth-Science Reviews*, 232, 104110. doi: 10.1016/j.earscirev.2022.104110.
- Yang, W., Zhang, X., Tian, Y., Wang, W., Xue, J. H., & Liao, Q. (2019). Deep learning for single image super-resolution: A brief review. *IEEE Transactions on Multimedia*, 21(12), 3106-3121.
- Zabalza, M., & Bernardini, A. (2022). Super-resolution of sentinel-2 images using a spectral attention mechanism. *Remote Sensing*, 14(12), 2890. doi: 10.3390/rs14122890.
- Zeng, K., Yu, J., Wang, R., Li, C., & Tao, D. (2015). Coupled deep autoencoder for single image super-resolution. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 46(10), 27-37.

Uzaktan Algılama Teknikleri ile Su Yüzeylerinin Tespit Edilmesinde Kullanılan Su Çıkarma İndekslerinin Performans Analizi

Performance Analysis of Water Extraction Indices Used in Detection of Water Surfaces with Remote Sensing Techniques

Osman Salih Yılmaz^{1*} 

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Demirci M.Y.O., Coğrafi Bilgi Sistemi Programı, 45900, Manisa/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Osman Salih Yılmaz
osmansalih.yilmaz@cbu.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1256092

Yayın süreci

Geliş tarihi: 24.02.2023
Kabul tarihi: 16.05.2023
Basım tarihi: 28.09.2023

Özet

Bu çalışmada Türkiye’de bulunan farklı karakteristik özelliklere sahip Küçükçekmece, Köyceğiz, Burdur, Hazar ve Çıldır gölleri üzerinde sekiz farklı su çıkarma indeksi test edilmiş ve bu indekslerin performansları karşılaştırılmıştır. Su yüzeylerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda en çok kullanılan NDVI, NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh}, NDMI ve NWI indeksleri kullanılmıştır. Bu indeksler Google Earth Engine platformunda JavaScript kodları ile Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak hesaplanmışlardır. Elde edilen indeksler üzerinde su ve su olmayan alanları belirlemek için ise otomatik eşikleme yapabilen Otsu yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın doğruluk değerlendirmesi için Google Earth Pro tarafından sağlanan WorldView-1/2/3, GeoEye-1 ve Airbus’ın Pleiades yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılmıştır. Değerlendirme, genel doğruluk, Kappa istatistiği ve F1-skor hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan indekslerin su yüzeylerini tespit etmedeki başarılarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı McNemar testi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada en iyi performans gösteren NDWI indeksi genel doğruluk (GD) değeri minimum %98.00, maksimum %98.94, Kappa istatistiği minimum 0.958, maksimum 0.996 ve F1-skor minimum %97.46, maksimum %98.84 olarak hesaplanmıştır. En kötü performans gösteren indeks olan NDMI için, GD değeri minimum %48.57, maksimum %89.60, Kappa istatistiği minimum 0.047, maksimum 0.703 ve F1-skor minimum %30.77, maksimum %76.77 hesaplanmıştır. Yapılan genel değerlendirme sonucu incelenen sekiz indeks arasında NDWI1 en başarılı, NDMI ise en başarısız çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Google Earth Engine, Otsu eşik yöntemi, NDVI, NDWI, MNDWI

Abstract

In this study, eight different water extraction indices were tested in Küçükçekmece, Köyceğiz, Burdur, Hazar, and Çıldır lakes in Türkiye, and the performances of these indices were compared. To determine water surfaces, NDVI, NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh}, NDMI, and NWI indices were utilized. These indices were computed using Sentinel-2 images on the Google Earth Engine platform. The Otsu method, capable of performing automatic thresholding, was employed to delineate water and non-water areas on the indices. For accuracy assessment, images from WorldView-1/2/3, GeoEye-1, and Airbus’ Pleiades, provided by Google Earth Pro, were utilized. The evaluation was conducted by calculating overall accuracy (OA), Kappa statistic, and F1-score. The statistical significance of the performance of the utilized indices was assessed using McNemar’s test. The best-performing NDWI index had an OA value of 98% to 99%, a Kappa of 0.96 to 0.99, and an F1-score of 97% to 98%. The worst-performing NDMI had an OA value of 49% to 89%, a Kappa of 0.05 to 0.70, and an F1-score of 31% to 77%. As a result of the general evaluation, NDWI1 was the most successful and NDMI was the most unsuccessful among the eight indexes examined.

Keywords: Google Earth Engine, Otsu threshold, NDVI, NDWI, MNDWI

1. Giriş

Su dünya üzerindeki yaşamsal döngünün sağlanması için en önemli doğal kaynaktır. Göller, göletler, rezervuarlar, nehirler ve sulak alanlar gibi çeşitli iç suları dünya üzerine yayılmıştır (Li vd., 2022). Dünya üzerindeki bu su kaynakları biyoçeşitlilik, mikro iklimlendirme, sulama, peyzaj, içme suyu, enerji gibi ihtiyaçlardan dolayı sürdürülebilirlik açısından büyük öneme sahiptir (Kaya, 2022). Aynı zamanda dünya üzerindeki su kaynaklarının takip edilmesi izlenmesi ve kayıt altında tutulması çevre koruma, taşkın izleme, arazi sınıflandırması gibi birçok amaç için kullanılmaktadır. Günümüzde su kaynakları iklimsel değişim ve antropolojik aktivitelerden dolayı azalarak ekolojik ve çevresel sorunlara yol açmaktadır (Song vd., 2022). Göl yüzeylerindeki su değişimlerinin izlenmesi hem iklim koşullarındaki değişimlerin anlaşılması hem de dünyada artan insan nüfusunun su ihtiyacını karşılaması için oldukça önemli hale gelmiştir (Akar vd., 2012). Su kütlelerinin belirlenmesi ve takip edilmesinde özellikle son yıllarda Uzaktan Algılama (UA) teknikleri oldukça fazla tercih edilmektedir. UA görüntüleri ile yeryüzündeki değişimlerin izlenmesi ve takip edilmesi için geniş ölçekli alanlar sağlamaktadır (Acar vd., 2012; Yılmaz, 2022). UA temel prensibi olarak yer yüzündeki materyallerin elektromanyetik spektrumun bazı bölgelerini yansıtır ve soğurma prensibine dayanmaktadır. Yeryüzündeki her cisim elektromanyetik spektruma gösterdikleri tepkiler o cisimlerin karakteristik spektral imzalarını belirlemektedir (Güneş ve Uyuğuçil, 2022). Son yıllarda yapılan çoğu çalışma su yüzeylerinin takip edilmesi ve su yüzey sınırlarının diğer detaylardan ayrıştırılmasına odaklanmıştır (Lothspeich ve Knight, 2022; Zhao vd., 2022). Bunun yanında uydu teknolojilerindeki hızlı gelişmeler yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlükler su yüzeylerinin belirlenmesinde avantajlar sağlamaktadır. Özellikle Landsat ve Sentinel uydu görüntüleri ücretsiz olarak tüm kullanıcılara sunulması araştırmacılar için eşsiz bir kaynak haline gelmiştir. Fakat son yıllarda özellikle verinin artması depolama ve analiz sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Bu sorunların çözülmesine yönelik bulut platformları gelişmiş ve hızla yaygınlaşmıştır. Özellikle UA veri kaynaklarının yönetilmesi ve analiz edilmesinde popüler hale gelen Google Earth Engine (GEE) birçok ücretsiz uydu platformuna eş zamanlı erişim sağlaması, büyük hacimli verileri analiz edebilmesi açısından oldukça kullanışlıdır (Owusu, 2022). GEE JavaScript ve Python kodlama dillerini destekleyerek hesaplama, analitik işlemler, veri analizi ve harita üretimi gibi birçok uygulamayı yapabilmektedir (Wang vd., 2021).

UA ile su yüzeylerinin tespit edilmesinde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Reis vd., 2021). Bu yöntemler arasında su spektral indeksleri (Gu vd., 2021), su ve su dışı ayrımı yapmak için eşik belirleme (Sekertekin, 2021), çeşitli makine öğrenme algoritmaları ve sınıflandırma teknikleri olarak sıralanabilir (Mansaray vd., 2019; Yılmaz vd., 2023). Su ve su olmayan diğer detayların elektromanyetik spektruma verdiği tepkilerden yararlanılarak, su yüzeyinin diğer detaylara göre daha belirgin hale getirilmesi için çeşitli cebirsel işlemlerle su çıkarma indeksleri geliştirilmiştir. Özellikle spektral indeksler iki veya daha fazla bandın cebirsel ifadesi ile tanımlanır. Örneğin yeşil ve yakın kızıl ötesi (Near infrared, NIR) bandı kullanan normalleştirilmiş fark su indeksi (normalized difference water index, NDWI) karasal bitki ve toprak özelliklerini bastırırken su yüzeydeki yansımayı maksimuma çıkarır (McFeeters, 1996). Benzer şekilde farklı bant cebirsel işlemlerine dayanan çeşitli NDWI indeksleri de geliştirilmiştir. Rogers ve Kearney (2004) Landsat (TM) görüntülerinde kırmızı ve kısa dalga kızıl ötesi (Short-wave infrared, SWIR) bantlarını kullanan bir NDWI önermiştir. Gao (1996) NIR ve SWIR bantlarını önermiş, bu indeks temelde bitki örtüsündeki nem seviyesini saptamak için geliştirilmiştir. Bu yüzden literatürde normalleştirilmiş fark nem indeksi (normalized difference moisture index, NDMI) olarak da isimlendirilir. Her ne kadar bitki örtüsündeki nem seviyesini belirlemek için geliştirilmiş olsa da açık su yüzeylerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Ashraf ve Nawaz, 2015; Elshahi vd., 2016; Ma vd., 2007; Naik ve Anuradha, 2018; Nandi vd., 2018). Kent alanlarındaki su yüzeyleri hesaplamada ise NIR bandı yerine SWIR bandı kullanılarak modifiye NDWI (MNDWI) önerilmiştir (Xu, 2006). Gölge alanlarda ve sığ sularda su piksellerinin diğer piksellerle karışmasını en aza indirmek için ise otomatik su çıkarma indeksi (automatic water extraction indices, AWEI) önerilmiştir (Feyisa vd., 2014). AWEI indeksi gölgelik alanlar için $AWEI_{sh}$ gölge olmayan alanlar için ise $AWEI_{nsh}$ olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanmıştır. Ding (2009) mavi bant NIR bandı ve iki SWIR bandını kullanan yeni su indeksi (new water index, NWI) önermiştir. Bitkilerin yakın kızıl ötesini yansıttığı ve kırmızı ışığı soğurmasından yola çıkılarak Rouse vd. (1974) tarafından üretilen normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (normalized difference vegetation index, NDVI) bazı çalışmalarda su yüzeylerinin tespitinde de kullanılmıştır (Acharya vd. 2017, Acharya vd. 2018; Gu vd., 2021; Ma vd., 2007).

Son yıllarda su yüzeylerinin tespit edilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Zhai vd. (2015) yaptığı çalışmada NDVI, NDWI, MNDWI ve AWEI indekslerini su yüzeylerini tespit etmek amacıyla kullanmıştır. Landsat görüntüleri kullanılarak yapılan çalışmada AWEI ve MNDWI indekslerinin daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır. Bolanos vd. (2016) çalışmalarında Kanada'nın Prairie bölgesinde Radarsat-2 ve Radarsat takımıydu misyonu (Radarsat constellation mission, RCM) görüntüleri üzerinden toplam su alanının %88'ini tam otomatik bir şekilde belirlemeyi başarmıştır. Feng vd. (2022), Jin vd. (2017), Lothspeich ve Knight (2022), Pekel vd. (2016) ve Wang vd. (2020) yapmış oldukları çalışmalarda Landsat zaman serileri kullanarak uzun dönem su, kalıcı, geçici ve mevsimsel değişimlerini inceleyerek suyun yeryüzündeki dinamik hareketini takip etmişlerdir. Khalid vd. (2021) Tibet Platosunda yüksek rakımlı bir bölgede göllerin yüzeylerini tespit etmek için Landsat-8 görüntüleri üzerinden NDWI, MNDWI, $AWEI_{sh}$, NWI, su oranı indeksi (water ratio index, WRI) ve arazi yüzey sıcaklığı (land surface temperature, LST) tabanlı su çıkarma indeksi (water extraction index,

LBWEI) performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada LBWEI indeksinin %93.66 ile %97.63 arasında değişen bir doğrulukla diğerlerinden daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. LBWEI indeksinin kriyosferik bölgeler için uygun olduğunu bildirmişlerdir. Sekertekin (2021) Sentinel-2 görüntüleri kullanarak NDWI üzerinde farklı on beş adet (Huang ve Wang, inter-mode, isodata, Li ve Tam, maksimum entropi, ortalama, minimum, momenti koruyan, Otsu, p-tile, Renyi entropy, Shanbhag, üçgen, Yen) eşikleme yöntemlerinin performansını incelemiştir. Çalışmanın sonucunda minimum eşikleme yönteminin genel doğruluğunun (GD) %99.94 ve Kappa istatistik değerinin 0.999 ile en iyi sonuç verdiğini hesaplamıştır. Öte yandan p-tile ve Shanbhag yöntemlerinin ise en kötü sonuç verdiğini belirlemiştir. Li vd. (2022) Çin'deki Huai Nehri Havzası'na ve Qinghai-Tibet Platosu'ndaki Nam Co göl yüzeyini belirlemede eşik yöntemi, destek vektör makinası (DVM), karar ağaçları, nesne tabanlı yöntem ve derin öğrenme tekniklerini karşılaştırmışlardır. Bu yöntemler arasında NDWI dayalı eşik belirleme yönteminin daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Su yüzeylerinin tespit edilmesi ve bu sayede değişimlerin takip edilmesi sürdürülebilir kalkınma için önem arz etmektedir. Yüzey sularının çeşitli özelliklere sahip olması elektromanyetik spektruma verdiği tepkiyi değiştirmektedir. Bu yüzden farklı bölgelerde ve farklı su yüzeylerinde kullanılan su çıkarma indekslerinin hangisinin tercih edilmesi halen belirsizliğini sürdürmektedir. Bu çalışma Türkiye genelinde farklı iklim koşullarına ve karakteristiğe sahip göller belirlenerek su çıkarma indekslerinin performansı karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Küçükçekmece, Köyceğiz, Burdur, Hazar ve Çıldır gölleri üzerinde NDVI, NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh}, NDMI ve NWI indeksleri kullanılmıştır. Bu indeksler GEE platformunda Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan indekslerden su yüzeyleri Otsu eşik belirleme yöntemi ile su ve su olmayan yüzey olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Yapılan çalışmanın doğruluğunun değerlendirilmesi için Google Earth Pro tarafından sağlanan WorldView-1/2/3, GeoEye-1 ve Airbus'ın Pleiades yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan indekslerin su yüzeylerini tespit etmedeki başarılarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı McNemar testi ile değerlendirilmiştir. Bu çalışma farklı coğrafya ve su karakteristiklerinde UA algılama teknikleri ile su yüzeylerinin belirlenmesinde kullanılacak su çıkarma indeksinin seçiminde rehber niteliği taşımaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Çalışma alanı

Küçükçekmece Gölü, İstanbul İli sınırları içerisinde Küçükçekmece, Avcılar, Bakırköy ve Başakşehir ilçeleri arasında yer alan hafif tuzlu bir göldür (41° 0' 20" K, 28° 44' 49" D) (Aydingün ve Aydingül, 2020). Küçükçekmece gölü kuzeyden gelen Nakkaş, Sazlıdere ve Eşkinöz dereleri ile beslenmektedir. Küçükçekmece Gölü 10 km uzunluğa ve 6 km genişliği ile ortalama 16 km² yüzölçümüne sahiptir. Bathenoa adlı kentin bu gölün altında olduğu düşünülmekte olup arkeolojik yönden birçok araştırma ve çalışmaya konu olmuştur (Kaya, 2019). Küçükçekmece Gölü ve çevresi coğrafi olarak geniş düzlüklere sahip az dalgalı formda bir topografyaya sahiptir. Bölgede Marmara iklimi hâkim olup kışlar serin ve yağışlı, yaz aylarında ise sıcak ve kuraktır.

Köyceğiz Gölü Muğla İli sınırlarında yer alan Dalaman Çayı'nın getirdiği alüvyonların körfezin önünü tıkamasıyla oluşmuş alüvyal bir set gölüdür (36° 54' 44" K, 28° 39' 19" D) (Türedi, 2006). Göl yaklaşık 52 km²lik yüzölçümü ile Türkiye'nin 16. büyük gölü olma özelliğine sahiptir. Göl Namnam Çayı, Kargıcak Çayı, Yuvarlak Çayı ve kaynak sularla beslenmektedir. Köyceğiz Gölünün çevresinde tepelik alanlar bulunmakla birlikte bölgenin güneybatısındaki Ülemez Tepe 937 m yüksekliği ile bölgenin en yüksek noktalarından biridir. Bölgede genel olarak Akdeniz ikliminin etkisi altında olup, yaz ayları genelde sıcak ve kurak, kış aylarında ise ılıman ve yağışlı geçmektedir. Bölgenin yıllık ortalama yağışı 1082.6 mm sıcaklığı ise ortalama 18.3 °C civarındadır (Selim vd., 2016).

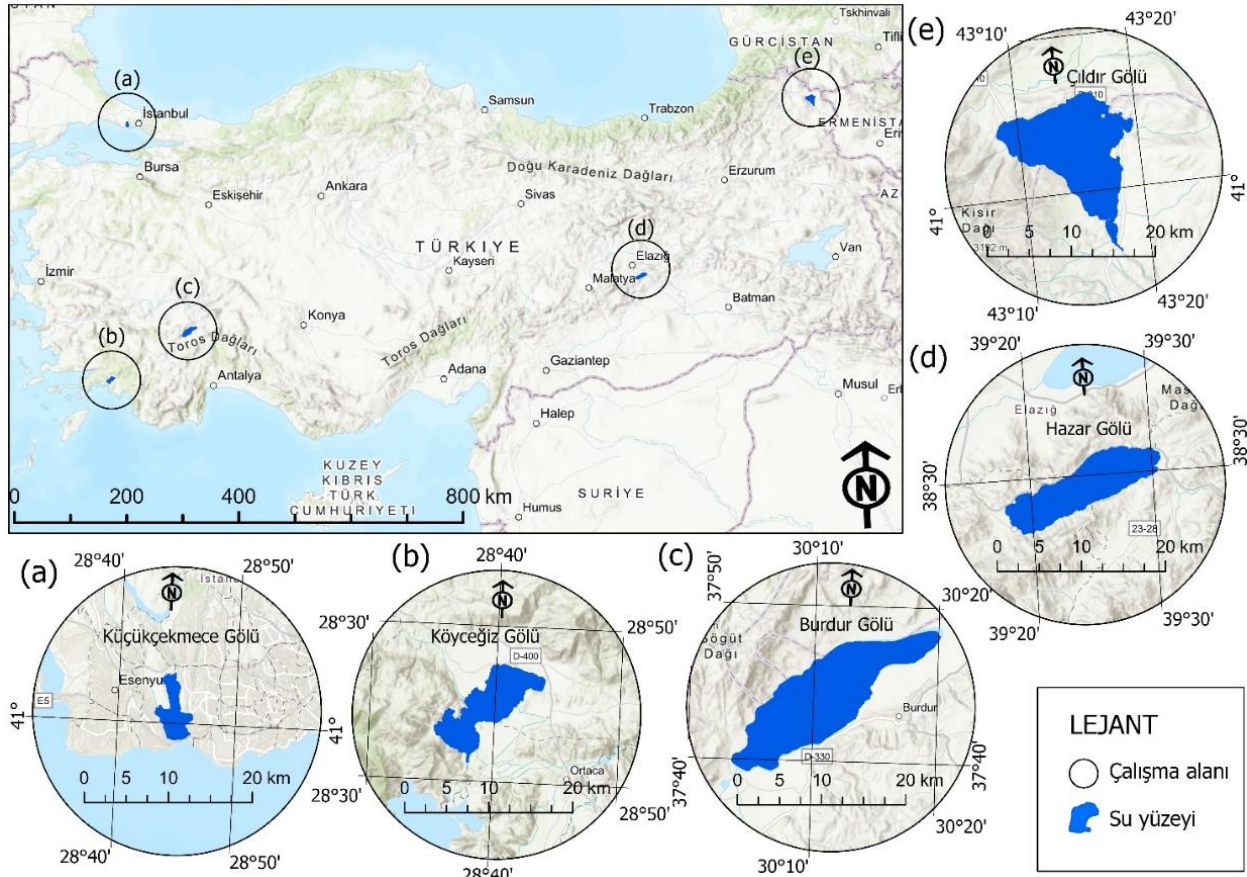
Burdur Gölü, Burdur ve Isparta illeri arasında yer alan tektonik bir göldür (37° 44' 1" K, 30° 10' 41" D). Göller Bölgesinin en büyük göllerinden birisi olma özelliğini taşımaktadır. Göl yüzey alanı ortalama 153 km² Türkiye'de büyüklük açısından yedinci sırada yer alır. Göl suyu deniz suyuna göre iki kat daha fazla tuzludur. Bölgedeki iklim yapısı Akdeniz ve Orta Anadolu step ikliminin etkisindedir. Bu nedenle Akdeniz Bölgesine göre daha az yağış alırken, İç Anadolu step iklimine göre ise daha fazla yağış almaktadır (Kaplan, 2019). Yıllık ortalama sıcaklık 13 °C ve yıllık ortalama yağış ise 405 mm'dir. Yağışlar havzaya düşmesi sonucu Burdur Gölü içerisinde toplanmakta olup yüzey suları yeraltı drenajı ve buharlaşma yoluyla su döngüsüne katılmaktadır (Kaya vd., 2015).

Hazar Gölü Türkiye'nin Elâzığ sınırları içerisinde Sivrice ilçelerine yakın güneybatı-kuzeydoğu yönünde uzanmıştır (38° 29' 4" K, 39° 24' 17" D). Hazar Gölü doğrudan atımlı Doğu Anadolu fay hattı üzerinde oluşan çökmeler sonucu oluşan bir tektonik göldür.

Göl geometrik olarak yaklaşık 20 km uzunluğunda 6 km genişliğe ve 81 km² alana sahip, yaklaşık olarak 2013 m derinliği ile Türkiye'nin en derin göllerinden birisidir. Gölün bulunduğu coğrafya itibari ile deniz seviyesinden olan yüksekliği yaklaşık 1248 m dir. Hazar Gölünün kuzeyde Çelemlik-Mastar sıradağları ile güneyden Hazar-Yaylım dağları ile çevrilidir (Selim vd., 2016). Bölgede karasal iklim hâkim olup, yaz aylarında kurak ve sıcak geçerken kış aylarında ise genelde karlı ve oldukça soğuk geçmektedir.

Bölgede yıllık ortalama sıcaklık değeri 12.9 °C ve yıllık ortalama yağış ise 551.7 mm'dir. Bölgede bitki örtüsü daha çok steplerden oluşmaktadır. Aynı zamanda toprak yapısı olarak genelde kırmızı kahverengi topraklar, kolüvyal ve alüvyal toprak çeşitlerinden oluşmuştur (Özdemir, 2013).

Çalışmanın son gölü olan Çıldır Gölü konum itibari ile Ardahan ve Kars illeri sınırları içerisinde yer almaktadır (41° 2' 40" K, 43° 15' 20" D). Göl yüzeyi yaklaşık 125 km² ile Doğu Anadolu Bölgesi'nin en büyük tatlı su gölü olma özelliğini taşımaktadır. Göl deniz seviyesinden yaklaşık olarak 1960 m yükseklikte olup en derin bölgesi yaklaşık 30 m dir (Zengin vd. 2012). Çıldır Gölü Kısır Dağı'ndan gelen moloz ve Papa Dağı'ndan gelen lav akıntısı ile oluşan bir set gölüdür. Bölgede kestane rengi topraklar ve bazaltik topraklar yaygın olarak görülmektedir. Bölgede karasal iklim şartları hüküm sürmektedir. Ortalama yıllık yağış miktarı 550 mm civarındadır (Aykır ve Fıçıcı, 2022). Çalışma alanına ait harita Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanlarını gösteren harita: a) Küçükçekmece Gölü, b) Köyceğiz Gölü, c) Burdur Gölü, d) Hazar Gölü, e) Çıldır Gölü

2.2. Kullanılan Veri Kaynakları

Bu çalışmada Avrupa Uzay Ajansı (ESA) Copernicus programı tarafından sağlanan optik Sentinel-2 (MSI) görüntüleri kullanıldı. Sentinel-2A ve Sentinel-2B olmak üzere iki takım uydu, 23 Haziran 2015 ve 7 Mart 2017 tarihlerinde faaliyete geçti. Sentinel-2 (MSI) uydu görüntülerine GEE platformundan (collection id: COPERNICUS/S2_SR) erişilebilmektedir (Yılmaz, 2022). Görüntüler daha önceden atmosfer altı yüzey yansımaya değerleri (Bottom-Of-Atmosphere, BOA) düzeltilmiş olarak kullanıcılara servis edilmektedir. Sentinel-2 (MSI) görüntüler toplamda 10 m ile 60 m arasında değişen 13 spektral banttandır oluşmaktadır (Yılmaz vd. 2023). Uydu görüntü seçiminde %10 bulut filtresi uygulanarak bulut oranı en az olan görüntüler seçilmiştir. Her göl için uydu tarih seçimi yapılırken Google Earth Pro da servis edilen yüksek çözünürlüklü görüntü tarihleri baz alınmıştır. Bu sayede elde edilen su yüzey alan sınırları ile Google Earth Pro'daki su yüzey alanları birbirine yakın olması sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin spektral bant bilgileri ve çözünürlükleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Uydu görüntülerine ait özellikleri

Spektral aralık	Dalga boyu (S2A/S2B) (nm)	Mekânsal çözünürlük (m)
Mavi (B2)	496.6/492.1	10
Yeşil (B3)	560/559	10
Kırmızı (B4)	664.5/665	10
NIR (B8)	835.1/833	10
SWIR-1 (B11)	1613.7/1610.4	20
SWIR-1 (B12)	2202.4/2185.7	20
Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A		

Bu çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve tarihleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve tarihleri

Göl	Görüntü	Tarih
Küçükçekmece	COPERNICUS/S2_SR/20210328T085559_20210328T085659_T35TPF	28.03.2021
Köyceğiz	COPERNICUS/S2_SR/20201011T084911_20201011T085325_T35SPB	11.10.2020
Burdur	COPERNICUS/S2_SR/20201102T084119_20201102T084124_T36STG	02.11.2020
Hazar	COPERNICUS/S2_SR/20210706T080611_20210706T081239_T37SEC	06.07.2021
Çıldır	COPERNICUS/S2_SR/20181017T075921_20181017T080815_T38TLL	17.10.2018

2.3. Metodoloji

2.3.1. Kullanılan İndeksler

Su yüzeylerinin tespit edilmesinde birçok yöntem kullanılmış olsa da spektral su indekslerinin kullanılması pratik ve doğruluğu birçok çalışmayla kanıtlanmıştır. Günümüzde su yüzeylerinin tespit edilmesi için çeşitli uydu görüntülerini destekleyen ya da tüm uydu görüntülerinde kullanılan birçok indeks geliştirilmiştir. Bu çalışmada su yüzeylerinin tespit edilmesinde literatürde en yaygın kullanılan indeksler seçilmiştir. Bu indeksler GEE platformunda JavaScript kodları ile hesaplanmıştır. Kullanılan indeksler formülleri ve referansları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan indeks ve formülleri

İndeks	Formül	Referans
NDVI	$\frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$	(Rouse vd., 1974)
NDWI1	$\frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$	(McFeeters, 1996)
NDWI2	$\frac{(Red - SWIR)}{(Red + SWIR)}$	(Rogers ve Kearney, 2004)
MNDWI	$\frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$	(Xu, 2006)
AWEI _{nsh}	$4x(Green - SWIR1) - (0,25xNIR + 2,75xSWIR2)$	(Feyisa vd., 2014)
AWEI _{sh}	$Blue + 2,5 x Green - 1,5 x (NIR + SWIR1) - 0,25 x SWIR2$	(Feyisa vd., 2014)
NDMI	$\frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$	(Gao, 1996)
NWI	$\frac{Blue - (NIR + SWIR1 + SWIR2)}{Blue + (NIR + SWIR1 + SWIR2)}$	(Ding, 2009)

2.3.2. Otsu Eşikleme Yöntemi

Hesaplanan indekslerden su yüzeyini tespit etmek için uygun eşik değerinin belirlenmesi gerekir. Bu eşik belirleme histogramlar kullanılarak manuel belirlenebilse de hem zaman alıcı hem su ile diğer detayların karışmasına neden olacak hatalar oluşabilmektedir (Rad vd., 2021). Bu yüzden eşik değeri otomatik belirleyen çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler içerisinde Otsu eşikleme yöntemi oldukça fazla tercih edilmektedir (Cordeiro vd., 2021; Donchyts vd., 2016; Rad vd., 2021). Otsu eşikleme tekniği herhangi bir görüntü için bimodal histogramda sınıf içi varyansı $\sigma^2(t)$ maksimize eder. Bir resimdeki pikseller L gri seviyeleri ile $[1,2,3, \dots, L - 1]$ sunulur. Bir görüntü özelinde genelleştirecek olursak $n(i)$, n toplam piksel sayısı ile i ise o seviyedeki pikseli ifade eder. Her bir gri seviyedeki $p(i)$ 'nin meydana gelme olasılığı eşitlik 1 ile ifade edilir (Sekertekin, 2021).

$$p(i) = \frac{n(i)}{N}, \quad p(i) \geq 0, \quad \sum_{i=0}^{L-1} p(i) = 1 \quad (1)$$

Histogramın sıfırıncı $\omega(t)$ ve t 'inci seviyeye kadar olan birinci dereceden kümülatif momentleri $\mu(t)$ ve resmin ortalama gri seviyesi μ_T sırası ile Eşitlik (2-3) ile elde edilir.

$$\omega(t) = \sum_{i=0}^t p(i) \quad (2)$$

$$\mu(t) = \sum_{i=0}^t i x p(i) \quad (3)$$

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} i x p(i) \quad (4)$$

optimal eşik değeri olan t^* ise eşitlik 5 ile hesaplanır.

$$t^* = \max_{t \in G} \sigma_B^2(t) \quad (5)$$

bu eşitlikteki $\sigma_B^2(t)$ ise eşitlik 6 ile ifade edilir.

$$\sigma_B^2(t) = \frac{[\mu_T \omega(t) - \mu(t)]^2}{\omega(t)[1 - \omega(t)]} \quad (6)$$

Otsu eşikleme yöntemi, her bir indeksin histogramdaki piksel değerlerini analiz ederek, su ve su olmayan pikseller arasındaki eşik değerini otomatik olarak hesaplar. Bu yöntem, indeks değerlerindeki farklılıkları kullanarak, su ve su olmayan alanları otomatik olarak ayırmayı sağlar. Belirlenen eşik değeri, her bir indeks için bir maske olarak kullanılır ve su ve su olmayan alanlar ayrılmış olur.

2.3.1. Doğruluk Değerlendirmesi

Otsu eşikleme yöntemiyle elde edilen su ve su olmayan sınıfların doğruluk değerlendirme yapılmıştır. Bu amaçla yüksek çözünürlüğe sahip Google Earth Pro'dan sağlanan yüksek çözünürlüklü WorldView-1/2/3, GeoEye-1 ve Airbus'ın Pleiades uydu görüntüleri kullanılmıştır. Küçükçekmece, Köyceğiz, Burdur, Hazar ve Çıldır gölleri için göllerin büyüklüklerine göre rastgele seçilmiş noktalar kullanılmıştır. Bu noktaların su ve su olmayan yüzeylerdeki dağılımları ve toplam sayıları Tablo 4'te verilmiştir. Bu noktaların her iki görüntüdeki karşılıkları görsel yorumlama ile kontrol edilerek hata matrisi oluşturulmuştur. Hata matrisi gerçek pozitif (GP), yanlış pozitif (YP), gerçek negatif (GN) ve yanlış negatif (YN) olmak üzere dört parametre ile ifade edilir (Tablo 5). Oluşturulan bu hata matrisi kullanılarak GD, Kappa istatistiği ve F1-skor hesaplanmıştır (Eşitlik 7-9).

Tablo 4. Göl yüzeylerinde kullanılan nokta sayıları

Göl	Su yüzeyindeki nokta sayısı	Su olmayan yüzeydeki nokta sayısı	Toplam nokta
Küçükçekmece	485	390	875
Köyceğiz	298	352	650
Burdur	177	515	692
Hazar	286	404	690
Çıldır	345	409	754

Tablo 5. Hata matris tablosu

		Tahmin	
		Su	Su olmayan
Gerçek	Su	GP	YN
	Su olmayan	YP	GN

$$GD = \frac{(GP + GN)}{N} \quad (7)$$

$$Kappa = \frac{\frac{GP}{(GP + YP)} - \frac{(GP + YP) * (GP + YN) + (YN + GN) * (YP + GN)}{(GN + GP + YP + YN)^2}}{1 - \frac{(GP + YP) * (GP + YN) + (YN + GN) * (YP + GN)}{(GN + GP + YP + YN)^2}} \quad (8)$$

$$F1 - skor = \frac{2 * GP}{(2 * GP + YP + YN)} \quad (9)$$

2.3.2. McNemar Testi

Kullanılan indekslerin su yüzeylerini tespit etmedeki başarılarının istatistiksel olarak anlamlılığı McNemar testi ile değerlendirilmiştir (Çölkesen ve Yomraloğlu, 2014). McNemar testi Ki-kare dağılımını esas alan parametrik olmayan bir testtir ve 2x2 boyutunda bir matris ile ifade edilir (Efe ve Algancı, 2022; Foody, 2004). Süreklilik düzeltilmesi getirilmiş Ki-kare değeri eşitlik 10 ile hesaplanır.

$$\chi^2 = \frac{(|f_{12} - f_{21}| - 1)^2}{f_{12} + f_{21}} \quad (10)$$

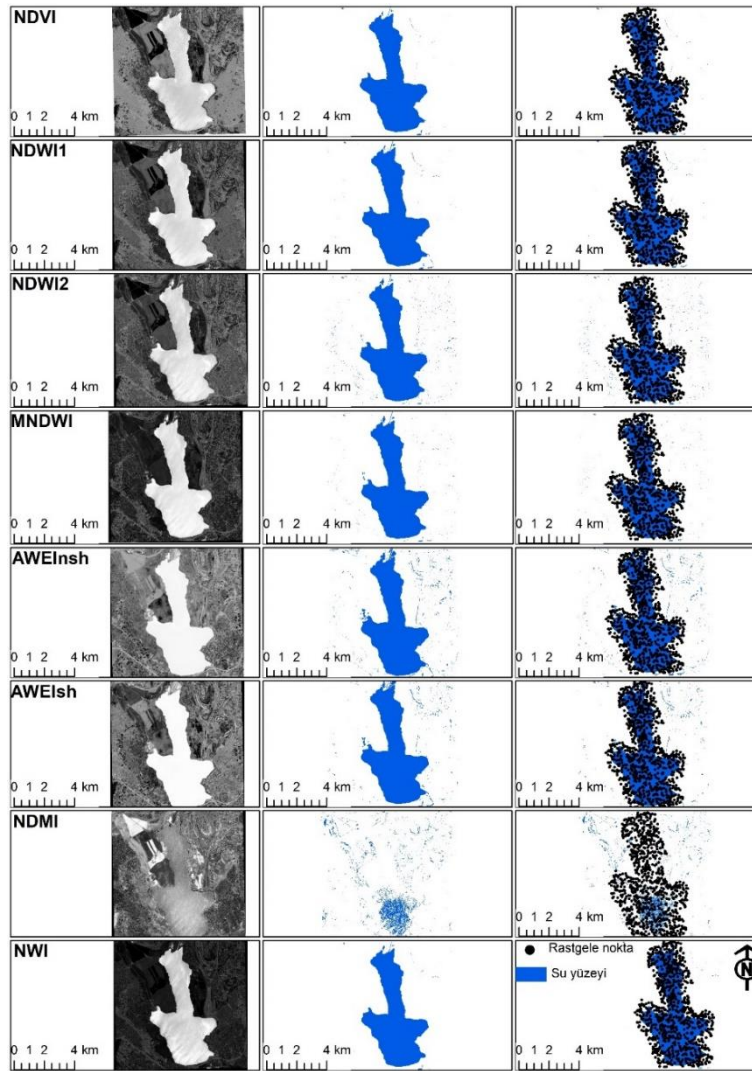
bu denklemden f_{ij} , i metodu tarafından yanlış belirlenen fakat j metodu tarafından doğru tespit edilen su yüzeylerinin örnek sayısını ifade eder. İki yöntem arasındaki fark χ^2 değeri 3.84'ten büyük veya eşit olduğunda %95 güven seviyesinde ($p=0.05$) istatistiksel olarak anlamlıdır. Başka bir ifade ile karşılaştırılan iki yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir doğruluk farkı vardır.

3. Bulgular ve Tartışma

Küçükçekmece Gölü'nün doğruluk değerlendirmesi Tablo 6'da ve kullanılan indekslere göre elde edilen göl yüzeyleri Şekil 2'de sunulmuştur. Kullanılan indeksler arasında, NDWI1 en yüksek performansı göstererek GD oranı %98.29, Kappa istatistiği 0.965 ve F1-skor %98.47 değerlerini elde etmiştir. Diğer yandan, NDMI GD oranı %48.57, Kappa istatistiği 0.047 ve F1-skor %30.77 değerleriyle kötü performans göstermiştir. İnceleme sonucunda, özellikle AWEI_{sh} ve MNDWI indeksleri gölgelik alanlar için üretilmiş indeksler olduğundan, diğer indekslere göre oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. NDVI bitki indeksi de su yüzeylerini çıkarmada en başarılı ikinci indeks olarak ortaya çıkmıştır. Ayrıca, Şekil 2'de incelendiğinde NDMI indeksi özellikle su yüzeylerini tespit etmede başarısız olmuştur. AWEI_{sh}, AWEI_{lnsh} ve NDWI2 indeksleri ile elde edilen su yüzey alanları, diğer indekslerle karşılaştırıldığında daha fazla gürültü içermektedir. Doğruluk değerlendirmesi sonuçları da bu tespiti desteklemektedir.

Tablo 6. Küçükçekmece Gölü'nün doğruluk analizi

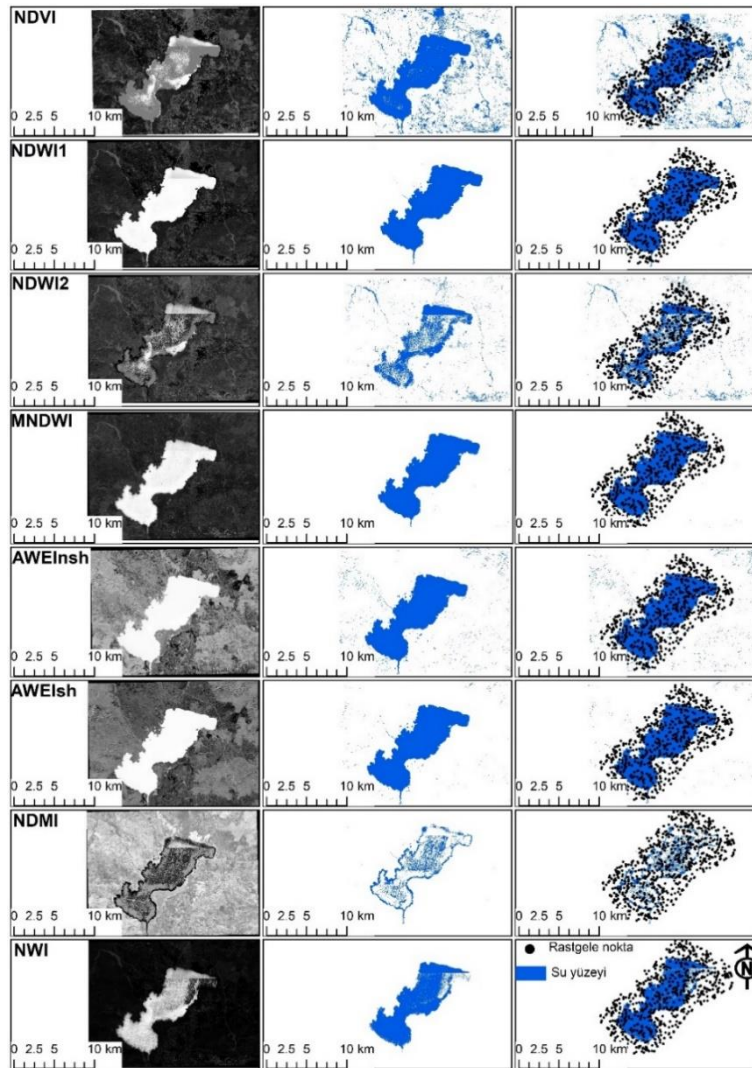
Göl	Kullanılan indeksler	GD (%)	Kappa	F1-skor (%)	Alan (km ²)
Küçükçekmece Gölü	NDVI	98.06	0.961	98.26	16.01
	NDWI1	98.29	0.965	98.47	16.11
	NDWI2	97.03	0.940	97.36	15.90
	MNDWI	97.49	0.949	97.77	16.01
	AWEI _{nsh}	95.43	0.906	96.05	16.42
	AWEI _{sh}	96.00	0.918	96.52	16.58
	NDMI	48.57	0.047	30.77	-
	NWI	98.17	0.963	98.36	15.89

**Şekil 2.** Küçükçekmece gölünün farklı indekslere göre elde edilmiş yüzey sınırları

Köyceğiz Gölü'nün doğruluk değerlendirilmesi Tablo 7'de yer almakta ve kullanılan indekslere göre elde edilen göl yüzeyleri Şekil 3'te sunulmuştur. Köyceğiz Gölü'nde, diğerlerine göre NDWI1 indeksi en yüksek performansı göstermiştir; GD oranı %98, Kappa istatistiği 0.958 ve F1-skor %97.46 olarak hesaplanmıştır. En düşük performansı ise NDMI indeksi göstermiştir; GD oranı %54.92, Kappa istatistiği 0.025 ve F1-skor %36.99 olarak hesaplanmıştır. Diğer indeksler arasında AWEI_{sh} en yüksek ikinci performansı gösterirken, MNDWI indeksi üçüncü sırada yer almıştır. Şekil 3 incelendiğinde, özellikle NDVI, NDWI2 ve AWEI_{nsh} indekslerinde gürültü seviyesinin yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 7. Köyceğiz Gölü'nün doğruluk analizi

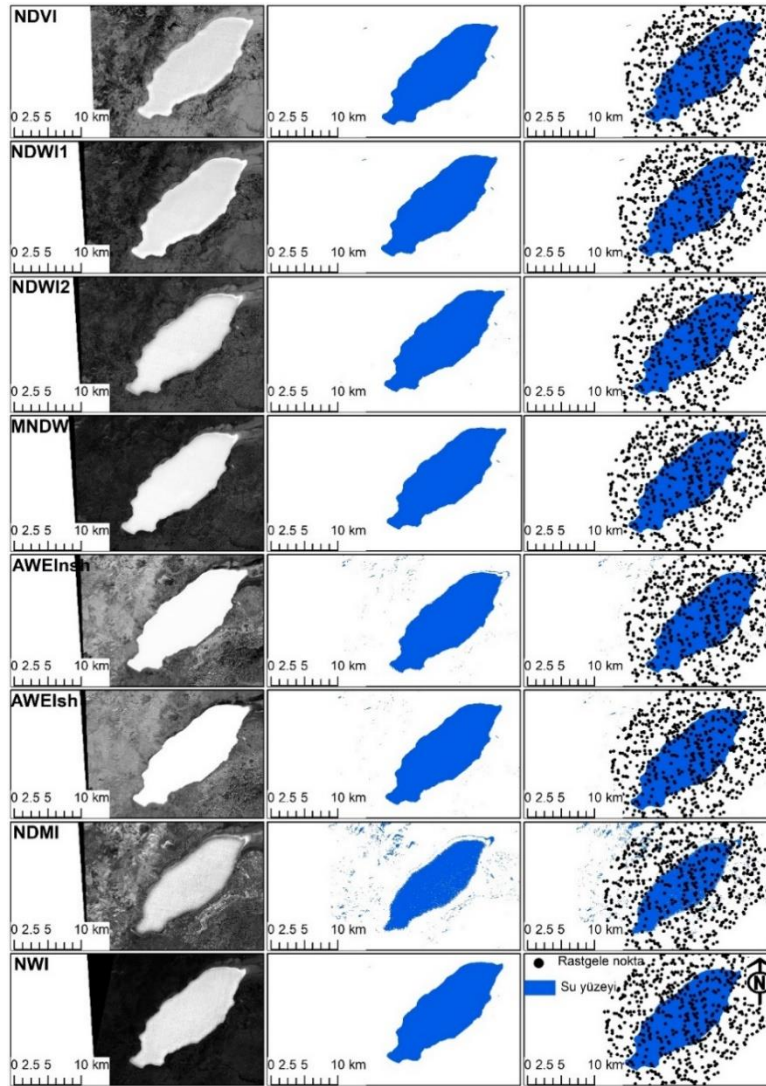
Göl	Kullanılan indeksler	GD (%)	Kappa	F1-skor (%)	Alan (km ²)
Köyceğiz Gölü	NDVI	91.23	0.822	89.73	52.39
	NDWI1	98.00	0.958	97.46	52.59
	NDWI2	79.54	0.537	67.00	-
	MNDWI	97.23	0.942	96.43	51.35
	AWEI _{nsh}	96.92	0.984	96.18	53.76
	AWEI _{sh}	97.38	0.946	96.74	54.07
	NDMI	54.92	0.025	36.99	-
	NWI	92.92	0.848	90.30	-

**Şekil 3.** Köyceğiz gölünün farklı indekslere göre elde edilmiş yüzey sınırları

Burdur Gölü'nün doğruluk değerlendirmesi Tablo 8'de, kullanılan indekslere göre elde edilen göl yüzeyleri ise Şekil 4'te sunulmuştur. Burdur Gölü'nde hesaplanan indeksler arasında NDVI ve NDWI1 indeksleri GD, Kappa ve F1-skor sırasıyla %99.86, 0.996 ve %99.72 olarak diğerlerine göre en yüksek performansı göstermiştir. En düşük performans ise NDMI indeksinde GD, Kappa ve F1-skor sırasıyla %89.60, 0.703 ve %76.77 olarak hesaplanmıştır. AWEI_{sh} indeksi ikinci sırada, MNDWI ve NWI ise üçüncü sırada başarı sağlamıştır. Şekil 4 incelendiğinde özellikle AWEI_{nsh} ve NDMI indekslerinde gürültünün fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 8. Burdur Gölü'nün doğruluk analizi

Göl	Kullanılan indeksler	GD (%)	Kappa	F1-skor (%)	Alan (km ²)
Burdur Gölü	NDVI	99.86	0.996	99.72	122.33
	NDWI1	99.13	0.977	98.29	122.49
	NDWI2	99.42	0.985	98.88	123.58
	MNDWI	99.57	0.989	99.16	123.49
	AWEI _{nsh}	98.55	0.962	97.18	120.17
	AWEI _{sh}	99.71	0.992	99.44	122.57
	NDMI	89.60	0.703	76.77	-
	NWI	99.57	0.988	99.15	121.81

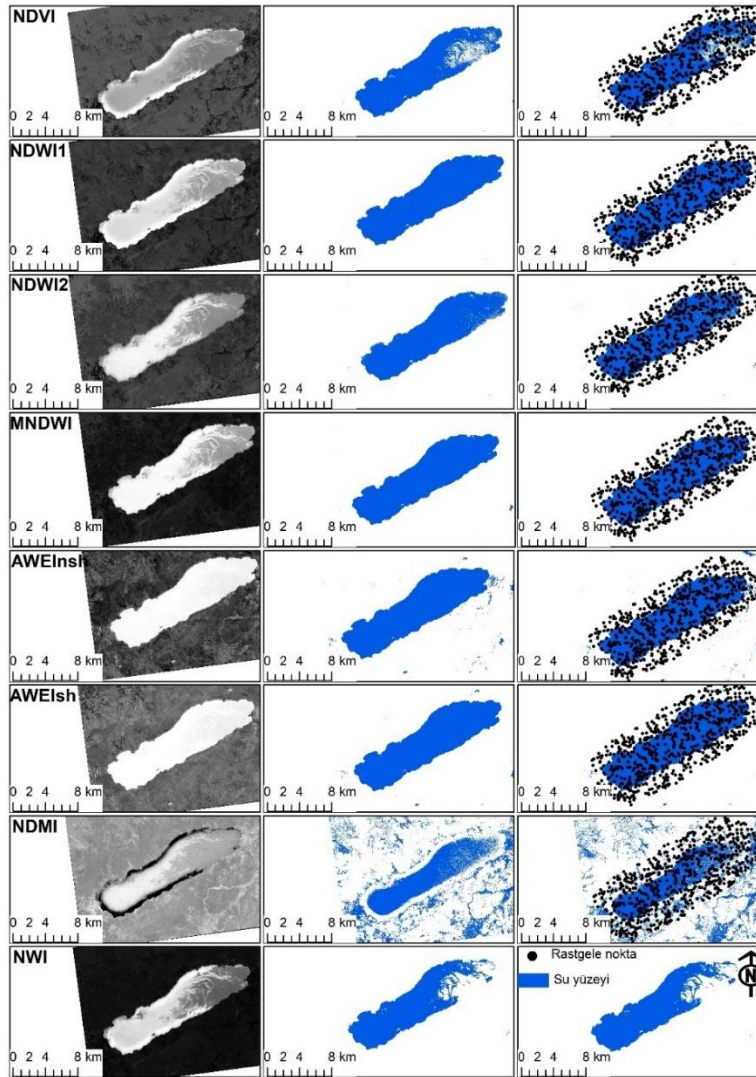


Şekil 4. Burdur gölünün farklı indekslere göre elde edilmiş yüzey sınırları

Hazar Gölü'nün doğruluk değerlendirmesi Tablo 9'da, kullanılan indekslere göre elde edilen göl yüzeyleri ise Şekil 5'te verilmiştir. Hazar Gölü'nde hesaplanan indeksler arasında NDWI1 indeksi, GD, Kappa ve F1-skor sırasıyla %98.55, 0.971 ve %98.48 ile diğerlerine göre en yüksek performans göstermiştir. En düşük performans ise NDMI indeksi için GD, Kappa ve F1-skor sırasıyla %71.16, 0.416 ve %66.21 olarak hesaplanmıştır. AWEI_{sh} indeksi ikinci sırada yer alırken, MNDWI indeksi üçüncü sırada yer almıştır. Şekil 5 incelendiğinde, özellikle NDMI indeksinde aşırı, AWEI_{nsh} indeksinde ise bir miktar gürültü olduğu görülmüştür.

Tablo 9. Hazar Gölü'nün doğruluk analizi

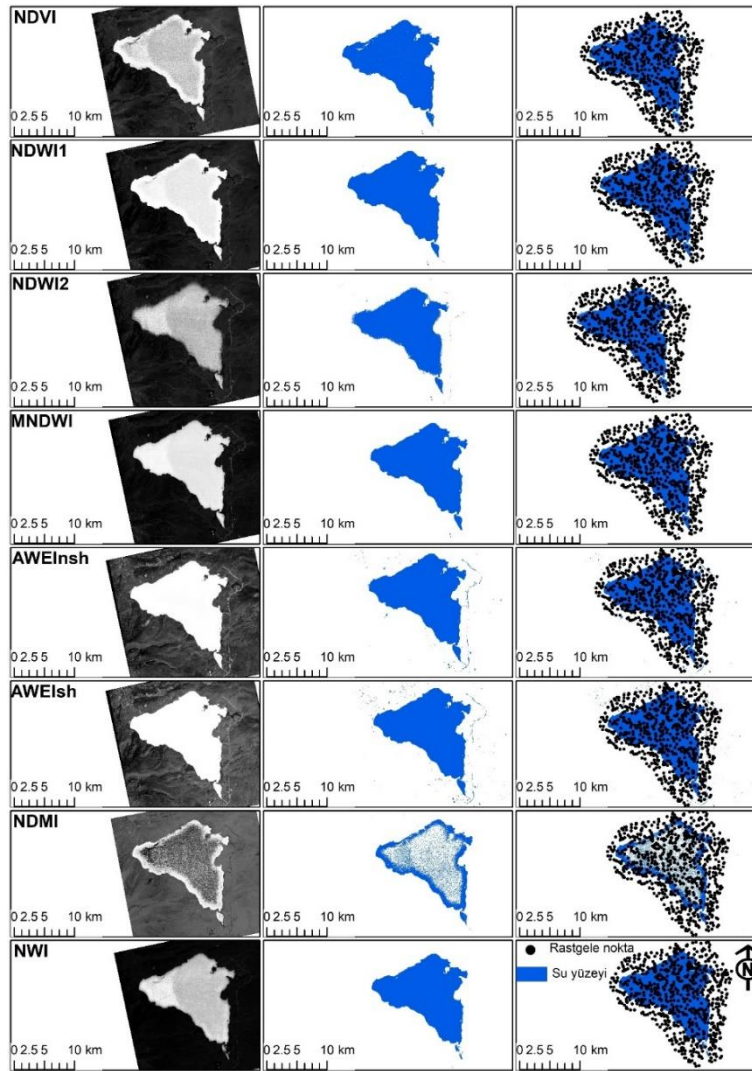
Göl	Kullanılan indeksler	GD (%)	Kappa	F1-skor (%)	Alan (km ²)
Hazar Gölü	NDVI	92.46	0.848	91.53	-
	NDWI1	98.55	0.971	98.48	79.06
	NDWI2	96.23	0.924	95.95	74.93
	MNDWI	97.83	0.956	97.70	78.58
	AWEI _{nsh}	97.68	0.954	97.60	79.91
	AWEI _{sh}	98.26	0.965	98.19	79.69
	NDMI	71.16	0.416	66.21	-
	NWI	88.41	0.765	86.25	-

**Şekil 5.** Hazar gölünün farklı indekslere göre elde edilmiş yüzey sınırları

Çıldır Gölü'nün doğruluk değerlendirilmesi Tablo 10'da, kullanılan indekslere göre elde edilen göl yüzeyleri ise Şekil 6'da sunulmuştur. Çıldır Gölü'nde hesaplanan indeksler arasında NDWI1 indeksi, GD, Kappa ve F1-skor ölçütlerine göre %98.94, 0.979 ve %98.84 ile diğerlerine kıyasla en yüksek performansı göstermiştir. En düşük performans ise NDMI indeksi için hesaplanmıştır; GD, Kappa ve F1-skor sırasıyla %74.93, 0.473 ve %62.87 olarak hesaplanmıştır. Çıldır Gölü'nde, NDVI indeksi ikinci, MNDWI indeksi ise üçüncü sırada performans göstermiştir. Şekil 6 incelendiğinde, özellikle NDMI indeksinin su yüzeyini çıkarmada oldukça başarısız olduğu görülmüştür. Ayrıca, AWEI_{sh} ve AWEI_{nsh} indekslerinde de fazla gürültü olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 10. Çıldır Gölü'nün doğruluk analizi

Göl	Kullanılan indeksler	GD (%)	Kappa	F1-skor (%)	Alan (km ²)
Çıldır Gölü	NDVI	98.67	0.988	98.55	121.64
	NDWI1	98.94	0.979	98.84	123.09
	NDWI2	95.62	0.911	95.05	112.08
	MNDWI	98.67	0.973	98.55	122.56
	AWEI _{nsh}	98.14	0.963	98.01	124.82
	AWEI _{sh}	98.14	0.963	98.01	124.63
	NDMI	74.93	0.473	62.87	-
	NWI	98.01	0.960	97.80	118.62

**Şekil 6.** Çıldır gölünün farklı indekslere göre elde edilmiş yüzey sınırları

Bu çalışmada kullanılan indekslerin doğrulukları Tablo 11'de verilmiştir. Verilen sonuçlara göre NDVI indeksinde GD değeri minimum %91.23, maksimum %99.86, Kappa istatistiği minimum 0.822, maksimum 0.996 ve F1-skor minimum %91.53, maksimum %99.72 olarak hesaplandı. NDWI1 indeksinde ise GD değeri minimum %98.00, maksimum %99.86, Kappa istatistiği minimum 0.958, maksimum 0.996 ve F1-skor minimum %97.46, maksimum %99.72 arasında hesaplandı. Benzer şekilde NDWI2 indeksinde GD değeri minimum %79.54, maksimum %99.42, Kappa istatistiği minimum 0.537, maksimum 0.985 ve F1-skor minimum %67.00, maksimum %98.88 olarak hesaplandı.

MNDWI indeksinde GD değeri minimum %97.23, maksimum %99.57, Kappa istatistiği minimum 0.942, maksimum 0.989 arasında ve F1-skor minimum %96.43, maksimum %99.16 olarak hesaplandı. AWEI_{ns} indeksinde ise GD değeri minimum %95.43, maksimum %98.55, Kappa istatistiği minimum 0.906, maksimum 0.984 arasında ve F1-skor minimum %96.05, maksimum %98.01 olarak hesaplandı. AWEI_{sh} indeksinde GD değeri minimum %96.00, maksimum %99.71, Kappa istatistiği minimum 0.918, maksimum 0.992 arasında ve F1-skor minimum %96.52, maksimum %99.44 olarak hesaplandı. NDMI indeksinde GD değeri minimum %48.57, maksimum %89.60, Kappa istatistiği minimum 0.025, maksimum 0.703 ve F1-skor minimum %30.77, maksimum %76.77 olarak hesaplandı. Son olarak NWI indeksinde GD değeri minimum %88.41, maksimum %99.57, Kappa istatistiği minimum 0.765, maksimum 0.989 arasında ve F1-skor minimum %86.25, maksimum %99.15 olarak hesaplandı.

Bu çalışmada Türkiye’de farklı coğrafyalarda yer alan farklı göllerin yüzeyleri çeşitli su çıkarma indeksleri ile tespit edilmiş ve bu indekslerin performansları karşılaştırılmıştır. Özellikle su yüzeylerinin belirlenmesinde birçok yöntem kullanılsa da indeksler üzerinden su yüzeylerinin çıkarılması diğer yöntemlere göre daha pratiktir. İndeksler kullanılarak su yüzeylerini çıkarılmasında eşik belirlemek zaman alıcı ve kullanılacak olan eşik değeri subjektif bir karara neden olabilir (Ji vd., 2009). Bunun nedeni farklı konumlarındaki farklı su kütlelerinde su için sabit bir eşik değerinin olmamasından kaynaklanmaktadır (Worden ve de Beurs, 2020).

Otsu eşik belirleme bu sorunu ortadan kaldırarak indeks üzerinde su ve su olamayan yüzeyleri iki sınıfa ayırabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan indeksler Otsu yöntemi kullanılarak iki sınıfa ayrılmıştır. Bu sayede indeksler karşılaştırılırken manuel eşikten kaynaklı oluşabilecek hatalarında önüne geçilmiş oldu. Su yüzeylerini belirlenmesinde kullanılan indekslerin karşılaştırıldığı farklı çalışmalarda yapılmıştır. Yang vd. (2018) Kentsel alanlarda farklı bölgelerde su kütlelerini NDMI ve AWEI_{sh} indekslerini kullanarak Sentinel-2 görüntüleri üzerinden tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada her iki indekste de GD değerleri %96.86 ile %99.53 arasında değişmiştir. Yapılan bu çalışmada kullanılan AWEI_{sh} indeksi özellikle kentsel alanlarda su yüzeylerinde oluşacak gölge etkisini dikkate alır. Buna ek olarak su yüzeylerinde oluşacak gölge etkisini minimize eden MNDWI indeksi kullanılmaktadır. Bu çalışmada özellikle kentsel dokudan etkilenen Küçükçekmece Gölü için kullanılan AWEI_{sh} ve MNDWI indeksleri GD sırasıyla %96.00 ve %97.49 hesaplanmıştır. Her iki çalışmada bulunan bu sonuçlar birbiriyle uyumludur. Bu çalışmada kullanılan NDVI indeksi, esas olarak yeşil bitki örtüsünü diğer yüzeylerden ayırmak için geliştirilmiştir. Küçükçekmece Gölü’nün etrafında kentsel dokunun yanında yeşil bitki örtüsü de yoğun bulunmaktadır. Bu göl üzerinde NDVI indeksi su ve bitki örtüsü farkını daha belirgin hale getirerek su yüzeyini tespitinde belirgin bir başarı göstermiştir. Yapılan bir başka çalışmada Worden ve Beurs (2020) Landsat görüntüleri kullanarak su yüzeylerini belirlemede NDWI, MNDWI, AWEI_{sh} ve AWEI_{ns} olmak üzere dört farklı indeks karşılaştırmışlardır. Yapılan karşılaştırma sonucunda GD değerinin %93.00 ile MNDWI indeksinin diğerlerine göre daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. Bu çalışmada MNDWI indeksi tüm göllerde %97 üzerinde bir doğrulukla su yüzeylerini belirlemeyi başardı. Benzer başka bir çalışmada ise Zhai vd. (2015) Landsat OLI ve TM görüntüleri üzerinde NDVI, NDWI, MNDWI ve AWEI indekslerinin perforasyonlarını karşılaştırmışlardır. Bu amaçla şehir alanı ve kırsal alan olmak üzere iki farklı bölge seçmişlerdir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre OLI görüntülerde AWEI indeksi şehir de %97.61 kırsalda ise %95.34 GD değerleri hesaplanmıştır. TM görüntülerinde ise şehirde %97.10, kırsalda ise %96.83 GD değerleri hesaplanmıştır. Benzer şekilde MNDWI indeksi OLI görüntülerde şehir de %97,28 kırsalda ise %96.86 GD değerleri hesaplanmıştır. TM görüntülerinde ise şehirde %96.94, kırsalda ise %96.03 GD değerleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda bu AWEI ve MNDWI indekslerinin OLI görüntülerde diğerlerine göre daha başarılı olduğunu tespit etmişlerdir. Elde edilen bu sonuçlar indekslerin su yüzeylerini çıkarmada yüksek başarı gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmadaki sonuçlar ile karşılaştırıldığında bu indekslerin doğruluk oranlarına çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Su yüzeylerinin belirlenmesinde kullanılan indekslerin performansı çok değişik faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Etrafı boş arazilerden oluşan temiz sularda neredeyse tüm indeksler yüksek başarı sergilerken, yüzeyi yeşilin tonlarına çalan ve etrafında gölge oluşturacak unsurların varlığında bu indekslerin performansları değişmektedir. AWEI_{sh} ve MNDWI indeksleri özellikle bu tip sularda oldukça başarılı olmuştur. Özellikle bitkilerdeki nem seviyesini ölçmeye yarayan NDMI indeksi bu çalışmada tüm göllerde kötü performans göstermiştir. Elshahi vd. (2016) yaptıkları çalışmada bu çalışmayı doğrular nitelikte NDMI indeksinin su yüzeylerini bulmadaki performansının kötü olduğunu ortaya koymuşlardır. Benzer şekilde Naik ve Anuradha (2018) çalışmalarında NDVI, NDMI, NDWI ve MNDWI indekslerini karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlarda bu çalışmadaki sonuçlara benzer şekilde NDMI indeksinin su yüzeylerini tespit etmede uygun olmadığını bildirmişlerdir.

Yapılan bu çalışma ve literatürde daha önceki çalışmalar incelendiğinde özellikle su yüzeylerinin belirlenmesinde su karakteristiği, çalışma alanı, arazi kullanımı gibi faktörlerin spektral yansımaları değiştirmesi ve bundan kaynaklı indekslerin doğruluk açısından farklı performans sergilediği görülmektedir. Genel olarak NDWI, MNDWI ve AWEI indekslerinin %90 üzerinde bir doğruluk ile su yüzeylerini belirleyebildiği ve diğerlerine göre daha başarılı olduğu bu çalışmayla ve diğer çalışmayla desteklenmiştir.

Tablo 11. İndekslere göre doğruluk değerlendirilmesi

İndeks	GD (%)	Kappa	F1-skor (%)
NDVI	98.06	0.961	98.26
	91.23	0.822	89.73
	99.86	0.996	99.72
	92.46	0.848	91.53
	98.67	0.988	98.55
NDWI1	98.29	0.965	98.47
	98.00	0.958	97.46
	99.86	0.996	99.72
	98.55	0.971	98.48
	98.94	0.979	98.84
NDWI2	97.03	0.940	97.36
	79.54	0.537	67.00
	99.42	0.985	98.88
	96.23	0.924	95.95
	95.62	0.911	95.05
MNDWI	97.49	0.949	97.77
	97.23	0.942	96.43
	99.57	0.989	99.16
	97.83	0.956	97.70
	98.67	0.973	98.55
AWEI _{nsh}	95.43	0.906	96.05
	96.92	0.984	96.18
	98.55	0.962	97.18
	97.68	0.954	97.60
	98.14	0.963	98.01
AWEI _{sh}	96.00	0.918	96.52
	97.38	0.946	96.74
	99.71	0.992	99.44
	98.26	0.965	98.19
	98.14	0.963	98.01
NDMI	48.57	0.047	30.77
	54.92	0.025	36.99
	89.60	0.703	76.77
	71.16	0.416	66.21
	74.93	0.473	62.87
NWI	98.17	0.963	98.36
	92.92	0.848	90.30
	99.57	0.988	99.15
	88.41	0.765	86.25
	98.01	0.960	97.80

Bu çalışmada kullanılan indekslerin su yüzeylerini belirlemedeki doğruluk farklarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıkları McNemar testi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan indeksler çalışma bölgelerinin farklılıkları ve doğruluk değerlendirilmesinde kullanılan nokta sayıları göz önünde bulundurularak her bölge için ayrı ayrı McNemar testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 12’de verilmiştir.

Küçükçekmece Gölü’nde kullanılan su çıkarma indeksleri için yapılan McNemar testinde NDVI indeksinin diğer indekslerle ikili karşılaştırılması sonucu NDWI1, NDWI2 MNDWI ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre NDWI1, NDWI2, MNDWI ve NWI indeksleri su yüzeylerini belirlemedeki doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NDMI indekslerinde ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI1 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük, NDWI2, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre MNDWI ve NWI indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI2 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI ve AWEI_{sh} indekslerinin χ^2 değeri 3.84’ten küçük, AWEI_{nsh}, NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre NDWI2 indeksi ile MNDWI ve AWEI_{sh} arasında doğruluk değerlendirmesindeki farklılıklar anlamlı değilken diğer indeksler arasında ise anlamlı bir fark olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde MNDWI indeksi ile yapılan ikili karşılaştırmalarda ise NWI indeksinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI indeksi ile NWI indeksi doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NDMI indeksleri ile ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bir diğer indeks olan AWEI_{nsh} indeksi ile yapılan ikili karşılaştırma sonucunda AWEI_{sh} indeksinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük iken NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre AWEI_{nsh} indeksi ile AWEI_{sh} indeksinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. AWEI_{sh} indeksinin ikili karşılaştırma sonucu incelendiğinde ise NDMI ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten büyük çıkmıştır. AWEI_{sh} indeksi ile NDMI ve NWI doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Son olarak ise yapılan karşılaştırmada NDMI indeksi ile NWI indeksinde ise χ^2 değeri 3.84’ten büyük çıkmış bu iki indeks arasında da doğruluk değerlendirmesi farkları istatistiksel olarak anlamlıdır.

Köyceğiz Gölü’nde kullanılan su çıkarma indeksleri için yapılan McNemar testinde NDVI indeksinin diğer indekslerle ikili karşılaştırılması sonucu NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük, NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{nsh} ve AWEI_{sh} indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre NWI indeksleri su yüzeylerini belirlemedeki doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{nsh} ve AWEI_{sh} indekslerinde ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI1 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI, AWEI_{nsh} ve AWEI_{sh} indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük, NDWI2, NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre MNDWI, AWEI_{nsh} ve AWEI_{sh} indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Bir diğer indeks olan NDWI2’nin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise NDMI indekslerinin χ^2 değeri 3.84’ten küçük, MNDWI, AWEI_{nsh} AWEI_{sh} ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre NDWI2 indeksi ile NDMI arasında doğruluk değerlendirmesindeki farklılıklar anlamlı değilken diğer indeksler arasında ise anlamlı bir fark olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde MNDWI indeksi ile yapılan ikili karşılaştırmalarda ise AWEI_{nsh} ve AWEI_{sh} indeksinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI indeksi AWEI_{nsh} ve AWEI_{sh} indeksleri doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, NDMI ve NWI ile ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bir diğer indeks olan AWEI_{nsh} indeksi ile yapılan ikili karşılaştırma sonucunda AWEI_{sh} indeksinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük iken NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre AWEI_{nsh} indeksi AWEI_{sh} indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. AWEI_{sh} indeksinin ikili karşılaştırma sonucu incelendiğinde ise NDMI ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten büyük çıkmıştır. AWEI_{sh} indeksi diğer NDMI ve NWI indeksleri doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. NDMI indeksi ile NWI indeksinde ise χ^2 değeri 3.84’ten büyük çıkmış bu iki indeks arasında da doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür.

Burdur Gölü’nde kullanılan su çıkarma indeksleri için yapılan McNemar testinde NDVI indeksinin diğer indekslerle ikili karşılaştırılması sonucu NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{sh} ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük, AWEI_{nsh} ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{sh} ve NWI indeksleri su yüzeylerini belirlemedeki doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı AWEI_{nsh} ve NDMI indekslerinde ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI1 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise NDWI2, MNDWI, AWEI_{ns} ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük, AWEI_{nsh} ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre NDWI2, MNDWI, AWEI_{ns} ve NWI indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI2 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NWI indekslerinin χ^2 değeri 3.84’ten küçük, NDMI indeksinde ise büyük çıkmıştır. NDWI2 indeksi ile MNDWI, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NWI indeksleri arasında doğruluk değerlendirmesindeki farklılıklar anlamlı değilken NDMI indeksi ile anlamlı bir fark

olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde MNDWI indeksi ile yapılan ikili karşılaştırmalarda ise $AWEI_{nsh}$, $AWEI_{sh}$ ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük NDMI indeksinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI indeksi $AWEI_{nsh}$, $AWEI_{sh}$ ve NWI indeksleri doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, NDMI indeksi ile ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bir diğer indeks olan $AWEI_{nsh}$ indeksi ile yapılan ikili karşılaştırma sonucunda NWI indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük iken $AWEI_{sh}$ ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre $AWEI_{nsh}$ indeksi ile NWI indeksinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. $AWEI_{sh}$ indeksinin ikili karşılaştırma sonucu incelendiğinde ise NWI indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük NDMI indeksinde ise büyük çıkmıştır. $AWEI_{sh}$ indeksi ile NWI indeksinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, NDMI indeksinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Son olarak ise yapılan karşılaştırmada NDMI indeksi ile NWI indeksinde ise χ^2 değeri 3.84'ten büyük çıkmış bu iki indeks arasında da doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür.

Hazar Gölü için yapılan McNemar testinde NDVI indeksinin diğer indekslerle ikili karşılaştırılması sonucu NDWI1, NDWI2, MNDWI, $AWEI_{nsh}$, $AWEI_{sh}$, NDMI ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84'ten büyük çıkmıştır. Bu indekslerin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI1 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI, $AWEI_{nsh}$ ve $AWEI_{sh}$ indekslerinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük, NDWI2, NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI, $AWEI_{nsh}$ ve $AWEI_{sh}$ indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI2 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise $AWEI_{nsh}$ indeksinin χ^2 değeri 3.84'ten küçük, MNDWI, $AWEI_{sh}$, NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlar NDWI2 indeksi ile $AWEI_{nsh}$ arasında doğruluk değerlendirmesindeki farklılıkların anlamlı olmadığını, diğer indeksler arasında ise anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde MNDWI indeksi ile yapılan ikili karşılaştırmalarda ise $AWEI_{nsh}$ ve $AWEI_{sh}$ indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI indeksi $AWEI_{nsh}$ ve $AWEI_{sh}$ indeksleri doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, NDMI ve NWI indeksleri ile ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bir diğer indeks olan $AWEI_{nsh}$ indeksi ile yapılan ikili karşılaştırma sonucunda $AWEI_{sh}$ indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük iken NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. $AWEI_{nsh}$ indeksi ile $AWEI_{sh}$ indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. $AWEI_{sh}$ indeksinin ikili karşılaştırma sonucu incelendiğinde ise NDMI ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84'ten büyük çıkmıştır. $AWEI_{sh}$ indeksi diğer NDMI ve NWI doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. Son olarak ise yapılan karşılaştırmada NDMI indeksi ile NWI indeksinde ise χ^2 değeri 3.84'ten büyük çıkmış bu iki indeks arasında da doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür.

Çalışma bölgesinin son gölü olan Çıldır Gölü için yapılan McNemar testinde NDVI indeksinin diğer indekslerle ikili karşılaştırılması sonucu NDWI1, MNDWI, $AWEI_{sh}$, $AWEI_{sh}$ ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük, NDWI2 ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre NDWI1, MNDWI, $AWEI_{sh}$, $AWEI_{sh}$ ve NWI indeksleri su yüzeylerini belirlemedeki doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı NDWI2 ve NDMI indekslerinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. NDWI1 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI, $AWEI_{nsh}$ ve $AWEI_{sh}$ indekslerinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük, NDWI2, NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI, $AWEI_{nsh}$ ve $AWEI_{sh}$ indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI2 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI, $AWEI_{nsh}$, $AWEI_{sh}$, NDMI ve NWI indeksinin χ^2 değeri 3.84'ten büyük çıkmıştır. Bu indekslerin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Benzer şekilde MNDWI indeksi ile yapılan ikili karşılaştırmalarda ise $AWEI_{nsh}$, $AWEI_{sh}$ ve NWI indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük NDMI indeksinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI indeksi $AWEI_{nsh}$, $AWEI_{sh}$ ve NWI indeksleri doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, NDMI indeksinde ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bir diğer indeks olan $AWEI_{nsh}$ indeksi ile yapılan ikili karşılaştırma sonucunda $AWEI_{sh}$ ve NWI indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük iken NDMI indeksinde ise büyük çıkmıştır. $AWEI_{nsh}$ indeksi $AWEI_{sh}$ ve NWI indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. $AWEI_{sh}$ indeksinin ikili karşılaştırma sonucu incelendiğinde ise NWI indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük, NDMI indeksinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre $AWEI_{sh}$ indeksi NWI indeksleri doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, NDMI indeksinde ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Son olarak ise yapılan karşılaştırmada NDMI indeksi ile NWI indeksinde ise χ^2 değeri 3.84'ten büyük çıkmış bu iki indeks arasında da doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür.

Tablo 12. McNemar testi değerlendirilmesi

İndis 1	İndis 2	Küçükçekmece		Köyceğiz		Burdur		Hazar		Çıldır	
		χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>
NDVI	NDWI1	0.57	0.45	38.52	0.00	3.20	0.07	38.21	0.00	0.50	0.48
NDVI	NDWI2	0.06	0.08	35.16	0.00	0.80	0.37	12.02	0.00	19.36	0.00
NDVI	MNDWI	0.56	0.45	27.24	0.00	0.25	0.62	30.14	0.00	1.00	0.48
NDVI	AWEI _{nsh}	12.25	0.00	22.74	0.00	7.11	0.01	23.56	0.00	0.75	0.39
NDVI	AWEI _{sh}	8.26	0.00	29.25	0.00	0.00	1.00	31.69	0.00	0.75	0.39
NDVI	NDMI	487.44	0.00	47.52	0.00	67.12	0.00	97.33	0.00	171.27	0.00
NDVI	NWI	0.17	0.68	1.21	0.27	0.50	0.45	20.25	0.00	2.29	0.13
NDWI1	NDWI2	5.26	0.02	114.20	0.00	0.80	0.37	14.06	0.00	21.33	0.00
NDWI1	MNDWI	2.77	0.09	2.29	0.13	0.25	0.62	3.20	0.07	0.25	0.62
NDWI1	AWEI _{nsh}	19.86	0.00	2.77	0.10	7.11	0.01	3.13	0.08	2.50	0.11
NDWI1	AWEI _{sh}	15.04	0.00	0.90	0.34	0.00	1.00	0.25	0.62	2.50	0.11
NDWI1	NDMI	490.43	0.00	130.80	0.00	67.12	0.00	179.41	0.00	177.05	0.00
NDWI1	NWI	0.00	1.00	27.68	0.00	0.50	0.45	62.64	0.00	4.00	0.05
NDWI2	MNDWI	1.12	0.29	111.08	0.00	0.00	1.00	9.09	0.00	21.04	0.00
NDWI2	AWEI _{nsh}	5.63	0.02	94.32	0.00	2.08	0.15	3.38	0.07	9.26	0.00
NDWI2	AWEI _{sh}	2.21	0.14	101.73	0.00	0.17	0.68	8.45	0.00	9.26	0.00
NDWI2	NDMI	463.06	0.00	2.18	0.14	64.13	0.00	163.45	0.00	114.41	0.00
NDWI2	NWI	8.10	0.00	69.12	0.00	0.00	1.00	41.31	0.00	14.45	0.00
MNDWI	AWEI _{nsh}	11.12	0.01	0.05	0.82	3.27	0.07	0.00	1.00	0.64	0.42
MNDWI	AWEI _{sh}	6.86	0.01	0.00	1.00	0.00	1.00	0.44	0.51	0.64	0.42
MNDWI	NDMI	470.60	0.00	117.81	0.00	65.13	0.00	174.42	0.00	169.43	0.00
MNDWI	NWI	2.08	0.15	22.78	0.00	0.25	0.62	57.70	0.00	3.20	0.07
AWEI _{nsh}	AWEI _{sh}	1.23	0.27	0.80	0.37	6.12	0.01	2.25	0.13	0.50	0.48
AWEI _{nsh}	NDMI	421.21	0.00	108.82	0.00	51.68	0.00	173.42	0.00	156.87	0.00
AWEI _{nsh}	NWI	13.92	0.00	12.50	0.00	3.27	0.07	47.25	0.00	0.00	1.00
AWEI _{sh}	NDMI	435.60	0.00	115.86	0.00	64.34	0.00	177.42	0.00	156.87	0.00
AWEI _{sh}	NWI	9.82	0.00	16.68	0.00	0.00	1.00	56.11	0.00	0.00	1.00
NDMI	NWI	491.33	0.00	72.45	0.00	65.13	0.00	69.97	0.00	155.88	0.00

4. Sonuç

Herhangi bir bölgedeki yüzey sularının tespit edilmesi ve takip edilmesi su kaynaklarının yönetimi açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla son yıllarda UA tekniklerinin kullanımı, geniş alanları görüntüleyebilme ve uzun vadeli zaman dilimlerinde takip için oldukça faz tercih edilmektedir. Bunun yanında özellikle gelişen makine öğrenme algoritmaları, su çıkarma indeksleri uydu görüntüleri üzerinde su kaynaklarının haritalanmasında güvenilir bilgiler sağlamaktadır. Bu çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinde dağılmış beş farklı karakteristik ve özellikte göller üzerinde farklı su çıkarma indekslerinin performansları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla özellikle farklı iklim, arazi kullanımı ve topografyaya sahip bölgeler tercih edilmiştir. Küçükçekmece, Köyceğiz, Burdur, Hazar ve Çıldır gölleri bu çalışmada seçilmiştir. Bu göller üzerin yüzeylerini belirlemek için NDVI, NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh}, NDMI ve NWI indeksleri kullanılmıştır. Belirlenen bu indeksler GEE platformunda Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen indekslere otomatik eşikleme yapabilen Otsu eşik metodu uygulanarak su detaylar diğer detaylardan ayrıştırılmıştır. NDVI indeksi özellikle bitki yoğunluğu tespitinde kullanılmasına rağmen su yüzeylerinin tespiti içinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Bu indeksin tüm göllerde %90 üzerinde bir doğruluk ile su yüzeylerini tespit etmiştir. NDVI indeksi Burdur Gölünde en iyi performansı gösterirken Küçükçekmece Gölünde ikinci sırada yer almıştır. NDWI1 indeksi literatürde yapılan çalışmalarda su yüzeylerini belirlemede en çok tercih edilen indekstir. NDWI1 indeksi tüm göllerde %98 üzerinde bir doğruluk göstermiş ve tüm göllerde su yüzeylerini en başarılı bir şekilde tespit etmiştir. NDWI2 indeksi bu çalışmada Köyceğiz Gölü hariç diğer göllerde %95 üzerinde bir doğrulukla su yüzeylerini tespit etmiştir. MNDWI indeksi NDWI1 indeksinin modifiye edilmiş hali olup su yüzeylerinin tespitinde literatürde fazla tercih edilen indekstir. Bu çalışmada da tüm göllerde %95 üzeri bir başarı sergilemiştir.

AWEL_{sh} ve AWEL_{nsh} indeksleri NDWI1 ve MNDWI indeksleri gibi yapılan çalışmalarda oldukça fazla tercih edilmektedir. Bu çalışmada özellikle AWEL_{sh} indeksinin AWEL_{nsh} indeksine göre daha başarılı olduğu göze çarpmıştır. NDMI indeksi kullanılan indekslerin içerisinde en kötü performans gösteren indeks olmuştur. Özellikle Küçükçekmece Gölü'nde su yüzeyini çıkaramamıştır. Diğer göllerde de performansı oldukça düşük olup görüntülerde gürültü çok fazladır. NWI indeksi Hazar Gölünde %80 üzerinde diğer göllerde ise %95 üzerinde bir performans göstermiştir. Bu indeksin de su yüzeylerini belirlemede başarılı olduğu rahatlıkla söylenebilir. Yapılan genel değerlendirme sonucu incelenen sekiz indeks arasında NDWI1 en başarılı, NDMI ise en başarısız çıkmıştır. NDMI hariç diğerleri su yüzeylerini belirlemede oldukça başarılıdır. Spektral indeksler, su ve diğer detaylar arasındaki farkları en üst düzeye çıkararak su yüzeylerini kolaylıkla ayırmak için sıklıkla tercih edilmektedir. Bu açıdan bu çalışma su yüzeylerinin belirlenmesi için farklı indekslerin seçiminde araştırmacılar tarafından kullanılabilir.

Kaynaklar

- Acar, U., Bayram, B., Şanlı, F. B., Abdikan, S., & Üstüner, M. (2012). Sar görüntülerinden kişi şeridi belirleme algoritması. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 2012. Proceedings.* (pp. 1-8). UZAL-CBS.
- Acharya, T. D., Subedi, A., Yang, I. T., & Lee, D. H. (2017). Combining water indices for water and background threshold in Landsat image. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings, 2*(3), 143. doi:10.3390/ecsa-4-04902.
- Acharya, T. D., Subedi, A. & Lee, D. H. (2018). Evaluation of water indices for surface water extraction in a landsat 8 scene of Nepal. *Sensors, 18*(8), 2580. doi:10.3390/s18082580.
- Akar, İ., Maktav, D., & Günal, N. (2012). Göl Yüzeyi Değişimlerinin belirlenmesinde farklı dijital görüntü işleme tekniklerinin kullanılması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 5*(4), 35-51.
- Ashraf, M., & Nawaz, R. (2015). A Comparison of change detection analyses using different band algebras for baraila wetland with nasa's multi-temporal landsat dataset. *Journal of Geographic Information System, 07*(01), 1-19.
- Aydın, Ş., & Aydın, H. (2020). İstanbul Küçükçekmece göl havzası'nın tarih öncesi (Paleolitik-Erken tunç çağı). *Amisos, 5*(8), 7-30.
- Aykır, D., & Fıçıcı, M. (2022). Çıldır Gölü Havzasında erozyon risk analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 9*, 38-49.
- Bolanos, S., Stiff, D., Brisco, B., & Pietroniro, A. (2016). Operational surface water detection and monitoring using Radarsat 2. *Remote Sensing, 8*(4), 285. doi: 10.3390/rs8040285.
- Çölkesen, İ., & Yomralıoğlu, T. (2014). Arazi örtüsü ve kullanımının haritalanmasında WorldView-2 uydu görüntüsü ve yardımcı verilerin kullanımı. *Harita Dergisi, 152*(2), 12-24.
- Cordeiro, M. C. R., Martinez, J. M., & Peña-Luque, S. (2021). Automatic water detection from multidimensional hierarchical clustering for Sentinel-2 images and a comparison with Level 2A processors. *Remote Sensing of Environment, 253*, 112209. doi: 10.1016/j.rse.2020.112209.
- Ding, F. (2009). Study on information extraction of water body with a new water index (NWI). *Science of Surveying and Mapping, 34*(4), 155-158.
- Donchyts, G., Schellekens, J., Winsemius, H., Eisemann, E., & van de Giesen, N. (2016). A 30 m resolution surfacewater mask including estimation of positional and thematic differences using landsat 8, SRTM and OPenStreetMap: A case study in the Murray-Darling basin, Australia. *Remote Sensing, 8*(5), 386. doi: 10.3390/rs8050386.
- Efe, E., & Algancı, U. (2022). Çok zamanlı Sentinel 2 uydu görüntüleri ve makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar ile arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi. *Geomatik, 8*(1), 27-34.
- Elsahabi, M., Negm, A., & M.H. El Tahan, A. H. (2016). Performances Evaluation of Surface Water Areas Extraction Techniques Using Landsat ETM+ Data: Case Study Aswan High Dam Lake (AHD). *Procedia Technology, 22*, 1205-1212.
- Feng, S., Liu, S., Zhou, G., Gao, C., Sheng, D., Yan, W., Wu, Y., Gao, H., Jia, J., Wang, Z., Ning, Y., Ren, D., & Liu, M. (2022). Long-term dense Landsat observations reveal detailed waterbody dynamics and temporal changes of the size-abundance relationship. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 41*, 101111. doi: 10.1016/j.ejrh.2022.101111.
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment, 140*, 23-35.
- Foody, G. M. (2004). Thematic map comparison: Evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70*(5), 627-633.
- Gao, B. C. (1996). NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment, 58*(3), 257-266.
- Gu, Z., Zhang, Y., & Fan, H. (2021). Mapping inter- and intra-annual dynamics in water surface area of the Tonle Sap Lake with Landsat time-series and water level data. *Journal of Hydrology, 601*, 126644. doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126644.
- Güneş, C., & Uygucül, H. (2022). Investigation of 6-year land use change of Sakarya River around İnhisar (Bilecik) using remote sensing. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS, 3*(2), 112-125.

- Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B. (2009). Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(11), 1307-1317.
- Jin, H., Huang, C., Lang, M. W., Yeo, I. Y., & Stehman, S. V. (2017). Monitoring of wetland inundation dynamics in the Delmarva Peninsula using Landsat time-series imagery from 1985 to 2011. *Remote Sensing of Environment*, 190, 26-41.
- Kaplan, A. (2019). Burdur Gölü ve çevresinin peyzaj değerleri açısından turizm potansiyelinin belirlenmesi. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi (MBUD)*, 4(2), 105-121.
- Kaya, Ç. M. (2022). Methods used in flood susceptibility mapping. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 3(2), 191-209.
- Kaya, L. G., Yücedağ, C., & Duruşkan, Ö. (2015). Burdur Gölü havzasının çevresel açıdan irdelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 6-10.
- Kaya, Ö. (2019). *Küçükçekmece Gölü havzası (Bathonea) kazılarında bulunan kandler* (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- Khalid, H. W., Khalil, R. M. Z., & Qureshi, M. A. (2021). Evaluating spectral indices for water bodies extraction in western Tibetan Plateau. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 619-634.
- Li, J., Ma, R., Cao, Z., Xue, K., Xiong, J., Hu, M., & Feng, X. (2022). Satellite detection of surface water extent: A review of methodology. *Water*, 14(7), 1148. doi:10.3390/w14071148.
- Lothspeich, A. C., & Knight, J. F. (2022). The applicability of landtrendr to surface water dynamics : A case study of Minnesota from 1984 to 2019 using google earth engine. *Remote Sensing*, 14, 2662. doi: 10.3390/rs14112662.
- Ma, M., Wang, X., Veroustraete, F., & Dong, L. (2007). Change in area of Ebinur Lake during the 1998-2005 period. *International Journal of Remote Sensing*, 28(24), 5523-5533.
- Mansaray, L. R., Wang, F., Huang, J., Yang, L., & Kanu, A. S. (2020). Accuracies of support vector machine (SVM) and random forest (RF) in rice mapping with Sentinel-1A, Landsat-8 and Sentinel-2A datasets. *Geocarto International*, 35(10), 1088-1108.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Naik, B. C., & Anuradha, B. (2018). Extraction of water-body area from high-resolution Landsat imagery. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 8(6), 4111. doi: 10.11591/ijece.v8i6.pp4111-4119.
- Nandi, D., Chowdhury, R., Mohapatra, J., Mohanta, K., & Ray, D. (2018). Automatic delineation of water bodies using multiple spectral indices. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 4(4), 498-512.
- Owusu, C. (2022). PyGEE-SWToolbox : A python jupyter notebook toolbox for interactive surface water mapping and analysis using google earth engine. *Sustainability*, 14, 2557. doi: 10.3390/su14052557.
- Özdemir, S. (2013). *Hazar Gölü'nde (Elazığ) Pleyistosen-Holosen dönemi yüksek çözünürlüklü iklim ve su seviyesi değişimleri* (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422.
- Rad, A. M., Kreitler, J., & Sadegh, M. (2021). Augmented Normalized Difference Water Index for improved surface water monitoring. *Environmental Modelling and Software*, 140, 105030. doi: 10.1016/j.envsoft.2021.105030.
- Reis, L. G. de M., Souza, W. de O., Ribeiro Neto, A., Fragoso, C. R., Ruiz-Armenteros, A. M., Cabral, J. J. da S. P., & Montenegro, S. M. G. L. (2021). Uncertainties involved in the use of thresholds for the detection of water bodies in multitemporal analysis from landsat-8 and sentinel-2 images. *Sensors*, 21(22), 7494. doi: 10.3390/s21227494.
- Rogers, A. S., & Kearney, M. S. (2004). Reducing signature variability in unmixing coastal marsh Thematic Mapper scenes using spectral indices. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2317-2335.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In *3rd ERTS Symposium, 1974. Proceedings*. (pp. 309-317). NASA.
- Sekertekin, A. (2021). A survey on global thresholding methods for mapping open water body using Sentinel-2 satellite imagery and normalized difference water index. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(3), 1335-1347.
- Selim, S., Çoşlu, M., Sönmez, N. K., & Karakuş, N. (2016). Köyceğiz Gölü ve Dalyan kanallarında kıyı kenar çizgisinin UA ve CBS Teknikleri ile belirlenmesi, Alanda Karşılaşılan Sorunlar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(2), 254-260.
- Song, S., Cao, Z., Wu, Z., & Chuai, X. (2022). Spatial and temporal dynamics of surface water in China from the 1980s to 2015 Based on remote sensing monitoring. *Chinese Geographical Science*, 32(1), 174-188.
- Türedi, M. (2006). *Köyceğiz Gölü (Limnolojik Etüt)* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Wang, R., Pan, L., Niu, W., Li, R., Zhao, X., Bian, X., Yu, C., Xia, H., & Chen, T. (2021). Monitoring the spatiotemporal dynamics of surface water body of the Xiaolangdi Reservoir using Landsat-5/7/8 imagery and Google Earth Engine.

Open Geosciences, 13(1), 1290-1302.

- Wang, R., Xia, H., Qin, Y., Niu, W., Pan, L., Li, R., Zhao, X., Bian, X., & Fu, P. (2020). Dynamic monitoring of surface water area during 1989-2019 in the hetao plain using landsat data in google earth engine. *Water*, 12(11), 3010. doi:10.3390/w12113010.
- Worden, J., & de Beurs, K. M. (2020). Surface water detection in the Caucasus. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91, 102159. doi: 10.1016/j.jag.2020.102159.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033.
- Yang, X., Qin, Q., Grussenmeyer, P., & Koehl, M. (2018). Urban surface water body detection with suppressed built-up noise based on water indices from Sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing of Environment*, 219, 259-270.
- Yılmaz, C. S. (2022). Improving the land cover mapping accuracy of the Sentinel-2 imagery on Google Earth Engine. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 3(2), 150-159.
- Yılmaz, O. S., Gulgen, F., Balik Sanli, F., & Ates, A. M. (2023). The performance analysis of different water indices and algorithms using Sentinel-2 and Landsat-8 images in determining water surface: Demirkopru Dam case study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(6), 7883-7903.
- Zengin, M., Yerli, S. V., Dağtekin, M., & Akpınar, İ. Ö. (2012). Çıldır Gölü balıkçılığında son yirmi yılda meydana gelen değişimler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 8(2), 10-24.
- Zhai, K., Wu, X., Qin, Y., & Du, P. (2015). Comparison of surface water extraction performances of different classic water indices using OLI and TM imageries in different situations. *Geo-Spatial Information Science*, 18(1), 32-42.
- Zhao, Q., Dong, X., Li, G., Jin, Y., Yang, X., & Qu, Y. (2022). Classification and Regression Tree Models for Remote Recognition of Black and Odorous Water Bodies Based on Sensor Networks. *Scientific Programming*, 2022, 7390098. doi: 10.1155/2022/7390098.

Google Earth Engine Üzerinde Sentinel-2 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Yanan Alanların Farklı Eşik Değerlerinde Belirlenmesi

Determination of Burned Areas at Different Threshold Values Using Sentinel-2 Satellite Images on Google Earth Engine

Sinan Demir^{1*} 

¹*Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 32200, Isparta/Türkiye.*

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Sinan Demir
sinandemir@isparta.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1264208

Yayın süreci

Geliş tarihi: 13.03.2023
Kabul tarihi: 07.06.2023
Basım tarihi: 28.09.2023

Özet

Yangınların ekosistemleri ve biyolojik çeşitliliği tehdit etmesi nedeniyle, yanan alanların tespiti ve rehabilite çalışmalarının planlanması önemlidir. Uzaktan algılama teknolojileri, arazi örtüsü değişimi ve yanan alanların belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, uydu görüntüleri ve Google Earth Engine (GEE) kullanarak yanan alanlarının tespit edilmesi ve arazi örtüsündeki değişimin belirlenmesi önemlidir. Çalışmada GEE platformunda uygun kod bloğu geliştirilerek yanan alanların yüksek çözünürlüklü Sentinel-2 uydu görüntüsü ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma alanının 2020 Eylül ve 2021 Eylül aylarına ait Sentinel-2A uydu görüntülerinden hesaplanan Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksleri (NDVI) farklı eşik değerlerine göre (0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6) oluşturulan fark katmanlarından, küresel su yüzeyi verisi maskelenerek arazi örtüsü değişimi ve yanan alanların belirlenmesi için uygun kod bloğu geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda, farklı eşik değerlerine sahip yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünde, 0.3 eşik değerinde arazi örtüsü ve yanan alan karışması olmadan kullanılacak eşik değeri belirlenmiştir. Elde edilen eşik değerinin alansal büyüklüğü, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) yanan alan verileri ile karşılaştırıldığında %93'ü (68254 hektar) olduğu belirlenmiştir. GEE platformunda Sentinel-2 uydu görüntülerinin geliştirilen kod bloğu kullanılarak, yanan alanlardaki değişikliklerin izlenmesine ve takip edilmesine yardımcı olabileceği önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: GEE, Sentinel-2, Yanan alan, Eşik değeri, Konumsal analiz

Abstract

It is important to detect burned areas and plan rehabilitation efforts, due to the threat of wildfires to ecosystems and biological diversity. Remote sensing technologies play a critical role in identifying changes in land cover and detecting burned areas. Therefore, it is important to use satellite imagery and Google Earth Engine (GEE) to detect burned areas and determine changes in land cover. In this study, a suitable code block was developed on the GEE platform to identify burned areas using high-resolution Sentinel-2 satellite imagery. For this purpose, a suitable code block has been developed to determine land cover changes and burnt areas by using Normalized Difference Vegetation Indices (NDVI) calculated from Sentinel-2A satellite images for the study area in September 2020 and September 2021, based on different threshold values generated from difference layers, and masking the global water surface data from these layers. As a result, a threshold value of 0.3 was identified in the high-resolution satellite image that could be used without mixing land cover and burned areas. The areal extent of the obtained threshold value was determined to be 93% (68254 hectares) when compared with Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) burned area data. The developed code block using Sentinel-2 satellite images on the GEE platform can help monitor and track changes in burned areas.

Keywords: GEE, Sentinel-2, Burned area, Threshold, Spatial analysis

1. Giriş

Arazi örtüsü ve arazi kullanım değişimi, insan faaliyetlerinin doğaya olan etkileri bakımından oldukça önemlidir. İnsan nüfusunun artması, kentleşme, sanayileşme, tarım ve ormancılık faaliyetleri gibi faktörler doğal alanları etkilemekte ve zaman içerisinde değiştirmektedir. Bu nedenle, arazi örtüsü ve arazi kullanımının değişimi, doğal kaynakların sürdürülebilirliği, biyoçeşitlilik, iklim değişikliği, erozyon ve su kaynakları yönetimi gibi konularda önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Bu değişimlerin belirlenmesi, doğal kaynakların korunması, yönetimi ve sürdürülebilir kullanımı bakımından önem arz etmektedir (Şenol vd., 2020; Ayele vd., 2022; Dengiz vd., 2022). Arazi örtüsü, yeryüzünü kaplayan bitki örtüsü olup ekolojik, sosyal ve ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Ayrıca arazi örtüsü, ekosistem ve ekolojik denge açısından önemlidir. Bu ekolojik denge sağlandığında, toprak erozyonu azalmakta ve su kaynakları korunmaktadır. Arazinin bitki örtüsü ile kaplı kalmasını sağlamak, karbondioksit salınımını azaltarak iklim değişikliğine karşı mücadelede yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda, arazi örtüsü, biyoçeşitlilik açısından büyük bir öneme sahiptir ve farklı canlıların yaşam alanını oluşturmaktadır. Bitki örtüsü kaynaklarının korunması, gıda güvenliği ve ekonomik kalkınma açısından kritik öneme sahiptir. Arazi örtüsündeki meydana gelen bozulmalar ekosistem üzerinde büyük sorunları da beraberinde getirmektedir. Arazi örtüsünde en önemli değişikliklere ve ekosistemdeki kayıplara sebep olan faktör yangındır. Yanan araziler ciddi sorunlara neden olmaktadır (Mathewos vd., 2022; Weslati vd., 2023). Bu sorunlar arasında ekosistem tahribatı, biyoçeşitliliğin azalması, iklim değişikliği, hava ve su kirliliği, habitat kaybı ve insan sağlığına zarar verme yer almaktadır. Bu nedenle, yangınların önlenmesi ve kontrol altına alınması hayati önem taşımaktadır.

Uzaktan algılama teknolojileri, yanan alanları tespit etmek için kullanılan bir dizi yöntemi içermektedir. Bu yöntemler arasında termal algılama, hiperspektral algılama, LİDAR ve multispektral algılama yer alır. Bu teknolojiler, yangınların neden olduğu hasarı tespit etmek için etkili araçlardır (Bo vd., 2022; Payra vd., 2023). Yangınların neden olduğu ekolojik, sosyal ve ekonomik zararların hızlı bir şekilde belirlenmesi ve etkin mücadele yöntemleri hakkında bilgi üretmek için kullanılmaktadır. Geniş alanlardaki yangınların belirlenmesinde yaygın olarak uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan sivil ve ticari uydu görüntüleri bulunmaktadır (Hosseini vd., 2022). Sentinel-2 uydusu ücretsiz görüntü temin edilebilen sivil uydu görüntüsü içerisinde yer almaktadır. Sentinel-2 uydu görüntüleri, yanan alanların tespiti ve izlenmesi için kullanılan uydulara örnek olarak verilebilir. Bu uydu görüntüleri, yüksek çözünürlüklü multispektral özelliklere sahip olması bakımından araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Bu özellikleri sayesinde Sentinel-2 uydu görüntüleri yangınların tespitinde ve izlenmesinde diğer uydu platformlarına göre avantaj sağlamaktadır (Lasaponara vd., 2022). Orta Avrupa'da meydana gelen yangınların tespitinde Sentinel-2A uydu görüntüleri kullanılarak yapılan çalışma sonuçlarına göre; yangınların yerini ve boyutunu yüksek doğrulukta sonuçlarla elde edildiği belirtilmiştir (Amos vd., 2019). Sentinel uydu görüntüleri, çeşitli yollarla yangınları izlemek için de kullanılabilir. Örneğin, Sentinel-3 uydu görüntüleri kullanılarak Afrika'da meydana gelen orman yangınlarının yerini ve boyutunu %95 doğruluk oranı ile tespit edildiği çalışma sonucunda belirtilmiştir (Xu vd., 2021).

Google Earth Engine (GEE), Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanarak yanan alanların tespiti için yaygın olarak kullanılan bir araçtır. GEE, büyük ölçekli veri analizi yapabilen bir platform olduğundan, yanan alanların otomatik olarak tespitinde çok etkili sonuçlar verdiği birçok çalışmada belirtilmektedir (Roteta vd., 2021a; Seydi vd., 2021; Lasaponara vd., 2022; Bahşi vd., 2023). Örneğin, GEE kullanarak Avustralya'da 2019-2020 orman yangınları sırasında yanan alanların tespiti için Sentinel-2 uydu görüntüleri GEE platformunda Mask R-CNN (maske bölgesel evrimsel sinir ağı) derin öğrenme modeli kullanılarak yanan alanların yüksek doğrulukta tespit edildiği ve yanan alanların belirlenmesinde kullanılabilecek önemli spektral bantların belirlendiği ifade edilmektedir (Hu vd., 2021). Bir diğer çalışmada, GEE kullanarak Hindistan'daki orman yangınlarının tespiti için Sentinel-2 uydu görüntüleri GEE platformunda yanan alanlar için otomatik olarak önceden eğitilmiş bir yapay sinir ağı modeli ile yüksek doğrulukta belirlendiği ifade edilmiştir (Liu vd., 2023). GEE kullanarak farklı bölgelerdeki orman yangınlarının izlenmesinde Sentinel-2 uydu görüntülerinin etkili bir araç olduğu birçok çalışma sonucunda belirtilmiştir. Küresel anlamda literatür incelendiğinde Türkiye, Amazon, California ve Avustralya'daki orman yangınları için yapılan çalışmalarda Sentinel-2 verileri, yangınların tespiti ve analizi için kullanılarak başarılı sonuçların elde edildiği belirtilmiştir (Brovelli vd., 2020; Seydi vd., 2021; Arıkan vd., 2022). Bu örnekler, GEE kullanarak Sentinel uydu görüntüleriyle yanan alanların otomatik tespitinin başarılı bir şekilde belirlenmesinde ve yangınların kontrol altına alınması için önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Orman yangınlarının belirlenmesinde ve haritalanmasında histogram eşik değerlerine göre NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) indeksinin kullanılabileceği belirtilmiştir (Chen vd., 2016; Long vd., 2019).

Türkiye, iklim değişikliği, orman yangınları ve diğer çevresel tehditlerle karşı mücadele etmek zorunda olan bir ülkedir. Bu nedenle, yanan alanları belirlemek, yangınların yayılmasını ve gelecekte olası yangınlara karşı risk haritalarını üreterek olabilecek afetleri önlemek için uzaktan algılama teknolojileri kullanılmaktadır. Türkiye'deki bazı çalışmalar, orman yangınlarının tespiti ve etkilerinin haritalandırılması için Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak yapılmaktadır.

2020'de Antalya'nın Manavgat ilçesinde, Muğla'nın Marmaris ilçesinde ve 2021'de Hatay'ın Hassa ilçesinde meydana gelen orman yangınları, görüntü işleme teknikleri kullanılarak belirlenmiş ve yangının etkisi haritalandırılmıştır (Alkan Akıncı ve Akıncı, 2023; Yılmaz vd., 2023; Sevinç, 2023). Bu çalışmalar, yanan alanların tespit edilmesinin ve yangınların olası etkilerinin haritalandırılmasının, yangın söndürme çalışmalarına yardımcı olduğunu göstermektedir.

Sentinel uydu görüntülerinde bitki vejetasyonu hakkında bilgi edinmek için kullanılan indeksler arasında NDVI, EVI (Enhanced Vegetation Index), VFC (Vegetation Fractional Cover), DI (Disturbance Index) ve NDMI (Normalized Difference Moisture Index) gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu indeksler, bitki örtüsünün büyüme oranını, sağlığını ve stres düzeylerini belirleyen parametreleri kullanarak bitki yoğunluğu, bitki örtüsü yoğunluğu, bitki büyümesi, yeşil alanların varlığı ve yerleşim yerlerinin ayrımını yapabilmektedir. Özellikle NDVI indeksi bitki örtüsü ve bitki yoğunluğu tespitinde sıkça kullanılmaktadır (Chuvieco vd., 2002; Lacouture vd., 2020; Lasaponara vd., 2022). NDVI, bitki sağlığı, yoğunluğu ve fotosentez aktivitesi hakkında bilgi veren bir bitki indeksidir. Bu indeks, bitki örtüsünün yoğunluğunu ölçer ve yüksek NDVI değerleri, yoğun bitki örtüsünü gösterir. Bu nedenle, yanan alanların belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı, yanan alanları belirlemek için NDVI indeksini kullanmıştır. Örneğin, 2020 yılında İzmir'de meydana gelen orman yangınları için NDVI indeksi kullanılarak yanan alanlar belirlenmiştir (Nasery ve Kalkan, 2020). Nasery ve Kalkan (2020) tarafından yapılan çalışmada, GEE platformunda Sentinel-2 uydu görüntülerinden hesaplanan NDVI değerlerindeki değişimler, yangın sonrası meydana gelen hasarın tespitinde kullanılmıştır.

Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanarak arazi örtüsü ve kullanımını belirleme yöntemi, özellikle büyük alanların kapsamını tespit etmek için etkin bir kullanım kolaylığı sağlamaktadır (Lasaponara vd., 2022). GEE, bu yöntemin hızlı ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için uygun bir araç sağlamaktadır. Chen vd. (2016) Landsat-5 TM görüntüleri kullanarak yanmış orman alanlarını farklı yöntemler kullanılarak haritalanmasının mümkün olabileceğini önermişlerdir. Yangın alanları, nehirler, yollar ve şehir alanları önce görsel olarak çıkarılmış ve ardından NDVI, EVI, FVC ve DI gibi dört indeks hesaplanmıştır. Her bir indeks için, yanmış orman alanını ayırtmak için optimal eşik değerleri histogramlar kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada NDVI histogramlarına ait eşik değerleri yanan alanlar için 0.2-0.6 arasında dağılım gösterdiği belirtilmiştir. Bu yöntem, yangınlar gibi arazi örtüsü değişikliklerinin izlenmesi ve takibi için daha objektif, verimli, daha az iş gücü ve daha tekrarlanabilir olduğu söylenebilir.

GEE ve Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanarak Türkiye'deki yanan alanları belirleme çalışmalarının amacı, doğal afetlerin yol açtığı yıkımların hızlı ve etkili bir şekilde tespit edilmesine yardımcı olmaktır (Nasery ve Kalkan, 2020; Demir, 2020; Arıkan vd., 2022; Yılmaz vd., 2023). Özellikle orman yangınları gibi doğal afetler, büyük alanlarda hasara ve çevresel kayba neden olabilir. Uzaktan algılama teknolojisi ve Sentinel-2 uydu görüntüleri, yangınların meydana geldiği alanları belirlemek ve yangın sonrası iyileşme sürecini izlemek için etkili bir araçtır (Xulu vd., 2021). Bu çalışmalar, yangınlarla mücadele ve orman yönetimi gibi konularda karar vericilere ve diğer ilgili taraflara değerli bilgiler sağlayabilir.

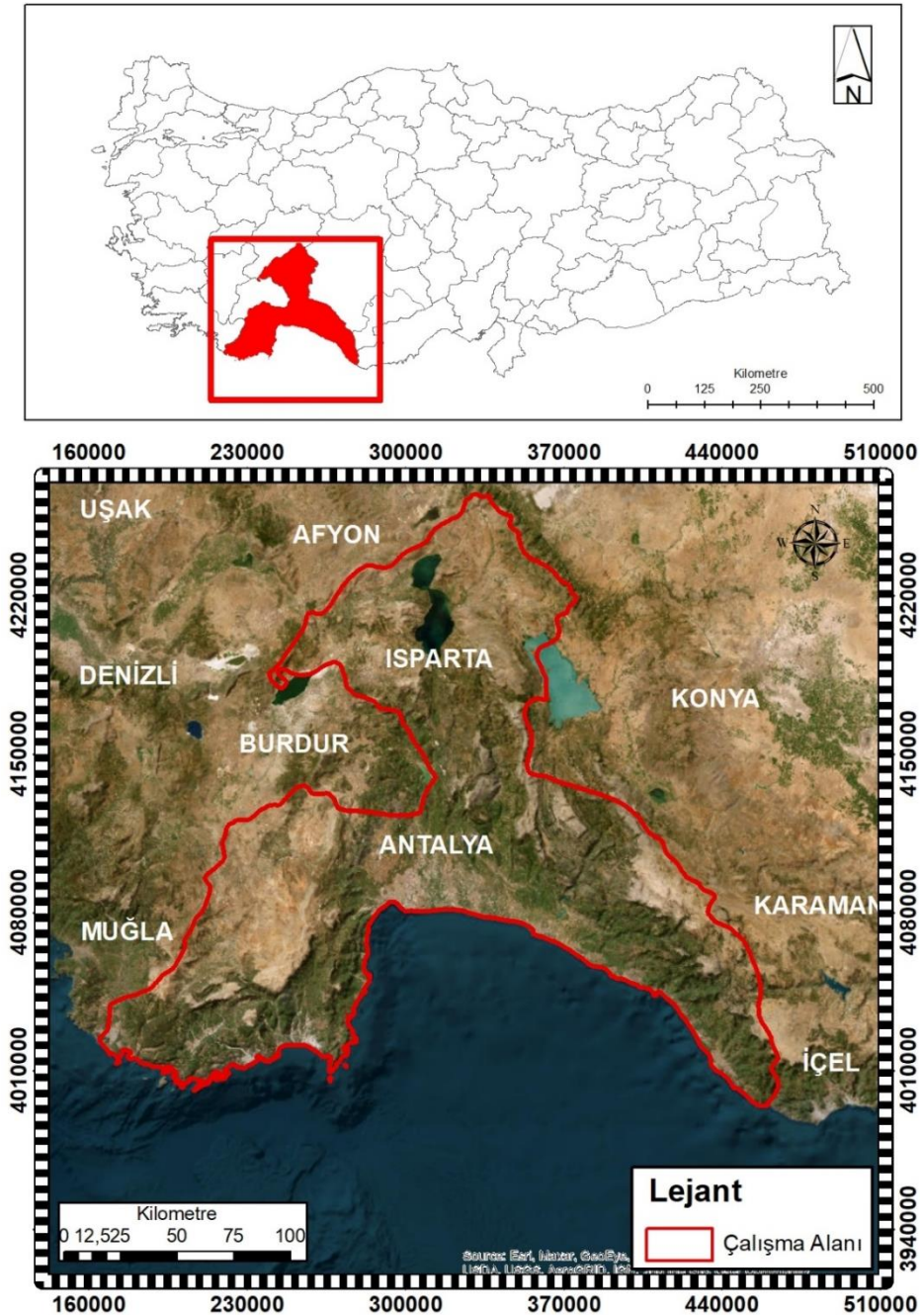
Sentinel-2 uydu görüntüleri ve MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) uydu verileri, yangın tespiti ve izleme için kullanılan iki farklı teknolojidir. Sentinel-2 uydu görüntüleri yüksek çözünürlüklü, daha ayrıntılı ve net görüntüler sağlarken, MODIS uydu verileri ise daha geniş bir alanı kapsayabilir ve daha yüksek tekrarlanma oranına sahip olduğu bilinmektedir (Zhang vd., 2021). Yanan alanları kıyaslamak için, öncelikle her iki uydu veri setinin de aynı tarihteki görüntülerinin alınması gereklidir. Bu görüntüler daha sonra aynı coğrafi projeksiyon sistemine dönüştürülmelidir. Daha sonra, iki farklı uydu veri setinin de aynı yangın gözetleme sistemini kullanarak elde edilen yangın sıcak noktaları ve yangın sınır verileri karşılaştırılabilir. Bu sıcak noktaların ve sınırların tutarlılığı, iki farklı uydu sisteminden elde edilen yangın verilerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini belirlemeye yardımcı olacaktır. Sonuç olarak, Sentinel-2 uydu görüntüleri ve MODIS uydu verileri, yanan alanların tespiti ve izlenmesi için farklı ama birbirini tamamlayıcı teknolojilerdir. Her iki veri setinin de kullanımı, daha doğru güvenilir yangın tespiti ve izleme sonuçları elde etmeye yardımcı olabilmektedir.

Isparta ve Antalya illerinde orman yangınları sıkça meydana gelmekte ve bu durumdan doğal kaynaklar zarar görmektedir. Bu çalışma, 2021 yılında meydana gelen 320 adet yangın ve yaklaşık 61789 hektar yanan alanın (OGM, 2023), GEE ortamında Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla, Sentinel-2 uydusunun 2020 ve 2021 Eylül ayına ait alınan görüntüleri kullanılmıştır. Arazi örtüsü değişimleri, NDVI görüntülerinin farkı alınarak oluşturulan tematik harita kullanılarak belirlenmiştir. Bu işlem uzman görüşü, referans MODIS "BurnDate" bandı ve histogram analizi ile yapılmış olup farklı eşik değerlerindeki mekânsal değişimi belirlemek için kaynak kodu geliştirilmiştir. Mekânsal analizleri MODIS yanan alan verisi ile validasyon işlemi yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, bölgedeki doğal kaynakların korunmasına ve gelecekte benzer doğal afetlerin önlenmesine katkıda bulunabilecek tematik haritaların üretilmesinde kullanılabilecek model üretilmiştir. GEE platformu ve Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanarak yapılan çalışma sonucunda, yangınların neden olduğu hasarın belirlenmesi, yangın kontrolü ve orman yönetimi gibi konularda karar vericilere yardımcı olabilecek veriler sağlamak için kullanılabileceği belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Isparta ve Antalya illerini kapsayan çalışma alanı, 31.0822°- 38.7794° Kuzey enlemleri ile 29.1566°- 33.9954° Doğu boylamları ile arasında yer almaktadır (Şekil 1). Isparta ve Antalya illeri, Türkiye'nin güneyinde yer alan önemli tarım ve ormanlık alanlara sahip bir bölge içerisinde yer almaktadır. Bu bölge, iklimi ve bitki örtüsü açısından oldukça zengindir. Bölge, Toros Dağları'nın güney yamaçlarında yer alır ve kıydan itibaren yükseltinin artmasıyla birlikte artışı göstermektedir. Bölgenin doğusunda Beydağları, batısında ise Burdur Gölü yer alır. Jeolojik olarak, bölge özellikle kıyı şeridinde volkanik kayalar ve kireçtaşlarından oluşur. İç kesimlerde ise granit ve metamorfik kayalar yaygındır. Bu farklı kayaç türleri, bölgedeki coğrafi özellikleri ve arazi kullanımını etkilediği belirtilmektedir (Özgül, 1976).



Şekil 1. Çalışma alanı konum haritası

İklim olarak, bölgede tipik bir Akdeniz iklimi hakimdir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılık ve yağışlı geçer. Ancak yüksek rakımlı yerlerde karasal iklimin etkileri görülebilir. Isparta ili, Akdeniz iklimi ile Orta Anadolu'da hüküm süren karasal iklim arasında geçiş bölgesinde yer almaktadır (Dursun ve Yazıcı, 2022). İl genelinde ortalama yıllık yağış miktarı 526 mm, ortalama yıllık sıcaklık ise 12.5°C'dir. Kış aylarında sıcaklık sıfırın altına düşebilirken, yaz aylarında sıcaklıklar 30-35°C'ye kadar yükselebilmektedir. Antalya ilinin iklimi Akdeniz iklimi özellikleri taşır ve yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçer. İl genelinde ortalama yıllık yağış miktarı 1054.9 mm, ortalama yıllık sıcaklık ise 19 °C'dir. Kış aylarında sıcaklık nadiren sıfırın altına düşerken, yaz aylarında sıcaklıklar 30-35°C'ye kadar yükselebilir. Isparta iline göre, Antalya'da daha ılık ve nemli bir iklim hakimdir (MGM, 2023). Bölgedeki bu iklim koşulları da, orman yangınları gibi doğal afetlerin sıklığını ve yayılımını etkiler. Isparta ve Antalya illeri arazi örtüsü ve arazi kullanımı açısından oldukça farklılık göstermektedir. Antalya ilinde, sahil şeridi boyunca Akdeniz kıyı ormanları, ardından geniş çam ormanları ve makilikler yer almaktadır. İç kesimlerde ise daha çok bozkır alanları ve tarım arazileri bulunmaktadır (Kuzucuoğlu vd., 2019). Isparta ilinde ise, kırsal alanlarda çam ormanları, yaylalar ve bozkır alanları hakimdir. Ayrıca, ilde birçok tarım arazisi de bulunmaktadır. Ancak, her iki il de ormancılık açısından oldukça önemlidir. Antalya ilinde yer alan Tahtalı Dağı Milli Parkı ve Isparta ilinde yer alan Gölcük Gölü Tabiat Parkı, Yazılı Kanyon Tabiat Parkı, Kovada Gölü Milli Parkı ve Kızıldağ Milli Parkı gibi birçok milli park ve doğal koruma alanı bulunmaktadır. Bu nedenle, orman yangınlarının kontrol altına alınması, bölgedeki doğal kaynakların korunması açısından da büyük önem taşımaktadır (Özçelik, 2018). Isparta ilinde bulunan en önemli su kaynaklarından biri, Güneydoğu Toroslar'da yer alan ve Türkiye'nin en büyük ikinci doğal gölü olan Eğirdir Gölü'dür. Ayrıca Gölcük Gölü, Kovada Gölü ve Karacaören Barajı gibi önemli su kaynakları da bulunmaktadır (Şener ve Davraz, 2021). Antalya ilinde de su kaynakları oldukça zengin bir yerdir. İbradı ilçesinde yer alan Altınbeşik Mağarası, Türkiye'nin en büyük yer altı gölleri arasında yer alır. Ayrıca Düden Şelalesi, Kurşunlu Şelalesi ve Manavgat Şelalesi gibi doğal güzellikleri barındıran sulak alanlar da bulunmaktadır (Zeybek ve Kalyoncu, 2016). Bu su kaynakları ve sulak alanlar, bölgede bulunan canlı türlerinin barınması ve yaşam döngülerini sürdürmesi için büyük önem taşır. Ancak orman yangınları ve çevreye olumsuz yönde etki eden faktörler gibi tehditler, bu doğal su kaynaklarının sürdürülebilirliğini ve yaşam döngülerini olumsuz etkilemektedir.

2.2. Veri Tabanı

Google Earth Engine (GEE, 2021) platformunda çalışma alanına ait veri setleri Tablo 1'de belirtilmiştir. Antalya ve Isparta illerini kapsayan çalışma alanı için "FAO/GAUL/2015/level1" veri seti kullanılmıştır. Çalışma alanı içerisinde maskeleme işlemi için "JRC/GSW1_0/GlobalSurfaceWater" veri seti kullanılmıştır. Multispektral Sentinel-2 görüntüsü için "COPERNICUS/S2_SR" veri seti kullanılmıştır. MODIS uydu görüntüsünün 2021 yılındaki yanan alan verisi için ise "MODIS/006/MCD64A1" veri seti kullanılmıştır.

Tablo 1. Yanan alanların belirlenmesinde kullanılan veri tabanları

Veri Tabanı Kodu	Veri Tabanı Açıklaması
'FAO/GAUL/2015/level1'	Bu veri tabanı, FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) küresel idari birim sınıflandırmasına (GAUL) dayanmaktadır. Bu veri tabanı, dünya genelindeki ülkelerin sınırlarını, alt bölümlerini ve bazı önemli sosyoekonomik verileri içermektedir (FAO, 2015).
'JRC/GSW1_0/GlobalSurfaceWater'	Bu veri tabanı, Dünya yüzeyinin su kaynaklarını izlemeye yönelik bir proje olan Küresel Yüzey Suyu İzleme (Global Surface Water Monitoring - GSW) tarafından yönetilmektedir. Bu veri tabanı, dünya genelindeki su kaynaklarını, su gölleri, akarsular ve rezervuarlar gibi yüzey sularını izlemek için yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılmaktadır (JRC, 2016).
'COPERNICUS/S2_SR'	Bu veri tabanı, Avrupa Birliği'nin Copernicus programı tarafından sağlanan Sentinel-2 uydu serisi tarafından toplanan yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerini içermektedir. Bu görüntüler, yeryüzünün renkli görüntülerini sağlar ve bitki örtüsü, su ve toprak gibi yeryüzü özelliklerinin izlenmesinde kullanılmaktadır (Roca vd., 2022).
'MODIS/006/MCD64A1'	Bu veri tabanı, NASA tarafından işletilen MODIS uydu serisinden elde edilen verileri içerir. Bu veri tabanı, küresel yangınların izlenmesi için kullanılan yangın algılama verilerini içermektedir. Veriler, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılarak toplanmaktadır ve yangınların yeri, büyüklüğü ve yoğunluğunu belirlemek için kullanılmaktadır (Xu vd., 2022).

"MODIS/006/MCD64A1" veri tabanından alınan "BurnDate" bandı, yangın aktivitelerinin tespit edilmesi ve izlenmesi için kullanılan bir MODIS uydu verisi bandıdır. Bu bandın özelliği, yeryüzünde meydana gelen yangınların tespit edilmesine yardımcı olmasıdır. BurnDate bandı, MODIS sensörleri tarafından toplanan termal verileri temel almaktadır. Yangınlar, yanan alanların yüzey sıcaklığının normalden daha yüksek olması nedeniyle termal bantlarda belirgin bir şekilde görülebilir. MODIS uydu verileri, bu termal bantlarda yangın tespiti için kullanılır ve yangınların yerini, büyüklüğünü ve yoğunluğunu belirlemeye yardımcı olmaktadır (Boschetti vd., 2009).

2.3. Yöntem

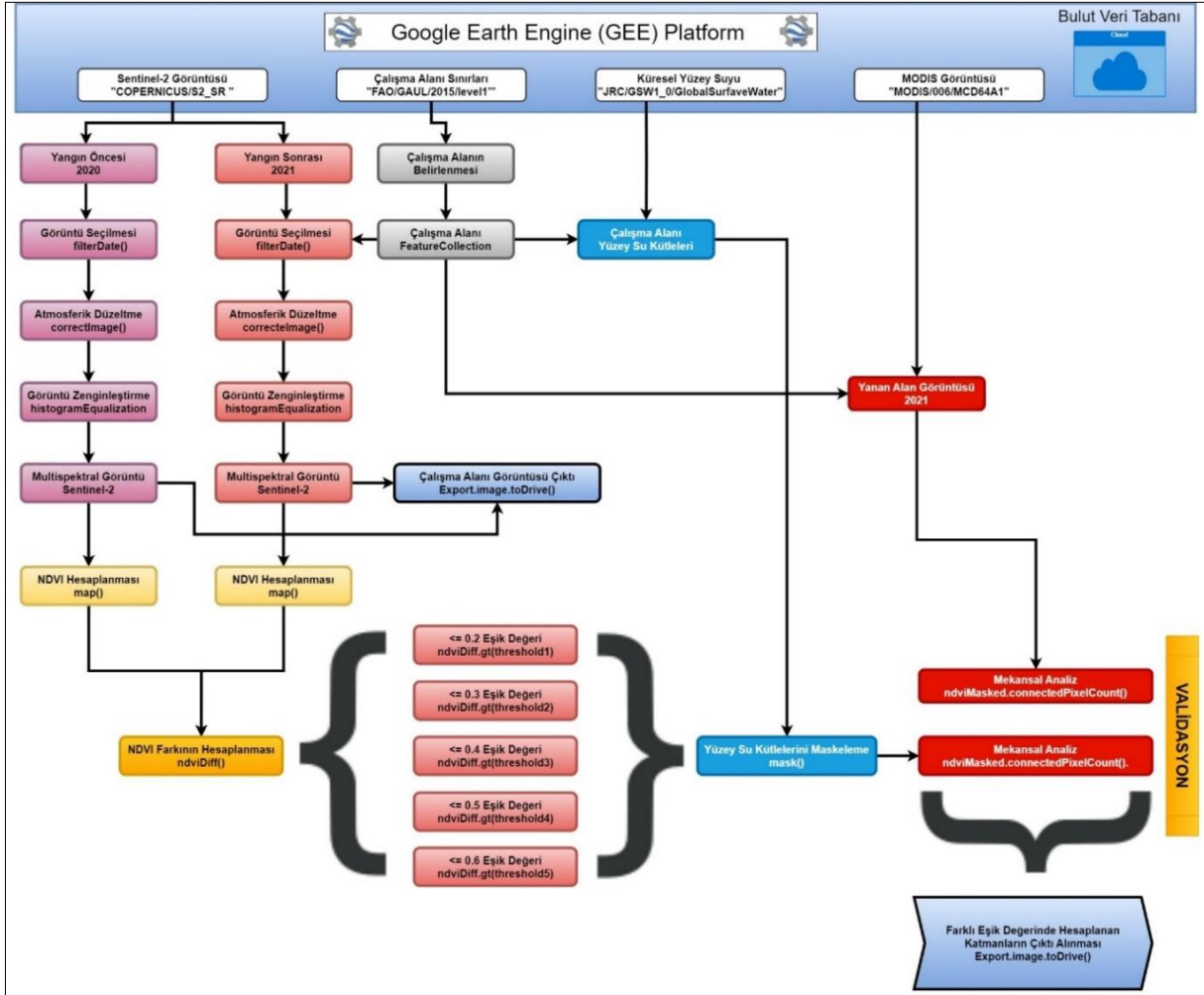
GEE platformunda (GEE, 2021) Sentinel-2 uydu görüntülerini kullanarak, çalışma alanında farklı eşik değerlerine göre (Chen vd., 2016) NDVI (Zhang vd., 2018) hesaplanarak belirlenen yanan alanlar verisi ve MODIS yanan alan verisinin mekânsal analiz sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. GEE platformunda elde edilen katmanlar GeoTIFF dosya formatında dışa aktarılmış bu durum yöntem akış şeması olarak Şekil 2’de verilmiştir.

Kod, aşağıdaki işlem adımlarını içermektedir:

- isparta ve antalya isimli iki farklı FeatureCollection nesnesi oluşturulur. Bu nesnelere FAO/GAUL/2015/level1 veri kümesinden alınan verilerden filtrelenmiştir.
- studyArea adlı fonksiyonu ile FeatureCollection nesnesi oluşturulmuştur. Bu, isparta ve antalya nesnelerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur.
- COPERNICUS/S2_SR Sentinel-2 yüzey yansıma verileri ImageCollection veri kümesi yüklenir ve çalışma alanı sınırları içindeki görüntüleri filtrelemek için filterBounds() fonksiyonu kullanılmıştır.
- filterDate() fonksiyonu kullanarak veriler, 2020 yılındaki 2020-09-01 ve 2020-09-30 arasındaki Sentinel-2 uydu görüntüleri ve 2021 yılındaki 2021-09-01 ve 2021-09-30 arasındaki Sentinel-2 uydu görüntüleri için tarihlerle sınırlandırılmıştır. Bu işlem sonucunda, filtreleme tarihleri arasında 5 gün tekrar ziyaret sıklığı içerisindeki alınan %10’dan düşük bulutluluk oranına sahip görüntü seçilmiştir. Çalışma alanını kapsayan 151 adet Sentinel-2 uydu görüntüsü seçilmiştir. Kompozit görüntü medyan mozaik yöntemi kullanılarak (Roteta vd. 2021b) oluşturulmuştur.
- correctImage() adlı fonksiyon, her bir görüntüyü atmosferik düzeltme işlemlerinden geçirir ve sonucu yeniden boyutlandırılmıştır. Her bir görüntüde histogramEqualization() adlı fonksiyon histogram eşitlemesi için kullanılmıştır. Bu fonksiyon ile görüntü zenginleştirme işlemi yapılmıştır. Atmosferik düzeltme işlemi, çalışmada kullanılan görüntüde piksel normalizasyonu ve 8 bit veri dönüşümünü yapmak için geliştirilmiştir. Histogram eşitleme işlemi, gerçek renk kompozisyonunda kullanılacak bantlara ait piksellerin histogramı hesaplanarak yapılmıştır. Piksellerin frekans dağılımı elde edilmiştir. Normalleştirilmiş piksel değerleri orijinal görüntü 0-255 aralığına geri ölçeklendirilmiştir. GEE ortamındaki Sentinel-2 görüntülerinde tekrar atmosferik düzeltme yapılarak çalışma alanına ait görüntüleri spesifik hale dönüştürülmüştür. Bu kod çalışma için kullanılan bantlara uygulanmak için geliştirilmiştir.
- map() yöntemi kullanılarak atmosferik düzeltilmiş ve görüntü zenginleştirilmesi yapılmış görüntülerin NDVI’si hesaplanır ve ImageCollection’a eklenir.
- NDVI katmanlarını haritada göstermek için bir renk paleti tanımlanmıştır. ndviThreshold fonksiyonu kullanarak farklı eşik değerlerindeki (0.2, 0.3, 0.4, 0.5 ve 0.6) katmanlar oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan eşik değerleri Chen vd. (2016) tarafından belirlenen eşik değerleri dikkate alınmıştır. Ayrıca, uydu görüntüsünde yanan alanlar, MODIS BurnDate bandı kullanılarak ve histogram analizi yüksek uyum gösteren eşik değerleri belirlenmiştir.
- Farklı eşik değerinde oluşturulan NDVI katman haritalarından dünya yüzey suları mask() fonksiyonu kullanılarak maskelenerek mekânsal analiz işleminde yanan alanlar ile su kütlelerinin karışması önlenmiştir. Farklı eşik değerlerinde oluşturulan katmanların mekânsal büyüklükleri ndviMasked.connectedPixelCount() fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır.
- Google Earth Engine platformunda MODIS uydu verileri kullanılarak 2020-2021 yılı Eylül aylarına ait "BurnDate" katmanı filtrelenmiştir. Daha sonra çalışma alanı sınırlarına göre kırpma işlemi yapılmıştır. Kırpma işleminden sonra renk paleti tanımlanmış ve kırmızı renkte yanan alanlar gösterilmiştir.
- Map.addLayer() fonksiyonu kullanılarak oluşturulan katmanlar GEE platformuna eklenmiştir.
- Export.image.toDrive() fonksiyonu kullanılarak NDVI, Sentinel-2 görüntüleri ve MODIS yanan alan katmanı, Google Drive’a GeoTIFF formatında dışa aktarılmıştır.

Sonuç olarak, bu kod bloğu, GEE platformunda Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanarak NDVI hesaplamayı ve sonuçlarını dışa aktarmayı gösterir. NDVI fark görüntüsünde yanan alanların belirlenmesinde kullanılacak eşik değerleri, görsel inceleme, histogram analizi (Chen vd., 2016) ve MODIS yanan alan verileri (Boschetti vd., 2009) kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca yanan arazi değişimi ve yanan alan belirlenmesinde kullanılacak eşik değeri belirlenmiştir. İki NDVI tematik katmanı arasında fark alır.

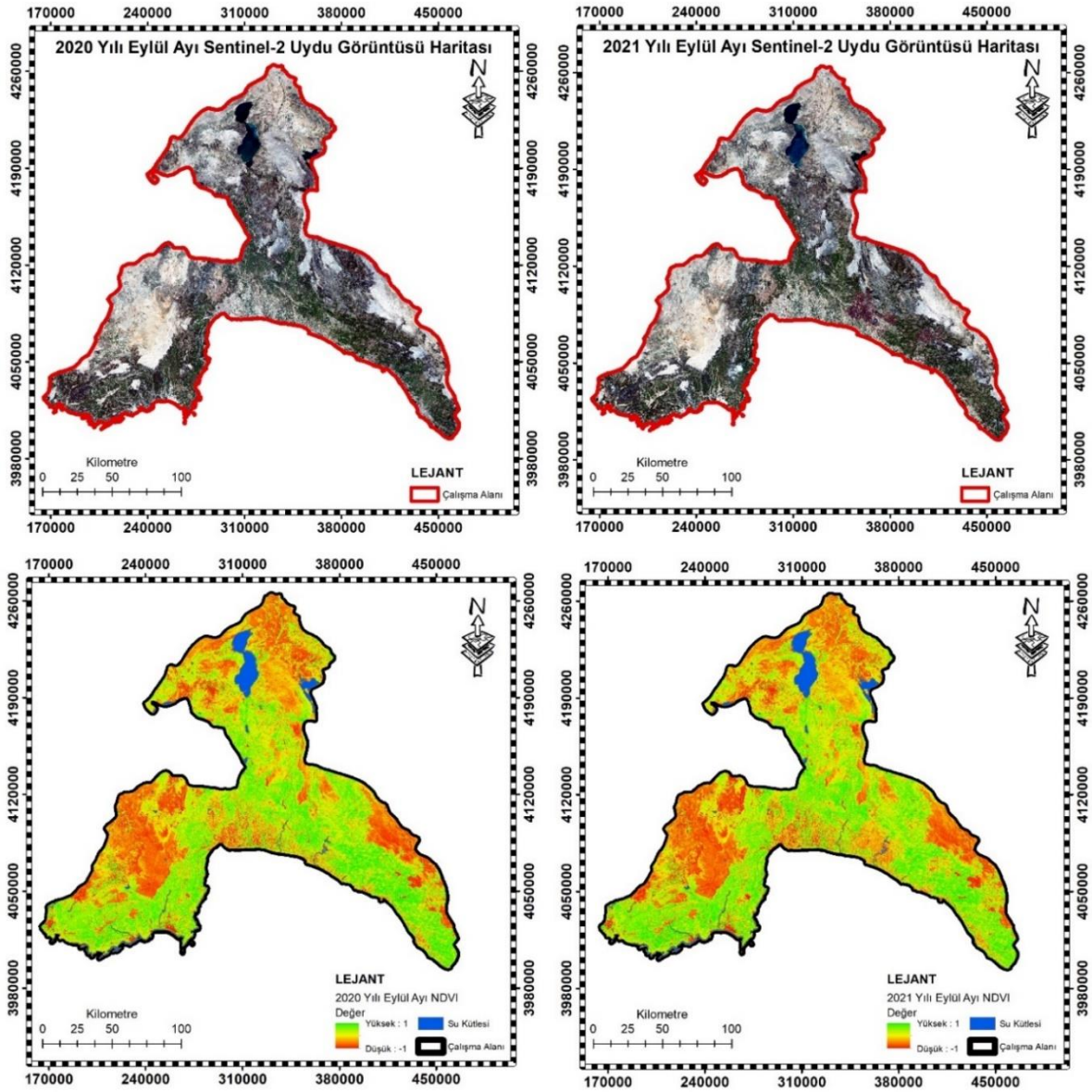
Fark NDVI tematik katmanı belirli eşik değerlerine (0.2, 0.3, 0.4, 0.5 ve 0.6) göre yanan alan katmanlarını oluşturur. Daha sonra, fark katmanı üzerinde dünya yüzey suyu maskelenerek alan hesaplamaları yapılmaktadır. Elde edilen NDVI değerlerindeki farklı eşik değerlerindeki yanan alanlar belirlenmiş ve çalışma alanı içindeki su kütlelerine ait pikseller maskelenmiştir. Çalışma alanına ait hesaplanan yanan alan değerlerinin validasyon işlemi MODIS verisi kullanılarak yapılmıştır. Farklı yıllarda çalışma alanına ait yanan alanların belirlenmesi üzerine uygun yöntem belirlenmiştir (Şekil 2). Belirlenen yöntem ulusal ve uluslararası ölçekte kalibrasyonu yapılarak geliştirilen kod bloğu GEE ortamında açık kaynak kodlu olarak kullanıma paylaşılabacaktır.



Şekil 2. Yöntem akış şeması

3. Bulgular ve Tartışma

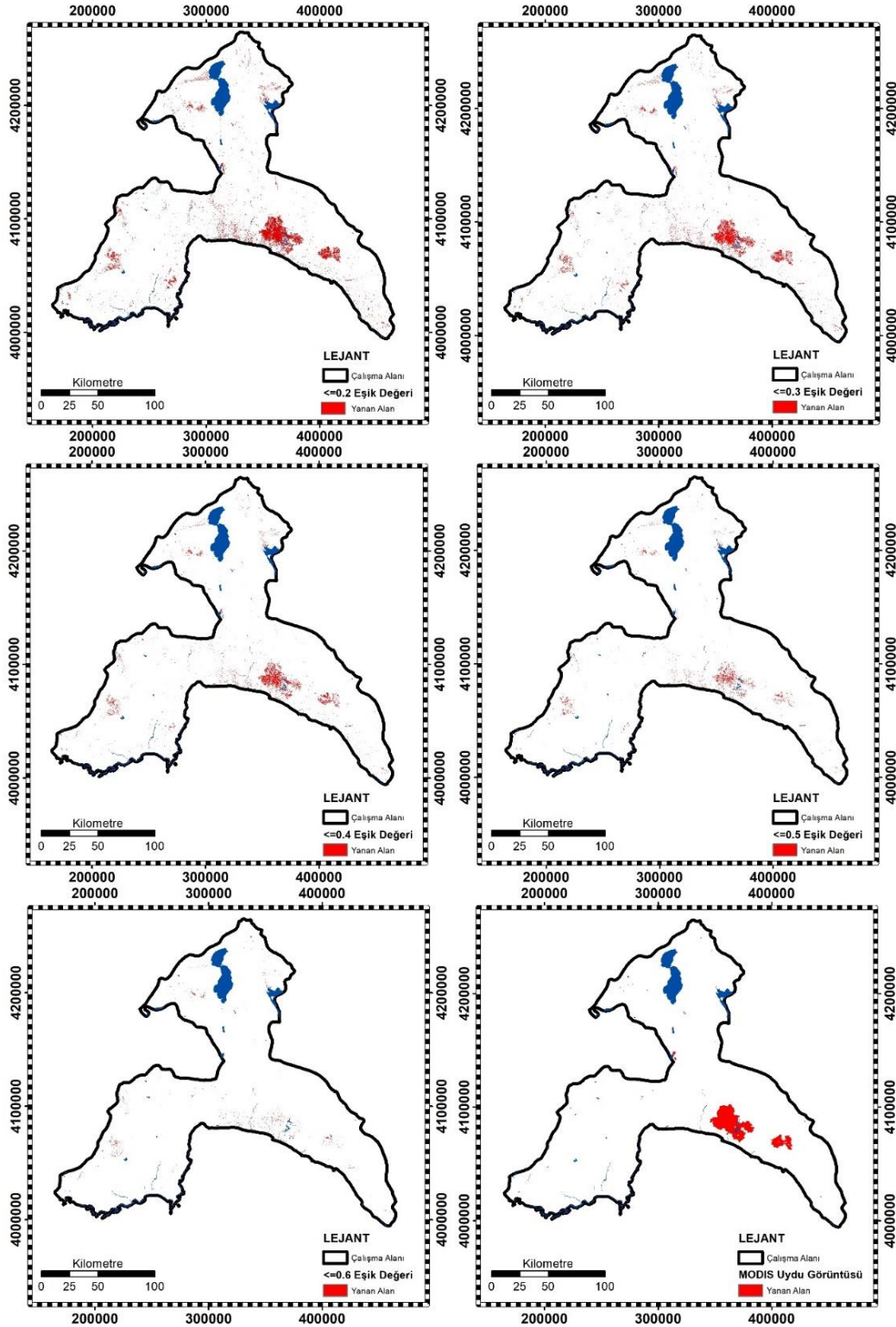
Orman yangınları, özellikle yaz aylarında, sıcak ve kurak hava koşulları nedeniyle bu bölgede sık sık meydana gelmektedir. Bu nedenle bölge, doğal kaynakların korunması ve orman yönetimi konularında hassasiyetle takip edilmektedir. İlgili çalışma, Isparta ve Antalya il sınırı içerisindeki orman yangınlarına odaklanmaktadır ve yangınların neden olduğu hasarı belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanına ait GEE ortamında atmosferik düzeltme ve histogram eşitleme ile görüntü zenginleştirme işlemi yapılmış 2020 ve 2021 Eylül aylarına ait yüksek çözünürlüklü (10 m) Sentinel-2 uydü görüntüsü haritaları ve su kütleleri maskelenerek oluşturulan eylül ayına ait NDVI haritaları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanı Sentinel-2 uydu görüntüsü ve NDVI katmanları

Türkiye, iklim değişikliği, orman yangınları ve diğer çevresel tehditlerle mücadele etmek zorunda olan bir ülkedir. Sentinel-2 uydusu kullanarak NDVI haritası oluşturma ve yanan alanların belirlenmesi, özellikle orman yangınları gibi doğal afetlerin önlenmesi veya etkilerinin azaltılması açısından son derece önemlidir. Sentinel-2 uydusu, dünya yüzeyindeki bitki örtüsü, tarım arazileri, su kaynakları ve toprak özellikleri gibi birçok yararlı bilgiyi sağlayabilmektedir. Sentinel-2 uydusu, yüksek mekansal çözünürlüklü görüntüleme yapabilen multispektral bantlar içeren sensöre sahiptir. Bu nedenle, NDVI haritaları oluşturmak ve yanan alanları tespit etmek için kullanılabilir. Çalışmalar, Sentinel-2 uydusu kullanarak NDVI haritalarının orman yangınları gibi doğal afetlerin izlenmesi ve kontrol altına alınması için önemli bir araç olduğunu göstermektedir (Chen vd., 2016; Amos vd., 2019; Nasery ve Kalkan, 2020; Lasaponara vd., 2022; Yılmaz vd., 2023; Bahşi vd., 2023).

Yanmış alanların haritalanması için yakın kızılötesi bantlara dayalı spektral indeksler, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bantları içeren indekslerden daha az etkili olduğu kanıtlanmış olsa da, NDVI bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır (Chuvienco vd., 2019). Bitki canlılığı için hesaplama yapılan NDVI, teorik olarak yangınların neden olduğu pigment ve yaprak yapısı bozulmalarının tespit edilebildiği bilinmektedir (Lasaponara, 2006). Bu nedenle, yangın öncesi ve sonrası NDVI değerleri arasındaki farkın yanmış alanların tespitinde yardımcı olduğu belirtilmektedir (Pulvirenti vd., 2020). Çalışma alanına ait 2020 ve 2021 Eylül aylarına ait NDVI görüntüsünde farklı eşik değerleri kullanılarak belirlenen alanlar Şekil 4'te verilmiştir. Düşük mekansal çözünürlüklü MODIS yanan alan verisi ile çalışma alanı içerisindeki yüksek çözünürlüklü belirlenen alanların sonuçları karşılaştırılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma alanı farklı eşik değerlerinde hesaplanan yanan alan katmanları

Eylül ayı, çoğu bölgelerde yaz mevsiminin sonunu ve sonbaharın başlangıcını işaret eder. Bu mevsimsel değişim, Sentinel-2 uydü görüntüsü kullanılarak arazi örtüsü değişimi ve yanan alanların belirlenmesinde önemli bir faktördür (Williams vd., 2019; Amos vd., 2019; Ranagalage vd., 2021; Yılmaz vd., 2023). Bu nedenle çalışma alanına ait farklı yıllardaki aynı alanın eylül ayı içerisindeki uydü görüntüsü ile oluşturulan NDVI haritalarındaki arazi örtüsü değişimi ve yanan alanların belirlenmesi farklı eşik değerlerine göre belirlenmiştir. Belirlenen farklı eşik değerindeki mekânsal çözünürlüğü yüksek veriler ile alanlar belirlenmiştir. Bu alanların büyüklükleri düşük çözünürlüklü MODIS yanan alan verileri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmalar, arazi örtüsü değişimi ve yanan alan belirlenmesinde farklı eşik değerine sahip NDVI değerleri kullanmanın başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir (Chen vd., 2016; Sertel vd., 2018; Abdikan vd., 2022; Topaloğlu vd., 2022). Das vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, yanan alanlar ve diğer arazi örtüleri farklı indeksler kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, yanan alanların sınıfı için NDVI değerlerinin en yüksek 0.59 ve en düşük 0.21 olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, kendi çalışmamızda kullandığımız eşik değerlerini desteklemektedir. Çalışma alanına ait belirlenen eşik değerleri ile arazi örtüsü ve yanan alanların alansal büyüklüklerine ait sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı eşik değerlerinde hesaplanan yanan alanların mekansal analizi

Sentinel-2 NDVI Eşik Değeri	Yanan Alan ve Arazi Değişimi (hektar)	Değişim (%)		MODIS Yanan Alan Sınırı İçerisinde Kalan Alan (hektar)	Değişim (%)		MODIS Yanan Alan (hektar)	OGM 2021 Yılı Yanan Alan Verisi (hektar)
		MODIS (%)	OGM (%)		MODIS (%)	OGM (%)		
≤0.2	100.474	138.2	162.6	49359	67.9	79.9	72.703	61.789
≤0.3	68.254	93.9	110.5	39052	53.7	63.2	72.703	61.789
≤0.4	44.787	61.6	72.5	27480	37.8	44.5	72.703	61.789
≤0.5	23.247	32.0	37.6	13365	18.4	21.6	72.703	61.789
≤0.6	7.881	10.8	12.8	2704	3.7	4.4	72.703	61.789

GEE ortamında belirlenen eşik değerleri ve alansal büyüklük sonuçlarına göre 0.2 eşik değeri ile düşük çözünürlüklü MODIS uydusu ile hesaplanan alanlardan fazla olduğunu göstermektedir. Eşik değeri 0.2 olduğunda yüksek çözünürlüklü veri ile belirlenen alanın fazla olması, belirlenen arazi örtüsü ve yanan alanların daha yüksek oranda hesaplanması tarım ve orman alanlarındaki değişimlerin karıştığı ve pozitif değerler verdiği belirlenmiştir. Ayrıca yüksek çözünürlükte arazi örtüsündeki boşlukların belirlenmesi ve değişimin daha düşük düzeyde olması beklenmektedir. Eşik değeri 0.3 olduğunda belirlenen 68.254 hektar alan MODIS verisi ile belirlenen yanan alan verisinin %93.88’ine karşılık gelmektedir. Eşik değeri olduğunda belirlenen 68.254 hektar alanın OGM (2023) yer verilerine göre belirlenen alan verisinin %110.5’ine karşılık gelmektedir. Doğrulama verisi olarak kullanılan MODIS yanan alan verisinde çözünürlük ve karışmalar nedeniyle OGM (2023) verisinden mekânsal büyüklüğü fazla olduğu belirlenmiştir. Belirlenen yanan alan ve arazi değişimi sınıfının büyük çoğunluğu yanan alanları temsil ettiği belirlenmiştir (Tablo 2). GEE ortamında geliştirilen kod bloğunun kabul edilebilir düzeyde doğrulukla 0.3 eşik değerinde yanan alanları belirlemek için NDVI bitki indeksinin kullanılabilmesini göstermektedir. Histogram analizi sonucuna göre MODIS yanan alan verisi içerisindeki NDVI farkının ortalama eşik değeri 0.3 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü kullanılarak eylül ayına ait arazi örtüsü değişimleri ve yanan alan miktarının belirlenmesinde kullanılabilmesini göstermektedir (Tablo 2). Eşik değeri 0.3 olduğu durumda arazi örtüsü değişimi ve yanan alanların içerisindeki boşluklar belirlenebileceği ve yüksek çözünürlüklü verilerin başarısını arttırdığı belirlenmiştir. Diğer eşik değerlerinde ise oranların giderek düştüğü ve MODIS verisi ile belirlenen alanlardaki ormanlık alanlarda başarının düştüğü belirlenmiştir (Tablo 2). Farklı eşik değerleri kullanılarak arazi örtüsü değişim analizlerinde, eşik değerlerinin artmasıyla birlikte daha hassas hale geldiği belirtilmiştir. Fakat yüksek eşik değerlerinin kullanılması orman yangınlarının tespitinde yararlı, tarım alanlarında yanlış pozitif sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Sertel vd., 2018; Topaloğlu vd., 2022). Benzer şekilde, farklı eşik değerleri kullanarak yapılan bir başka çalışmada, 2020 yılında Türkiye’de yaşanan orman yangınları sonrasında yanmış alanların tespiti için Sentinel-2 NDVI görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarında en uygun eşik değerlerinin belirlenmesi için farklı yöntemlerin birleştirilmesi önerilmiştir (Abdikan vd., 2022). Çalışma alanı için elde edilen sonuçlar arazi değişimi ve yanan alanların belirlenmesinde daha hassas eşik değerinin 0.3 olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları yapılan çalışmalar ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. GEE ortamında Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak 2020 ve 2021 Eylül ayına ait NDVI haritaları ile farklı eşik değerleri kullanılarak yapılan arazi değişimi ve yanan alan belirlenmiştir. Çalışma sonucunda farklı eşik değerlerindeki belirlenen alanlarda görüntüdeki tuz-biber etkisi ve gölge etkisi nedeniyle tek piksel olduğu alanlarda karışmalar olduğu belirlenmiştir. Bu tek piksellerin fark işlemi sırasında meydana gelen bozulmalar ve gölge etkisi çok az miktarda yanan alan içine girebileceği belirlenmiştir. Bu durum yaklaşık 30.000 km² büyüklüğünde bir alana ait yanan alanların belirlenmesi üzerine yapılan çalışmada kabul edilebilir düzeyde olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bu durum piksellerin birleştirilmesi uygulaması ile bozuk piksellerin azaltılması mümkündür. Fakat MODIS uydusu kaba çözünürlüklü olmasından dolayı yüksek çözünürlüklü sonuçlar kullanılmıştır Chuvieco vd. (2002) tarafından yapılan yanan alanları farklı spektral indeksler kullanarak belirledikleri çalışma sonucunda, NDVI indeksi için benzer karışmalar olduğunu belirtmişlerdir. Farklı eşik değerleri kullanıldığında, arazi değişimi oranlarının da değiştiği gözlemlenmiştir. Daha yüksek eşik değerleri kullanıldığında arazi değişim oranları daha düşük olurken, daha düşük eşik değerleri kullanıldığında ise arazi değişim oranları daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 2020 ve 2021 yılları arasında en yüksek arazi değişim oranları, 0.2 ve 0.3 eşik değerleri ile elde edilmiştir.

Ancak 0.4, 0.5 ve 0.6 eşik değerleri kullanıldığında da anlamlı arazi değişim oranları elde edilmiştir. Chen vd. (2016) tarafından yapılan çalışma sonuçlarında 0.2 ve 0.3 eşik değerinde yanan alan sınıfı en yüksek düzeyde belirlenirken, eşik değerleri arttıkça yanan alan sınıfı içerisinde düştüğü belirtilmiştir. Long vd. (2019) LANDSAT görüntüsünde 30 m çözünürlüklü yıllık yanan alanları Google Earth Engine üzerinden belirlediği araştırmada NDVI eşik değeri değişim oranları, 0.2 ve 0.3 eşik değerleri ile elde etmiştir. Çalışma sonuçları yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Arazi değişimi oranlarının en yüksek olduğu alanlar, genellikle ormanlık ve sulak alanlar ile tarım arazileri arasındaki geçiş bölgeleri olmuştur. Bu bölgelerde insan faaliyetlerine bağlı arazi kullanım değişiklikleri gözlemlenmiştir. Bu sorunun ortadan kaldırılabilmesi için su kütlelerinin maskelenmesi işleminin başarılı olduğu belirlenmiştir. Yanan alanların çoğunluğu, orman ve çalılık alanlarıdır. Yanan alanların büyük bir kısmı, insan kaynaklı etkinliklerden kaynaklanan yangınlar nedeniyle gerçekleşmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma sonuçlarına göre, GEE ortamında Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak arazi örtüsü değişimi ve yanan alanların belirlenmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Doğru eşik değerinin belirlenmesi, doğal afet riskinin ve arazi örtüsü değişiminin doğru bir şekilde belirlenmesi açısından önemlidir. Bu nedenle, farklı eşik değerleri kullanılarak yapılan çalışma sonucunda en uygun eşik değeri belirlenmiştir. Çalışma alanında 0.3 eşik değeri kullanılarak arazi örtüsü değişimi ve yanan alanlar gibi doğal afet riskinin doğru şekilde belirlenmesine ve gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olabileceği belirlenmiştir. GEE ortamında Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak 2020 ve 2021 yılı Eylül ayına ait NDVI haritaları ile farklı eşik değerleri kullanılarak yapılan arazi değişimi ve yanan alan belirleme çalışması sonuçlarına ilişkin bazı gözlemler şunlardır:

- Farklı eşik değerleri kullanıldığında, arazi değişimi ve yanan alan belirleme sonuçları önemli ölçüde farklılık gösterebilir.
- Belirlenen eşik değeri arttıkça, yanan alanların belirlenmesindeki doğruluk artar, ancak diğer arazi değişimi sınıflarının doğruluğu azalır.
- Belirlenen eşik değeri düşük olduğunda, yüksek NDVI değerine sahip olan ve kırsal alanda olması beklenen bitki örtüsü de yanan alan olarak belirlenebilir.
- Belirlenen eşik değeri yüksek olduğunda, küçük ölçekli yanan alanlar belirlenemeyebilir.
- Yüksek NDVI değerlerinin yanan alan olarak yanlış sınıflandırılmasını önlemek için, diğer uydu görüntüleri ve/veya mekansal verilerle birlikte kullanılması gerekmektedir.
- Türkiye’de diğer alanlara geliştirilen kod uygulanarak, yer tabanlı gözlemler ve diğer coğrafi verilerle entegre edilerek daha kesin sonuçlar elde etmek için kullanılabilecektir.

Bu gözlemler ışığında, arazi değişimi ve yanan alan belirleme çalışmaları için en uygun eşik değerinin belirlenmesi önemlidir. Bu, belirli bir bölgeye ve çalışmanın amaçlarına bağlı olarak değişebilir. Arazi örtüsü değişimi ve yanan alanların doğru şekilde belirlenmesinde ve gerekli önlemlerin alınmasında GEE ortamında hızlı ve düşük maliyetli önlemlerin, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile yapılabileceği önerilmektedir.

Kaynaklar

- Abdikan, S., Bayik, C., Sekertekin, A., Bektas Balcik, F., Karimzadeh, S., Matsuoka, M., & Balik Sanli, F. (2022). Burned area detection using multi-sensor SAR, optical, and thermal data in Mediterranean pine forest. *Forests*, 13(2), 347. doi: 10.3390/f13020347.
- Akay, A. E., Podolskaia, E., & Uçar, Z. (2021). Effects of Improving Forest Road Standards on Shortening the Arrival Time of Ground-based Firefighting Teams Accessing to the Forest Fires. *European Journal of Forest Engineering*, 7(1), 32-38. doi: 10.33904/ejfe.952174.
- Alkan Akıncı, H., & Akıncı, H. (2023). Machine learning based forest fire susceptibility assessment of Manavgat district (Antalya), Turkey. *Earth Science Informatics*, 16(1), 397-414.
- Amos, C., Petropoulos, G. P., & Ferentinos, K. P. (2019). Determining the use of Sentinel-2A MSI for wildfire burning & severity detection. *International Journal of Remote Sensing*, 40(3), 905-930.
- Arıkan, C., Tümer, İ. N., Aksoy, S., & Sertel, E. (2022, June). Determination of burned areas using Sentinel-2A imagery and machine learning classification algorithms. In *4th Intercontinental Geoinformation Days, 2022. Proceedings*. (pp. 43-46).
- Ayele, G. T., Seka, A. M., Taddese, H., Jemberrie, M. A., Ndehedehe, C. E., Demissie, S. S., & Melesse, A. M. (2022). Relationship of attributes of soil and topography with land cover change in the Rift Valley Basin of Ethiopia. *Remote Sensing*, 14(14), 3257. doi: 10.3390/rs14143257.

- Bahşi, K., Ustaoglu, B., Aksoy, S., & Sertel, E. (2023). Estimation of emissions from crop residue burning in Türkiye using remotely sensed data and the Google Earth Engine platform. *Geocarto International*, 38(1), 2157052. doi: 10.1080/10106049.2022.2157052.
- Bo, W., Liu, J., Fan, X., Tjahjadi, T., Ye, Q., & Fu, L. (2022). BASNet: Burned Area Segmentation Network for Real-Time Detection of Damage Maps in Remote Sensing Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60, 1627913. doi: 10.1109/TGRS.2022.3197647.
- Boschetti, L., Roy, D., Hoffmann, A. A., & Humber, M. (2009, November 10). MODIS Collection 5 Burned Area Product-MCD45. *User's Guide, Ver. 2*, 1-2. Retrieved from https://www.fao.org/fileadmin/templates/gfims/docs/MODIS_Burned_Area_User_Guide_2.0.pdf.
- Brovelli, M. A., Sun, Y., & Yordanov, V. (2020). Monitoring forest change in the amazon using multi-temporal remote sensing data and machine learning classification on Google Earth Engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10), 580. doi: 10.3390/ijgi9100580.
- Chen, W., Moriya, K., Sakai, T., Koyama, L., & Cao, C. X. (2016). Mapping a burned forest area from Landsat TM data by multiple methods. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(1), 384-402.
- Chuvieco, E., Martin, M. P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103-5110.
- Chuvieco, E., Mouillot, F., Van der Werf, G. R., San Miguel, J., Tanase, M., Koutsias, N., ... & Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45-64. doi: 10.1016/j.rse.2019.02.013.
- Das, P., Behera, M. D., Barik, S. K., Mudi, S., Jagadish, B., Sarkar, S., ... & Chauhan, P. S. (2022). Shifting cultivation induced burn area dynamics using ensemble approach in Northeast India. *Trees, Forests and People*, 7, 100183. doi: 10.1016/j.tfp.2021.100183.
- Demir, N. (2020). NDVI analysis of Australian Bushfires with cloud computing. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(2), 78-84.
- Dengiz, O., Dedeoğlu, M., & Kaya, N. S. (2022). Determination of the relationship between rice suitability classes and satellite images with different time series for Yeşil Küre Farm Lands. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 32(3), 507-526.
- Dursun, İ., & Yazıcı, N. (2022). Köppen-Trewartha ve Thornthwaite yöntemlerine göre Isparta yöresi iklim tipinin belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(2), 264-279.
- FAO. (2015, Şubat 23). *Global Administrative Unit Layers (GAUL) level 1*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved From <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=12691>.
- GEE. (2021, Şubat 23). *Google earth engine [computer software]*. Retrieved From <https://earthengine.google.com/>.
- Hosseini, A., Hashemzadeh, M., & Farajzadeh, N. (2022). UFS-Net: A unified flame and smoke detection method for early detection of fire in video surveillance applications using CNNs. *Journal of Computational Science*, 61, 101638. doi: /10.1016/j.jocs.2022.101638.
- Hu, X., Ban, Y., & Nascetti, A. (2021). Uni-temporal multispectral imagery for burned area mapping with deep learning. *Remote Sensing*, 13(8), 1509. doi: /10.3390/rs13081509.
- JRC. (2016, Şubat 23). *Global surface water occurrence version 1.0 (1984-2015) european commission*. Joint Research Centre (JRC). Retrieved from <https://global-surface-water.appspot.com/download>.
- Kuzucuoğlu, C., Çiner, A., & Kazancı, N. (2019). The geomorphological regions of Turkey. In Kuzucuoğlu, C., Çiner, A., Kazancı, N. (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey* (pp. 41-178), Springer, Cham.
- Lacouture, D. L., Broadbent, E. N., & Crandall, R. M. (2020). Detecting vegetation recovery after fire in a fire-frequented habitat using normalized difference vegetation index (NDVI). *Forests*, 11(7), 749. doi: /10.3390/f11070749.
- Lasaponara, R. (2006). Estimating spectral separability of satellite derived parameters for burned areas mapping in the Calabria region by using SPOT-Vegetation data. *Ecological Modelling*, 196(1-2), 265-270.
- Lasaponara, R., Abate, N., Fattore, C., Aromando, A., Cardettini, G., & Di Fonzo, M. (2022). On the use of Sentinel-2 NDVI time series and Google Earth Engine to detect land-use/land-cover changes in fire-affected areas. *Remote Sensing*, 14(19), 4723. doi: 10.3390/rs14194723.
- Liu, L., Zhang, Q., Guo, Y., Chen, E., Li, Z., Li, Y., ... & Ri, A. (2023). Mapping the Distribution and Dynamics of Coniferous Forests in Large Areas from 1985 to 2020 Combining Deep Learning and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 15(5), 1235. doi: 10.3390/rs15051235.
- Long, T., Zhang, Z., He, G., Jiao, W., Tang, C., Wu, B., ... & Yin, R. (2019). 30 m resolution global annual burned area mapping based on LANDSAT Images and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 11(5), 489. doi: 10.3390/rs11050489.
- Mathewos, M., Lencha, S. M., & Tsegaye, M. (2022). Land use and land cover change assessment and future predictions in the Matenchose Watershed, Rift Valley Basin, using CA-Markov simulation. *Land*, 11(10), 1632. doi: /10.3390/land11101632.

- MGM. (2023, Şubat 23). *Türkiye İklim İstatistikleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü*. Retrieved From <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISPARTA>.
- Nasery, S. & Kalkan, K. (2020). Burn area detection and burn severity assessment using Sentinel 2 MSI data: The case of Karabağlar district, İzmir/Turkey. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(2), 72-77.
- OGM. (2023, Mayıs 2). *Resmi İstatistikler, Orman Genel Müdürlüğü*. Retrieved From <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>.
- Özçelik, H. (2018). Flora of Dedegül Mountain and its effects to agricultural production of lakes region. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11(2), 38-46.
- Özgül, N. (1976). Toroslar'm bazı temel jeoloji özellikleri. *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 19, 65-78.
- Payra, S., Sharma, A., & Verma, S. (2023). Application of remote sensing to study forest fires. In A.K. Singh & S. Tiwari (Eds.), *Atmospheric Remote Sensing: Principles and Applications Earth Observation* (pp. 239-260). Elsevier Science.
- Pulvirenti, L., Squicciarino, G., Fiori, E., Fiorucci, P., Ferraris, L., Negro, D., ... & Puca, S. (2020). An automatic processing chain for near real-time mapping of burned forest areas using sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 12(4), 674. doi: 10.3390/rs12040674.
- Ranagalage, M., Morimoto, T., Simwanda, M., & Murayama, Y. (2021). Spatial analysis of urbanization patterns in four rapidly growing south Asian cities using Sentinel-2 Data. *Remote Sensing*, 13(8), 1531. doi: /10.3390/rs13081531.
- Roca, M., Navarro, G., García-Sanabria, J., & Caballero, I. (2022). Monitoring sand spit variability using Sentinel-2 and Google Earth Engine in a Mediterranean Estuary. *Remote Sensing*, 14(10), 2345. doi: 10.3390/rs14102345.
- Roteta, E., Bastarrika, A., Franquesa, M., & Chuvieco, E. (2021a). Landsat and Sentinel-2 Based Burned Area Mapping Tools in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(4), 816. doi: 10.3390/rs13040816.
- Roteta, E., Bastarrika, A., Ibisate, A., & Chuvieco, E. (2021b). A preliminary global automatic burned-area algorithm at medium resolution in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(21), 4298. doi: 10.3390/rs13214298.
- Sertel, E., Topaloğlu, R. H., Şallı, B., Yay Algan, I., & Aksu, G. A. (2018). Comparison of landscape metrics for three different level land cover/land use maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10), 408. doi: /10.3390/ijgi7100408.
- Sevinç, V. (2023). Mapping the forest fire risk zones using artificial intelligence with risk factors data. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(2), 4721-4732.
- Seydi, S. T., Akhoondzadeh, M., Amani, M., & Mahdavi, S. (2021). Wildfire damage assessment over Australia using sentinel-2 imagery and MODIS land cover product within the google earth engine cloud platform. *Remote Sensing*, 13(2), 220. doi: /10.3390/rs13020220.
- Şener, E. & Davraz, A. (2021). Yağış tabanlı farklı indisler kullanılarak meteorolojik kuraklık analizi: Isparta örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 404-418.
- Şenol, H., Alaboz, P., & Dengiz, O. (2020). Evaluation of the physico-chemical and nutrient elements status of soils formed on different parent materials using interpolation method. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(3), 505-516.
- Topaloğlu, R. H., Aksu, G. A., Ghale, Y. A. G., & Sertel, E. (2022). High-resolution land use and land cover change analysis using GEOBIA and landscape metrics: A case of Istanbul, Turkey. *Geocarto International*, 37(25), 9071-9097.
- Weslati, O., Bouaziz, S., & Sarbeji, M. M. (2023). Modelling and assessing the spatiotemporal changes to future land use change scenarios using remote sensing and CA-markov model in the mellegue catchment. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 51(1), 9-29.
- Williams, A. P., Abatzoglou, J. T., Gershunov, A., Guzman-Morales, J., Bishop, D. A., Balch, J. K., & Lettenmaier, D. P. (2019). Observed impacts of anthropogenic climate change on wildfire in California. *Earth's Future*, 7(8), 892-910.
- Xu, W., Wooster, M. J., Polehampton, E., Yemelyanova, R., & Zhang, T. (2021). Sentinel-3 active fire detection and FRP product performance-Impact of scan angle and SLSTR middle infrared channel selection. *Remote Sensing of Environment*, 261, 112460. doi: /10.1016/j.rse.2021.112460.
- Xu, L., Herold, M., Tsensbazar, N. E., Masiliūnas, D., Li, L., Lesiv, M., ... & Verbesselt, J. (2022). Time series analysis for global land cover change monitoring: A comparison across sensors. *Remote Sensing of Environment*, 271, 112905. doi: /10.1016/j.rse.2022.112905.
- Xulu, S., Mbatha, N., & Peerbhay, K. (2021). Burned Area Mapping over the Southern Cape Forestry Region, South Africa Using Sentinel Data within GEE Cloud Platform. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8), 511. doi: /10.3390/ijgi10080511.
- Yılmaz, O. S., Acar, U., Sanli, F. B., Gulgen, F., & Ates, A. M. (2023). Mapping burn severity and monitoring CO content in Türkiye's 2021 Wildfires, using Sentinel-2 and Sentinel-5P satellite data on the GEE platform. *Earth Science Informatics*, 16(1), 221-240.
- Zeybek, M., & Kalyoncu, H. (2016). The determination of water quality of Kargı Stream (Antalya, Turkey) in terms of physicochemical parameters. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 33(3), 223-231.

- Zhang, H. K., Roy, D. P., Yan, L., Li, Z., Huang, H., Vermote, E., ... & Roger, J. C. (2018). Characterization of Sentinel-2A and Landsat-8 top of atmosphere, surface, and nadir BRDF adjusted reflectance and NDVI differences. *Remote Sensing of Environment*, 215, 482-494. doi: /10.1016/j.rse.2018.04.031.
- Zhang, Q., Ge, L., Zhang, R., Metternicht, G. I., Liu, C., & Du, Z. (2021). Towards a deep-learning-based framework of Sentinel-2 imagery for automated active fire detection. *Remote Sensing*, 13(23), 4790. doi: /10.3390/rs13234790.

Arazi Parsel Tanımlama Sistemi Verileri Kullanılarak Ülkesel Ölçekte Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanım Sınıflandırması

Land Cover and Land Use Classification at National Scale Using Land Parcel Identification System Data (LPIS)

Fatih Fehmi Şimşek^{1*} 

¹Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Ankara/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Fatih Fehmi Şimşek
fehmi.simsek@tarimorman.gov.tr

doi: 10.48123/rsgis.1268155

Yayın süreci

Geliş tarihi: 20.03.2023
Kabul tarihi: 22.05.2023
Basım tarihi: 28.09.2023

Özet

Entegre İdare ve Kontrol Sistemi (EİKS), Avrupa Birliği tarafından tarımsal desteklemelerin sevk ve idaresini sağlayan bir sistemdir. Birçok farklı bileşenden ve sistemden oluşan bu sistemin ana bileşenlerinden biri de coğrafi bir veri tabanına dayalı olan ve farklı sınıflardaki referans parselleri içeren Arazi Parsel Tanımlama Sistemi (ATPS)'dir. 2016 yılında 30 cm çözünürlüklü ortofoto görüntüler kullanılarak ülke geneli boşluk kalmayacak şekilde APTS kapsamında sayısallaştırılmıştır. Çalışmada APTS'nin kilit bileşeni olan fiziksel bloklar (13,5 milyon) ile çok zamanlı Sentinel-2 görüntüleri (370 çerçeve) kullanılarak ülke ölçeğinde arazi örtüsü ve arazi kullanım sınıflandırması yapılmıştır. Çok büyük boyutta raster ve vektör veri içeren bu çalışma, Sinergise firmasının Amazon Web Servis (AWS) içerisindeki sunucularında bulunan açık kaynak kodlu EO-Learn kütüphanesi içerisindeki LightGBM makine öğrenme algoritması kullanılarak yapılmış olup % 86,07 genel doğruluk değerine ulaşılmıştır. Sınıflandırma işlemi sonucu 2021 yılına ait arazi örtüsü ve kullanım sınıflarının belirlenmesinin yanısıra, 2016 yılında çizilen APTS sınıflarına ait fiziksel bloklar ile sınıflandırma sonucu karşılaştırılarak özellikle değişim olan alanlar ile sınıfların güncellenmesinde referans altlık olarak kullanılması da hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: Arazi örtüsü ve kullanımı, APTS, Sentinel-2, Uzaktan algılama

Abstract

The Integrated Administration and Control System (IACS) is a system that provides the management and administration of the support of inspections by the European Union. One of the main components of this system, which consists of many different components and systems, is the Land Parcel Identification System (LPIS), which includes reference parcels in different classes based on a geographic database. In 2016, it was digitized within the scope of LPIS, using 30cm resolution orthophoto images, without any gaps across the country. In the study, land cover and land use classification was made at the country scale using physical blocks (13.5 million) and multi-time Sentinel-2 images (370 frames), which are the key components of the LPIS. This study, which included very large raster and vector data, was carried out using LightGBM machine learning algorithm in the open-source EO-Learn library located on the servers of Sinergise company in Amazon Web Service (AWS) and the overall accuracy value of 86.07 % was reached. In addition to determining the land cover and usage classes for 2021 as a result of the classification process, it is aimed to use the physical blocks of the LPIS classes drawn in 2016 and the classification result to be used as a reference base for updating the classes, especially in the areas with change.

Keywords: Land use and land cover, LPIS, Sentinel-2, Remote sensing

1. Giriş ve Amaç

Arazi örtüsü; tarım alanları, ormanlar, suni alanlar, sulak alanların oluşturduğu, yeryüzünün biyolojik örtüsüdür. Arazi kullanımı ise, bir alanın kullanım amacına göre (ormancılık, tarım, ticaret, sanayi) karakterize edilmesidir.

Arazi örtüsü ve kullanım haritaları, şehir planlaması, tarımsal faaliyetler, çevre ve doğal kaynak yöntemi gibi birçok uygulama için kritik bilgiler sağlamakta ve kilit bir rol oynamaktadır. Arazi örtüsü, temel iklim değişkeni olarak kabul edilmesinin yanı sıra uzaktan algılama teknolojisi ile temel biyo-çeşitlilik değişkeni olarak da önerilmektedir (Pettorelli vd., 2016). Arazi örtüsünün istenilen ölçekte görüntülenebilir olması dünya yüzeyinin kolay bir şekilde izlenmesini ve karşılaştırmalı analizler yapılmasını sağlamaktadır (Lambin ve Geist, 2006). Arazi örtüsü ve arazi kullanımı ortaya çıkarmak için birçok teknik üretilmiş ve geliştirilmiştir. Sahada çeşitli tekniklerle ölçümler yapılarak, harita üretim yaklaşımı, farklı düzeylerde ve ölçeklerde bir harita üretme yolu olup, geniş alanlar için çok zaman alıcı ve maliyetlidir (Langat vd., 2019). Diğer taraftan uzaktan algılama çalışmalarının bu hedefler için zamandan tasarruf edilerek çok daha uygun ve daha az maliyetli olduğu, yapılan çalışmalar sonucundan kendini ortaya koymuştur. Arazi örtüsü ve arazi kullanımı tespiti yapmak için sınıflandırma çalışmaları öne çıkmış, birçok metot, yöntem algoritma denenmiş ve süreç içerisinde bunlar geliştirilmiştir (Apaydın ve Abdikan, 2021). Landsat, Sentinel gibi ücretiz erişim sağlanan uydu görüntüleri ve sınıflandırma tekniklerinin makine öğrenmesi ile gelişmesi sayesinde, arazi örtüsü ve arazi kullanımı ile ilgili sınıflandırma çalışmaları daha yaygın bir hal almıştır. Özellikle çok zamanlı görüntüler ve dijital görüntü işlemedeki ilerlemeler ile arazi örtüsü kullanımının belirlenmesi ve zamansal değişiminin izlenmesi ülkelerdeki çalışmalarda daha efektif bir hal almıştır (Candido vd., 2021).

Konuya ilişkin olarak özellikle bölgesel ölçekteki çalışmalar incelendiğinde, Verde vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada tüm Yunanistan ölçeğinde 11 farklı sınıfa ait arazi örtüsü ve kullanım sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Çalışmada uydu görüntüsü olarak çok zamanlı Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntüleri, yer doğruluk verisi olarak ise bazı sınıflar için LPIS verisi kullanılmıştır. Google Earth Engine ortamında rastgele orman algoritması ile yapılan bu çalışmada % 79.75 doğruluk seviyesine ulaşılmıştır. Lubej vd., (2019) Slovenya ölçeğinde çok zamanlı Sentinel -2 görüntüleri ile derin öğrenme algoritmasını kullanarak 10 farklı sınıf için arazi örtüsü ve kullanım çalışması yapmış olup genel doğruluk olarak % 94.5 oranında başarımlar göstermiştir. Marston vd., (2023) İngiltere sınırlarını kapsayan 21 sınıftan oluşan arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflandırma çalışması yapmıştır. 1 Aralık 2020 ve 31 Ocak 2021 tarihleri arasında çekilen görüntüler kullanılmış olup sınıflandırma çalışmasında Sentinel-2'nin 60 metre bantları (B1-B9-B10) bantları hariç bütün bantları kullanılmıştır. Rastgele orman algoritması kullanılarak yapılan bu çalışma sonucunda %82.6 genel doğruluk başarımları yakalanmıştır. Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) tarafından çok zamanlı Sentinel-1 Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak dünya ölçeğinde 11 farklı sınıf için arazi örtüsü ve kullanım çalışması yapılmış, 2651 çerçevenin kullanıldığı bu çalışma sonucunda %75 oranında genel doğruluk başarımları sağlanmıştır (Zanaga vd., 2021). Ülkemizde bir çok arazi örtüsü ve kullanım çalışması yapılmış olup bu çalışmaların çoğu lokal yada bölgesel çalışma alanları ile sınırlı kalmakla beraber, bölgesel ölçekte yapılan en kapsamlı çalışma ise Türkiye'nin de dahil olduğu CORINE projesi kapsamında yapılan çalışmadır.

Uzaktan algılama uydularına ait mekânsal, zamansal, spektral çözünürlüğün artması ve uygulama yapılacak alanların büyük ölçekte olması durumunda, çok sayıda ve çok zamanlı görüntüleri temin etme, çeşitli görüntü işleme aşamalarından geçirme ve makine öğrenmesi ile sınıflandırma işlemleri, çok zaman almakla beraber karışık bir hal de almaktadır (Şimşek ve Durduran, 2022). Bilgisayar bilimlerindeki gelişmeler ile ortaya çıkan derin öğrenme ve makine öğrenme algoritmaları ile bu ve benzeri durumları kolaylaştıran, içerisindeki çeşitli hazır iş modellerini kullanarak büyük alanlar ya da bölgesel çalışmaları kısa sürede ve daha yüksek doğrulukta yapılmasını sağlayan uzaktan algılama kütüphanesi ve platformların ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

EO-Learn, makine öğrenme ile derin öğrenme algoritmalarını kullanarak tarımsal ürün desen sınıflandırması, arazi örtüsü ve kullanım sınıflandırması, parsel sınırlarının otomatik olarak belirlenmesi, otomatik obje tespiti, çözünürlük arttırma vb. gibi birçok farklı uzaktan algılama çalışmasında kullanılan açık kaynak kodlu bir python kütüphanesi olup bu kütüphane Sinergise firması tarafından geliştirilmiştir (Medium, 2022a). Başta Sentinel uydularına ait görüntüler olmak üzere birçok ticari ve ticari olmayan görüntülere kütüphanesi içindeki *sentinelhub-py* python paketi kullanılarak erişim sağlanabilmektedir. Bu paket ile Sentinel-Hub servislerine bağlanarak Amazon Web Servis'lerinde (AWS) depolanan görüntülere erişim sağlanmaktadır (EO-Learn, 2022a). Kütüphane içerisinde birbiri ile uç uca bağlı ve entegre bulunan ana ve alt python paketleri sayesinde, özellikle geniş alanlarda, uzaktan algılama uygulamaları kolay, hızlı ve yarı otomatik-otomatik olarak yapılabilmektedir (Jarray vd., 2021).

Bu çalışmanın ana amacı; bölgesel ölçekte arazi örtüsü ve arazi kullanım sınıflandırması çalışması yapmak ve Entegre İdare ve Kontrol Sistemi (EİKS)'nin ana bileşenlerinden biri olan Arazi Parsel Tanımlama Sistemi (APTS)'nin güncellenmesinde de altlık bir referans veri oluşturmaktır. Bu kapsamda APTS ile oluşturulan fiziksel bloklar ve 2021 yılına ait Sentinel-2 görüntüleri ile açık kaynak kodlu EO-Learn Kütüphanesi içerisindeki LightGBM (Light Gradient Boosting Machine - Hafif Gradyan Arttırma Makineleri) algoritması kullanılarak piksel tabanlı arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflandırması yapılmıştır.

Sınıflandırma sonucu ortaya çıkan sınıflar ile fiziksel blok sınıflarının karşılaştırılması sağlanmış, böylelikle APTS güncellemesine ihtiyaç duyan alanların belirlenmesi ve güncellenmesi için tüm ülke ölçeğinde altlık bir veri de üretilmiştir.

2. Arazi Parsel Tanımlama Sistemi (APTS) ve Fiziksel Blok Kavramı

EİKS, Avrupa Birliği ülkelerinde Ortak Tarım Politikası (OTP) kapsamında verilen tarımsal desteklemelerin sevk ve idaresini sağlayan bir sistemdir (Gergeli, 2008). Bu sistemin temel amacı, bilimsel metotlar kullanılarak arazi varlıklarına ait sınıfların belirlenmesi, bu sınıflar doğrultusunda kesin sınırların tanımlanması, zaman içerisinde oluşacak değişikliklerin belirlenerek, çapraz kontroller ve saha kontrolleri ile bir bilgi sistemi altında tarımsal desteklemelerin doğru bir şekilde ödenmesidir (Keser, 2007).

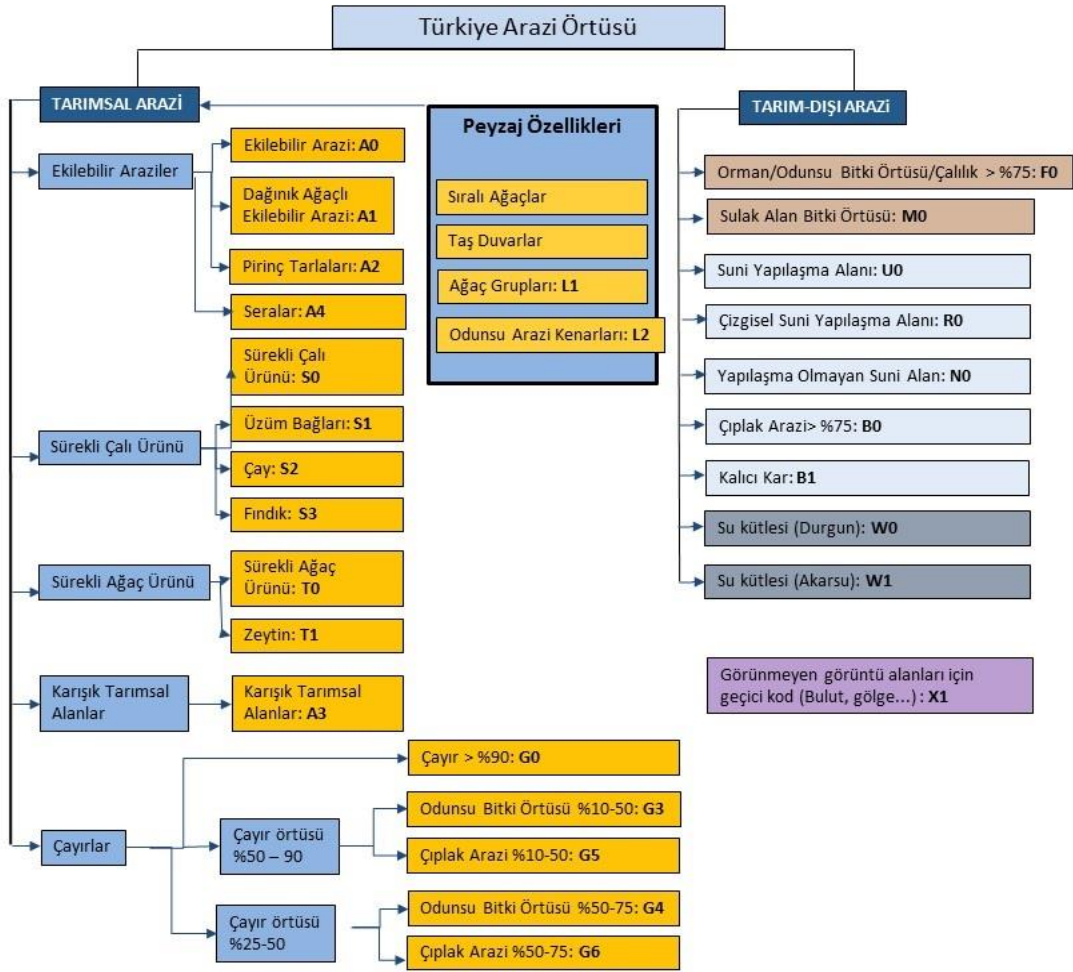
APTS, EİKS'nin alt bileşenlerinden biri olup alan bazlı destekleme için tarım parsellerinin beyan edildiği ve referans parsellerin bulunduğu coğrafi bir veri tabanıdır (Harvolk vd., 2014). APTS'nin oluşturulmasında ilk olarak referans parsel özelliğinin belirlenmesi gerekmektedir olup Avrupa Birliği bünyesindeki ülkelerde, çiftçi bloğu, kadastral parsel, tarım parseli ve fiziksel bloğu temel alan bir dizi farklı yaklaşım incelenmiş ve araştırılmıştır.

Avrupa Birliğindeki APTS'de, her bir üye ülke tarafından seçilmiş (ulusal ya da bölgesel) farklı referans parsel türlerinden (tarımsal parsel, çiftçi bloğu, fiziksel blok, kadastral sistem/topografik blok ya da bunların bir birleşimi) birini kullanmaktadır (Lüker-Jans vd., 2016). Tarım parseli, tek bir ürün grubunu kapsayan, bir çiftçi tarafından ekilen, yıllık değişiklikler gösterebilen bir referans parsel türüdür. APTS'de ürün grubunun belirlenmesinin kolay olması bir avantaj olmasına rağmen kayıtların güncel tutulmasının maliyetli olması, ürün grubunun ve parsel sınırlarının yıllık olarak değişmesinden kaynaklanan bilgilerin güncellenmesi ise tarım parseli için dezavantajdır. Çiftçi bloğu bir ya da birden fazla ürün grubuna sahip olup, bir çiftçi tarafından ekilen ve zaman içerisinde kısmen kalıcı olan bir referans parseldir. Fiziksel blok, bir veya birden fazla ürün grubunu kapsamakta olup, bir ya da birden fazla çiftçi tarafından ekilen ve yarı-kalıcı olduğu düşünülen sınırlardır. Kadastral parselleri, genellikle tarımsal üretim sınırları ile aynı geometriye sahip olmayıp, bir ya da birden fazla çiftçiye ait olup, uzun ömürlüdür. Kadastral parsellerinin en büyük avantajı tüm çiftçilerin kadastral verisine aşina olmasıdır, fakat kadastral verilerinin güncelleme sıklıklarının her yerde aynı olmaması nedeniyle tarımsal üretim yapılan arazi ile kadastral parsel sınırları arasında farklılıklar bulunmaktadır. Türkiye'de, ülkenin geniş bir alana yayılması ve tarımsal peyzajın doğal yapısı nedeniyle, APTS'nin oluşturulmasında referans parsel olarak fiziksel bloğun kullanılması uygun görülmüştür.

Bir fiziksel blok, yalnızca ulusal yönetim tarafından betimlenen (çiftçiler tarafından değil), mümkün olduğunca görülebilir olan ve nispeten kalıcı sınırlara dayanan bir üretim bloğu olarak tanımlanmıştır. Üretim bloğu, üretim yapmak veya minimum seviyede geçinmek ile ilgili, (mekânsal sürekliliği olan) tarımsal faaliyetlerin birimini, fiziksel blok ise tarımsal uygulamanın tanımlanabilir en küçük reel birimini temsil etmektedir. Fiziksel blok sınırlarının oluşturulmasında sürekli bitki deseni ve sürekli arazi örtüsü geçişi (ekilebilir arazi, çayır, sürekli bitki) geçerli sınırlar olarak kabul edilmektedir.

Kalıcı fiziksel blok sınırlarının doğru tespit edilebilmesi için bir yıl veya bir kaç yıl boyunca temin edilmiş, birden fazla görüntüye ihtiyaç duyulmaktadır. Geçmiş verilerin olmadığı durumlarda, üretim bloğu, güncel ortofoto görüntü üzerinden arazi örtüsünün yorumlanması ve ortofotoların çekildiği tarihte belirgin olan, insanlar tarafından yapılmış müdahalelerin tespiti ve bazı destekleyici bilgiler ile edilmiştir (LPIS Guideline, 2015).

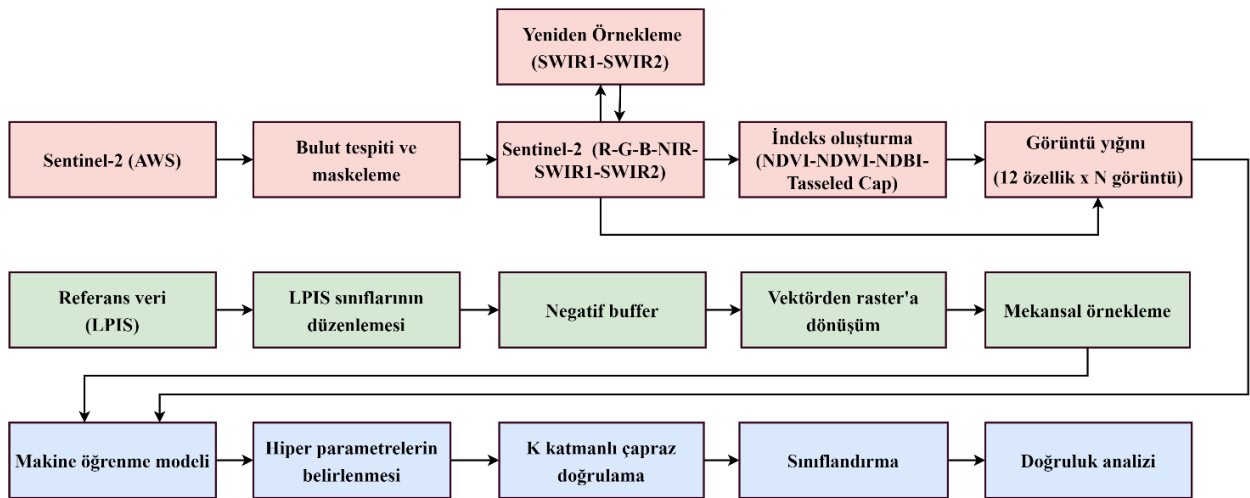
Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü bünyesinde EİKS projesi kapsamında 2016 yılına ait 1/5000 ölçekli 30 cm mekânsal çözünürlüklü hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri üzerinden oluşturulan standartlar kapsamında fiziksel bloklar çizilerek arazi örtüsü sınıfları belirlenmiş ve ülkesel ölçekte APTS oluşturulmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. APTS projesinde oluşturulan arazi örtüsü sınıfları (LPIS Guideline, 2015)

3. Materyal ve Metot

Arazi örtüsü ve arazi kullanım sınıflandırmasını gösteren iş akışı Şekil 2'de gösterilmekte olup, yöntem uydu görüntülerini işleme ve özellik oluşturma, referans verinin hazırlanması ve düzenlenmesi, makine öğrenmesi ile sınıflandırma olmak üzere 3 adımdan oluşmaktadır.



Şekil 2. Sınıflandırma akış diyagramı

3.1 Uydu Görüntüsü İşleme ve Özellik Çıkarımı

Arazi örtüsü ve arazi kullanım sınıflandırması çalışmasında Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel-2 uyduları ESA tarafından Copernicus programı kapsamında uzaya fırlatılan, 5 günlük zamansal çözünürlüğe, 10 - 20 - 60 metre mekânsal çözünürlükteki 13 spektral banda sahip pasif sensörlü yer gözlem uydularıdır. Sentinel-2 görüntüleri tarım alanlarının izlenmesi, arazi örtüsü sınıflandırması, küresel gözlem, acil durum yönetimi ve su kaynaklarının gözlemlenmesi gibi geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır.

Ülkemizde farklı bölgelerde birçok farklı üründe tarımsal üretim gerçekleşmekte olup, kışlık ve yazlık ürünler bir arada ele alındığında ekimden hasada kadar olan tarih aralığı neredeyse tüm yılı kapsamaktadır. Yapılan bu sınıflandırma çalışmasında özellikle yıl içerisinde değişiklik gösteren ekilebilir alanların doğru bir şekilde tespit edilmesi için tek bir tarih ya da tarih aralığına ait görüntü alımı yerine, kışlık ve yazlık ürünlerin ülke genelinde en yüksek vejetatif yansıma yaptığı dönemlere ait olan mart-nisan, haziran ve ağustos-eylül tarihleri aralığını kapsayan üç farklı tarihte ülke genelini kapsayan görüntüler kullanılmıştır. Sentinel uydularına ait 128 adet çerçeve ülke genelini kapsamakta olup üç farklı tarihte görüntü alınması ve yüksek yoğunluktaki bulutlu görüntülerin elemine edilmesi sonucu sınıflandırma çalışmasında 370 adet görüntü kullanılmıştır.

Çalışmanın ülkesel ölçekte olmasından kaynaklı çok büyük boyutlu veri, veri ön işleme ve makine öğrenmesi ile sınıflandırma çalışması yapılacağından Sinergise firmasının Amazon Web Servis (AWS) içerisindeki sunucularında bulunan Sentinel-2 görüntüleri ve yine bu sunucular içerisinde bulunan açık kaynak kodlu EO-Learn kütüphanesi kullanılmıştır (AWS, 2022). EO-Learn kütüphanesinde uydu görüntülerine ait bütün bilgiler (spektral bantlar, spektral bantlardan üretilen indeksler, bulut maskeleri vb.) numpy dizisi olarak zaman serisi şeklinde her bir EO-Patch'de depolanmakta olup python paketleri tarafından herhangi bir formatta okunabilen bu bilgiler EO-Patch'lerde saklanmaktadır (Medium, 2022b; Medium, 2023). Her bir EO-Patch'de raster veri haricinde, vektör veriden raster veriye dönüştürülmüş veriler de depolanmakta olup her bir EO-Patch'de projeksiyon, tarih, meta data bilgileri bulunmakta ve bu veriler makine öğrenmesi ile derin öğrenme algoritmalarıyla sınıflandırma işlemlerinde modeli oluştururken kullanılmaktadır (EO-Learn, 2022b).

Özellikle büyük alanları kapsayan ve çok zamanlı görüntülerin kullanıldığı sınıflandırma çalışmalarında, görüntü ön işleme işlemleri ile sınıflandırma çalışması yapmak çok vakit alacak olmasının yanı sıra çok yüksek kapasitede donanım ihtiyacı da gerektirmektedir. Bu nedenle çalışma yapılacak alan homojen olarak daha küçük parçalara bölünüp (EO-Patch), bütün görüntü ön işleme adımları (atmosferik uygulamalar, bulut ile kaplı alanların tespiti, bantlardan indeks oluşturma, özellik çıkarımları ve görüntü katmanı oluşturma) ve makine öğrenmesi ile sınıflandırma işlemi her bir EO-Patch'de ayrı olarak yapılmış birleştirilmiştir (Şimşek, 2023; Skakun vd., 2022). EO-Learn içerisindeki birbirine bağlı alt paketler ile entegre bir şekilde yapılan bu işlemler standart uygulamalara kıyasla çok daha hızlı ve çok yüksek donanım kapasitesine gerek olmaksızın işlem yapılmasına olanak sağlamaktadır. Çalışma alanının boyutu, sınıf sayısı, kullanılacak görüntü sayısı ve işlem yapılacak bilgisayar ya da sunucunun donanım özellikleri gibi parametreler değerlendirilerek, kullanıcı tarafından en uygun EO-Patch boyutu belirlenebilmektedir. Bu çalışmada 10x10 km boyutunda 7800 adet EO-Patch (Şekil 3) ile yaklaşık 2TB'lık raster veri sınıflandırma çalışmasında kullanılmıştır.



Şekil 3. Ülke ölçeğinde EO-Patch'lerin görünümü

Sınıflandırma işleminde 2021 yılına ait Mart-Nisan, Haziran ve Ağustos-Eylül ayları içerisinde kalan bulutsuz görüntüler seçilmiş fakat bazı tarih aralıklarında belirli orandaki bulutlu görüntülerden kaçılmamıştır.

Bulut ile kaplı alanlar, görüntülerdeki bantlarda ve bu bantlardan oluşturulmuş indekslerdeki piksel değerlerinde anomaliye sebep olmakta olup, bu durum sınıflandırma sonucu da olumsuz olarak etkileyebilmektedir (Karlsen vd., 2021). Yine bulutlardan kaynaklı parlamalar ve bulut kaynaklı oluşan gölgeler veri analizini olumsuz etkilemekte ve bu etkiler hem bantlardaki değerlerin hem de bantlardan oluşturulan indekslerdeki değerlerin değişmesine neden olarak, çeşitli analizler ile sınıflandırma işlemlerinde hataların gerçekleşmesine neden olmaktadır (Zhu ve Woodcock, 2012). EO-Learn kütüphanesi içerisinde bulunan Sen2cloudless paketi ile görüntü üzerindeki bulutlar otomatik olarak tespit edilmiş ve maskelenmiştir (GITHUB, 2022).

Sınıflandırma çalışmasında Sentinel-2 uydusuna ait B2 (Red), B3 (Green), B4 (Blue), B8 (NIR), B11 (SWIR-1) ve B12 (SWIR-2) bantları kullanılmıştır. Sınıflandırma çalışmasının başarısı seçilen algoritmanın yanı sıra kullanılan görüntülere ait spektral bantlar ve bu bantlardan üretilmiş indekslere de bağlı olmaktadır (Lu ve Weng, 2007). Bulutlu alanların tespit edilmesi ve maskelenmesi işlemlerinden sonra sınıflandırma işleminde kullanılacak bantlar ve bu bantlardan oluşturulan indeksler belirlenerek sınıflandırma işlemi dâhil edilmiştir. Özellikle tarım alanları, çayır ve meyve ağaçlarının tespitinde kırmızı bant ile klorofile duyarlı olan yakıl kızıl ötesi veya kırmızı kenar spektral bantları ve bu bantlardan elde edilen normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (Normalize Different Vegetation Index - NDVI) kullanılmakta olup başarılı sonuçlar vermektedir (Eitel vd., 2011). Arazi kullanımı çalışmalarında yerleşim alanları, suni ve yapay alanların belirlenmesinde normalize edilmiş yerleşim alan indeksi (Normalize Different Built Index - NDBI) de büyük bir avantaj sağlamaktadır (Zha vd., 2003). Çalışmada NDVI ve NDBI indekslerinin yanı sıra göllerin, sulak alanların ve akarsuların tespit edilebilmesi için de normalize edilmiş su indeksi (Normalize Different Water Index, NDWI) kullanılmıştır (Li vd., 2019). Bu indeksler dışında bantlara ait spektral bilgileri spektral göstergelere dönüştüren, parlaklık (Tasseled Cap Transformation Brightness - TCB), yeşillik (Tasseled Cap Transformation Greenness - TCG) ve ıslaklık (Tasseled Cap Transformation Wetness - TCW) indislerinden oluşan Tasseled Cap dönüşümleri de kullanılmıştır (ESRI, 2022; Kauth and Thomas, 1976). Tasseled Cap dönüşümleri EO-Learn kütüphanesinde varsayılan (default) indekslerdir.

Sınıflandırma çalışmasında 2021 yılına ait Mart-Nisan, Haziran ve Ağustos-Eylül ayları aralığını kapsayan 3 farklı zamanda çok bulutlu görüntülerin ayıklanması sonucu toplamda 370 adet görüntü ülke ölçeğinde sınıflandırma işlemine dâhil edilmiştir. Sentinel-2 uydusuna ait B2, B3, B4, B8, B11, B12 ile bu bantlardan oluşturulan NDWI, NDVI, NDBI ve Tasseled Cap dönüşümleri olmak üzere toplamda 12 farklı özellikten (banttan) oluşan görüntü katmanı oluşturulmuştur. Her bir görüntü alım tarihine ait 12 farklı bant bir dizi haline getirilerek sınıflandırma işleminde toplamda 36 banttan oluşan görüntü katmanı sınıflandırma çalışmasında kullanılmıştır. Zaman serisi şeklinde oluşturulan bu görüntü katmanı numpy formatında her bir EO-Patch'de depolanmış ve sınıflandırma çalışmasında girdi veri seti olarak dâhil edilmiştir. Ülke çapında yapılan bu sınıflandırma çalışmasında toplamda 7800 EO-Patch ile yaklaşık 2TB boyutunda bir veri seti sınıflandırma çalışmasında kullanılmıştır.

3.2. Fiziksel Blokların Seçimi ve Referans Veri Hazırlama

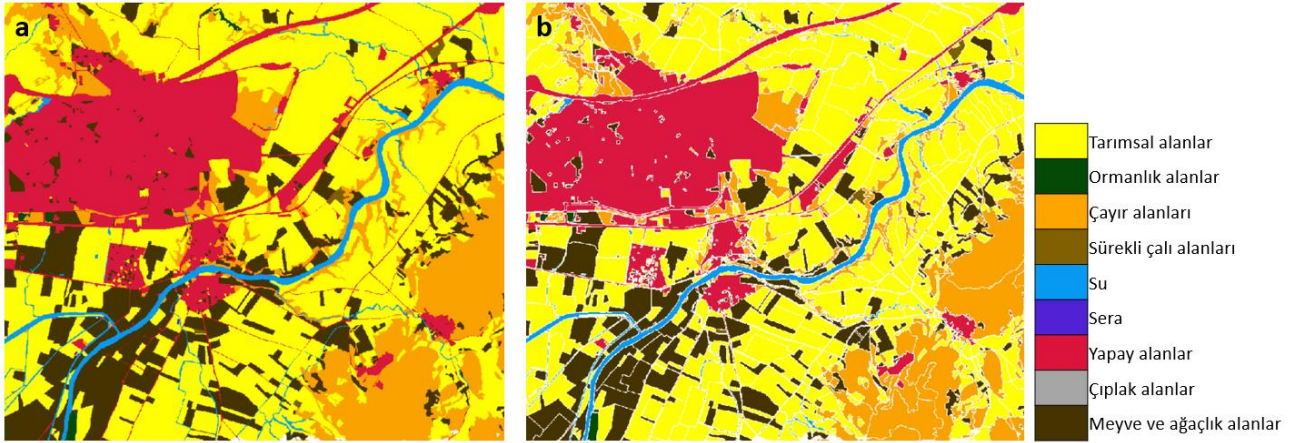
Bu çalışmada EİKS'nin alt bileşenlerinden biri olan APTS sınıfları, arazi örtüsü sınıflandırmasında referans veri olarak kullanılmıştır. Türkiye'de APTS sınıfları ekilebilir ve ekilebilir olmayan olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmış olup toplamda 24 alt sınıftan oluşmaktadır. Bu sınıflar kendi içinde benzer ve yakın türler göz önüne alınarak gruplandırılmış ve sınıflandırma işlemi için alt sınıflar oluşturulmuştur (Tablo 1).

Oluşturulan alt sınıflardan; tarımsal alanları kapsayan 3.674.961 adet, çayır ve ekilebilir olmayan alanlardan 4.714.801 adet, çıplak ve kayalık alanlardan 103.442 adet, ormanlık alanlardan 731.417 adet, yapay alanlardan 1.860.768 adet, sera 76.174 adet, sürekli çalı alanlarından 699.793 adet, meyve ağaçları ve sürekli ağaçlık alanlardan 1.170.624 adet ve sulak ile su kaplı alanlardan 452.788 adet poligon sınıflandırma çalışmasında kullanılmıştır.

Tablo 1. Arazi örtüsü ve kullanımı sınıflandırması için oluşturulan APTS sınıf gruplandırması

Arazi Örtüsü/Kullanım Sınıfları	Orijinal sınıflar	Sınıflara ait kodlar ve açıklama
Tarımsal alanlar (A)	A0	A0-Tarım alanları
	A1	A1-Dağınık ağaçlı ekilebilir arazi
	A2	A2-Pirinç tarlaları
	A3	A3-Karma tarım alanları
Çayır ve ekilebilir olmayan alanlar (G)	G0	G0-Çayır
	G3	G3- % 50-90 çayır / % 10-50 odunsu bitki örtüsü
	G4	G4- % 25-50 çayır / % 50-75 odunsu bitki örtüsü
	G5	G5-Çayırın baskın olduğu çıplak alanlara sahip çayır
G6	G6-Çayırın baskın olmadığı çıplak alanlara sahip çayır	
Çıplak ve kayalık alanlar (B)	B0	B0-Doğal çıplak alanlar
Ormanlık alanlar (F)	F0	F0-Ormanlık/ağaçlık alanlar > % 75
Yapay alanlar (P)	N0	N0-Yapılaşma olmayan suni alanlar
	R0	R0-Yollar ve demiryolları
	U0	U0-Suni yapılaşma alanları
Sera (D)	A4	A4-Seralar
Sürekli çalılı alanları (S)	S0	S0- Makilik çalılık alanlar
	S1	S1-Üzüm bağları
	S2	S2- Çay alanları
	S3	S3-Fındık alanları
Meyve ağaçları ve ağaçlık alanlar (T)	T0	T0-Sürekli ağaçlık alanlar (özellikle meyve ağaçları)
	T1	T1-Zeytin ağaçları
Su (W)	M0	M0-Doğal sulak alanlar
	W0	W0- Su kaynakları
	W1	W1-Nehir ile ilişkili nehir kenarları

Oluşturulan sınıflara ait poligon tipindeki vektör verilerde -10 metre negatif buffer işlemi uygulanmış olup (Şekil 4) vektör formattaki veri raster formata dönüştürülmüştür. Buffer işlemi ile raster formata dönüşen veride sınıflar arasındaki sınırlardan kaynaklı gürültü ve sınır piksellerin karışması elemine edilmiştir. Raster formattaki referans verinin % 30'luk kısmına karşılık gelen pikseller (kullanıcı tarafından bu değer değişkendir) sınıflandırma çalışmasında işleminde eğitim ve test verisi olarak kullanılmak üzere rastgele ve otomatik olarak seçilmiştir.



Şekil 4. a) Oluşturulan sınıflara ait orijinal poligonlar, b) negatif tampon yapılmış gösterimi

3.3. Makine Öğrenmesi ile Sınıflandırma

Çok sayıda, boyutta ve çok zamanlı görüntüler kullanılarak yapılacak sınıflandırma çalışmalarında, bantlar, indeksler, veri hacmi, çalışma alanının boyutu, doğruluk hassasiyeti ve kullanılacak donanımın özellikleri göz önüne alındığında makine öğrenmesi ile sınıflandırma işlemini yapacak en uygun modelin belirlenmesi gerekmektedir (Şimşek ve Durduran, 2023). Bu çalışmada açık kaynak kodlu EO-Learn kütüphanesinin alt kütüphanelerinden biri olan “eo-learn-ml-tools” paketi içerisindeki LightGBM makine öğrenme algoritması kullanılmıştır. LightGBM algoritması karar ağacı algoritmalarına dayanan bir boosting algoritmasıdır (LightGBM, 2023). Yüksek işlem hızı, büyük verileri işleyebilmesi, daha az kaynak (RAM) kullanımı, yüksek tahmin oranı, paralel öğrenme ve GPU öğrenimini desteklemesi gibi avantajları ile LightGBM, XGBoost, AdaBoost gibi diğer boosting algoritmaları ile karşılaştırıldığında daha avantajlı bir konumdadır (VBO, 2023).

Makine öğrenme algoritmalarında, çalışılacak veri seti göz önüne alındığında veri setinin özelliklerine göre değişkenlik gösteren parametreler hiperparametre olarak adlandırılmaktadır. Belirlenen başarı metriğine göre en uygun parametrelerin belirlenmesi işlemi ise hiper parametre optimizasyonu olarak tanımlanmaktadır (Liu vd., 2017). Hiper parametre optimizasyonu ile oluşturulan modelde yüksek başarı sağlanması ve aşırı öğrenme (overfitting) ve eksik öğrenme (underfitting) durumlarının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır (Guonin vd., 2017). Bu sınıflandırma çalışmasında gradyan tabanlı tek yönlü örnekleme (GOSS) parametresi hiper parametre olarak seçilmiştir. Gradyan tabanlı tek yönlü örnekleme ile örnek veri sayısının azaltılması (alt-örnekleme, downsampling) ve bu sayede verinin tümü yerine alt örneklem (subsampling) veri kümesinin kullanılması amaçlanmaktadır (Üstüner ve Balık Şanlı, 2020).

Tablo 2. LightGBM hiper parametreleri

Parametre	Değer
Hızlandırma türü	GOSS
Yapraktaki minimum veri sayısı	550
Güçlendirilmiş ağaç sayısı	100
Maksimum derinlik	20
Maksimum yaprak sayısı	200
Bölütleme sayısı	42

Sınıflandırma işleminde eğitim ve test verisi belirli bir orandaki yüzde ile manuel olarak ayrılmamış olup k-katmanlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Yöntem ile çalışmada kullanılacak veri seti k sayıda parçaya ayrılarak, k-1 sayıdaki alt kümeler oluşturulan modelin eğitiminde, kalan küme ise oluşturulan modelin doğruluk oranını hesaplanmak için kullanılmaktadır. İşlem her seferinde birbirinden farklı test ve eğitim verisini kullanarak k defa tekrarlanır (Kohavi, 1995). Her bir k değeri için ortaya çıkan doğruluk değerinin ortalaması alınarak modelin doğruluğu belirlenir. Bu sınıflandırma çalışmasında fiziksel bloklardan oluşan poligon formatındaki yer doğruluk verisinin %20'si test %80'i eğitim verisi olarak kullanılmış olup k değeri 5 alınmıştır. Sınıflandırma işlemi sonucunda oluşturulan sınıflara ait duyarlılık (recall), kesinlik (precision) ve F1 skor değerleri ile genel doğruluk değeri hesaplanmıştır.

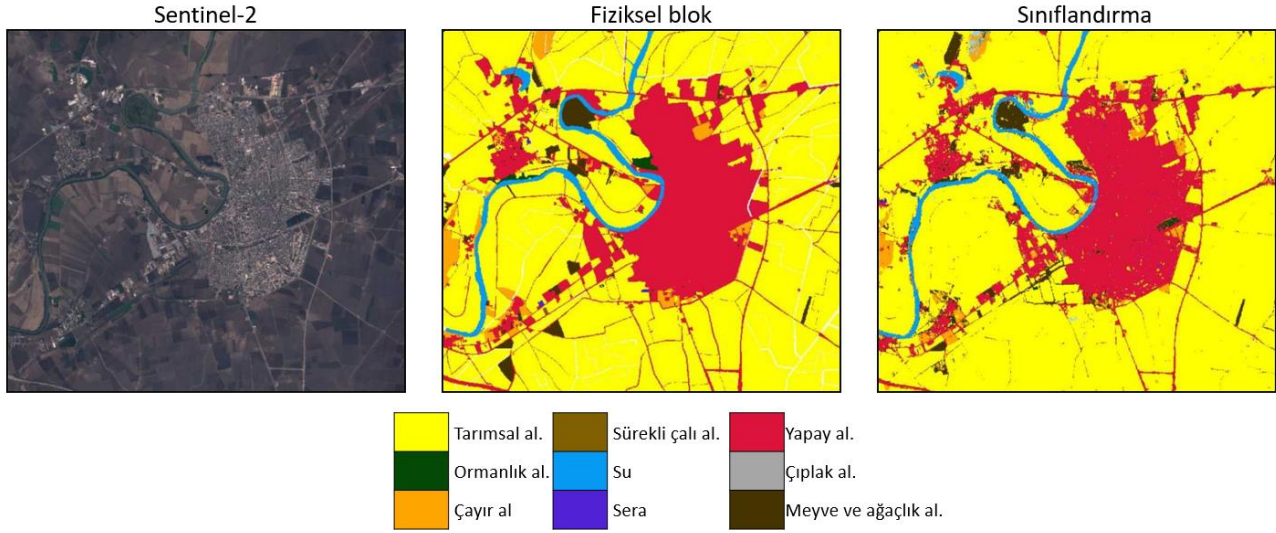
Tablo 3. Sınıflara ait hata matrisi

W	0.92	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01
A	0.01	0.89	0.03	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.02
G	0.00	0.00	0.84	0.05	0.01	0.00	0.10	0.00	0.00
B	0.01	0.00	0.00	0.83	0.04	0.10	0.00	0.01	0.01
F	0.00	0.01	0.01	0.00	0.82	0.00	0.06	0.00	0.12
P	0.01	0.00	0.03	0.08	0.00	0.81	0.00	0.08	0.00
S	0.00	0.00	0.11	0.00	0.01	0.00	0.81	0.05	0.02
D	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	0.18	0.00	0.76	0.10
T	0.01	0.03	0.02	0.00	0.15	0.00	0.10	0.00	0.70
	W	A	G	B	F	P	S	D	T

Tablo 4. Sınıflara ait F1, duyarlık (recall), kesinlik (precision) değerleri

Sınıflar	F1 skor	Recall	Precision
Tarımsal alanlar (A)	89.3	87.4	90.6
Çayır ve ekilebilir olmayan alanlar (G)	83.6	85.8	81.5
Çıplak ve kayalık alanlar (B)	83.1	77.1	89.4
Ormanlık alanlar (F)	81.8	80.4	83.7
Yapay alanlar (P)	81.3	80.7	84.2
Sera (D)	76.1	78.7	73.9
Sürekli çalı alanları (S)	80.6	75.4	86.7
Meyve ağaçları ve ağaçlık alanlar (T)	71	67.9	74.7
Su (W)	91.6	90.9	92.3
Genel doğruluk	% 86,07		

Her bir sınıf tek tek incelendiğinde, su (W) ve tarımsal alanlara ait (A) sınıfların %90 doğruluk seviyesinde olduğu, çayır ve ekilebilir alanların (G) ile sürekli çalı alanlarının (S) birbirleri ile bir miktar karıştığı, çıplak ve kayalık alanlar (B) ile yapay alanların (P) %10 seviyesinde birbirleri ile karıştığı gözlemlenmiştir. Ormanlık alanlar (F) ile meyve ağaçları ve ağaçlık alanlar (T) sınıflarının ise birbirleri ile %12 seviyesinde karıştığı tespit edilmiştir. Sera (D) alanları ile yapay alanların (P) ile yaklaşık %20 civarında karıştığı görülmüş olup, yapılan inceleme sonucu 2016 yılında sayısallaştırılan seraların güncel uydu görüntüleri ile karşılaştırıldığında bir kısmının söküldüğü ve bu sebepten dolayı doğruluğun düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Adana İli Ceyhan İlçesine ait fiziksel bloklar ve sınıflandırma sonucunun görünümü

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada APTS'nin ana bileşeni olan fiziksel bloklar ve çok zamanlı Sentinel-2 görüntüleri ile açık kaynak kodlu EO-Learn kütüphanesi kullanılarak ülkesel ölçekte arazi örtüsü ve arazi kullanım sınıflandırması çalışması yapılmıştır (Şekil 6). Sınıflandırma çalışmasında üç farklı zamanda (Mart-Nisan, Mayıs, Ağustos-Eylül) olmak üzere toplamda 370 adet Sentinel-2 görüntüsü ile 13.416.228 adet poligon (farklı sınıflara ait fiziksel blok) kullanılmıştır.

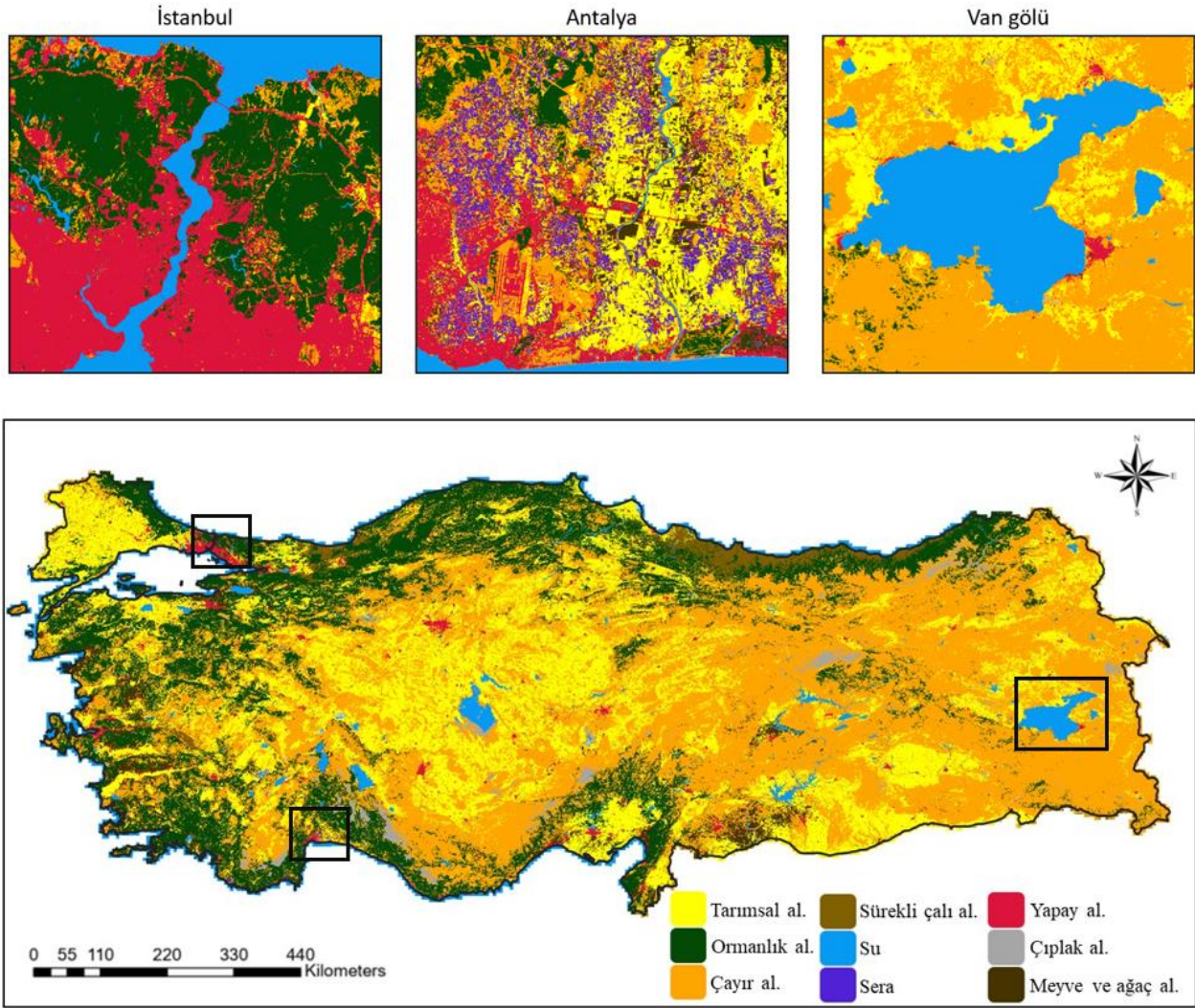
Çalışmada 2 TB boyutunda 7800 adet EO-Path (370 adet Sentinel-2) ve 45 GB boyutunda vektör veri kullanılmış olup söz konusu raster ve vektör verinin büyüklüğü ile çalışma alanının yaklaşık 780.000 km²'lik bir alanı kapsamından dolayı çok yüksek bir donanım ihtiyacı duyulduğundan lokal bilgisayarlar yerine Sinergise firmasının Amazon Web Servis (AWS) içerisindeki sunucuları kullanılmıştır (432 CPU, 848 GB RAM).

Arazi örtüsü ve kullanımının sınıflandırıldığı bu çalışmada tek bir görüntü tarihine bağlı kalınmamış olup, tarımsal alanlar, sürekli çalı alanları ve meyve ağaçları ve ağaçlık alanların daha yüksek doğrulukta tespit edilmesi sebebiyle farklı zamanlarda çekilmiş görüntüler kullanılmıştır. Sınıflandırma işleminde referans veri olarak APTS kapsamındaki 2016 yılında 30 cm'lik ortofoto görüntülerden üretilen fiziksel bloklar kullanılmış olup, eğitim veri seti olarak birbirine yakın sınıflar gruplanmıştır. Fiziksel blokların en büyük avantajı, ortofoto görüntüler üzerinden hassas bir şekilde çizilmesi olup, proje kapsamında dış kalite kontrol işlemine tabi tutulmasıdır. Dezavantajı ise yıllar içerisinde ise bazı sınıfların kendi özelliği kaybedip başka bir sınıf vasfına geçmesi olabilmektedir ki bu çalışmanın amaçlarından biri de arazi örtüsü ve kullanımı sınıflandırması sonuçları ile fiziksel blokların karşılaştırılarak değişim olan alanların tespit edilmesidir. LightGBM makine öğrenme algoritması kullanılarak yapılan sınıflandırma işlemi sonucu doğruluk analizi incelendiğinde genel doğruluğun % 86 seviyesinde olup 780.000 km² gibi çok büyük bir alanda yapılan bu çalışmanın yüksek doğrulukta sonuç verdiği görülmüştür. Su ve tarım alanlarına ait sınıflar %90 seviyesinde olup, çayır ve ekilebilir olmayan alanlar, çıplak ve kayalık alanlar, ormanlık alanlar, sürekli çalı alanları ve yapay alanlar %80-85 seviyesinde sınıflandırma doğruluğuna ulaşabilmiştir. Sera alanları %76 doğruluk seviyesinde iken meyve ağaçları ve çok yıllık ürün veren ağaçlar %71 seviyesinde kalmıştır. Diğer sınıflara kıyasla daha düşük skor veren bu sınıflar hem uydu görüntüleri hem de fiziksel bloklar ile karşılaştırıldığında, sera alanlarının özellikle yapay alanlar ile karıştığı, meyve ağaçları ile çok yıllık ürün veren ağaçlara ait sınıfın, sürekli çalı sınıfı ve orman sınıfı ile bir miktar karıştığı tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışma, farklı yüzölçümlere sahip bölgelerde yapılan arazi örtüsü ve kullanımı sınıflandırması çalışmaları ile karşılaştırıldığında, 780.000 km² gibi büyük bir alanı kapsayan çalışma alanında hiç bir sınıfın % 70 doğruluk değerinin altında olmaması, genel doğruluk değerinin ise %86,07 olması, çalışmanın belirli bir başarı ölçütünü yakaladığı

göstermekte ve çalışma alanları (yüz ölçümleri) ülkemize nazaran çok küçük olan Avrupa ülkelerinde yapılan çalışmalara kıyasla oranı tatmin edici seviyededir.

Yapılan çalışmaları detaylı olarak incelendiğinde, Sentinel-2 uydusuna ait girdi bant sayısının artırılması, Sentinel-1 uydusuna ait bantların girdi raster veri seti olarak kullanılması, daha fazla ya da farklı indekslerin sınıflandırmaya dahil edilmesi ve bu girdi veri setlerini kendi içinde kombine ederek farklı makine öğrenme ve derin öğrenme yöntemleri ile karar vericilere daha doğru ve güvenilir sonuçlar sunulabilecektir. Ülke ölçeğinde arazi örtüsü ve kullanımı ile ilgili yapılan en kapsamlı çalışma ise Türkiye'nin de içinde bulunduğu CORINE (Coordination of Information on the Environment) projesidir. CORINE, 44 ana sınıf ve 12 alt sınıf olmak üzere toplam 56 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar arasında; ormanlar, tarım alanları, su kaynakları, şehirler, endüstriyel bölgeler, maden ocakları ve doğal alanlar gibi farklı çevresel özellikleri temsil eden alanlar yer almaktadır. CORINE, AB ülkeleri tarafından ortak bir dil ve standartlar çerçevesinde çevresel durumun değerlendirilmesi ve raporlanması için kullanılmakta olup söz konusu bu çalışma CORINE çalışmasının bir alternatifi ya da mükerrer bir çalışma olduğu düşünülmemelidir, oluşturulan bu arazi örtüsü ve kullanımı sınıflandırması sınıf sayısı, sınıf içeriği, kullanımı amacı ve sınıflandırma ölçeği olarak da CORINE'den farklılık göstermektedir.



Şekil 6. Ülke sınırlarını kapsayan sınıflandırma sonucunun görünümü

Bu çalışmada, 2021 yılına ait Sentinel-2 görüntüleri ve fiziksel bloklar kullanılarak ülkesel ölçekte arazi örtüsü ve kullanımı sınıflandırma yapılmıştır (Şekil 6). Arazi örtüsü ve kullanımı sınıflandırması ile ekilebilir ve ekilemeyen alanlar, ormanlık alanlar, çıplak ve kayalık alanlar, yerleşim alanları ve su yüzeyi ile kaplı alanlar ülkesel ölçekte belirlenmiştir. Bu çalışmanın ana hedeflerinden birisi EİKS'nin ana bileşenlerinden biri olan destekleme ödemelerinin yönetimi ve kontrolünde referans bir sistem olan APTS'nin güncellenmesinde altlık olarak kullanılmasıdır. Ülkemizde APTS verisi 2016 yılında oluşturulmuş olup güncellenmesi gerekmektedir. Ülke ölçeğinde tüm verinin güncellenmesi işi zaman ve maliyet bakımından büyük bir iş yükü olup APTS kapsamındaki her sınıfının aynı ölçekte ve iş yükünde güncellenmesine de ihtiyaç duyulmaya bilinir (yapay alanlar, çıplak alanlar, sulak alanlar).

Ancak tarım alanları içerisindeki farklı arazi örtüsü sınıflarına sahip alanların ise güncellenmesi gerekmektedir (tarımsal alanlar, sürekli çalı alanları, meyve ve ağaçlık alanlar). EO-Learn kütüphanesi ile görüntülerin temin edilmesinden, uydu görüntüsü ön işlemlerine, eğitim verisinin seçiminden, makine öğrenmesi ile sınıflandırma işlemine kadar olan işlem adımları birbirine bağlı ve entegre iş modelleri ile bölgesel yada ülke ölçeğinde hızlı ve doğru bir şekilde yapılabilmektedir. Yapılan sınıflandırma sonucu ortaya çıkan sınıflar ile APTS sınıfları karşılaştırılarak, APTS verisinin güncellenmesi için Bakanlıkta oluşacak olan planlama ve iş yükü belirlenecek olup, muhtemel değişiklik nedeniyle en önce ve en çok hangi alanlara odaklanacağı ve nereden başlanacağı konusunda arazi örtüsü sınıflandırması altlık oluşturacaktır.

Kaynaklar

- AWS. (2022, Kasım 11). *Registry of open data on AWS*. Retrieved from <https://registry.opendata.aws/sentinel-2/>.
- Apaydın, C., & Abdikan, S. (2021). Fındık bahçelerinin Sentinel-2 verileri kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleriyle belirlenmesi. *Geomatik*, 6(2), 107-114.
- Candido, C., Blanco, A. C., Medina, J., Gubatanga, E., Santo, A., Ana, R. C., & Reyes, R. B. (2021). Improving the consistency of multi-temporal land cover mapping of Laguna lake watershed using light gradient boosting machine (LightGBM) approach, change detection analysis, and Markov chain. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23(5), 100565. doi: 10.1016/j.rsase.2021.100565.
- Eitel, J. U. H., Vierling, L. A., Litvak, M. E., Long, D. S., Schulthess, U., Ager, A. A., Krofcheck, D. J., & Stoscheck, L. (2011). Broadband, red-edge information from satellites improves early stress detection in a new mexico conifer woodland. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3640-3646.
- ESRI. (2022, Eylül 11). *Tasseled cap function*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/tasseled-cap-function.htm>.
- EO-Learn, (2022a, Aralık 17). *Introduction EO-Learn*. Retrieved from <https://eo-learn.readthedocs.io/en/latest/#>.
- EO-Learn, (2022b, Aralık 24). *EO-Learn core is the main subpackage which implements the basic building blocks*. Retrieved from <https://eo-learn.readthedocs.io/en/latest/examples/core/CoreOverview.html#EOPatch>.
- Gergeli, B. (2008). *AB'de Entegre İdare ve Kontrol Sistemi Bilgi Teknolojileri (IT) yapısı, ödeme kuruluşu altyapısı ile olan ilişkisi ve etkileri, Türkiye'de uygulanabilirliği* (AB Uzmanlık Tezi). Tarım ve Köy işleri Bakanlığı, Dış İlişkiler ve Avrupa Birliği Koordinasyon Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- GITHUB, (2022, Aralık 17). *Sentinel Hub's cloud dedector for Sentinel-2 imagery*. Retrieved from <https://github.com/sentinel-hub/sentinel2-cloud-detector>.
- Guolin, K., Men, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye Q., & Liu, T. Y. (2017, December). LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. In *31st Conference on Neural Information Processing Systems, 2017. Proceedings*. (pp. 1-9). NeurIPS.
- Harvolk, S., Kornatz, P., Otte, A., & Simmering, D., (2014). Using existing landscape data to assess the ecological potential of miscanthus cultivation in a marginal landscape. *GCB Bioenergy*, 6(3), 227-241.
- Jarray, N., Abbes, A. B., Rhif, M., Chouikhi, F., & Farah, I. R. (2021, July). An open source platform to estimate Soil Moisture using Machine Learning Methods based on Eo-learn library. In *International Congress of Advanced Technology and Engineering, 2021. Proceedings*. (pp. 1-5). IEEE.
- Kauth, R. J., & Thomas, G. S. (1976, June). The Tasseled Cap - a graphic description of the spectral - temporal development of agricultural crops as seen by LANDSAT. In *Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, 1976. Proceedings*. (pp. 41-59). IEEE.
- Karlsen, S. R., Stendardi, L., Tømmervik, H., Nilsen, L., Arntzen, I. M., & Cooper, E. J. (2021). Time-Series of Cloud-Free Sentinel-2 NDVI data used in mapping the onset of growth of central Spitsbergen, Svalbard. *Remote Sensing*, 13(15), 3031. doi: 10.3390/rs13153031.
- Kohavi, R. (1995, August). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In *International Joint Conference of Artificial Intelligence, 1995. Proceedings*. (pp. 1137-1145). IJCAI.
- Keser, T. Z. (2007). *Entegre idare ve kontrol sistemi, mevcut durum ve AB üye ülkeleri arasından seçilen örnekler üzerinden incelenmesi* (AB Uzmanlık Tezi). Tarım ve Köy işleri Bakanlığı, Dış İlişkiler ve Avrupa Birliği Koordinasyon Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- Langat, P. K., Kumar, L., & Koech, R. (2019). Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques. *Geomorphology*, 325, 92-102.
- Lambin, E. F., Geist, H. J., & Rindfuss, R. R. (2006). Local Processes with Global Impacts. In E.F. Lambin & H.J. Geist (Eds.), *Land-Use and Land-Cover Change: Local processes and global impacts* (pp. 1-8), Heidelberg: Springer Berlin.
- LPIS Guideline, (2015). LPIS data capture photo interpretation and digitization guidelines. Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry, Ankara, Turkey.

- Li, W., Ding, S., Chen, Y., Wang, H., & Yang, S. (2019). Transfer learning-based default prediction model for consumer credit in China. *Journal of Supercomputing*, 75(2), 862-884.
- LightGBM, (2023, Şubat 1). *Welcome to LightGBM's documentation*. Retrieved from <https://lightgbm.readthedocs.io/en/latest/index.html#>.
- Liu, L., Ji, M., & Buchroithner, M. F. (2017). Combining partial least squares and the gradient-boosting method for soil property retrieval using visible near-infrared shortwave infrared spectra. *Remote Sensing*, 9(12), 1299. doi: 10.3390/rs9121299.
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification Performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823-870.
- Lubej, M., Aleksandrov, M., Batic, M., Kadunc, M., Milcinski, G., Peressutti, D., & Zupanc, A. (2019, May). Spatio-temporal deep learning: an application to land cover classification. In *ESA Living Planet Symposium, 2019. Proceedings*. (pp. 2-5). ESA.
- Lüker-Jans, N., Simmering, D., & Otte, A. (2016). Analysing data of the integrated administration and control system (IACS) to detect patterns of agricultural land-use change at municipality level. *Landscape Online*, 48(1), 1-24. doi: 10.3097/LO.201648.
- Marston, C. G., O'Neil, A. W., Morton, R. D., Wood, C. M., & Rowland, C. S. (2023). LCM2021 - The UK land cover map 2021 [preprint]. *Earth System Science Data Discussions*, doi: 10.5194/essd-2023-78.
- Medium, (2022a, Ekim 14). *Introducing EO-Learn*. Retrieved from <https://medium.com/sentinel-hub/introducing-eo-learn-ab37f2869f5c>.
- Medium, (2022b, Kasım 8). *Land cover classification with EO-Learn*. Retrieved from <https://medium.com/sentinel-hub/land-cover-classification-with-eo-learn-part-3-c62ed9ecd405>.
- Medium, (2023, Ocak 5). *Improving cloud dedection with machine learning*. Retrieved from <https://medium.com/sentinel-hub/improving-cloud-detection-with-machine-learning-c09dc5d7cf13>.
- Pettorelli, N., Wegmann, M., Skidmore, A., Mucher, S., Dawson, T., Fernandez, M., ... Geller, G. (2016). Framing the concept of satellite remote sensing essential biodiversity variables: challenges and future directions. *Remote Sensing Ecology Conservonsevation*, 2(3), 122-131.
- Üstüner, M., & Balık Şanlı, F. (2020). Çok zamanlı polarimetrik SAR verileri ile tarımsal ürünlerin sınıflandırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 7(1), 1-10.
- Skakun, S., Wevers, J., Brockmann, C., Doxani, G., Aleksandrov, M., Batič, M., ... Žust, L. (2022), Cloud Mask Intercomparison Exercise (CMIX): An evaluation of cloud masking algorithms for Landsat 8 and Sentinel-2. *Remote Sensing of Environment*, 274, 112990, doi: 10.1016/j.rse.2022.112990.
- Şimşek, F. F. (2023). *Çiftçi kayıt verileri ve açık kaynak koldu EO-Learn Kütüphanesi kullanılarak tarımsal ürün desen tespiti ve kontrolü* (Doktora Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Şimşek, F. F., & Durduran, S. (2022), Land cover classification using Land Parcel Identification System (LPIS) data and open source EO-Learn library. *Geocarto International*. Advance online publication. doi: 10.1080/10106049.2022.2146760.
- Şimşek, F. F., & Durduran, S. (2023), Açık kaynak kodlu EO - Learn kütüphanesi ve çok zamanlı sentinel-2 görüntüleri ile tarımsal ürün sınıflandırması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 10(1), 45-62.
- Verde, N., Kokkoris, I. P., Georgiadis, C., Kaimaris, D., Dimopoulos, P., Mitsopoulos I., & Mallinis, G. (2020). National scale land cover classification for ecosystem services mapping and assessment, Using Multitemporal Copernicus EO Data And Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(20), 3303. doi: 10.3390/rs12203303.
- VBO. (2023, Ocak 13). *LightGBM*. Retrieved from <https://medium.com/sentinel-hub/introducing-eo-learn-ab37f2869f5c>.
- Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., ... Arino, O. (2021). ESA WorldCover 10 m 2020 v100 [Data set]. Zenodo. Retrieved from <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S., (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-94.
- Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2012). Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118, 83-94.

İstanbul Bakırköy İlçesinin Geçici Barınma Alanlarının Uzaktan Algılama Yöntemi ile Analizi

Analysis of Temporary Shelter Areas of Istanbul Bakırköy District with Remote Sensing Method

Aslı Sabuncu^{1*} 

¹Enfield, London/United Kingdom.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Aslı Sabuncu
aslisabuncu01@gmail.com

doi: 10.48123/rsgis.1268813

Yayın süreci

Geliş tarihi: 21.03.2023
Kabul tarihi: 14.06.2023
Basım tarihi: 28.09.2023

Özet

Kuzey Anadolu Fay Zonu Türkiye'deki en aktif tektonik yapılardan biridir. 1894 Büyük İstanbul depremi ve 1999 Kocaeli-Gölcük depremi sonrası Marmara bölgesinde yıkıcı bir deprem meydana gelmemiştir. Bilim insanları tarafından 1894 Büyük İstanbul depremi ve 1999 Kocaeli-Gölcük depremi sonrası Marmara sismik boşluğu boyunca başta İstanbul olmak üzere Marmara bölgesini etkileyecek bir deprem öngörülmektedir. Bu sebeple, beklenen olası İstanbul depremi sonrası kullanılmak üzere geçici barınma alanlarına dair ayrıntılı araştırmalara gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmada, olası İstanbul deprem sonrası afetzedelerin kullanabileceği ve ulaşabileceği alanlarının uzaktan algılama ile tespiti amaçlanmıştır. Bu çerçevede, İstanbul ili Bakırköy ilçesi pilot bölge olarak seçilmiş ve bölgeye ait ortofotolar belediyeden temin edilmiştir. Geçici barınma alanlarının seçiminde sıklıkla kullanılan büyüklük ve kapasite kriterleri pilot alanların tespitinde göz önünde bulundurulmuştur. Ortofotolardan nesne tabanlı sınıflandırma sonucu çıkarılan uygun büyüklükteki dört farklı pilot bölgenin kapasiteleri ve bölgelerde kurulacak çadır sayısı ile kalacak kişi sayısı çalışmada tartışılmıştır. İlçenin nüfusu ve bina stoğu göz önüne alındığında belirlenen alanların genişletilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Geçici barınma alanları, Olası İstanbul depremi, Uzaktan algılama, 1894 büyük İstanbul depremi, Marmara sismik boşluğu

Abstract

The North Anatolian Fault Zone is one of the most active tectonic elements in Turkey. After the 1894 Great Istanbul earthquake and 1999 Kocaeli Gölcük earthquake no destructive earthquake occurred in the Marmara region. After the 1894 Great Istanbul earthquake and 1999 Kocaeli-Gölcük earthquake, scientists predict an earthquake that will affect the Marmara region, especially Istanbul, along the Marmara seismic gap. For this reason, there is a need for detailed research on temporary shelter areas to be used after the expected possible Istanbul earthquake. In this study, it is aimed to determine the temporary shelter areas that the disaster victims can use and reach after the possible Istanbul earthquake by remote sensing. In this framework, Bakırköy district of Istanbul province was chosen as the pilot region and orthophotos of the region were obtained from the municipality. Size and capacity criteria, which are frequently used in the selection of temporary shelter areas, were taken into consideration in the selection of pilot areas in the region. In the study, the capacities of four different pilot regions of suitable size, which were obtained as a result of object-based classification from orthophotos, and the number of tents to be set up in the regions and the number of people to stay were discussed. It was concluded that the temporary shelter areas should be expanded when the population and building stock of Bakırköy district are considered.

Keywords: Temporary shelter areas, Possible İstanbul earthquake, Remote sensing, 1894 Great İstanbul earthquake, Marmara seismic gap

1. Giriş

Son yirmi yılda coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama, bilgi ve uydu teknolojisinde yaşanan olumlu gelişmeler, farklı bilimsel çalışma ve uygulamalarının yapılmasına yol açmıştır. Afet yönetimi de bu araştırma konularından biridir. Toplumların sosyolojik ve ekonomik faaliyetlerini negatif yönde etkileyen ve aksatan, insanlara, canlılara ve çevreye önemli zararlar veren, büyük oranda can ve mal kayıplarına ve bunun yanı sıra ağır ve travmatik yaralanmalara neden olan insanların kontrolü dışında meydana gelen olaylar doğa kaynaklı afet olarak tanımlanmaktadır. FEMA'nın (Federal Emergency Management Agency) yapmış olduğu çalışmaya göre afetler, doğal ve teknolojik olmak üzere iki sınıf altında incelenmektedir (FEMA, 2023). Jeofiziksel, meteorolojik, hidrolojik, iklimsel ve biyolojik afetler doğal afet sınıfında iken kazalar, patlamalar, savaşlar teknolojik afet sınıfına girmektedir. EM-DAT'a (The Emergency Events Database) göre doğal afetler altı alt başlıkta gruplandırılmıştır. Bunlar sırasıyla jeofiziksel (deprem, volkanik hareketler, toprak kayması vb.), hidrolojik (sel, ıslak toprak kayması vb.), iklimsel (kuraklık, aşırı sıcaklık, yangınlar (orman yangınları)), meteorolojik (fırtına, şiddetli yağış vb.), biyolojik (salgın hastalık, böcek istilası vb.) ve dünya dışı (meteor düşmesi, güneş patlamaları) afetlerdir (Şekil 1) (EM-DAT, 2023).



Şekil 1. EM-DAT'a göre doğal afetlerin sınıflandırılması (EM-DAT, 2023).

Günümüzde Çevre ve Şehircilik Bakanlığının eski adıyla Bayındırlık ve İskân Bakanlığının yaptığı çalışmaya göre afetin büyüklüğü, can kayıpları, yaralanmalar, binalardaki hasarlar, sosyal ve ekonomik kayıpların büyüklükleri ile ölçülmektedir (BİB, 2004). Doğal afetlerin birçoğunun ne zaman olacağı tam olarak bilinmemekle birlikte yapılan ve yürütülen bilimsel çalışmalar sayesinde bilim insanları doğal afetler öncesi ve sırasında gerekli önlemleri alabilmek ve oluşabilecek riskleri en aza indirmek için araştırmalarını devam ettirmektedir. Dünyanın en aktif tektonik yapılarından biri olan Alp-Himalaya fay sistemi üzerinde yer alan Türkiye, yüzyıllardır depremlere maruz kalmaktadır. 36 ülkeyi kapsayan OECD'nin ("Organisation for Economic Co-operation and Development") hazırlamış olduğu rapora göre Türkiye, bir yıl içinde yaşanan afet sayısı bakımından dördüncü, afetlerin yol açtığı hasarlar bakımından ise yedinci sıradadır. Ayrıca meydana gelen her bir afet, Türkiye ekonomisine 1,67 milyar dolar zarara neden olmaktadır (Shelterprojects, 2022).

Türkiye'nin bir afet ülkesi olması sebebi ile olası bir doğal afet sonrasında, kentsel alanlardaki toplanma ve geçici barınma alanlarının stratejik olarak planlanması ve eğer var ise eksikliklerinin bir an önce giderilmesi gerekmektedir. İstanbul genelinde toplanma alanlarına ve geçici barınma alanlarına dair yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Gerçekleştirilen uygulamaların sonuçları incelendiğinde olası İstanbul depremi için geçici barınma alanlarının, İstanbul nüfusu göz önüne alındığında yeterli olmadığı görülmektedir. Bu nedenle, uygun özelliklere sahip geçici barınma alanlarının afetlerin yaşanmasından daha önce belirlenmesi ihtiyacı doğmaktadır.

Toplanma alanı ve geçici barınma alanı kavramları sıklıkla karıştırılan kavramlar olup Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı'nın (AFAD) 2020 yılında yapmış olduğu açıklama ile aralarındaki fark ortaya konulmuştur. Toplanma alanları, afet ve acil durum sonrası geçici barınma alanlarının hazır olana kadar geçen sürede halkın tehlikeli bölgelerden uzaklaşarak kendini güvende hissedeceği ve ilk müdahalelerin yapılacağı güvenli alanlardır. Geçici barınma alanları ise afet veya acil durum sonrası halkın kalıcı konutlara geçmeden önce barınabileceği ve çadırkent ile konteyner kentlerin kurulabileceği ve belirli kriterlere sahip olan alanlardır (AFAD, 2020). Ancak zaman zaman ulusal ve uluslararası literatürde bu iki farklı kavram karıştırılmakta ve bu kavram bazı çalışmalarda toplanma alanı olarak geçmektedir.

Bu sebeple yapılmış ve yayınlanmış önceki bilimsel çalışmalarda geçici barınma alanı değil toplanma alanı ifadesi kullanılmıştır. Ancak İstanbul ili Bakırköy ilçesi sınırları içinde gerçekleştirilen bu çalışmada ise toplanma alanı değil halkın afet veya acil durum sonrası kalıcı konutlara geçmeden konaklayabileceği ve barınabileceği geçici barınma alanlarının hesaplamaları yapılmış ve uygunlukları ortaya konulmuştur.

Toplanma ve geçici barınma alanlarıyla ilgili yapılmış çalışmalar için literatür taraması yapıldığında mühendislik disiplinin yanı sıra sosyal bilimler disiplini ile de çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Afet yönetimi kapsamında literatürde sıklıkla karşılaşılan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi ile yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Gökgez vd., (2020) yapmış olduğu çalışmada acil durum toplanma alanlarının belirlenmesinde ÇKKV yönteminin Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile toplanma alanlarının büyüklüklerini irdelemiştir. ÇKKV yönteminin AHP ile afet yönetiminde oldukça sıklıkla kullanıldığı literatür taramasında açıkça görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları sırasıyla AHP yöntemi ile acil lojistik merkezi seçimi Hong ve Xiaohua (2011), AHP yöntemi ile deprem acil barınağının değerlendirilmesi Cheng ve Yang (2012), AHP ve coğrafi bilgi sistemi yöntemleri ile heyelan duyarlılık haritalarının değerlendirilmesi (Aghlmand vd., 2020) gelmektedir. Rezaei (2014) İstanbul ilindeki geçici barınma alanlarının yer seçiminin belirli bir model ile belirlendikten sonra AHP yöntemi ile değerlendirmesini yapmıştır.

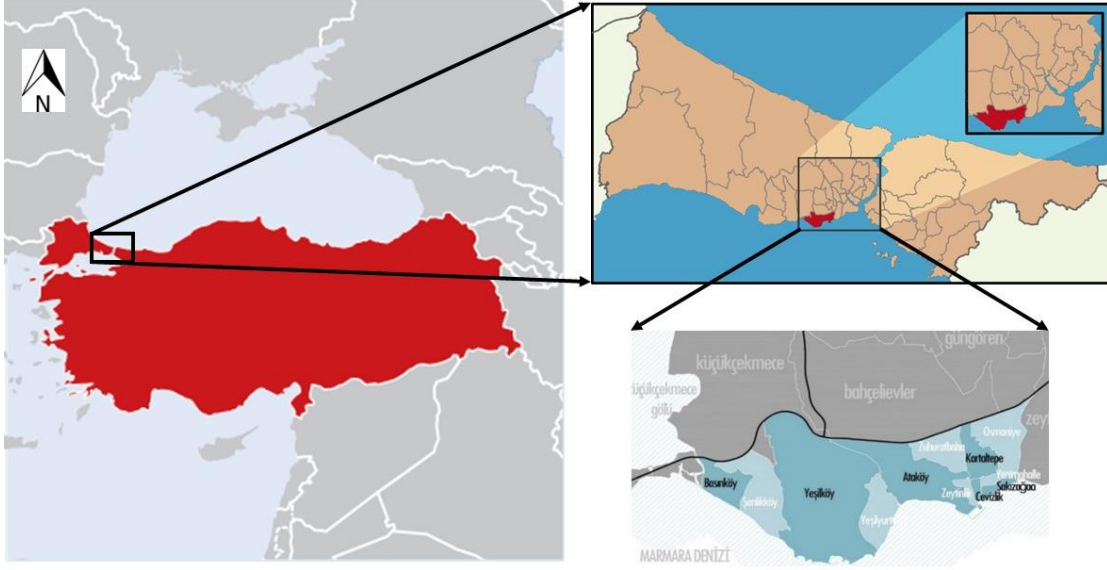
Afet sonrası toplanma alanlarının belirlenmesi uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi (CBS) teknolojileri ile de gerçekleştirilmektedir. Özkılıç (2020) yapmış olduğu çalışmada İstanbul ilinde deprem sonrası kullanılacak toplanma alanlarının kapasitelerinin ve ulaşılabilirliklerini coğrafi bilgi sistemleri ile irdelemiştir. Şahin (2022) tezinde Malatya ilinde beklenen bir deprem sonrası belirlenmiş acil durum toplanma alanlarının yeterliliklerini incelemiştir. Aman (2019) doktora tezinde İstanbul ili Bağcılar ilçesini pilot bölge olarak seçmiş ve olası İstanbul depremi sonrası toplanma alanlarının yeterliliklerini incelemiştir.

Uzaktan algılama ile topoğrafik harita üretimi, arazi örtüsü ve arazi kullanımı haritaları, deprem araştırmaları, jeotermal araştırmalar, fay, çizgisellik ve kırıkların tanımlanması, deniz, göl, akarsu kirliliğinin tespiti, sel, baskın haritaları ve hasar tespiti, orman yangınının izlenmesi ve müdahalesi, toprak haritalarının çıkartılması, rekolte tahmini, böceklenme vb. konularda çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Sözü edilen bu çalışmalarda veri seti olarak uydu verileri ve ortofotolar kullanılmaktadır. Bu çalışmaların çıktıları tematik haritalar olup bu haritaları elde etmek için uzaktan algılamanın sıklıkla başvurduğu teknik olan sınıflandırma tekniği uygulanmaktadır. Görüntü sınıflandırma, piksel tabanlı ve nesne tabanlı sınıflandırma olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir. Piksel tabanlı sınıflandırmada görüntü üzerindeki piksellerin spektral değerleri ile çalışılırken nesne tabanlı sınıflandırmada görüntü üzerindeki tekil pikseller değil aynı veya yakın spektral özelliklere sahip piksel gruplarıyla oluşmuş nesne gruplarının homojen olarak oluşması ve bu nesne gruplarının sınıflandırılması ile yapılmaktadır. Ayrıca sınıflandırma yöntemleri ise kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır. Kontrolsüz sınıflandırmada genelde arazi hakkında bir ön bilgiye sahip değilken kontrollü sınıflandırmada arazi hakkında eğitim verisine sahip olunur.

Literatürde yapılmış çalışmalar incelendiğinde gerçekleştirilmiş tüm çalışmalarda toplanma ve/veya geçici barınma alanlarının tespitinin farklı algoritmalar ile yapıldığı ya da mevcutta hazır olan toplanma ve/veya geçici barınma alanlarının yeterliliklerinin araştırıldığı görülmektedir. Bu çalışmada ise olası İstanbul depremi sonrası en çok etkilenmesi beklenen ilçe olan Bakırköy pilot bölge olarak seçilmiş ve bölgede afet sonrası kurulması planlanan geçici barınma alanlarının belirlenmesi işlemi önceki bilimsel çalışmalardan farklı olarak uzaktan algılama teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Ortofoto verilerinden geçici barınma alanlarının tespiti nesne tabanlı sınıflandırma ile yapılmış ve ardından alanların hesaplanması ve ne kadar kişinin barınabileceği hesaplanmıştır. Geçici barınma alanlarının tespitinde büyüklük ve kapasite kriterleri göz önüne alınmıştır. Literatür taraması yapıldığında toplanma veya geçici barınma alanlarının belirlenmesinde daha önce ortofotolar kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırılma ve tespit edilen alanların hesaplanması işlemleri yapılmamıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçları öncül sonuçlar olup, coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yöntemleri yardımı ile daha farklı katmanları katarak optimum sonuçlara ulaşılması hedeflenmektedir.

2. Çalışma Bölgesi

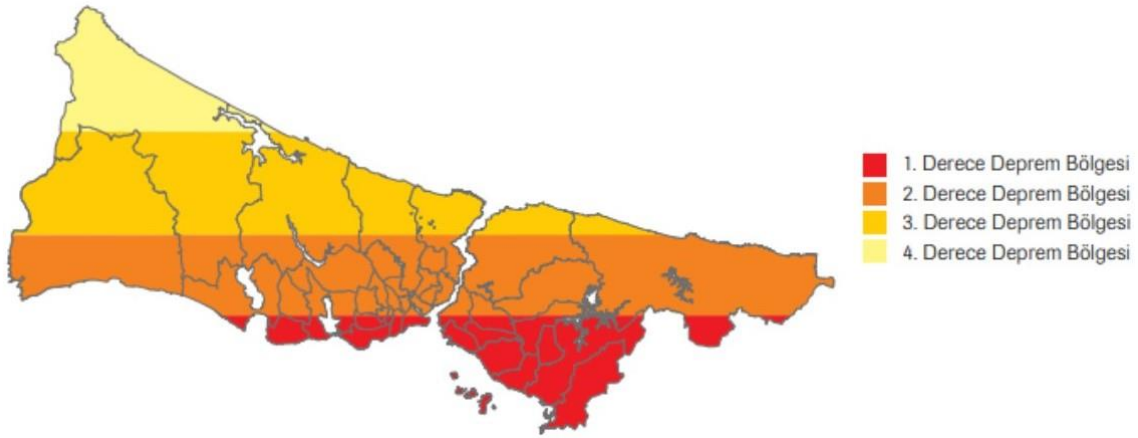
İstanbul, Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara denizine komşu ve Boğaziçi boyunca konumlanmış Türkiye'nin en kalabalık şehridir. Çalışma bölgesi olarak seçilen Bakırköy ilçesi, İstanbul'un 39 ilçesinden biri olup, İstanbul'un Avrupa yakasında yer almaktadır. Konumu gereği kuzeyinde Bahçelievler, güneyinde Marmara Denizi, doğusunda Zeytinburnu ve batısında Küçükçekmece ilçesi bulunmaktadır (Şekil 2). 29,22 km² alana kurulu olan Bakırköy 15 mahalleden oluşmaktadır. Bakırköy ilçesinin son nüfus sayımına göre toplam nüfusu 226.685 olarak hesaplanmıştır (TUIK, 2022). Beklenen İstanbul depremi sonrası kırılması öngörülen Kuzey Anadolu Fay hattına en yakın mesafedeki ilçelerden biri olan Bakırköy ilçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu bölgenin seçilmesinin ana nedeni Kuzey Anadolu Fay hattına en yakın ilçe olması ve ilçenin yapı stoğunun eski tarihli olmasıdır. Meydana gelecek olan olası İstanbul depremi sonrası bölgedeki yaşlı binaların ağır hasar alması nedeniyle ilçede afetzedeler için geçici barınma alanlarına ihtiyaç duyulacağı öngörülmektedir.



Şekil 2: Çalışma bölgesi olarak seçilmiş olan İstanbul ili- Bakırköy ilçesi

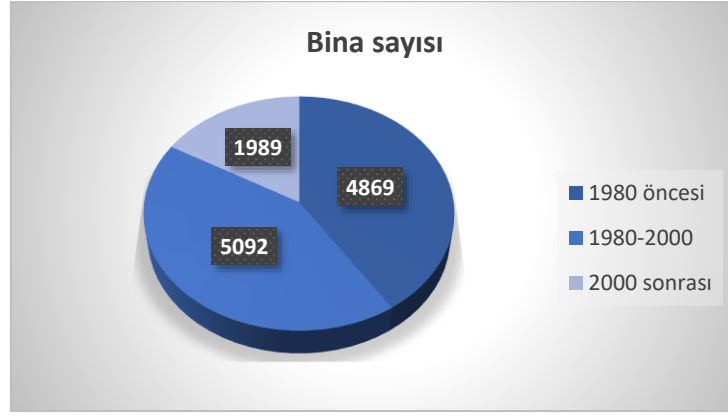
3. Bakırköy İlçesi Deprem Riski

Çalışma bölgesi olarak Bakırköy ilçesinin seçilmesinin sebepleri sırasıyla Marmara denizinin içinden geçen Kuzey Anadolu Fay hattına en yakın mesafede yer alan ilçelerden biri olması, zemini nedeniyle 1. derece deprem riski kategorisi içinde yer almasıdır (Şekil 3).



Şekil 3: Çalışma bölgesi olarak seçilmiş olan İstanbul ilinin deprem risk haritası (İPKB, 2022)

İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin (İBB) hazırlamış olduğu "İstanbul İli Olası Deprem Kayıp Tahminlerinin Güncellenmesi Projesi'ne" göre Bakırköy ilçesinde 11.950 adet bina analiz edilmiştir. Analiz edilen binalar yapım yıllarına göre incelendiğinde 4869 adet bina 1980 yılı öncesi, 5092 adet bina 1980-2000 yılları arası ve 1989 adet bina ise 2000 yılı ve sonrası inşa edilmiştir (Şekil 4). Analizi yapılan 11.950 binanın % 91'i betonarme yapıdır. Deprem sonrası binaların alacağı hasarlar; hasarsız, orta, ağır ve çok ağır hasar olarak sınıflandırılmıştır. Yapılan analizde deprem sonrası orta, ağır ve çok ağır hasarlı binalara girilemeyeceği öngörülmektedir. Bu sebeple yapılan hesaplamalara göre 11.950 binanın ortalama %45.87'si yaklaşık 5482 bina ve yapı orta ve daha ağır seviyede hasar göreceği öngörülmektedir (İBB, 2023).



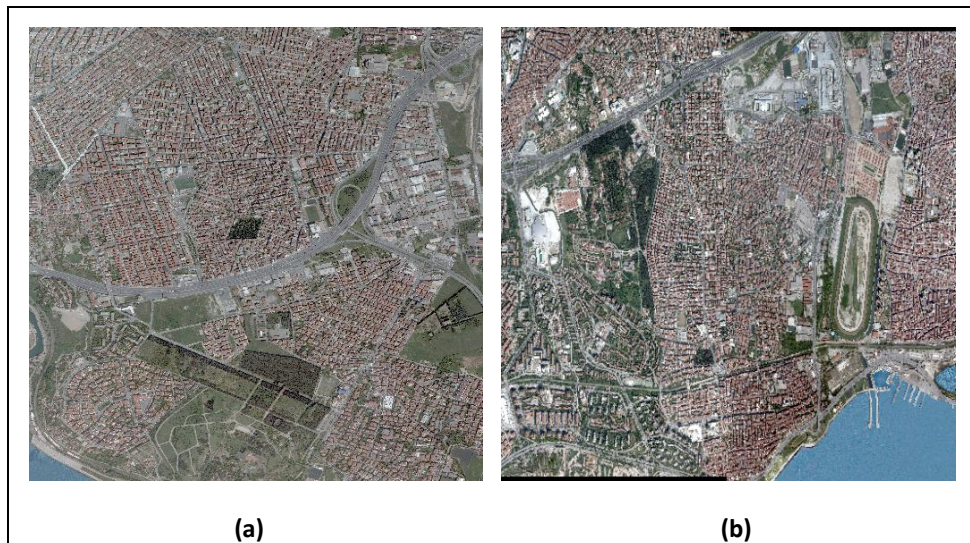
Şekil 4: İstanbul ili Bakırköy ilçesi binaların yapım yılları ve sayısı

Bakırköy ilçesinde analiz edilmiş 11.950 adet bina kat sayıları bakımından incelendiğinde ise 6372 adet bina (% 53) 1-4 katlı, 5388 adet bina (% 45) 5-8 katlı olup geri kalan 190 adet bina (%2) 9-19 katlıdır. Binaların yapılış yılları baz alındığında ise yaklaşık % 84'ünün 2000 ve öncesinde yapıldığı görülmektedir. Ayrıca yapılmış olan çalışmada Mw:7.5 büyüklüğünde senaryo depremi üzerine çalışılmış ve yukarıda bahsedilen bina stoklarının durumları da göz önüne alındıktan sonra çıkan sonuçlara göre 28.910 hanenin acil barınma ihtiyacı ortaya çıkacağı öngörülmüştür. Haneler ortalama olarak 3 kişi olarak hesaplandığında ise 86.730 kişinin acil barınma ihtiyacı olacağı öngörülmektedir (İBB, 2023). Bu sebeple de geçici barınma alanlarının ivedilikle iyileştirilmesi gerekmektedir. Sadece Bakırköy belediyesi sınırları dahilinde bile yapılmış senaryo depremlerin çıktıkları incelendiğinde yaklaşık 28.910 çadıra ve bunun akabinde bu çadırların kurulabileceği geçici barınma alanlarına ihtiyaç bulunmaktadır.

İstanbul ili Bakırköy ilçesi olarak seçilen bu çalışmada da geçici barınma alanlarının sınırları belirlendikten sonra alansal olarak hesaplamaları yapılmış ve her bir bölgeye kaç adet afet çadırının kurulabileceği bulunmuştur. Çıkan sonuçlar İBB'nin hazırlamış olduğu senaryo depremi sonuçları ile tutarlı olduğu gözlenmiştir.

4. Veri Seti

İstanbul ilinin Bakırköy ilçesi çalışma için pilot bölge olarak seçilmiştir. Seçilen bölgeye ait ortofotolar, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından 2010 yılında alımı yapılmış olup verilerin işlenmesinde kullanılmıştır. İlçe sınırlarının tamamı 10 adet ortofotodan oluşmaktadır. Ortofotolar 1/5000 ölçekli olup 30 cm mekânsal çözünürlüklü ve 3 (KYM) bantlıdır. Şekil 5'te ilçeye ait 2 farklı bölgenin ortofoto görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5: Bakırköy ilçesinin iki farklı alanın ortofotoları: a) Basınköy ve Şenlikköy mahalleleri, b) Ataköy, Cevizlik, Kartaltepe, Osmaniye mahalleleri

5. Geçici Barınma Alanlarının Belirlenmesindeki Kriterler ve Standartlar

Afet sonrası halkın kolaylıkla ve ivedilikle ulaşması gereken, insanların kendilerini ve ailelerini güvende hissedebilecekleri ve afet riski taşımayan güvenli ve geniş alanlar toplanma alanı olarak tanımlanmaktadır (Çınar vd., 2018). Afet öncesi belirlenmiş toplanma alanları halkın kısa süreli ihtiyaçlarını karşılayan yerlerdir. Meydana gelen bir doğal afet sonrası ilk 12-24 saatlik zaman dilimi, afetzedelerin önceden belirlenmiş ve korunaklı toplanma alanlarına ulaşabilmesi ile yerel sağlık kuruluşları ve yetkililerin halkı bilgilendirmesi ve olası kaosa neden olacak olayların önüne geçilmesi açısından önem teşkil etmektedir. Ancak afetzedelerin kalıcı konutlarda yaşamaya başlayana kadar geçen sürede konaklayacağı ve barınacağı alanlar geçici barınma alanlarıdır. Bu sebeple geçici barınma alanlarında elektrik, su, kanalizasyon, haberleşme, iletişim vb. temel altyapılarının kurulması gereklidir.

Kentsel alanlar ile büyük şehirlerde olası bir doğal afet karşısında geçici barınma alanlarının konumlarının afet öncesi stratejik olarak tespit edilmesi gereklidir. Tespit edilen yerler incelendiğinde eksiklikleri var ise giderilmeye çalışılmalıdır. Geçici barınma alanlarının afet öncesi belirlenmesi için literatür taraması yapıldığında birçok çalışma görülmektedir. Aman (2019) yapmış olduğu çalışmada geçici barınma alanlarıyla ilgili daha önce gerçekleştirilmiş bilimsel çalışmaları derlemiş ve en sık kullanılan kriterleri belirlemiştir. Gerçekleştirilmiş bilimsel çalışmalar çerçevesinde geçici barınma alanlarının belirlenmesinde 34 adet kriter olduğu görülmüş ancak bu 34 kriterden en önemli ve her çalışmada karşımıza çıkan 10 adet kriter aşağıda sıralanmıştır.

- Ulaşılabilirlik,
- Alansal büyüklük ve kapasite
- Yol aksları ve bağlantıları,
- Kullanılabilirlik ve çok fonksiyonluluk,
- Su kaynaklarına uzaklık
- Altyapı
- Jeolojisi ve fay hatlarına uzaklık
- Mülkiyet hakkı
- Asayiş ve güvenlik
- Tehlikeli yapılara uzaklık, (Aman, 2019; Anand vd., 2015; Aksoy vd., 2009; Çelik vd., 2017; JICA, 2002; Soltani vd., 2014; Tarabanis ve Tsionas, 1999, Wei vd., 2012).

Bir afet sonrası geçici barınma alanlarında, barınak alanındaki her kişiye en az 3,5 m² kapalı yaşam alanı tahsis edilmelidir. Ortalama dört kişilik bir ailenin yaşayabileceği standart çadırın kapladığı alan ise 16.5 m² (Türk Kızılayı, 2023). Ayrıca, eğer altyapı tesisleri, yollar, okullar, çarşılar, eczaneler, depolama tesisleri, barınak yerleri vb. kısımları da geçici barınma alanlarına katıldığında dört kişilik bir haneye düşen alan 45 m² olarak hesaplanmaktadır. (Çınar vd., 2018; Anhorn ve Khazaj, 2015).

Yukarıda belirtilen on farklı kriterden alansal büyüklük ve kapasite kriteri bu çalışmada göz önüne alınarak Bakırköy ilçesi için afet sonrası olası geçici barınma alanları belirlenmiştir.

6. Yöntem

Olası İstanbul depremi için geçici barınma alanlarının tespitinin uzaktan algılama yöntemi ile incelenmesini içeren çalışma şeması şekil 6'da verilmiştir.



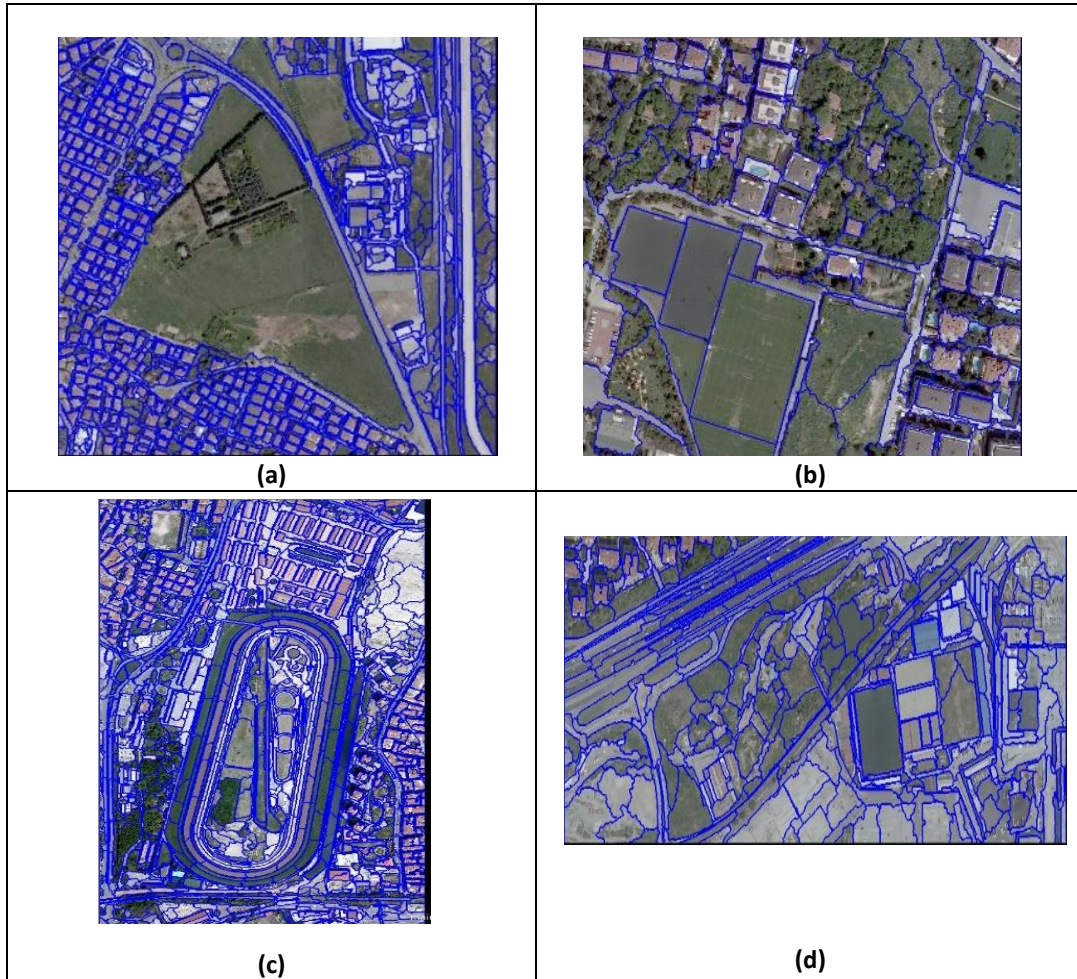
Şekil 6. İş akış şeması

İlk olarak çalışmada kullanılacak pilot bölge seçilmiştir. Bu bölgeye ait veri seti olarak ortofoto seçilmiş ve bölgeye ait ortofotolar belediyeden temin edilmiştir. Elde edilen verilere ön işlemler yapılması gerekmektedir. Bu sebeple verilerin birleştirilmesi, çalışma alanlarının kesilip bütün veriden çıkarılması işlemi iş akışının üçüncü aşaması olarak uygulanmıştır. Çalışmada olası geçici barınma alanlarının tespiti için uzaktan algılama tekniklerinden nesne tabanlı sınıflandırma algoritması iş akışının dördüncü aşaması olarak uygulanmıştır. Son aşama ise belirlenen alanların kaç metre karelik alan olduğunun hesaplanması işlemidir.

6.1. Nesne Tabanlı Sınıflandırma

Uzaktan algılamada sınıflandırma nesne tabanlı ve piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Uygulamada temin edilen ortofotolara gerekli ön işlemler yapılmış ve nesne tabanlı sınıflandırma adımına geçilmiştir. Nesne tabanlı sınıflandırma işleminin amacı görüntü üzerinde yer alan tekil pikselleri değil aynı veya yakın spektral özelliklere sahip piksellerin gruplandırılarak nesne gruplarının homojen olarak oluşturulması ve bu nesne gruplarının sınıflandırılması temeline dayanmaktadır (Fisher, 1997; Blaschke, 2010).

Nesne tabanlı sınıflandırma işlemi farklı adımlardan oluşmaktadır. İlk adım segmentasyondur. Bu adımda benzer veya aynı spektral özelliklere ait pikseller gruplandırılarak yeni ve anlamlı nesne grupları elde edilmiş olur (Myint vd., 2011). Segmentasyon, “yukarıdan-aşağıya (topdown) ve aşağıdan-yukarıya (bottom-up)” olmak üzere iki farklı yöntem olarak çalışmalarda uygulanır (Definiens, 2012). Bu çalışmada aşağıdan-yukarıya yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca “aşağıdan- yukarıya” yönteminde en çok çoklu çözünürlüklü segmentasyon (“Multiresolution Segmentation”) kullanılmaktadır. Çoklu çözünürlüklü segmentasyonda kullanıcı, uygulamadaki değişkenleri belirlemektedir ve bu değişkenler gerçeğe en yakın şekilde seçilmelidir. Bu değişkenler ölçek, renk-şekil, yumuşaklık-yoğunluktur (Sabuncu, 2018). Uygulamada kullanılan değişkenler tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca seçilen değişkenler sonucu elde edilen segmentasyonlar şekil 7’de gösterilmiştir. Çalışmada sınıflandırma Definiens eCognition yazılımında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7: Bakırköy ilçesinde seçilen 4 farklı pilot bölgenin segmentasyon sonuçları: a) Bakırköy 1.bölge, b) Bakırköy 2.bölge, c) Bakırköy 3.bölge, d) Bakırköy 4.bölge

Tablo 1: Pilot bölgelerde uygulanan segmentasyon değişkenleri ve değerleri

Pilot Bölge	Girilen değişkenler ve değerler				
	Ölçek	Renk	Şekil	Yumuşaklık	Yoğunluk
Bakırköy 1.bölge	120	0.3	0.7	0.6	0.4
Bakırköy 2.bölge	120	0.2	0.8	0.5	0.5
Bakırköy 3.bölge	150	0.3	0.7	0.5	0.5
Bakırköy 4.bölge	120	0.3	0.7	0.6	0.4

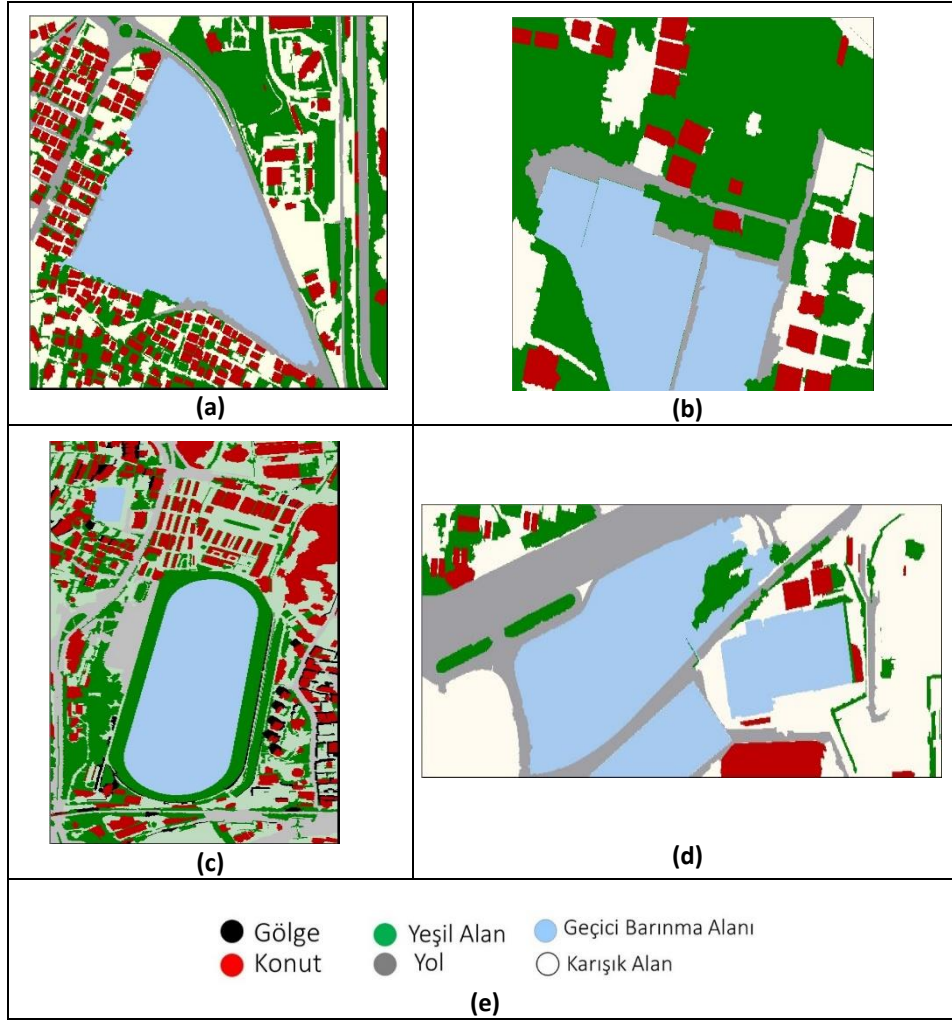
6.2 En Yakın Komşuluk Algoritması ile Sınıflandırma

Çoklu çözünürlüklü segmentasyon adımı tamamlandıktan sonra ikinci aşama olan sınıflandırma adımına geçilmiştir. eCognition yazılımının içinde iki temel sınıflandırma algoritması bulunmaktadır: Bunlar Bulanık üyelik (Fuzzy membership) ve En yakın komşuluktur (Nearest Neighbour). En yakın komşuluk algoritmasının amacı kullanıcının her sınıf için örnek nesnelere kullanıp sınıf tanımlamaları yapması ve sınıflandırmayı gerçekleştirmesidir. Bu çalışmada da en yakın komşuluk algoritması ortofotolarla uygulanmıştır.

Ortofoto görüntülerine uygulanan en yakın komşuluk yönteminde üç farklı özellik (“şekil, spektral ve doku”) göz önüne alınarak pilot bölgelerde altı sınıf belirlenmiştir. Bu sınıflar; gölge, karışık alan, konut, geçici barınma alanı (olası), yeşil alan ve yoldur. Kullanılan veriler üç bant içerdiği için sadece bantlarla değil aynı zamanda görüntülerdeki doku, şekil özelliklerinden de yararlanılmıştır. Sınıflandırma sonucu elde edilen sınıfların ve kullanılan algoritmaları tablo 2’de gösterilmiştir. Sınıflandırma sonuçları ise şekil 8’de verilmiştir.

Tablo 2: Nesne tabanlı sınıflandırma sonucu elde edilen sınıflar ve kullanılan algoritmalar

Sınıf	Kullanılan Algoritma ve Yöntem
Gölge	Spektral özelliği - Parlaklık değişkeni ile nesnelere parlaklık eşliğine göre sınıflandırır. Tanımlanmış eşik değerinin üstündeki nesnelere gölge sınıfına atanmıştır.
Karışık Alan	Doku özelliği- Görüntüde karışık piksellerin ve hangi sınıfa ait olduğu belli olmayan segmentlerin atandığı sınıftır.
Konut	Şekil özelliği- Dikdörtgensel uyum değişkeni. Görüntüdeki binalar kare veya dikdörtgen ise bu sınıfa atanmıştır.
Geçici Barınma Alanı	Şekil özelliği ve spektral özelliği. Bu sınıfı tanımlamada öncelikle yeşil alanların tespiti için 2. bantın ortalaması alınmıştır. İkinci aşamada ise alan değişkeni ile belli bir eşik değerinin üstündeki nesnelere bu sınıfa atanmıştır.
Yeşil Alan	Spektral özelliği- Yeşil alanların tespitinde 2. bantın ortalaması alınarak belirli eşik değerindeki nesnelere yeşil alan olarak bu sınıfa atanmıştır.
Yol	Şekil özelliği – Görüntüde uzunluk değişkeni ve-veya uzunluk/en oranı ile yollar diğer sınıflardan kolaylıkla ayrılmış ve yollar bu sınıfa atanmıştır.



Şekil 8: Belirlenen test bölgelerin nesne tabanlı sınıflandırma sonuçları: a) Bakırköy 1. Bölge, b) Bakırköy 2. Bölge, c) Bakırköy 3. Bölge, d) Bakırköy 4. Bölge, e) Sınıfların gösterimi

6.3 Doğruluk Analizi

Uydu verileri veya ortofoto verilerin sınıflandırma sonuçlarının doğruluğunun kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple sınıflandırma işlemi sonrası doğruluk analizi işlemi yapılmalıdır. Doğruluk analizinde sınıflandırma sonucu doğruluğu kabul edilen referans yani yer gerçeği verisi ile karşılaştırılır. Doğruluk analizinde doğruluğun yüksek olması için hatanın düşük olması gerekir.

Gerçekleştirilen sınıflandırmaların doğruluklarını test etmek için hata matrisleri hesaplanmıştır. Doğruluk analizinde elde edilen “Genel Doğruluk (GD; yüzde olarak)” her bir sınıfın doğruluğunun ortalama değeridir. “Kappa Katsayısı (KK)” sınıflandırma doğruluğunu istatistiksel olarak hesaplandığı ve ölçüt alınan değeridir. Yapılan nesne tabanlı sınıflandırma sonuçlarının her bir pilot bölge için hesaplanmış genel doğruluk ve Kappa katsayıları tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: Ortofotoların kontrollü sınıflandırma sonrası doğruluk analizi

Veri	Test Bölgeleri	Genel Doğruluk (%)	Kappa Katsayısı
Ortofoto	Bakırköy 1	91	0.89
	Bakırköy 2	88	0.85
	Bakırköy 3	83	0.79
	Bakırköy 4	80	0.75

7. Bulgular ve Sonuçlar

Çalışma bölgesinde nesne tabanlı sınıflandırma algoritması ile tespit edilen afet sonrası kullanılması planlanan geçici barınma alanları büyüklükleri göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Çelik vd. (2017) yapmış olduğu çalışmada ideal geçici barınma alanının büyüklüğünün ne olması gerektiği incelenmiş ve pek çok afetzedenin birlikte yararlanabileceği 50.000 m² ve daha büyük alanların geçici barınma alanı olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Belirlenen alanların kapasiteleri büyüklük olarak uygun olanlarının kapladıkları alanlar ve ayrıca çadır kapasitesi ve çadırda kalacak kişi sayısı göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Kamu kurumlarının afetzedelere tedarik edeceği çadır boyutları 16.5 m²'dir. Sağlıklı olarak bu tip çadırda 4 kişilik bir ailenin kalabileceği öngörülmektedir.

Sınıflandırma sonucu belirlenen bölgelerin kapladıkları alanlar ve her bölgede ne kadar çadır kurulabileceği hesaplanmıştır. İncelenen dört farklı pilot bölgenin toplam alanı 677.730 m² bulunmuştur. Geçici barınma alanlarının projelendirilmesinde çadır başına en az 45 m²'lik bir alan bulunmalıdır. Çadır başına düşecek olan 45 m²'nin içinde altyapı tesisleri, tüm sosyal donatılar, ara yollar, eğitim yerleri, çarşı, sığınma yerleri, depolama tesisleri vb. dahil olmaktadır. Bu durumda kurulabilecek en fazla çadır sayısı, 677.730/45=15.059 adettir. Her çadırda maksimum dört kişinin kalacağı göz önüne alındığında seçilen pilot bölgelere kurulabilecek çadır kentlerde toplamda 60.236 kişi kalabilecektir (Tablo 4).

Tablo 4. Afet sonrası olası geçici barınma alanlarının nesne tabanlı sınıflandırma algoritması ile alansal olarak hesaplanmış alan ve çadır/ kişi sayısı

Yer	Alan (m ²)	Çadır (adet)	Kişi
Bakırköy 1. Bölge	167.730 m ²	3727	14908
Bakırköy 2. Bölge	89.900 m ²	1997	7988
Bakırköy 3. Bölge	285.000 m ²	6333	25332
Bakırköy 4. Bölge	135.100 m ²	3002	12008
Toplam	677.730 m ²	15059	60236

Olası İstanbul depremi sonrası Bakırköy ilçesinde belirlenen pilot bölgelerdeki çadır sayısı ve konaklayabilecek kişi sayısı 2022 yılında yapılmış nüfus sayımı verileri göz önüne alındığında (226.685 kişi) tespit edilen geçici barınma alanlarının yeterli olmadığı görülmektedir. Ayrıca İBB'nin yapmış olduğu çalışmanın çıktıları göz önüne alındığında etkilenecek ve ilk etapta acil barınmaya ihtiyaç duyacak hane sayısı 28.910'dur. Bu sebeple yerel yönetimlerin acil olarak afet sonrası barınma alanlarını gözden geçirmesi ve gerekli düzenlemeleri ivedilikle yapması gerekmektedir.

8. Tartışma

Dünyada her yıl doğal ve teknolojik kaynaklı afetler meydana gelmektedir. Bu afetler sonucunda on binlerce insan hayatını kaybederken yüzbinlerce insan evsiz kalmakta, milyarlarca dolar maddi kayıp oluşmaktadır. Doğal afetler arasında yer alan deprem, en kısa sürede en fazla can ve mal kaybına neden olan doğal afet olarak ilk sırada yer almaktadır. Dünya nüfusunun yaklaşık % 7.5'i (~600 milyon insan) depremler açısından riskli sayılabilecek yerlerde yaşamaktadır. Türkiye ise bu açıdan incelendiğinde toplam nüfusunun % 98'inin deprem riski altında yaşadığı görülmektedir.

Son yıllarda yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri ile ortofoto görüntülerin daha fazla hayata geçirilmesi ile birlikte, yeryüzüne ait nesnelere ilişkin gerek mekânsal gerekse spektral açıdan daha detaylı bilgiler elde edilebilmektedir. Uzaktan algılamada kullanılan uydu verileri ile ortofotolar doğal afetler öncesi zararı azaltmaya yönelik olarak risk haritalarının hazırlanması, kriz yönetimi ve kurtarma çalışmaları, planlama vb. çalışmalarda sıklıkla başvurulan kaynaklardır. Bunun yanı sıra doğal afet sonrası hasar tespit ve tahmin çalışmalarında hızlı, güvenilir ve düşük maliyetli veriler olması nedeni ile de uzaktan algılama yöntemleri etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada afet sonrası afetzedelerin kullanabileceği geçici barınma alanlarının tespitini ortofotolar kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda belediyeden temin edilen ortofotolardan nesne tabanlı sınıflandırma sonucu çıkarılan uygun büyüklükteki dört farklı pilot bölgenin kapasiteleri ve bu bölgelerde kurulacak çadır sayısı ile kalacak kişi sayısı çalışmada hesaplanmıştır. Literatüre bakıldığında toplanma ve/veya geçici barınma alanlarının tespiti, analizi ve yeterlikleri için farklı algoritmaların uygulandığı gözlenmektedir. Özellikle Çok Kriterli Karar Verme ve Analitik Hiyerarşi Prosesi ile bu alanların tespiti ve yeterlilikleri incelenmiştir. Ancak son yirmi yılda uydu ve uçak platformlarında yaşanan olumlu gelişmeler ile birlikte uzaktan algılama tekniklerinin afet yönetimi konusuna daha fazla katılması sonucu etkili sonuçlar alınabileceğini göstermektedir. İstanbul ili bir mega kent olması ve yaklaşık yüz yıldır bölgede yıkıcı bir deprem meydana gelmemesi bölgeyi oldukça kırılgan yapmaktadır.

Toplanma ve geçici barınma alanlarının tespiti için uzaktan algılama tekniklerine daha fazla önem verilmesi ve hatta gerekirse uzaktan algılama, CBS ve istatistik biliminin birbirine entegre olarak geniş kapsamlı çalışmaların hayata geçirilmesi oldukça önemli bir adım olacaktır.

1999 yılında Kocaeli ve Düzce illerinde meydana gelen iki büyük deprem sonrası, afet yönetimi düzgün çalışmadığı için geçici barınma alanlarının bir kısmı sular altında kalmış, kapasitelerinin yetersiz olduğu gözlenmiş, altyapı problemleri ve ulaşım sorunları ile kurumlar arası koordinasyon sağlanamadığı için afetzedeler için yaşamsal gerekliliğin yerine getirilemediği gözlenmiştir. Ayrıca ülkemizde 2023 yılının şubat ayında yaşanan Kahramanmaraş ve Gaziantep depremleri sonrasında da toplanma ve geçici barınma alanlarının önemi ortaya açıkça çıkmıştır.

Afet sonrası bölgeye profesyonel ekipler ulaşana kadar ilk üç gün en önemli zaman dilimidir. Afet sonrası afetzedelerin kullanabileceği acil toplanma alanları ve geçici barınma alanlarının yerlerinin önceden belirlenmesi, gerekli altyapı hazırlıklarının hazırlanmış olması, halkın bilinçlendirilmesi özellikle ilk üç günde can kayıplarını önemli ölçüde azaltacaktır. Bu bağlamda ülkemiz başta olmak üzere doğal afetlere sıklıkla maruz kalan ülkelerin uydu, uçak bazlı teknolojiler ve bilgi teknolojilerini birbirine entegre etmeleri ve etkin bir afet yönetim sistemini oluşturmaları gereklidir. Bu teknolojilerin afet yönetiminin her aşamasında etkin kullanılması afet sonrası meydana gelen zararların azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Uzun yıllardır doğal afetler konusunda büyük sınavlar veren ülkemizin, olası İstanbul depremi öncesi geçici barınma alanları için somut ve doğru adımlar atması afet sonrası meydana gelebilecek olumsuz olayları azaltacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Çalışma için kullanılan ortofoto görüntüler Bakırköy Belediyesi'ne bedeli verilerek temin edilmiştir.

Kaynaklar

- AFAD. (2020, Aralık 8). *Toplanma alanları hakkında basın açıklaması*. Retrieved from <https://www.afad.gov.tr/toplanma-alanlari-hakkinda-basin-aciklamasi-15112020>.
- Aghlmand, M., Onur, M. İ., & Talaei, R. (2020). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde analitik hiyerarşi yönteminin ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı. *European Journal of Science and Technology*, (Özel Sayı), 224-230. doi: 10.31590/ejosat.araconf28.
- Aksoy, Y., Turan, A.Y., & Atalay, H. (2009). İstanbul Fatih ilçesi yeşil alan yeterliliğinin Marmara depremi öncesi ve sonrası değerleri kullanılarak incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14(2), 137-150.
- Aman, D. D. (2019). *Olası Marmara depreminde toplanma alanları yer seçimi kriterlerinin belirlenmesi: İstanbul Bağcılar örneği* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Anand, A., Jethoo, A.S., & Sharma, G. (2015). Selection of temporary rehabilitation location after disaster: A review. *European Scientific Journal*, 11(10), 161-169.
- Anhorn, J., & Khazai, B. (2015). Open space suitability analysis for emergency shelter after an earthquake. *Natural Hazards and Earth System Science*, 2, 4263-4297.
- BİB. (2004). *Deprem şurası, kurumsal yapılanma komisyonu raporu*. Ankara: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı.
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 2-16.
- Cheng, H., & Yang, X. K. (2012, June). A comprehensive evaluation model for earthquake emergency shelter. In *Ninth Asia Pacific Transportation Development Conference, 2012. Proceedings*. (pp. 412-422). ASCE.
- Çelik, H. Z., Özcan, N. S., & Erdin, H. E. (2017, Ekim). Afet ve acil durumlarda halkın toplanma alanlarının kullanılabilirliğini belirleyen kriterler. In *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 2017*. TDMD.
- 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.
- Definiens. (2012). *Definiens Developer XD 2.0.4 Reference Book*. Retrieved from <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/medicine/facilities/film/Definiens-Developer-Reference-Book-XD-2.0.4.pdf>
- EM-DAT. (2023, Ocak 18). *The Emergency Events Database- The International Disaster Database Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*. Retrieved from <https://www.emdat.be/>.
- Fisher, P. (1997). The pixel: A snare and a delusion. *International Journal of Remote Sensing*, 18(3), 679-685.
- FEMA. (2023, Ocak 22). *Federal Emergency Management Agency*. Retrieved from <https://www.ready.gov/be-informed>.
- Gökgöz, B. İ., İlerisoy, Z. Y. & Soyuk, A. (2020). Acil Durum Toplanma Alanlarının AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 935-945.
- Hong, L., & Xiaohua, Z. (2011). Study on location selection of multi-objective emergency logistics center based on AHP. *Procedia Engineering*, 15, 2128-2132.

- İBB. (2023, Ocak 10). *İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğü*. Retrieved from <https://depremezemin.ibb.istanbul/guncelcalismalarimiz/#olasi-deprem-kayip-tahminler-le-ktapiklari>.
- İPKB. (2022, Eylül 01). *İstanbul Deprem Risk Haritası*. İstanbul Proje Koordinasyon Birimi (İPKB). Retrieved from <https://www.guvenliyasam.org/ismep-2/>.
- JICA. (2002, Kasım 20). *Türkiye Cumhuriyeti İstanbul ili sismik mikro-bölgeleme dahil afet önleme/azaltma temel planı çalışması*. Retrieved from <http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/DepremSite/PublishingImages/JICA-TUR.pdf>.
- Myint, S. W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., & Weng, Q. H. (2011). Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 115(5), 1145-1161.
- Özkılıç, E.N. (2020). *İstanbul'da deprem sonrası toplanma alanlarının kapasitelerinin ve erişebilirliklerinin CBS yardımıyla analizi ve değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Rezaei, S. (2014). *Development of a decision support model for the optimum shelter location following a disaster* (MSc Thesis). İstanbul Technical University, İstanbul, Türkiye.
- Sabuncu, A. (2018). *Yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu/uçak platformlu görüntüler ve CBS teknolojisi kullanılarak Van-Erciş depremi sonrası bina hasar tespiti* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Soltani, A., Ardalan, A., Bolorani, A. D., Haghdoost, A., & Hosseinzadeh-Attar, M. J. (2014). Site selection criteria for sheltering after earthquakes: A systematic review. *PLOS Currents Disasters*, 6(1). doi: 10.1371/currents.dis.17ad1f98fb85be80785d0a81ced6a7a6
- Şahin, İ. K. (2022). *Afet sonrası toplanma alanlarının mevcut durumunun irdelenmesi: Malatya kent merkezi örneği* (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye.
- Tarabani, K., & Tsionas, I. (1999). Using network analysis for emergency planning in case of earthquake. *Transactions in GIS*, 3(2), 187-197.
- TUİK. (2022, Ağustos 18) *Türkiye İstatistik Kurumu*. Retrieved from <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>.
- Türk Kızılayı. (2023, Ocak 7). *Afet çadırı*. Retrieved from <https://www.kizilaycadirtekstil.com.tr/urunlerimiz/cadir/afet-cadiri/>.
- Shelterprojects. (2022, Aralık 10). *Sharing experience in humanitarian shelter and settlements responses*. Retrieved from <https://shelterprojects.org/index.html>.
- 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.

The Accessibility of Public Transportation Stops: Istanbul Case

Toplu Taşıma Duraklarının Erişilebilirliği: İstanbul Örneği

Dilara Öztaşkın¹ , Sinan Levend^{2*} 

¹Istanbul Metropolitan Municipality, Department of Transportation, 34146, Istanbul/Türkiye.

²Konya Technical University, Architecture and Design Faculty, Department of Urban and Regional Planning, Konya/Turkey.

ORIGINAL PAPER

* Corresponding author:

Sinan Levend
slevend@ktun.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1299707

Article history

Received: 20.05.2023

Accepted: 21.08.2023

Published: 28.09.2023

Abstract

The study emphasizes the importance of creating a sustainable public transportation system that people can use comfortably. This sustainable transportation approach aims to deliver transportation plans focused on people, society and space. Developing public transportation systems that contribute to social equality by appealing to all segments of society and reducing traffic density has become one of the main objectives of transportation plans. Ensuring the accessibility of public transportation stops is a crucial aspect of achieving this objective. In this context, the study examines the accessibility of public transportation stops in Istanbul. For the accessibility measurements of public transportation stops, the study uses the Service Areas Analysis tool in the ArcGIS program's Network Analyst extension, a geographical information system-based software program. The analysis results indicate that approximately 90% of the population can reach the stops of rubber-tired public transportation types (one of the public transportation types in Istanbul) within a five-minute walking distance. However, the ratio of the population that can reach rail system stations and maritime transportation piers within a five-minute walking distance is only approximately 3%. Accordingly, it can be seen that the Istanbul transportation system depends heavily on the rubber-tired public transportation system.

Keywords: Transportation planning, Public transportation, Accessibility, GIS, Network analyst, Service area analysis

Özet

Çalışma, insanların rahatlıkla erişebileceği, sürdürülebilir bir toplu taşıma sistemi oluşturmanın önemini vurgulamaktadır. İnsan, toplum ve mekân odaklı ulaşım planlarının üretilmesi ancak sürdürülebilir ulaşım yaklaşımının benimsenmesiyle mümkün olacaktır. Toplumun tüm kesimlerine hitap ederek, toplumsal eşitliğin sağlanmasına katkıda bulunan ve trafik yoğunluğunu önemli ölçüde azaltan toplu taşıma sistemlerini geliştirmek, kamu yararı adına ulaşım ana planlarının temel amaçlarından biri haline gelmiştir. İnsanların rahatça kullanabildiği sürdürülebilir bir toplu taşıma sistemi oluşturmanın da temel önceliği toplu taşıma duraklarına insanların erişilebilirliğini sağlamaktır. Bu bağlamda, çalışmanın amacı İstanbul'daki toplu taşıma duraklarının erişilebilirliğini incelemektir. Toplu taşıma duraklarının erişilebilirliğini sayısal bulgular ile değerlendirmek için çalışma, coğrafi bilgi sistemi tabanlı bir yazılım olan ArcGIS programının Ağ Analizi uzantısında bulunan Servis Alanı Analizi aracını kullanmaktadır. Analiz sonuçları, İstanbul'daki lastik tekerlekli toplu taşıma sisteminin duraklarına nüfusun yaklaşık %90'ının beş dakikalık yürüme mesafesinde erişebildiğini göstermektedir. Ancak raylı sistem istasyonlarına ve deniz yolu ulaşım iskelelerine beş dakikalık yürüme mesafesinde erişebilen nüfusun oranı yaklaşık olarak sadece %3'tür. Bu değerler İstanbul ulaşım sisteminin, lastik tekerlekli toplu taşıma sistemine olan bağımlılığını ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Ulaşım planlaması, Toplu taşıma, Erişilebilirlik, CBS, Ağ analizi, Servis alanı analizi

1. Introduction

Urban areas are currently facing transportation issues due to population growth and the increasing use of individual vehicles. The convenience and comfort of automobiles have determined the transportation systems in cities and caused an enormous increase in the number of motor vehicles on the road. As a result, urban centres are experiencing problems such as traffic congestion, air and noise pollution, and traffic accidents due to the high demand for transportation. An automobile-centric transportation approach is unsustainable as it negatively impacts the environment, the economy, and the social structure (Greene, 1997; Newman and Kenworthy, 2006). Therefore, developed countries are adopting sustainable policies, including reducing automobile use and greenhouse gas emissions, promoting more efficient and equitable forms of transportation, encouraging non-motorized transportation types, creating pedestrian zones, and improving public transportation systems (Newman and Kenworthy, 2015; Pojani and Stead, 2015).

In Türkiye, Istanbul has been dramatically affected by the negative consequences of an automobile-focused transportation approach. The city's population has grown from 3.3 million in 1970 to 15.9 million today (TÜİK, 2023), making it the world's most densely populated European city and the thirteenth most. The city has invested in expanding its urban road network to accommodate the growing population. However, this approach has ultimately increased the dependence on cars and created traffic congestion, leading to a complex and difficult transportation system. As a result, city officials face numerous challenges, including accidents, decreased public transportation usage, environmental problems, climate change, energy consumption, and visual/auditory pollution.

To solve transportation-based problems, studies have been carried out for sustainable transportation planning in Istanbul. Previous transportation master plans for the city have focused on policies to meet travel demand through various public transportation options such as Metrobus, minibuses, bus, rail system, and maritime transportation. Unfortunately, some policies have not been implemented (Öztürk, 2021). As a result, the city's transportation system still fails to comply with sustainable principles due to the increase in motor vehicles and inadequate investments in public transportation (İBB, 2022). In this context, this study considers the main reason why Istanbul does not have a sustainable transportation system is that the city's public transportation system is insufficient and inaccessible. The city's public transportation systems are not meeting the desired level of accessibility and have resulted in long travel times for individuals and encouraging them to rely on automobiles.

The sustainable transportation approach prioritizes public transportation systems and emphasizes the importance of accessibility. Studies show that access to public transport stops and stations significantly changes travel demands and that passengers often choose accessible travel options (Cirit, 2014). The concept of accessibility has been included in Türkiye's planning legislation with the Spatial Plans Construction Regulation (Resmi Gazete, 2014). However, the explanations regarding accessibility in this legislation do not cover all the principles concerning accessibility. Additionally, there are limited scientific studies on accessibility practices in Türkiye. About this, the study examines the accessibility of public transportation stops in Istanbul. The study used geographic information systems (GIS) to analyze the service areas of stops, stations, and piers in Istanbul's rubber-tyred, rail, and maritime public transportation systems (in this study, the term "stop" may also refer to stations and piers at times). The service areas analysis tool in the network analysis module of ArcGIS software was used to analyze the data. The accessibility analysis reveals the percentage of the population that can reach stops within 5, 10, and 15 minutes on foot.

2. Material and Method

The study employs a mixed methodology that analyses both qualitative and quantitative data about the transportation system of Istanbul. The analysis focuses on the general structure of the transportation system. It includes an accessibility assessment of all public transportation (rubber-tyred, rail, and maritime) options available in the city.

2.1 Case Area: Istanbul

The study is focused on Istanbul (Figure 1), a global metropolis and Türkiye's most populous and densely populated city. Istanbul is the most populous city in Europe and the thirteenth most in the world. Based on data from the Turkish Statistical Institute (TUIK), Istanbul's population in 2022 was 15.9 million, with an average population density of approximately 2912 persons/km² (TÜİK, 2023). One of the reasons why the population of Istanbul is so high is its level of economic development.

According to 2020 data, Istanbul ranks first in Türkiye in terms of per capita income, and has approximately 4.9 million employees (İBB, 2022). There are 39 districts in the city with a surface area of 5461 km². Since Istanbul is a rapidly growing city, the sustainability and accessibility of the public transportation system are essential for people's quality of life.

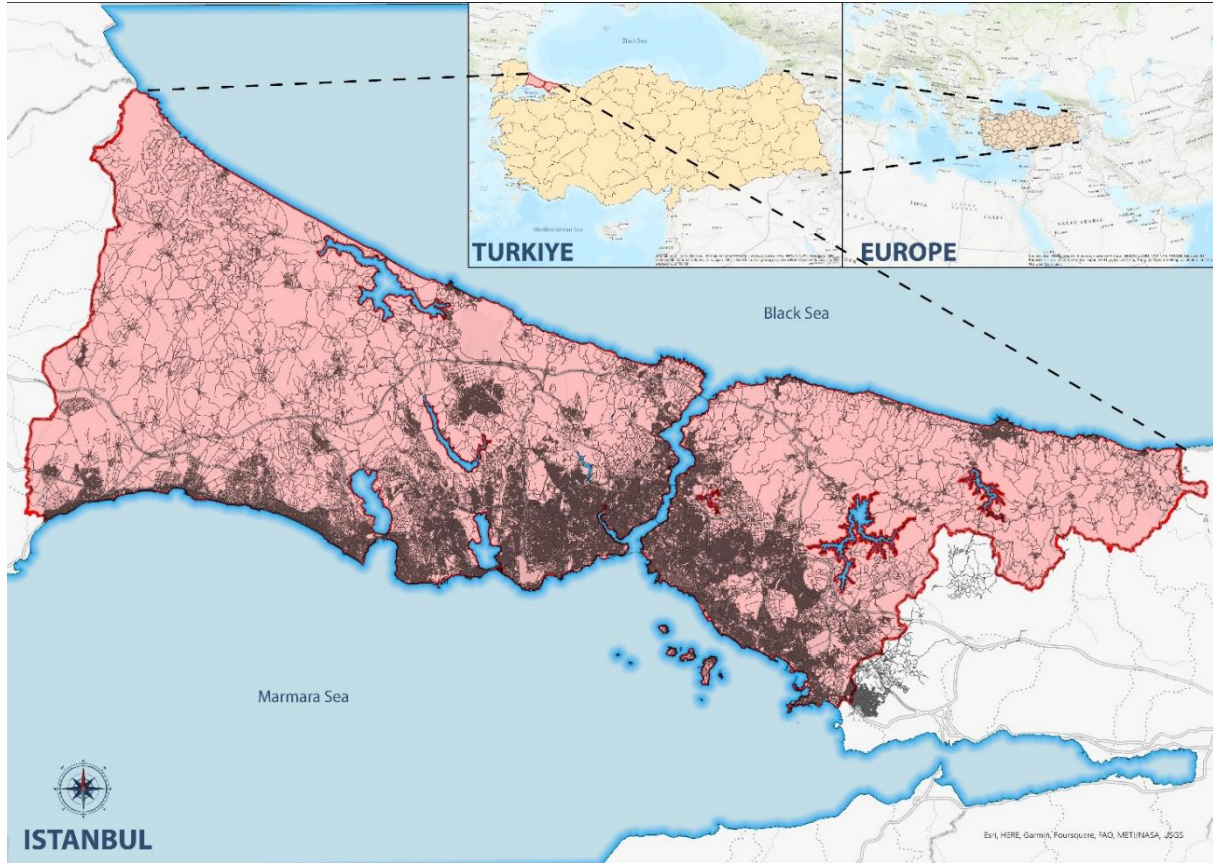


Figure 1. Location of Istanbul

One of the most significant issues that the city faces is the problems arising from the increase in automobile ownership. Traffic density in Istanbul ranks fourth in the world, following Bogota, Rio de Janeiro, and Mexico, with each driver losing 153 hours per year due to traffic congestion (İBB, 2022). With this in mind, it is imperative to devise policies and strategies that decrease car usage and establish a sustainable and accessible public transportation system.

Istanbul's public transport system (Figure 2) offers a variety of options, including buses, trains, metros, trams, and ferries. Public or private organizations manage these modes of transport and follow specific routes, schedules, and fares. The system is divided into three types: rubber-tyred, rail, and maritime (Figure 3). Each type provides different speeds and comfort features. The rubber-tyred public transport system is serviced by four vehicles: İETT bus, taxi-dolmus, taxi and minibus. The municipal İETT service has a fleet of 3457 vehicles and approximately 15000 stops (İETT, 2022). Rail public transportation includes metro, tram, suburban trains (Marmaray), funicular, and cable car lines. The metro line, 185.69 km long, and the Marmaray Line, 73.6 km long, are the backbone of Istanbul's rail system. Additionally, a 172.7 km long rail system project is currently being constructed in Istanbul (Metro İstanbul, 2022). Şehir Hatları, a subsidiary company of Istanbul Metropolitan Municipality (İMM), is the most important institution in Istanbul's maritime transportation. Şehir Hatları offers a range of transportation options, including ferries, sea buses, passenger ferries, car ferries, and sea taxis. In addition to Şehir Hatları, private companies like Turyol and Dentur provide passenger transportation services using small and medium-sized motor vehicles in Istanbul (İBB, 2022).

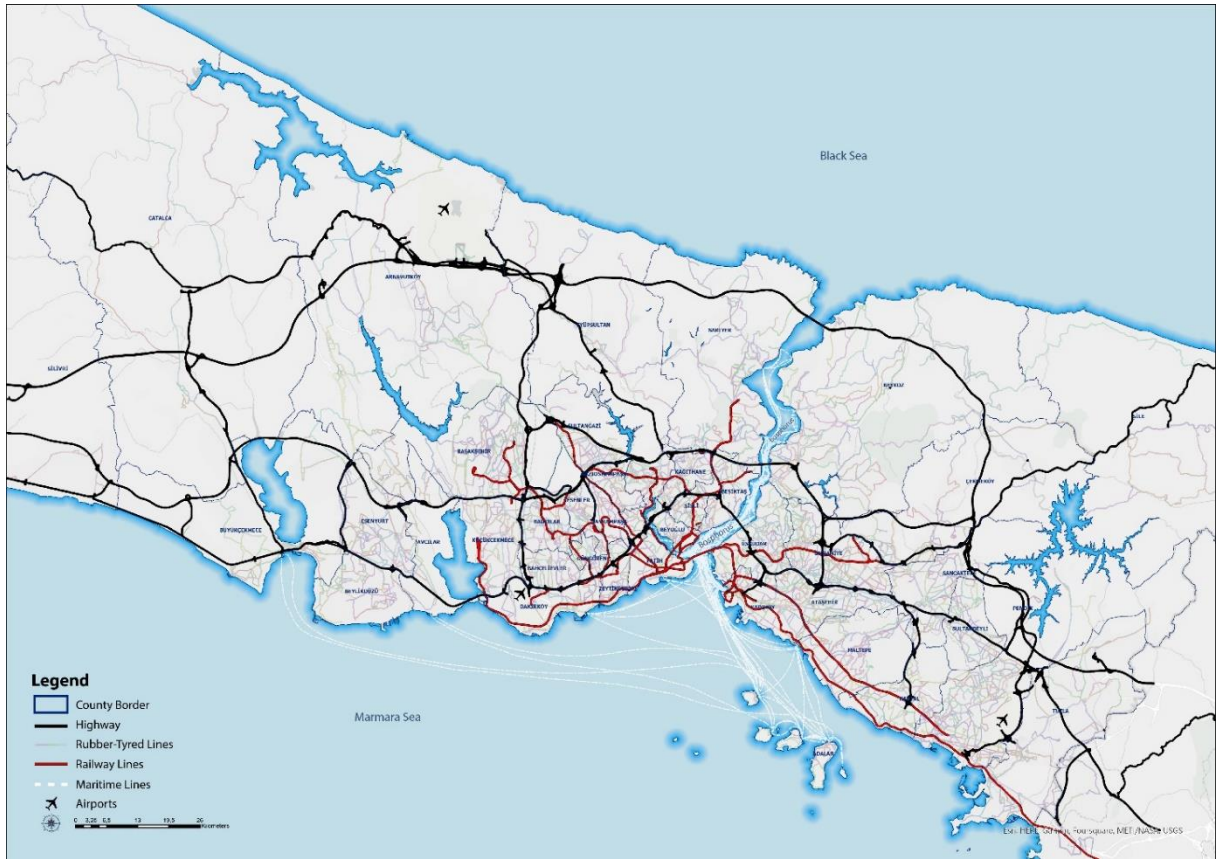


Figure 2. Istanbul public transport system



Figure 3. Istanbul public transport types

Among the public transportation types in Istanbul, the rubber-tyred public transportation system has the highest daily passenger usage at 69.28%. On the other hand, although there are approximately 500 kilometers of coastline, maritime transportation has the lowest average daily passenger number among public transportation types at 1.91. Table 1 shows the distribution and rates of daily journeys made by public transport types in December 2020 (İBB, 2020).

Table 1. Distribution of trips made in December 2020 by public transport types

Public Transport Types	Daily Passenger Number	Percentage (%)
Rubber-tyred	3.070.121	69,28
Rail	1.276.632	28,81
Maritime	84.639	1,91
TOTAL	4.422.605	100,0

Although investments have been made in the Istanbul public transportation system in recent years, it still lacks sustainability. Insufficient accessibility to transportation stops is one of the primary reasons for this. Hence, within the scope of the study, the accessibility of the Istanbul public transportation system stops was analyzed, and the population that could reach the stops in 5, 10 and 15 minutes of walking time was determined. Based on the findings, recommendations are made to enhance the accessibility and sustainability of Istanbul's public transportation system.

2.2 Material

The accessibility of Istanbul's public transportation stops was analyzed using the service areas tool in the ArcGIS software's network analyst module. For accessibility analysis, line and stop data of all public transportation types (rubber-tyred, rail, and maritime systems) in the city were utilized as the primary data set. In addition, a spatial data set from 2020 that includes all the buildings in Istanbul was used to determine the population with access to public transportation stops. The attribute table of the building data contains information about the number of people residing in each building. These data sets were acquired from the Istanbul Metropolitan Municipality Department of Transportation.

2.3 Method: Accessibility Analysis

Accessibility is a fundamental concept for transportation planning as it measures the ease and comfort of people to reach a desired destination. Accessibility often means physical access to services or an intended destination. Hansen (1959) first defined accessibility as a criterion for determining a person's level of interaction with others in a particular location. However, due to its relevance to various professions, accessibility can be defined and interpreted differently. Essentially, accessibility refers to the ease of accessing a destination where different activities can take place via a specific mode of transportation, serving a particular purpose (Dalvi, 1976; Hess, 2012; Güray and Kemeç, 2016). Another definition emphasizes that accessibility is the capacity to travel along a predetermined route from the starting point to the endpoint (Bhat et al. 2001; Simon, 2016). Furthermore, accessibility should be measured beyond the ease of transportation but should also consider factors such as the suitability of the vehicle used, journey distance, and safety and comfort levels (Ross, 2000). Therefore, accessibility is a crucial element of the planning process and a component that contributes to the overall welfare of communities.

Accessibility analysis allows for measuring the quality and efficiency of transport services in terms of their accessibility to essential facilities such as work, education, health and other vital uses (Miller, 2018). This analysis enables transportation planners to evaluate how well the transportation system caters to the needs of people, particularly those with limited mobility or transportation options (Straatemeier and Bertolini, 2020). By examining accessibility, planners can pinpoint areas of the transport infrastructure that require improvement to enhance mobility and connectivity and ensure equal access to transport services for all members of society. Accessibility analysis also plays a crucial role in identifying and addressing issues related to social equity, environmental sustainability, and economic development (Morris et al. 1979; Todd, 2008). In addition, it can assist in identifying areas that lack adequate public transport services and determine investments and policies for new routes or services to support sustainable transport opportunities (Afacan, 2015).

In 2014, the Turkish planning legislation incorporated the concept of accessibility in the Spatial Plans Construction Regulation. This regulation highlights the need for decisions to prioritize accessibility in urban planning, transportation planning, and urban design processes (Resmi Gazete, 2014).

The regulation aims to ensure that individuals can quickly and safely access essential urban services (such as residential and commercial areas) and social/technical infrastructure (such as health, education, and stations) and sets out the criteria to be complied with in the zoning plans regarding service impact areas and walking distances for urban uses. In addition, accessibility in the "Sustainable Urban Transport Plans", which have recently come to the fore in Türkiye, is the subject of detailed analysis. Expressing accessibility with numerical data has made the concept usable in transportation planning (Özuysal et al. 2003).

2.3.1 Accessibility to Public Transportation Systems

A public transport system is a network of transport services, usually run by a government or private companies, that provides transport services to the public and allows access to be offered fairly to all segments of society (Banister, 1995). These systems include modes of transport designed to carry large numbers of passengers. The main objective of this system is to offer an efficient, affordable, safe, and reliable transportation infrastructure in a sustainable and eco-friendly manner (Rodriguez, 2006; Mavoa et al. 2012; Bok and Kwon, 2016; Blackwell, 2017). Encouraging the use of public transport is crucial in promoting mobility while curbing traffic congestion, reducing environmental impact, and minimizing energy consumption.

Transportation policies have historically focused on automobile-based solutions for highways, bridges, and intersections. However, today's transportation plans place public transportation systems at the forefront. To encourage public transportation, transportation planners aim to offer advantages such as comfort, security and door-to-door service, which is why automobile-oriented transportation systems are preferred. Integrating different types of public transportation is crucial for sustainable transportation planning and increasing accessibility. If this integration is not provided, accessibility decreases, demand for public transit reduces, urban traffic increases, and more resources are expended. A systematic operation of all public transport types increases accessibility (Gülhan, 2014).

Decision-makers can give people a say in the city's social, physical and environmental development by including users in the planning process in their work on public transportation to create a sustainable urban system (Curtis, 2007; Salicru et al. 2010). In addition, observing and modelling transportation behavior increases the success of the policies produced in the plans for the accessibility of the public transportation system. Criteria such as time, cost, number of transfers, comfort and safety determine the transportation behavior of the passenger. Another critical factor affecting transportation behavior is public transportation stops that include the city's most important nodes (Ünver, 2013). Stops have more meaning than the definition of "where public transport systems stop and where passengers get on and off" because the locations of the public transport stop in the urban space shape the social life and land use structure around the stops. A short and comfortable walk from the starting point or the destination to a stop is one of the basic rules of multimodal transport planning. At the same time, this approach is an important element in design and planning studies at the neighborhood scale (Hess, 2012). Stops increase accessibility to public transport systems. Therefore, the station perimeter's scope and the road network's design affect accessibility. Many researchers have used station access or the geographical proximity of the passenger to the stops as a fundamental criterion in their studies on accessibility (Hsiao et al. 1997; Lovett et al. 2002; Mavoa et al. 2012; Zhao et al. 2003). Analyzing the accessibility of the public transportation system helps to identify and enhance areas with inadequate accessibility in urban transportation planning and forms the foundation for policy decisions.

To increase public transport usage, it is crucial that travel time is minimized and passengers can easily access the transport systems within a short walking distance (Uludağ, 2010). According to research, the standard distance for a public transport user to walk to a stop is 400 meters, taking roughly five minutes. However, the ideal access distance varies based on different factors. Stops that fall within the 0-400 meters range are considered high-access, 400-800 meters are moderate-access, and 800-1200 meters are poor-access stops (Tablo 2) (Hsiao et al. 1997; Kaszczyszyn and Sypion-Dutkowska, 2019; Kimpel et al. 2007; Murray and Wu, 2003; Neilson and Fowler, 1972; Southworth and Joseph, 203; TCRP, 1996; TOD, 2023; Untermann, 1984; Yiğitcanlar et al. 2010; Zhao et al. 2003). These criteria were used in the accessibility analysis for public transport stops in this study.

Table 2. Accessibility classification of public transport stop

Distance to Public Transport Stop [meters]	Time [minute]	Accessibility Level
0-400	0-5	High
400-800	5-10	Moderate
800-1200	10-15	Poor

2.3.2 Service Area Analysis

Geographic Information Systems (GIS) have an important place in practice and the literature due to their ability to link spatial data with information. However, due to its multidimensional nature and diverse applications, it is challenging to arrive at a universally accepted definition. In certain domains, GIS refers to converting geographical data into an information system that can be effectively utilized. In other fields, it involves transforming the information generated by the system into a spatial product (Aydın, 2021). GIS is a computer-based system that enables the production, storage, correlation, management, updating, querying, analysis, and visualization of spatial data for specific purposes (Kapluhan, 2014; Parker, 1988; Tecim, 2008; Yomralıoğlu, 2009; İncekara et al. 2009; Töreayen et al. 2010; Uluğtekin and Dogru, 2005; ESRI, 2022). It finds application and assists informed decision-making in several areas, including city planning, natural resource management, transportation planning, and disaster management. In the planning process, transportation planners use GIS-based network analysis to evaluate the accessibility of the existing public transportation infrastructure. Network analysis models and scrutinizes networks like power grids, water distribution systems, communication networks, and roads to enhance efficiency. Graph theory, a mathematical branch of study investigating the relationships and properties of objects represented by nodes and edges and their connections, is used in network analysis. This theory is applied to model nodes and links in a network system and to evaluate the connections between nodes or vertices (George, 2008). By doing this, a city's superstructure and infrastructure elements (such as water, energy, and road network) can be reduced to network structures consisting of nodes and edges (Lloyd, 2010). Network analysis is conducted based on accessibility factors such as location identification, closest distance, best distribution, and service areas. This approach involves identifying and measuring optimal routes that help to achieve specific goals, such as finding the shortest route, calculating travel time, determining service areas, and organizing vehicles efficiently (Büke and Ertugaç, 2016; Erkal and Değerliyurt, 2013; Tecim, 2008; Yomralıoğlu, 2009). Network analysis also encompasses assessing network properties such as connectivity, accessibility, and vulnerability. Thus, network analysis contributes to solving complex problems related to planning, making better decisions and increasing productivity.

There are six tools available in ArcGIS software for network analysis, each with a specific purpose. These tools are a new route, new closest facility, new location allocation, new vehicle routing problem, new O.D. cost matrix, and new service area. Figure 4 displays the Network Analyst extension and the corresponding network analysis tools provided by ArcGIS software. These tools are designed for various contexts, problems or objectives. For instance, the new route tool is utilized to identify the shortest path between two points on a network. In contrast, the new location-allocation tool helps determine the most suitable locations for facilities such as hospitals or fire stations. The most suitable tool to analyze the accessibility of public transport stops is the network service area tool.

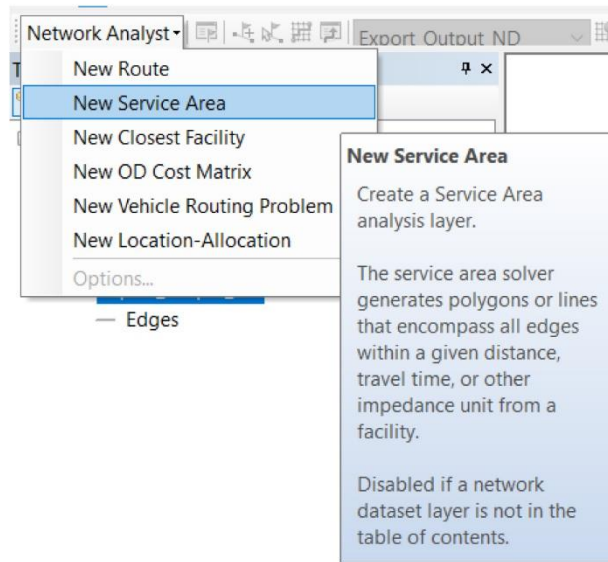


Figure 4. Network analyst extension and network analysis tools in ArcGIS software

The service area tool analyses the accessibility of public transportation stops by creating service areas around each one based on time or distance (ESRI, 2023). This analysis shows how far people can travel from each stop within a given period and highlights areas lacking public transportation.

For example, the tool can determine service areas that can be accessed on foot within a specific time frame (e.g. 5, 10, or 15 minutes) or distance (e.g. 400, 800, or 1200 meters) from a particular starting point such as a stop, station, or hospital. Moreover, network analysis can evaluate the accessibility of service areas. For example, identifying the service areas related to a specific service, such as a hospital, training area, or fire department, can determine how many people, employees, or students that service area can serve (ArcGIS Desktop, 2022).

New service area and buffer analysis tools are used to create accessibility analysis. In both of these analyses, determining the distance is essential. It is seen that the buffer analysis is generally used while performing the accessibility analysis regarding the service areas of the services in Türkiye (Ersoy, 2015). Buffer analysis measures accessibility as bird flight from the vector geographic objects such as a point, line, or polygon to a certain distance. However, since the buffer analysis does not consider the geographical structure or existing transportation infrastructure, the accessibility maps it produces are simple and intuitive but far from reality (ArcGIS Desktop, 2022). Ignoring topography and transportation infrastructure data when determining accessible areas is a significant disadvantage of buffer analysis.

On the other hand, using the new service area tool to create an accessibility analysis makes the result more realistic and objective by considering the existing topographical structure and transportation network as parameters (Yılmaz and Kamacı Karahan, 2020). For example, Balasubramani et al. (2016) used both methods to analyze the accessibility of fire stations in the city to other areas of use and compared the results (Figure 5). They clearly show the difference that arises when neglecting the topography and transportation infrastructure in determining accessible areas. This example highlights that when measuring the accessibility of people living in a specific area and examining the impact area of a particular service, the results obtained from the buffer analysis are less accurate than those obtained from the service area analysis (Kun et al. 2012; Balasubramani et al. 2016; Bari, 2013). Hence, it is evident that using service area analysis for accessibility analysis yields more precise results.

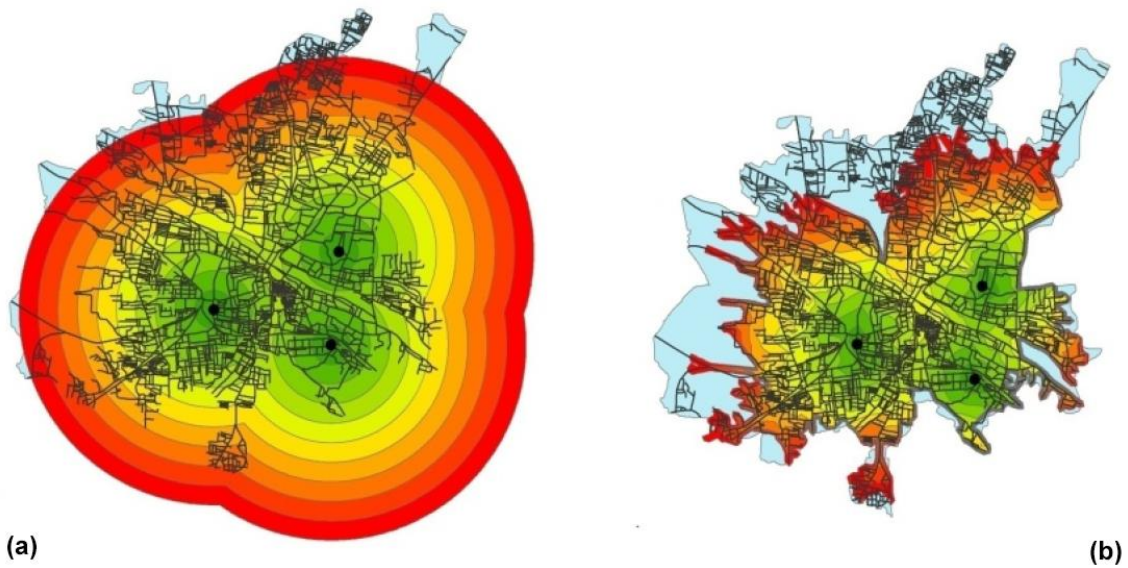


Figure 5. a) Buffer analysis, b) New service area (Balasubramani et al. 2016)

This study analyses the accessibility of public transportation stops in Istanbul using the service area tool. It determined accessible roads based on road network data and then determined the areas covering these roads, revealing the service areas of the stops. The study used walking distances of 5, 10, and 15 minutes (equivalent to 400 m, 800 m, and 1200 m) as parameters to assess accessibility. In the accessibility analysis, other factors such as pedestrian walking speed, walking distance, and the road network were also considered. In addition, since the population that can access the stops was determined within the scope of the study, the number of people living in each building in Istanbul is a parameter used within the scope of the study. Therefore, the buildings located in the accessible area to public transportation stops and the population living in these buildings were determined. Thus, the study indicated the population within 0-5, 5-10, and 10-15 minutes walking distance of the public transportation stops.

3. Results

The study revealed service areas where pedestrians could access the stops in Istanbul's rubber-tyred, rail and maritime public transportation systems. Afterwards, the population accessing all public transportation systems was calculated. In Istanbul, the rubber-tyred transportation system operates with four modes: IETT, Metrobus, taxi-dolmus and minibus. Approximately 15000 stop data from Istanbul Metropolitan Municipality regarding the rubber-tyred public transportation system are defined as point data in the GIS database. Using this data, service area analysis was made for each stop according to 5, 10 and 15-minute walking distances, thereby revealing the accessible areas of the rubber-tyred public transportation stops. Then, the population living in the buildings remaining in the accessible service area of the stops was collected, and the population that could access rubber-tyred public transportation stops in the city was calculated. Finally, the population that can access the stops of the rubber-tyred public transportation system is calculated as a proportion of the population of Istanbul in 2020. The percentage of the population that can access the stops in question is then presented.

When the accessible areas in Istanbul, which can be reached by walking in 5, 10 and 15 minutes to the stops of the rubber-tyred public transportation system, are examined, it can be seen that accessibility is exceptionally high in the city centre (Figure 6). However, the findings illustrate that the availability of rubber-tyred public transportation stops reduces somewhat as one moves towards the city's outskirts. As a result of this analysis, it is clear that the areas within 10-15 minutes walking distance to the stops, expressed in red, either have insufficient stops and road connections or remain in natural threshold areas such as forests, pastures, or agricultural areas. In addition, the findings show that the size of the areas that can be reached by walking distance of 0-5 minutes to the rubber-tyred public transport stops is more than the sum of the areas accessible by walking distance of 5-10 and 10-15 minutes (Figure 6).

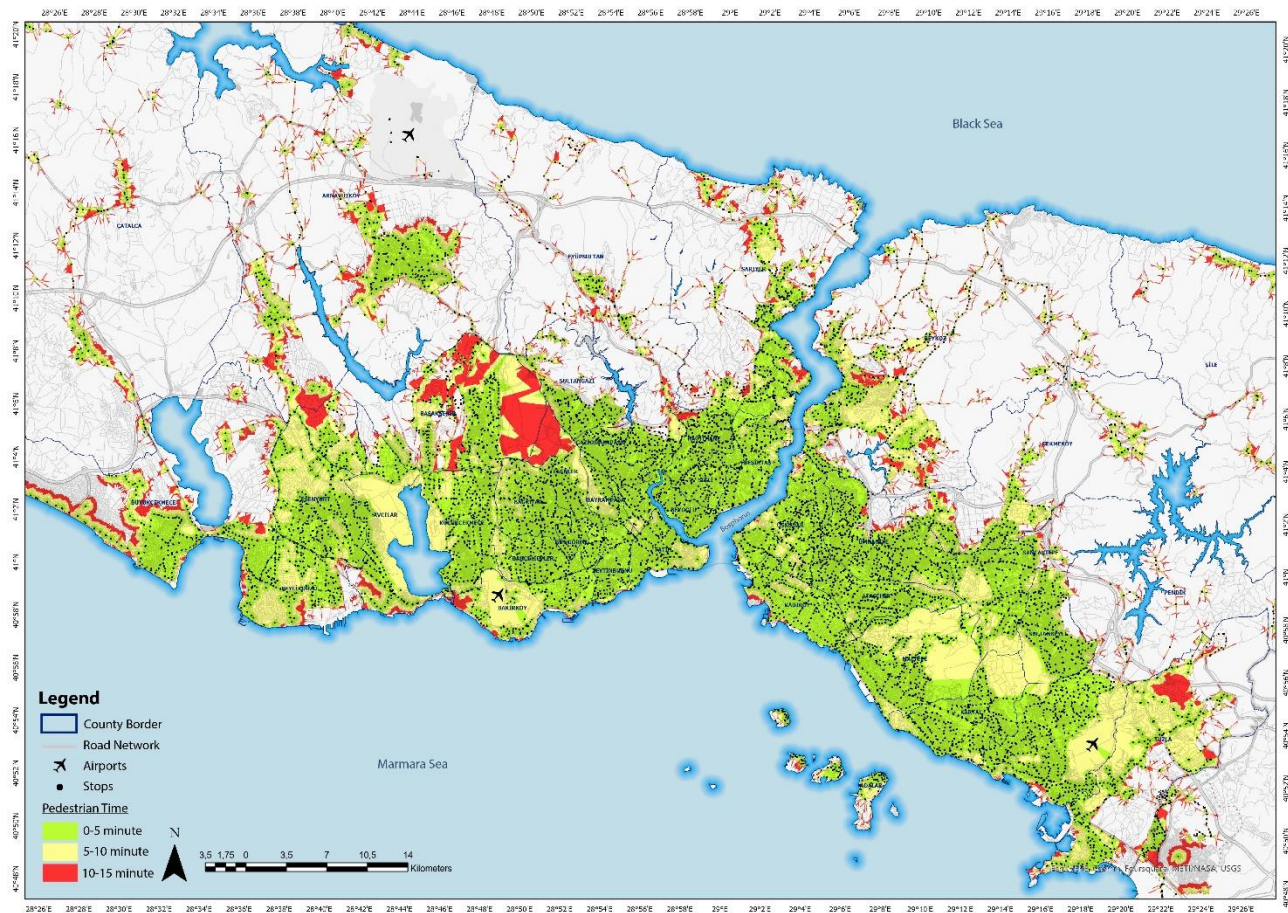


Figure 6. Accessibility analysis of rubber-tyred public transport stops

In Istanbul, 89.87% of the population can reach the rubber-tyred public transportation system stops within a 0-5 minute walking distance. A further 7.91% of the population can reach it within 5-10 minutes, and 1.40% can reach it within 10-15 minutes (Figure 7). In total, a remarkable 99.18% of Istanbul's population can access a rubber-tyred public transport stop within 0-15 minutes of walking.

Almost everyone in Istanbul can easily reach a public transport stop within 15 minutes by walking. Furthermore, it is worth noting that only 10.13% of the population cannot reach a rubber-tyred public transport stop within the ideal 5-minute walking time.

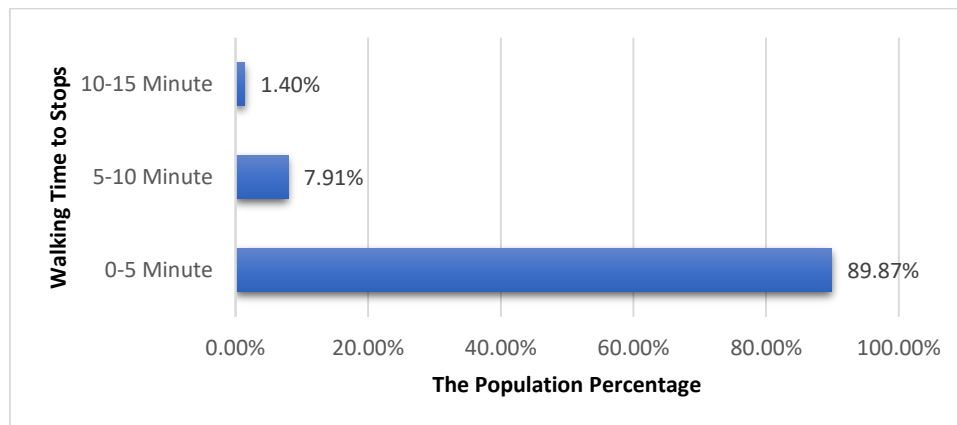


Figure 7. The population percentage accessing the rubber-tyred public transportation system stops

Rail network analysis in Istanbul determined the service areas within 0-5, 5-10, and 10-15 minutes walking distance from rail system stations (Figure 8). The findings show that residents on the European Side of Istanbul possess superior accessibility to rail systems compared to those on the Anatolian Side. Individuals benefit from direct or indirect access to multiple rail system options on the European side. Conversely, on the Anatolian side, only those living within a 15-minute walking distance from rail system stations can access the rail system within an acceptable time due to limited rail system lines. In addition, even densely populated areas on the Anatolian side encounter poor accessibility to rail systems primarily due to a lack of investment. Upon examining Figure 8, it becomes apparent that the accessibility to stations on the M4 Kadıköy-Tavşantepe Metro Line, which runs parallel to the E-5 highway, is poor. The primary contributing factors to this are the stations being situated on a multi-lane road, short walkways leading directly to the stations, and dangerous, uncomfortable, and unhealthy pedestrian intersections. Therefore, utilizing the stations on this line without transfer is a challenge.

Figure 9 shows the population ratios that can reach Istanbul's existing rail system stations by walking for 5, 10, and 15 minutes. The proportion that can reach the stations in 0-5 minutes is 2.88%, while 11.65% can reach it within 5-10 minutes and 18.05% in 10-15 minutes. The rail system offers numerous advantages, such as alleviating traffic, shorter journeys, and being more sustainable than other transportation systems. Therefore, more stations that are accessible within a 0-15 minute walking range in the urban area can increase the use of the rail system and reduce the burden on other types of transportation. Currently, the proportion of the population that can access stations within the 0-15 minutes range is only 32.58%, so approximately 67% of Istanbul's population cannot reach a rail system stop within the ideal accessibility period or must walk for more than 15 minutes. These findings highlight the importance of the integrated operation of different transportation modes, greater transfer opportunities between types, and investments made in terms of accessibility.

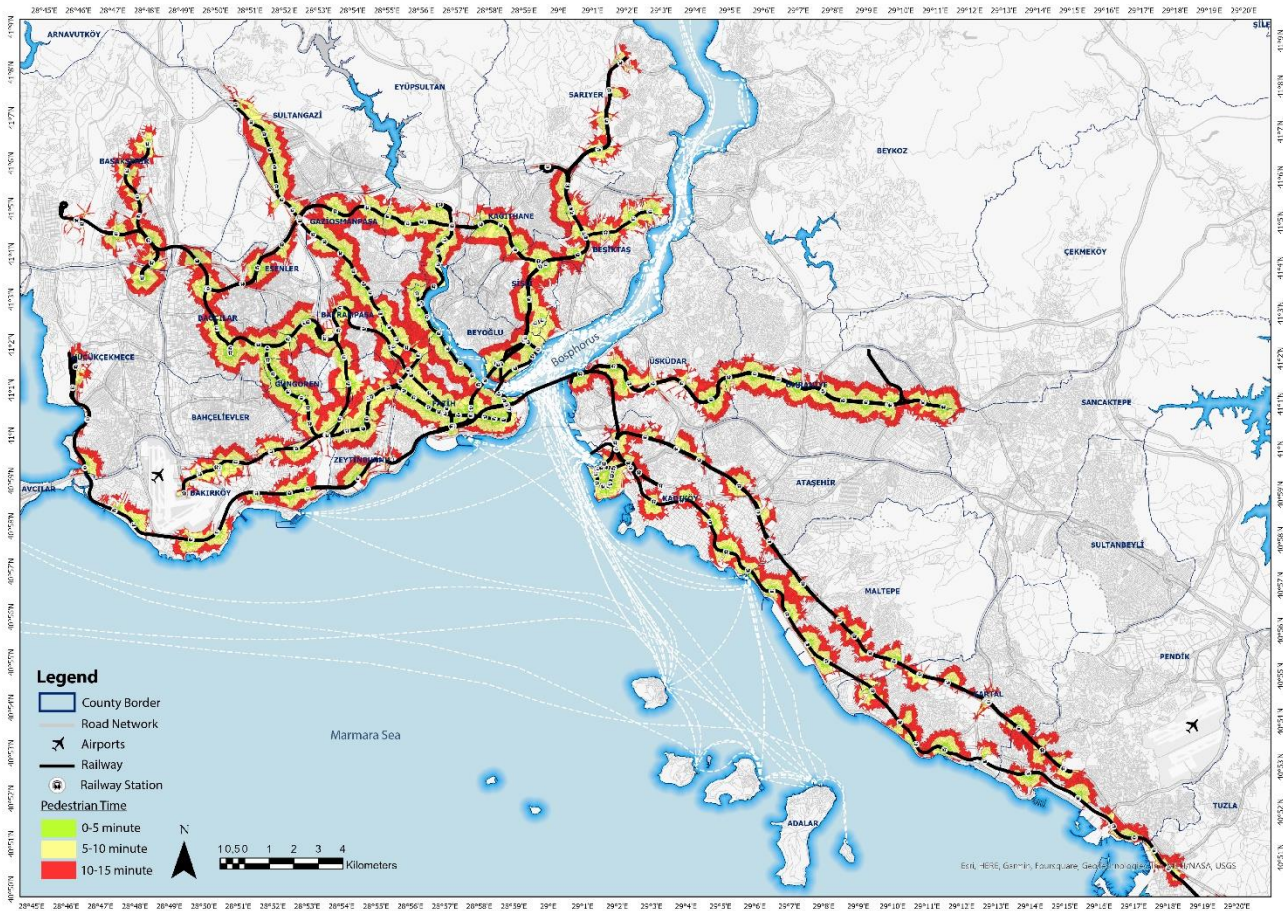


Figure 8. Accessibility analysis of rail system stations

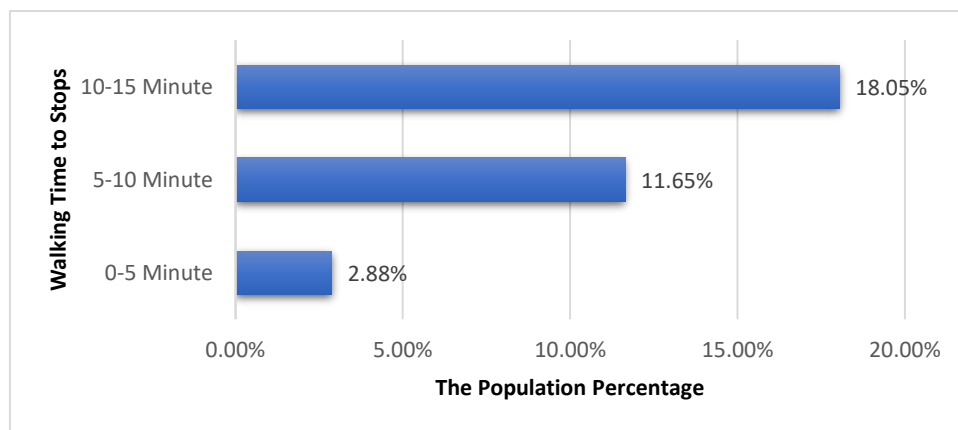


Figure 9. The population percentage accessing the rail transportation system stations

Maritime transportation is an exceptional mode of transportation in Istanbul. Figure 10 displays the accessible areas within a 5, 10, and 15-minute walking distance from Istanbul's maritime transportation system piers. When the figure is examined, it is apparent that the accessible areas of the ports are limited, especially within the Istanbul Bosphorus Conservation Area, due to the sloping topography. Additionally, poor pedestrian access connections to the Yenikapı and Harem Ferry Piers and restrictive vehicle roads between the pier and residential areas contribute to limited access. To improve the potential of Istanbul's maritime transportation system, further investment is required to ensure accessibility to ports is increased, transfer points are elevated, and newly planned piers are located in areas with high accessibility.

In Istanbul, the maritime public transportation system has the lowest number of daily passengers compared to other forms of public transportation (IBB, 2020). The maritime transportation system comprises around 115 piers, defined as point data in the ArcGIS environment for accessibility analysis. Figure 11 illustrates the proportion of the population that can reach these piers by walking within intervals of 0-5, 5-10, and 10-15 minutes. The data shows that only 0.17% of the population can reach piers within a 0-5 minute walking distance, 1.00% within a 5-10 minute walking distance, and 2.02% within a 10-15 minute walking distance. This indicates that the number of people who can reach the piers within a reasonable walking distance is relatively low in Istanbul. This can be attributed to some piers being situated in areas with low population density and commercial activities. Additionally, some piers fall within the Istanbul Bosphorus Conservation Area, where the population density is relatively low, and there are some topographical challenges.

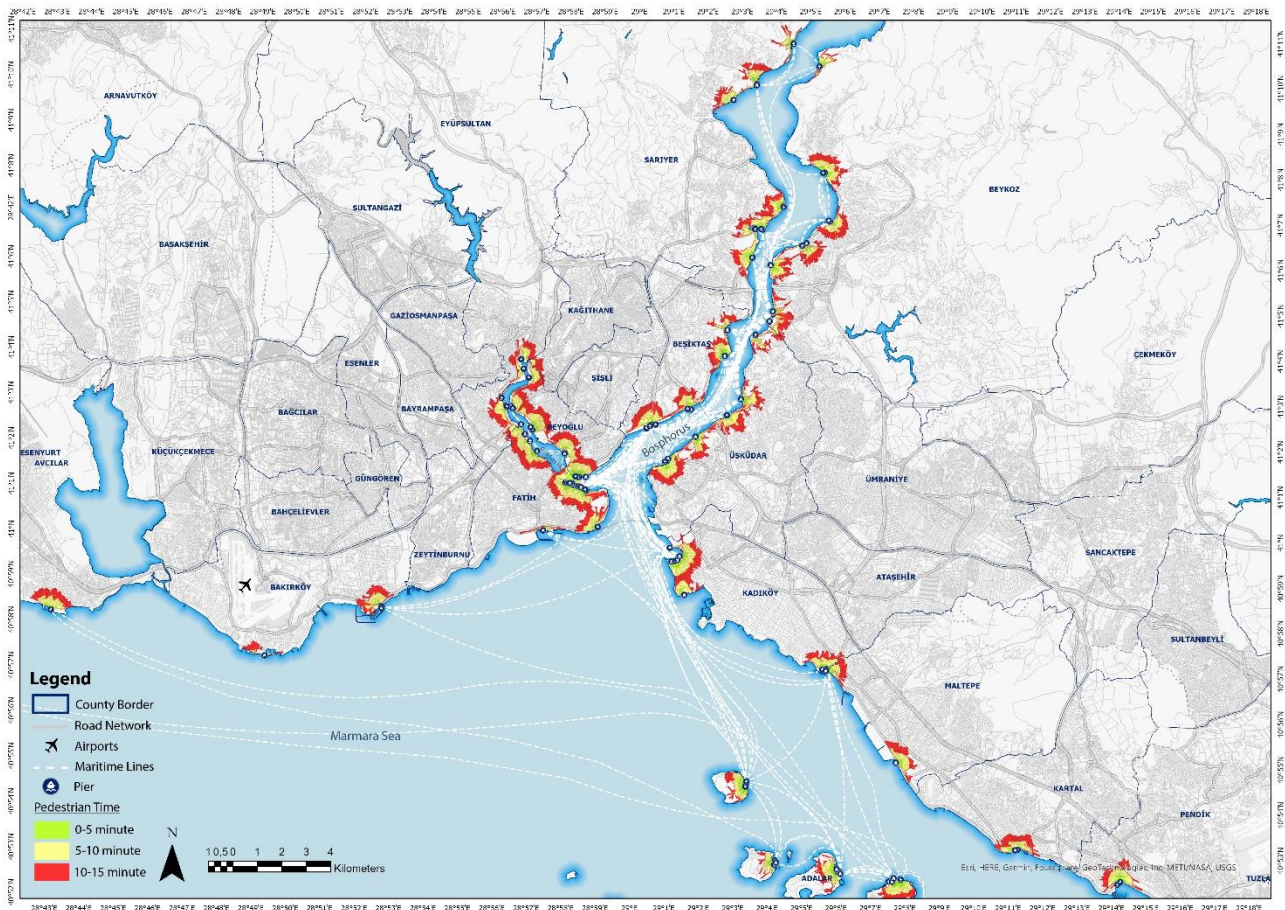


Figure 10. Accessibility analysis of maritime public transportation system piers

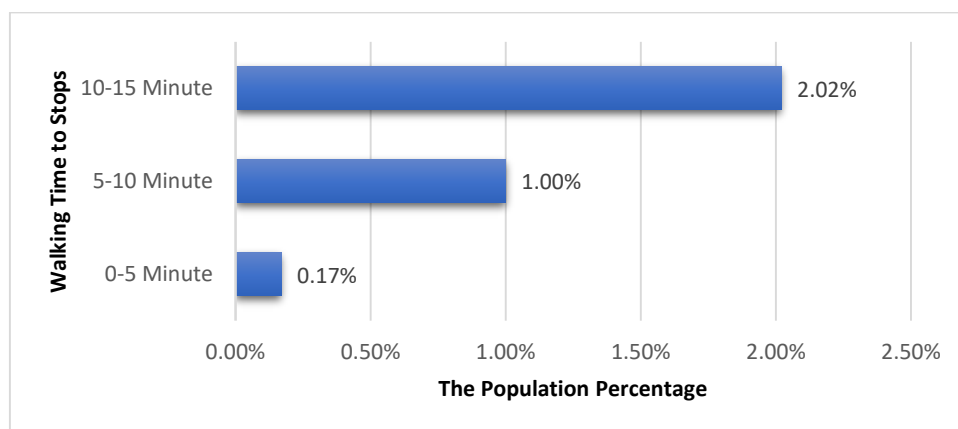


Figure 11. The population percentage accessing the maritime public transportation system piers

As part of the study, service area analysis for all public transportation stops in Istanbul was made (Figure 12), and some inferences can be made. In this respect, the main reason for restricting accessibility at stops with poor accessibility is that natural thresholds, such as forests and pastures or artificial thresholds, such as vehicle roads, generally limit access to the areas. Another reason is that some areas have insufficient transportation infrastructure due to low population density.

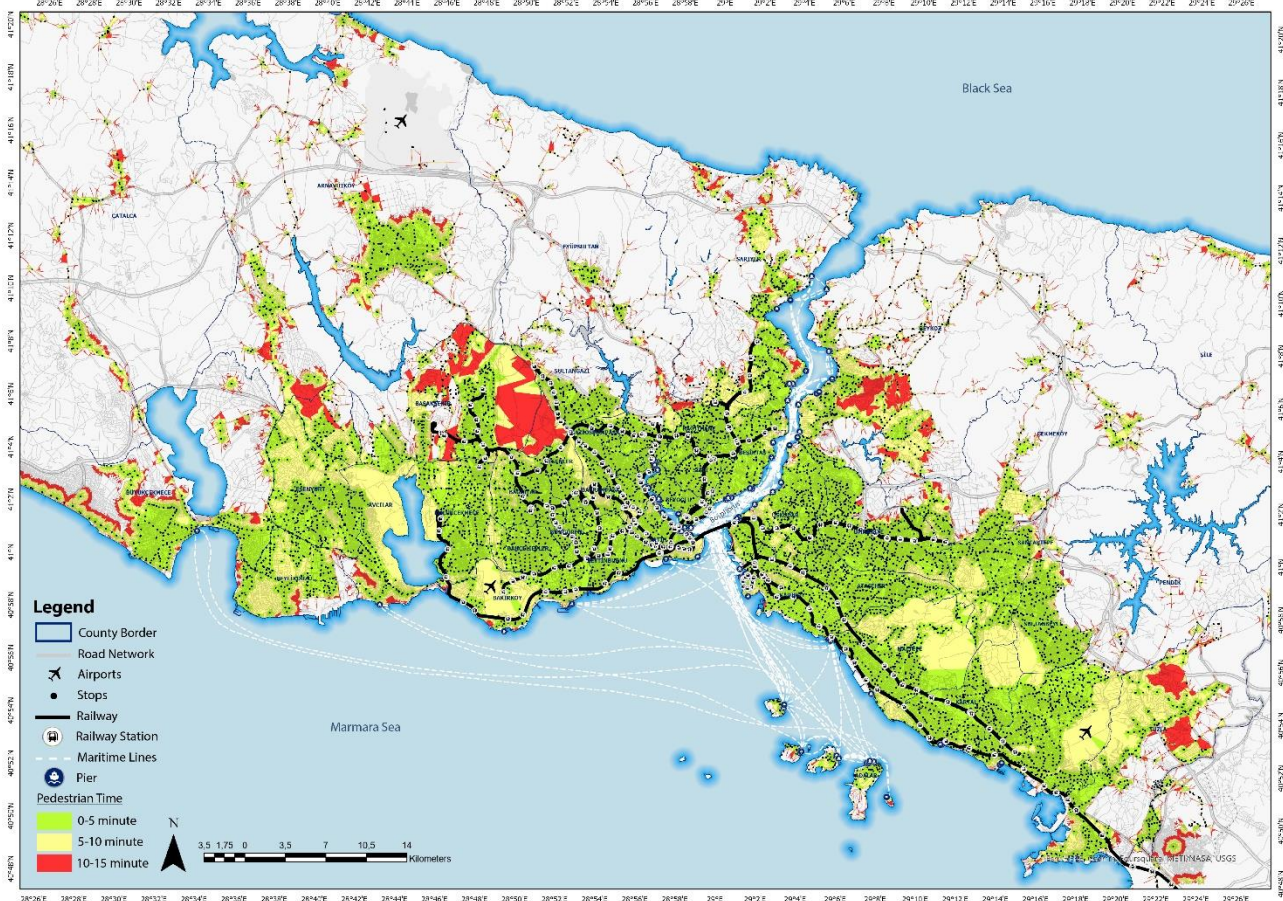


Figure 12. Accessibility analysis of all public transportation system stops/stations/piers in Istanbul

Figure 13 shows that 89.92% of Istanbul's population can reach all public transportation stops within a 0-5 minute walking distance. Additionally, 99.37% of the population can access public transportation within 15 minutes of walking. These rates show that most of the population of Istanbul can easily access public transportation systems in as little as 5 minutes, while almost all of them can access the public transportation systems within an acceptable walking time of 15 minutes. However, the rubber-tired public transportation system accounts for most of this, with 89.87% of the population reaching a public transportation stop by walking for 0-5 minutes. In contrast, only a mere 3.05% of the population can access rail and maritime transportation stops within a 0-5 minute walking distance. This situation shows that a tiny proportion of Istanbul's population can benefit from the fast, safe, clean, environmentally friendly rail and maritime transportation systems.

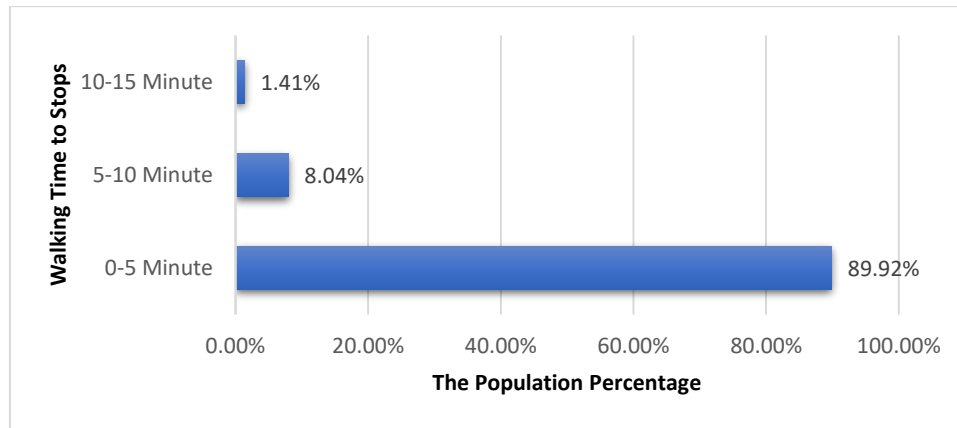


Figure 13. The population percentage accessing the public transport system stations in Istanbul

5. Discussion

The accessibility of public transportation plays a vital role in people's transport preferences. Upon examining the accessibility of Istanbul's public transportation system stops, the most crucial aspect to highlight is the dominance of the rubber-tired public transportation system stops (Table 3). The rubber-tired public transport system meets 89.87% of the 89.92% population, which can reach all public transport stops in 0-5 minutes. However, the rail and maritime public transportation system stops are only accessible to 3.05% of the population within 0-5 minutes and 12.65% within 5-10 minutes. These figures suggest that Istanbul's people have inadequate access to a sustainable and eco-friendly public transportation system.

Table 3. Population-based comparison of accessibility of public transport types

Public Transport Types	Walking Time Range	Population	Population Percentage Rate
Rubber-tired Public Transport Stops	0-5 Minute	13.895.449	89,87%
	5-10 Minute	1.223.690	7,91%
	10-15 Minute	217.208	1,4%
	0-15 Minute	15.336.347	99,18%
Rail System Stations	0-5 Minute	445.713	2,88%
	5-10 Minute	1.801.837	11,65%
	10-15 Minute	2.790.486	18,05%
	0-15 Minute	5.038.036	32,58%
Maritime Public Transportation System Piers	0-5 Minute	26.075	0,17%
	5-10 Minute	154.526	1,00%
	10-15 Minute	311.844	2,02%
	0-15 Minute	492.445	3,18%
All Public Transportation System Stops/Stations/Piers	0-5 Minute	13.904.430	89,92%
	5-10 Minute	1.242.671	8,04%
	10-15 Minute	217.492	1,41%
	0-15 Minute	15.364.593	99,37%
Total population (2020)			15.462.452

Rubber-tyred public transportation systems offer flexibility, practicality, and low cost. However, rail and maritime transportation systems are more sustainable and eco-friendly because they produce fewer emissions, have shorter travel times, and carry more passengers than rubber-tyred systems (Alessandro et al. 2020). Rail and maritime transportation also provide a faster, safer, more comfortable, and cost-effective way to move around busy cities like Istanbul, where population density and traffic congestion are major issues (Bešković and Golnar, 2020; Pietrzak and Pietrzak, 2020; Tardivo et al. 2021). To address these challenges and create a more sustainable public transportation system, it is essential to prioritize the development of policies and investments in rail and maritime transportation systems.

Passengers are influenced by various factors such as time, cost, number of transfers, comfort, and safety when choosing transportation options. This reveals the importance of the integrated operation of different types of transportation and readily available transfer possibilities between the types. When the Istanbul public transportation system is evaluated, it can be seen that it is challenging for people to use rail stations with poor accessibility without a direct link. Furthermore, the limited accessibility of the piers and inadequate means of transferring to them are the main reasons for the inability of the vast majority of people to use maritime transportation. Therefore, to encourage pedestrians to use public transport, it is necessary to increase the number of transfer stops and integrate the various modes of transportation. In addition, promoting bicycle use requires establishing secure and safe bicycle parking facilities at public transport stops.

The study found that only a small percentage (2.88%) of the population can access the fast, comfortable, and reliable rail public transportation system within a 0-5 minute walking distance. This highlights that disadvantaged groups may not be able to benefit from this service. According to the WMO (2023), around 1.3 billion people worldwide, including one out of every 16 people in Türkiye (ASHB, 2023), have at least one disability. This, along with other disadvantaged groups such as low-income individuals and older people, emphasizes the importance of an accessible public transportation system in society. In this context, policies for public transportation systems should not overlook the needs and priorities of these groups. The safe access and use of public transportation systems, especially by disadvantaged groups who do not have the opportunity to travel outside of public transportation, enables them to participate in various activities and lead more active lives. For this reason, disadvantaged groups should have access to public transportation systems within a 5-minute walking distance. It is thus important to spread rail public transportation systems throughout the city and improve integration between different types of public transportation to provide these groups access to basic public services and greater independence. Public transportation systems should also be designed with universal design principles to ensure equal opportunities for disabled and elderly individuals. Providing equal and fair transportation opportunities to all members of society is essential for a sustainable and livable city.

6. Conclusions

Public transportation systems appeal to all segments of society and contribute to social equality. Increasing policies to develop public transportation systems will reduce the use of private cars, thus helping to reduce traffic density and carbon emissions in cities. In this context, public transport stops should be accessible for sustainable and integrated public transport systems. To achieve this, stops must be easily accessible and integrated with other forms of transportation. Accessibility is a crucial factor that affects transportation and land use decisions, and planners must evaluate the transportation network's efficiency and identify improvement areas. Ensuring equal access to transportation services for all members of society is crucial for improving their quality of life and making necessary services more accessible. Therefore, accessibility should be a top priority in urban and transportation planning. However, upon examination of the literature, it becomes evident that there has been insufficient focus on accessibility, particularly in Türkiye. A significant finding from existing studies highlights the crucial role of accessibility in the planning field, and there is a need to further disseminate academic research for its implementation.

As stated in the Method section, utilizing the Service Area Analysis instead of Buffer Analysis for determining accessibility offers a more objective approach. In this framework, accessible areas for each station have been created based on the 0-5, 5-10 and 10-15 minute walking distances to the stops, stations and piers of the rubber-tyred, rail and maritime public transportation systems in Istanbul's public transportation system. The population living in accessible areas was determined using the selection tool of ArcGIS software. Thus, the present structure of Istanbul's public transportation systems was analyzed from an accessibility standpoint, revealing the population capable of utilizing each transportation type.

One of the study's key findings highlights the importance of improving the accessibility of rail and maritime systems in Istanbul's public transportation network. To achieve this, it is essential to develop policies that promote the expansion of these transportation systems and increase investment in them.

By doing so, more individuals can access affordable, safe, and efficient public transportation and reach their desired destinations with greater ease and comfort. The study emphasizes the need for new metro lines in both the north-south and north/east-south/west directions, particularly on the Anatolian Side, as depicted in the visuals presented.

The results indicate that the public transport system in Istanbul relies heavily on rubber-tyred transportation, posing an accessibility challenge. To improve accessibility, enhancing transfer capabilities at all public transport stops is crucial. This can be achieved by facilitating transfers between different modes of transport and increasing the number of transfer points. Additionally, improving accessibility between stops, stations, and piers will encourage greater use of public transport. However, it is essential to avoid recommending transfer points in areas with large surface areas or natural/artificial thresholds, as these can be difficult to access for pedestrians.

The accessibility of the stops, stations and piers in the Istanbul public transportation system was analyzed by associating them with the population data. Nevertheless, different studies reveal that socio-economic criteria such as comfort, cost and public transport frequency should also be considered in the analysis of accessibility (Todd, 2008). Therefore, future studies should be conducted on accessibility analysis, including these criteria. Furthermore, future studies could focus on integrating public transport with other modes of transportation like walking, cycling, micro-mobility vehicles, and automobiles to improve the Istanbul transportation system. Additionally, the affordability of public transport services for low-income groups living on the city's outskirts and enhancing access for elderly and disabled individuals should be addressed. To support such studies, a GIS infrastructure is needed to create and update attribute information for all road networks in Türkiye, including slope, capacity, and number of lanes.

Acknowledgement

This article was derived from a postgraduate thesis entitled “Analysing the Accessibility of Public Transportation Stops: The Case of Istanbul”, authored by Dilara Öztaşkın under the supervision of Sinan Levend.

References

- Afacan, Y. (2015). Yaşanabilir kentsel mekanlar için erişilebilirliğin önemi: Çukurambar kentsel dönüşüm örneği. Retrieved from <http://www.mimarlarodasiankara.org/dosya/dosya36.pdf>.
- ASHB. (2023). *Engelli ve Yaşlı İstatistik Bülteni*. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı (ASHB), Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Retrieved from <https://www.aile.gov.tr/eyhgm/sayfalar/istatistikler/engelli-ve-yasli-istatistik-bulteni/>.
- Alessandro, A., Catalano, G., Gregori, M., & Matteucci, G. (2020). Rail versus bus local public transport services: A social cost comparison methodology. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 7, 100200. doi: 10.1016/j.trip.2020.100200.
- ArcGIS Desktop. (2022, Haziran 5). Types of network analysis layers. Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/types-of-network-analyses.htm>.
- Aydin, H. E. (2021, June). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Taşkın Duyarlılık Analizi. In *International Geoinformatics Student Symposium (IGSS). Proceedings*. (pp. 19-21). IGSS.
- Balasubramani, K., Gomathi, M., & Prasad, S. (2016). GIS-Based Service Area Analysis for Optimal Planning Strategies: A Case Study of Fire Service Station in Madurai City. *Geographic Analysis of Union Geographic Information Technologists*, 5(2), 11-18.
- Banister, D. (1995). *Transport and urban development*. London: E&FN Spon.
- Bari, M. G. (2013). *Ankara'daki Sağlık Birimlerinin Konumlarının Yer Seçim Modelleriyle Analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Beškovnik, B., & Golnar, M. (2020). Eliminating Barriers for Sustainable Transport Systems on Maritime Silk Road and Baltic–Adriatic Corridor under BRI. *Sustainability*, 12(18), 7412. doi: 10.3390/su12187412.
- Bhat, C., Handy, S., Kockelman, K., Mahmassani, H., Chen, Q., Srour, I., & Weston, L. (2001). *Assessment of Accessibility Measure* (Report No. FHWA/TX-01/4938-3). Austin, TX: Texas Department of Transportation.
- Blackwell, A. G. (2017). The curb-cut effect. *Stanford Social Innovation Review*, 15(1), 28-33.
- Bok, J., & Kwon, Y. (2016). Comparable measures of accessibility to public transport using the general transit feed specification. *Sustainability*, 8(3), 224. doi: 10.3390/su8030224.
- Büke, C., & Ertuğaç, M. (2016). Ağ analiz yöntemiyle Sakarya Üniversitesi Esentepe kampüsünün incelenmesi ve WEB tabanlı sunumu. *Nature Sciences*, 11(4), 14-25.
- Cirit, F. (2014). *Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması* (Uzmanlık Tezi). T.C. Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Curtis, C. (2007). Planning for sustainable accessibility: the implementation challenge. *Transport Policy*, 15, 104-112.

- Dalvi, M. Q., & Martin, K. M. (1976). The measurement of accessibility: some preliminary results. *Transportation*, 5(1), 17-42.
- Erkal, T., & Değerliyurt, M. (2013). Eskişehir’de acil durum yönetmeliğinde ağ (network) analizlerinin kullanılması. *Türk Coğrafya Dergisi*, 61, 11-20.
- Ersoy, M. (2015). *Kentsel Planlamada Standartlar*. Ankara: Ninova Yayınları.
- ESRI. (2022, Aralık 12). *What is GIS?* Retrieved from <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>.
- ESRI. (2023, Ocak 22). *Service area analysis layer*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/networks/service-area-analysis-layer.htm>.
- George, B. (2008). Graph Theory Konigsberg Problem. In S. Shekhar, H. Xiong & X. Zhou (Eds.), *Encyclopedia of GIS* (pp. 1-6), Springer, Cham.
- Greene, D. L., & Wegener, M. (1997). Sustainable transport. *Journal of Transport Geography*, 5(3), 177-190.
- Gülhan, G. (2014). *Toplu taşıma planlaması ve ağ tasarımında erişilebilirlik ölçütlerinin kullanılabilirliğinin araştırılması* (Doktora Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Güray, E., & Kemeç, S. (2016). Van Metropolitan Alanında Bulunan Okul Öncesi, İlk ve Orta Dereceli Okulların Mekânsal Erişilebilirlik Analizi. In 6. *Uzaktan Algılama CBS Sempozyumu. Proceedings*. (pp. 582-588). UZAL-CBS.
- Hansen, W. G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), 73-76.
- Hess, D. B. (2012). Walking to the bus: Perceived versus actual walking distance to bus stops for older adults. *Transportation*, 39, 247-266.
- Hsiao, S., Lu, J., Sterling, J., & Weatherford, M. (1997). Use of geographic information system for analysis of transit pedestrian access. *Transportation Research Record*, 1604(1), 50-59.
- İBB. (2020). *İETT pandemide sefer sayılarını artirdi*. Retrieved from <https://www.ibt.istanbul/arsiv/37482/iett-pandemide-sefer-sayilarini-artirdi>.
- İBB. (2022). *İstanbul Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı*. Retrieved from https://surdurulebilirulasim.istanbul/wp-content/uploads/2022/08/271487-60-IS-IMP-M9REP-Arup-001_TR-10-rs_compressed.pdf.
- İETT. (2022, Eylül 20). Otobüs Durakları. Retrieved from <https://iETT.istanbul/icerik/otobus-duraklari>.
- İncekara, S., Karakuyu, M., & Karaburun, A. (2009). Ortaöğretim coğrafya derslerinde yaparak öğrenmeye bir örnek: coğrafi bilgi sistemlerinin proje temelli öğrenimde kullanılması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(30), 305-322.
- Kapluhan, E. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri’nin (CBS) coğrafya öğretiminde kullanımının önemi ve gerekliliği. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 29, 34-59.
- Kaszczyszyn, P., & Sypion-Dutkowska, N. (2019). Walking access to public transportation stops for city residents. A comparison of methods. *Sustainability*, 11(14), 3758. doi: 10.3390/su11143758.
- Kimpel, T., Dueker, K., & El-Geneidy, A. (2007). Using GIS to measure the effect of overlapping service areas on passenger boardings at bus stops. *URISA Journal*, 19(1), 5-11.
- Kun, W., Hao, S., Yannan, X., Mingrui, X., & Quan, Z. (2012). Accessibility Analysis of Urban Parks Based on GIS. In *Fifth International Conference on Information and Computing Science. Proceedings*. (pp. 56-59). IEEE.
- Lloyd, C. (2010). *Spatial data analysis: An introduction for GIS users*. New York, NY: Oxford University Press Inc.
- Lovett, A., Haynes, R., Sünnenberg, G., & Gale, S. (2002). Car travel time and accessibility by bus to general practitioner services: a study using patient registers and GIS. *Social Science & Medicine*, 55(1), 97-111.
- Mavoa, S., Wittena, K., McCreanor, T., & O’Sullivan, D. (2012). GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand. *Journal of Transport Geography*, 20(1), 15-22.
- Metro İstanbul. (2022, Ağustos 14). *Hatlarımız*. Retrieved from <https://www.metro.istanbul/Hatlarimiz/TumHatlarimiz>.
- Miller, E. J. (2018). Accessibility: measurement and application in transportation planning. *Transport Reviews*, 38(5), 551-555.
- Morris, J. M., Dumble, P. L., & Wigan, M. R. (1979). Accessibility indicators for transport planning. *Transportation Research Part A: General*, 13(2), 91-109.
- Murray, A., & Wu, X. (2003). Accessibility tradeoffs in public transit planning. *Journal of Geographical Systems*, 5(1), 93-108.
- Neilson, G. K., & Fowler, W. K. (1972). Relation between transit ridership and walking distances in a low-density Florida retirement area. Retrieved from <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1972/403/403-004.pdf>.
- Newman, P., & Kenworthy, J. (2006). Urban design to reduce automobile dependence. *Opolis*, 2(1), 35-52.
- Newman, P., & Kenworthy, J. (2015). *The end of automobile dependence*. The End of Automobile Dependence. Washington, DC: Island Press.
- Öztürk, B. (2021). *İstanbul metro aktarma merkezlerinin entegrasyon ve erişilebilirlik unsurlarının araştırma ve değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özuysal, M., Tanyel, S., & Şengöz, B. (2003, Ekim). Erişilebilirlik yönetiminin ulaşım planlama politikası olarak değerlendirilmesi. In *TMMOB Ulaştırma Politikaları Kongresi, 2003. Proceedings*. (pp. 111-121). TMMOB.

- Parker, H. D. (1988). The unique qualities of a geographic information system: a commentary. *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*, 54(11), 1547-1549.
- Pietrzak, K., & Pietrzak, O. (2020). Environmental effects of electromobility in a sustainable urban public transport. *Sustainability*, 12(3), 1052. doi: 10.3390/su12031052.
- Pojani, D., & Stead, D. (2015). Sustainable urban transport in the developing world: beyond megacities. *Sustainability*, 7(6), 7784-7805.
- Resmi Gazete. (2014). *Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği*. T.C. Resmî Gazete Tarih: 14 Haziran 2014, Sayı: 29030. Retrieved from <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/06/20140614-2.htm>.
- Rodriguez, J. P. (2006). *The geography of transport systems*. Retrieved from <https://people.hofstra.edu/geotrans/>.
- Ross, W. (2000). Mobility & accessibility: the yin & yang of planning. *World Transport Policy & Practice*, 6(2), 13-19.
- Salicru, M., Fleurent, C., & Armengol, J. (2010). Timetable-based operation in urban transport: un-time optimization and improvements in the operating process. *Transportation Research Part A*, 45, 721-740.
- Simon, D. (2016). *Rethinking sustainable cities: Accessible, green and fair*. Bristol, United Kingdom: Bristol University Press.
- Southworth, M., & Ben-Joseph, E. (2013). *Streets and the Shaping of Towns and Cities*. Washington, DC: Island Press.
- Straatemeier, T., & Bertolini, L. (2020). How can planning for accessibility lead to more integrated transport and land-use strategies? Two examples from the Netherlands. *European Planning Studies*, 28(9), 1713-1734.
- Tardivo, A., Zanuy, A. C., & Martín, C. S. (2021). COVID-19 impact on transport: A paper from the railways' systems research perspective. *Transportation Research Record*, 2675(5), 367-378.
- TCRP. (1996). *Fare Policies, Structures, and Technologies*. Transit Cooperative Research Program (TCRP Report 10). Transportation Research Board. Retrieved from https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_10-a.pdf.
- Tecim, V. (2008). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Harita Tabanlı Bilgi Yönetimi*. Ankara: RENK FORM Ofset Matbaacılık Ltd. Şti.
- TOD. (2023, March 30). *Transit Oriented Development Institute (TOD)*. Retrieved from <http://www.tod.org/stations.html>.
- Todd, L. (2008). *Evaluating accessibility for transportation planning*. Victoria, Canada: Victoria Transport Policy Institute.
- Töreayen, G., Özdemir, İ., & Kurt, T. (2010). *ArcGIS 10 Desktop Uygulama Dökümanı*. Ankara: İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti.
- TÜİK. (2023, Ocak 5). *İBBS-Düzey1, İBBS-Düzey2, İl ve İlçe Nüfusları*. Retrieved from <https://cip.tuik.gov.tr/#>.
- Uludağ, U. (2010). *Bulanık Optimizasyon ve Doğrusal Hedef Programlama Yaklaşımları ile Otobüs Hatlarının Modellenmesi* (Doktora Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Uluğtekin, N., & Doğru, A. Ö. (2005, April). Coğrafi Bilgi Sistemi ve Harita: Kartografya. In *Ege Üniversitesi CBS Sempozyumu, 2005. Proceedings*. (pp.27-29).
- Untermann, R. (1984). *Accommodating the Pedestrian: Adapting Towns and Neighborhoods for Walking and Bicycling*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold Company.
- Ünver, Ü. (2013). *Stratejik Mekânsal Gelişme Dinamikleri Çerçevesinde Transfer Merkezlerinin Kent Formuna Etkileri: Londra-Lizbon-İstanbul Deneyimleri* (Yüksek Lisans Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- WMO. (2023, Şubat 13). *Disability*. World Health Organization (WMO). Retrieved from https://www.who.int/health-topics/disability#tab=tab_1.
- Yigitcanlar, T., Sipe, N., Evans, R., & Pitot, M. (2007). A GIS-based land use and public transport accessibility indexing model. *Australian planner*, 44(3), 30-37.
- Yılmaz, E., & Kamacı Karahan, E. (2020). Stratejik Planlama Ekseninde Erişilebilirlik: Tampon ve Ağ Analizlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 335-349.
- Yomraloğlu, T. (2009). *Coğrafi Bilgi Sistemleri - Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. İstanbul: Seçil Ofset.
- Zhao, F., Chow, L., Li, M., Ubaka, I., & Gan, A. (2003). Forecasting transit walk accessibility: regression model alternative to buffer. *Transportation Research Record*, 1835(1), 34-41.