

GEOmatik

Geomatik Dergisi
Cilt 9 / Sayı 2 - Ağustos 2024

ISSN:2564-6761

**Dergi Hakkında**

Geomatik Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak harita mühendisliği alanında yeni gelişmelerle ilgili yapılan çalışmalarını yayınlayan bir dergidir. Geomatik dergisi Tubitak Ulakbim TR Dizin’de Dizinlenmektedir.

Amaç & Kapsam

Geomatik Dergisi 2016 yılından beri yayın hayatını sürdüren uluslararası hakemli TÜRKÇE yayın yapan bir dergi olup hakem değerlendirme sistemi mevcuttur. Harita Mühendisliğine ait kuramsal ve uygulamalı araştırma, tarama-inceleme, bildiri, vaka çalışması, kısa rapor ve editöre mektup niteliklerinden birine uygun eserler hakem değerlendirmesinden yayınlanabilir olduğuna dair karar verildikten sonra yayımlanır. Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan eser, dergi editörlüğünce değerlendirme için hakemlere gönderilir. Geomatik Dergisinde KÖR HAKEMLİK uygulaması mevcuttur. Yayımlanmasına, hakemlerin görüşü doğrultusunda Dergi Editör ve Yayın Kurulu karar verir. Gönderilen makaleler yayımlansın veya yayımlanmasın iade edilmez. Dergimizde yayınlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik v.b.) yazarlara aittir. Yayımlanan yazıların telif hakkı dergiye aittir ve referans gösterilmeden aktarılamaz. Araştırmacılar arasındaki bilimsel iletişimi oluşturmak amacıyla aşağıda nitelikleri açıklanan, başka bir yerde yayımlanmamış makaleler Türkçe olarak kabul edilmekte ancak özetinin İngilizce de basılması zorunluluğu vardır.

GEOMATİK dergisinin kapsamı;

- ✓ Fotogrametri ve Uzaktan Algılama,
- ✓ Lidar, Yersel lazer tarama, Mobil lazer tarama,
- ✓ GPS ve uygulamaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları
- ✓ Ölçme teknikleri - endüstriyel ölçmeler, deformasyon ölçmeleri,
- ✓ Jeodezi
- ✓ Hidrografik ölçmeler, navigasyon, madencilik ölçmeleri
- ✓ Mühendislik ölçmeleri, Jeodezi, dengeleme,
- ✓ Kartografik uygulamalar,
- ✓ Arazi Toplulaştırma ve uygulamaları, Kadastro ve uygulamaları
- ✓ İmar Bilgisi ve uygulamaları ve
- ✓ Geomatik mühendisliği ve yerbilimleri ile bağlantılı multi disiplinler çalışmaları.

Yayımlanma Sıklığı

Yılda 3 sayı (Nisan, Ağustos, Aralık aylarında sayı çıkarılır.)

e-ISSN

2564-6761

WEB

<https://dergipark.org.tr/geomatik>

İletişim

geomatikdersisi@gmail.com



EDİTÖR

Prof. Dr. Murat YAKAR
Mersin Üniversitesi,
Mersin

EDİTÖR YARDIMCILARI

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Konya Teknik Üniversitesi,
Konya

EDİTÖR KURULU

- Prof. Dr. Reha Metin ALKAN, Hitit Üniversitesi
- Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Haluk ÖZENER, Boğaziçi Üniversitesi
- Prof. Dr. Erkan BEŞDOK, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Gönül TOZ, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU, İstanbul Üniversitesi
- Prof. Dr. Fevzi KARSLI, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ, Selçuk Üniversitesi
- Prof. Dr. Sebahattin BEKTAŞ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
- Doç. Dr. Çiğdem GÖKSEL, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. Semra ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Doç. Dr. Tekin SUSAM, Gaziosmanpaşa Üniversitesi
- Doç. Dr. İ. Rakıp KARAŞ, Karabük Üniversitesi
- Doç. Dr. Mevlüt YETKİN, Katip Çelebi Üniversitesi
- Doç. Dr. Şinasi KAYA, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. İbrahim YILMAZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- Doç. Dr. Ömer MUTLUOĞLU, Selçuk Üniversitesi
- Doç. Dr. Arzu ERENER, Kocaeli Üniversitesi
- Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
- Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU, Cumhuriyet Üniversitesi
- Doç. Dr. Yasemin ŞİŞMAN, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
- Doç. Dr. Güler YALÇIN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
- Yrd. Doç. Dr. Ayşe Yavuz ÖZALP, Artvin Çoruh Üniversitesi
- Yrd. Doç. Dr. Fatih TAKTAK, Uşak Üniversitesi
- Dr. Öğr. Üyesi Ali ULVİ, Mersin Üniversitesi

DANIŞMA KURULU

- Prof. Dr. Dursun Zafer Şeker, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ, Aksaray Üniversitesi
- Prof. Dr. Cengiz ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. Abdurrahman Geymen, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Ferruh YILDIZ, Selçuk Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

CİLT 9 / SAYI 2

Orman içi açıklıklara ait zamansal değişimlerin uzaktan algılama teknikleri ile Google Earth Engine platformunda tespit edilmesi: Trabzon-Düzköy İlçesi örneği

Fatih Kadı, Osman Salih Yılmaz 141-155

Çok katlı mekanların navigasyonu için bluetooth tabanlı Beacon teknolojisi: Pamukkale Üniversitesi Hastanesi Örneği

Recep Çakır, Çağrı Çiçekdemir, Serkan Doğanalp 156-163

Arazi ve arsa düzenlemesine yapılan itirazların davacı dilekçeleri esas alınarak incelenmesi

Şehadet Sevrâ Mintemur, Murat Selim Çepni 164-174

Metin ve konum bazlı sosyal medya analizleriyle Antarktika'yı haritalama yaklaşımı

Ayşe Giz Gülnerman, Fevzican Karakuş, Necip Enes Gengeç, Himmet Karaman, Hasan 175-184

Hakan Yavaşoğlu, Burcu Özsoy

CBS tabanlı ÇKKV-AHS yöntemi ile ekoturizm alanlarının yer seçimi: Çamlıhemşin İlçesi Örneği

Cemile Koca, Çağlar Kıvanç Kaymaz 185-206

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde yıkılan binalar ile zemin ilişkisinin incelenmesi ve depremde yıkıma uğrama riski analizi

Selim Eraslan, İltter Kutlu Hatipoğlu, Fatih Ocak, Fatih Işık, Halil İbrahim Zeybek 207-226

CYGNSS toprak nemi verilerinin SMAP uydusu ve ISMN istasyonları ile karşılaştırmalı analizi

Muhammed Raşit Çevikalp, Mustafa Serkan Işık, Mehmet Furkan Çelik, Nebiye 227-237

Musaoğlu

Aksaray Müzesi'nde bulunan Hitit Steli'nin 3B modellenmesi ve sesli rehberlik oluşturulması

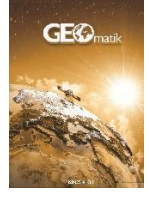
Şükran Tosun Çolak, Avşar Timuçin Çolak 238-244

Akarsular üzerindeki antropojenik yapıların kıyı çizgisi üzerindeki etkisi: Dalaman Çayı

Ersin Ateş, Murat Gül, Güncel Sarıman, İliya Bauchi Danladi 245-258

Orman ekosistemindeki ağaç boylarının, optik, radar, lazer altimetre uydu verileri ve yardımcı kaynaklar kullanılarak Google Earth Engine platformunda modellenmesi

Eren Gürsoy Özdemir, Tarık Utku Zengin, Halit Abdullah Güleç 259-268



Orman içi açıklıklara ait zamansal değişimlerin uzaktan algılama teknikleri ile Google Earth Engine platformunda tespit edilmesi: Trabzon-Düzköy İlçesi örneği

Fatih Kadı¹, Osman Salih Yılmaz²

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

² Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Demirci Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Manisa, Türkiye

Kaynak Göster: Kadı, F., & Yılmaz, O. S. (2024). Orman içi açıklıklara ait zamansal değişimlerin uzaktan algılama teknikleri ile Google Earth Engine platformunda tespit edilmesi: Trabzon-Düzköy İlçesi örneği Geomatik, 9 (2), 141-155

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1363873>

Anahtar Kelimeler

Meşcere tipi
Orman içi açıklık
NDVI
Rastgele orman algoritması
Google Earth Engine

Araştırma Makalesi

Geliş: 21.09.2023
Revize: 21.10.2023
Kabul: 27.10.2023
Yayınlanma: 15.08.2024



Öz

Bu çalışmada orman içi açıklıklardaki zamansal değişimlerin uzaktan algılama teknikleriyle Google Earth Engine Platformu'nda tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda meşcere haritalarından on adet orman içi açıklık alan belirlenmiştir. Bu alanları içine alacak genel bir çalışma alanı belirlenmiş ve Sentinel-2 görüntüleri üzerinden çalışma alanı rastgele orman algoritması ile sınıflandırılarak orman içi açıklıkların güncel durumları elde edilmiştir. Daha sonra ise tespit edilen orman içi açıklıkların Landsat görüntüleri üzerinden normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) zaman serisi analizleri yapılarak bu açıklıkların vejetasyon değişimi ortaya konulmuştur. Sentinel-2 görüntüleri ile yapılan sınıflandırma çalışmasında orman, orman içi açıklık alanları ve boş alanlar olmak üzere arazi üç sınıfa ayrılmıştır. Yapılan sınıflandırma çalışmasının genel doğruluğu %89.46, Kappa istatistik değeri ise 0.810 hesaplanmıştır. Elde edilen orman içi açıklık alanları meşcere haritasındaki alanlar ile kıyaslandığında on bölge için ortalama %52.56 civarında kapalılık yönünde bir değişim olduğu görülmüştür. NDVI zaman serileri ile yapılan analizler sonucunda orman içi açıklık alanlardaki vejetasyonun genel olarak arttığı ve dolayısıyla alanların kapanma eğiliminde oldukları görülmüştür.

Detection of temporal changes of treeless forest areas using remote sensing techniques and Google Earth Engine platform: A case study of Trabzon Düzköy District

Keywords

Stand type
Treeless forest
NDVI
Random forest algorithm
Google Earth Engine

Research Article

Received: 21.09.2023
Revised: 21.10.2023
Accepted: 27.10.2023
Published: 15.08.2024

Abstract

This study aims to detect temporal changes in treeless forest areas using remote sensing techniques on the Google Earth Engine Platform. In this direction, ten treeless forest areas were determined from stand maps. A general study area was determined to include these areas, and the status of treeless forest areas was obtained by classifying the study area with a random forest algorithm on Sentinel-2 images. Then, normalized difference vegetation index (NDVI) time series analyses were performed on Landsat images to reveal vegetation changes in these treeless forest areas. In the classification study conducted with Sentinel-2 images, the land was divided into three classes: forest, treeless forest areas, and bare land. The overall accuracy of the classification study was calculated as 89.46%, and the Kappa value as 0.810. When the obtained treeless forest areas were compared with the areas on the stand map, it was seen that there was an average change of about 52.56% in terms of forest cover for ten regions. As a result of the analyses made with NDVI time series, it was observed that vegetation in treeless forest areas increased and therefore these areas tended to close.

1. Giriş

Ormanlar, bilimsel kurallara dayalı, planlı ve programlı bir şekilde yönetildiği takdirde, insanoğlunun sürekli bir şekilde faydalanılabileceği alanlardır. Ormanlık politikaları gereği ormanlık alanların düzgün bir şekilde planlanması, insanoğlunun en yüksek düzeyde faydalanmasına imkân vermektedir. Bu kapsamda orman amenajman planları, hedeflenen amaçlar doğrultusunda orman kaynaklarının gelişmesine ve bu kaynaklardan yarar sağlanmasına katkı sağlamaktadır (Akyol ve ark., 2018; Celik ve Kadioğulları, 2022; Eraslan, 1982). Ormanların işletmelerce tespit edilen amaçlara yönelik planlanması ve bu planlamaların günümüzde ve gelecekte uygulanması, amenajman bilim dalının öncül görevlerindedir. Ormanlık faaliyetleri boyunca gereksinim duyulan ürün ve hizmetlerin aksadın ve zamanında karşılanabilmesi için tasarlanan planlamalara orman amenajman planları adı verilmektedir (Celik ve Kadioğulları, 2022). Orman amenajman planları, gelecekte ormanlık faaliyetleri adına yürütülen tüm hesaplamaları ve eylem planlarını içine alan büyük bir veri boyutuna sahip bir plan türüdür. Üretilen bu plan, bir bölgedeki ormana dair çok sayıda öznetelikler hakkında bilgiler içermektedir. Ormanlık alanların toplam yüzölçümleri, bozuk ve verimli orman alanlarının tespiti, ağaçların cins ve türleri, bu özneteliklerin bazıları olarak belirtilmektedir. Amenajman planları, orman ekonomisinde meydana gelen değişimleri tespit etmek ve hedeflenen amaçlara uygunluğu irdelemek için 10 veya 20 yıllık periyotlar şeklinde güncellenmektedir. Buna ek olarak arazi kullanımında meydana gelen değişimlerin doğru ve hızlı bir şekilde plana işlenmesi insan ile doğa arasındaki etkileşimin yürütülmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Akyol ve ark., 2018; Bozali ve ark., 2015; Uzun ve Somuncu, 2013).

Meşcere haritalarında orman toprağı (OT) diye ifade edilen orman içi açıklıklar zaman içerisinde kapalılığında değişimler söz konusudur. Bu değişimler zamanla ağaçlandırma çalışmaları ya da çevredeki ağaçların tohumlarından kaynaklı artış yönlü olabildiği gibi kesim faaliyetleri ya da yangın gibi doğal afetlerle eksi yönlü olabilmektedir. Bu yüzden bu alanların daha sık periyotlarda izlenmesi ve meşcere haritalarında güncellenmesi ormanlık politikaları ve sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir. Orman alanlarının doğal afetler, antropojenik etki ve doğal süreçlerden dolayı genişleyen ya da daralan dinamik bir yapıya sahip olması, zamanla OT alanlarının da değişmesine neden olmaktadır. Meşcere tipi haritalarında OT vasfıyla haritaya işlenen orman içi açıklıkların arazi çalışmaları gerektirmeden uydu görüntüleri sayesinde hızlı ve güvenli bir şekilde tespit edilmesi mümkündür.

Orman alanlarında meydana gelen değişimler, doğal ve insan kaynaklı etkenler sonucunda gerçekleşmektedir. Orman alanlarındaki bu değişimler, ağaçların çap ve boy büyümelerindeki artışa neden olabilmektedir. Öte yandan bu tür değişimler, insan kaynaklı etkenler sonucunda OT oluşması veya orman kaynaklarının tükenmesi gibi negatif sonuçlar da yol

açabilmektedir. Söz konusu bu değişimlerin hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi, ormanlık politikalarının sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi açısından önemli bir konudur (Çoban ve Gündoğdu, 2020; Lu ve ark., 2004). Orman amenajman planları meşcere haritalarının güncel olması, ormanlardaki zamanla meydana gelen değişimlerin tespit edilmesi ve bu tespitlerin meşcere haritalarına işlenmesi ile mümkün olmaktadır (Xie ve ark., 2020). Günümüzde gelişen uydu teknolojileri sayesinde arazi yüzeyindeki değişimleri tespit etmek oldukça pratik hale gelmiştir. Çok zamanlı yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama (UA) uydu verileri, arazi örtüsü (Lambin ve ark., 2003; Şirvan ve Tanrıöver, 2023), orman biyokütlesi (Zheng ve ark., 2007; Labrière ve ark. 2023), toprak bozulması (Özsoy, 2007; Güvel ve ark., 2023), ormanlık alanlarda karbon depolama, (Anand ve ark., 2020), su basar ormanlarının izlenmesi (Wang ve ark., 2003; Cipta ve ark., 2021; Parida ve Kumar, 2020) kentsel genişleme (Abebe, 2013) ve daha genel olarak çoğu arazi kullanım (Yılmaz ve ark., 2018) değişikliği gibi uygulamaları izlemek için güçlü bir araç haline gelmiştir. Özellikle son yıllarda gelişen Google Earth Engine (GEE) gibi bulut platformları uydu görüntüleri işlemede birçok avantaj sağlamaktadır (Yılmaz ve ark., 2022). GEE küresel ölçekte birçok UA verisine erişim sağlayan ve analiz edebilen, bilgisayar donanım ve yazılımından bağımsız, JavaScript ve Python kodlama dillerini destekleyen UA için eşsiz bir bulut platformdur (Feizizadeh ve ark., 2023; Oliphant ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2019). GEE bulut platformu Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration, NASA)'ne ait Landsat arşivinin yanı sıra Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) ve diğer görüntülerden ücretsiz servis edilen halka açık diğer platformlara da erişebilmektedir. GEE platformu, performansları, modelleme ve tahmin gücü kabiliyeti ve yüksek düzeyde güven doğruluğu nedeniyle yer bilimci alanında yaygın olarak kullanılmaktadır (Chen ve ark., 2018; Desai ve Gaikwad, 2022; Feizizadeh ve ark., 2023; Kaplan ve ark., 2022; Wahap ve Shafri, 2020). GEE özellikle geçmişten günümüze Landsat arşivine erişim, zaman serilerinin hesaplanması gibi olanaklar sayesinde ormanlık alanlardaki oluşabilecek değişimlerin takip edilmesi için oldukça faydalı bir platform haline gelmiştir (Chen ve ark., 2021).

Günümüzde OT alanlarının zamansal değişimlerini konu edinen gerek ulusal gerekse uluslararası birçok çalışma yapılmıştır. Gautam ve ark. (2003) 1976 tarihli Landsat 2, 1989 tarihli Landsat 4 ve 2000 tarihli Hindistan'a ait UA uydusundan alınan uydu görüntülerini maksimum olabilirlik tahmini üzerinden sınıflandırarak coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı analizler yardımıyla arazi örtüsündeki zamansal değişimleri tespit etmeyi amaçlamışlardır. Elde edilen sonuçlar ışığında geçen bu sürede çalılık, geniş yapraklı orman, kozalaklı orman alanlarının arttığı, fundalık ve otlak alanların ise azaldığı gözlemlenmiştir. Başkent ve Kadioğulları (2007) yaptıkları çalışmada 1,778 m²'lik alana sahip orman kaynaklarındaki zamansal değişimleri FRAGSTATS programı yardımıyla incelemiştir. 1987-2001 tarihleri arasındaki Landsat görüntüleri ve 1972-2004 tarihleri arasındaki meşcere haritaları bu çalışmada kullanılan

verilerdir. Sonuçlar ormanlık alanların 1972 ile 1993 tarihleri arasında %3.3, 1987 ile 2001 tarihleri arasında ise %6.7 arttığını göstermiştir. Buna ek olarak orman içi açık alanların 1987-2001 tarihleri arasında 9,083 ha arttığı tespit edilmiştir. [Kadioğulları ve Başkent \(2009\)](#) orman kaynaklarına ilişkin değişimleri zamansal ve konumsal açıdan incelemiştir. Çalışma alanına ait 1987-2001 yılı Landsat uydu görüntülerinden yararlanılarak 1972, 1993 ve 2004 yıllarındaki meşcere haritaları yenilenmiştir. Meşcere haritalarına göre ormanlık alanlarda 1972 ve 1993 yılları arasında %3.61, 1987 ve 2001 yılları arasında da %4.74, 1993 ve 2004 yılları arasında %3.37, 1972 ve 2004 yılları arasında ise %7.10 oranında artış meydana gelmiştir. Buna ek olarak zamansal açıdan bölgedeki orman alanlarının kapalılığı artmış ve daha kaliteli orman varlığı oluşmuştur. [Karabulut ve ark. \(2006\)](#), 1984-2003 ve 2016 yıllarına ait Landsat uydu görüntülerine kontrolsüz sınıflandırma tekniği uygulayarak, Kahramanmaraş ve çevresindeki zamansal değişimleri tespit etmeyi amaçlamışlardır. Sonuçlara göre yerleşim ve ağaçlık alanların 1984 yılından 2016 yılına kadar sürekli bir şekilde arttığı, tarım ve çıplak yüzeyli alanların ise sürekli bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. [Kadioğulları \(2013\)](#), 1972-2005 yılları arasında çalışma alanında meydana gelen zamansal ve konumsal değişimleri FRAGSTATSTM programı yardımıyla tespit etmeyi amaçlamıştır. 1/23000 ölçekli hava fotoğrafları üzerinden üretilen 1/25000 ölçekli çalışma sahasına ait meşcere haritası ve IKONOS uydu görüntüleri üzerinden gerçekleştirilen sınıflandırma sonucunda çalışma alanındaki toplam ormanlık alanda 1,823 ha artış olduğu, kümülatif orman iyileştirilmesi oranının ise %2.06 olarak hesaplandığı görülmüştür. [Zengin ve ark. \(2018\)](#) yaptıkları çalışmada Hasanlar Barajı havzasının 1986-2010 yıllarına ait sayısallaştırılmış meşcere haritaları üzerinden arazi kullanım biçimlerindeki zamansal değişimleri tespit etmişlerdir. Bu bağlamda bölgedeki arazi kullanım biçimleri orman (yapraklı, ibreli, karışık, bozuk), orman toprağı, fındıklık, ziraat, mera ve diğer alanlar olmak üzere toplam 6 farklı sınıfa ayrılmıştır. Sonuçlar, orman alanlarının geçen zaman diliminde 64,843 hektardan 62,709 hektara kadar gerilediğini göstermiştir. Aynı şekilde bölgedeki orman toprağı alanı da 1,377.4 hektardan 1,127.9 hektara düştüğü tespit edilmiştir. [Kaptan ve Durkaya \(2019\)](#) çalışma alanına ait arazi örtüsündeki zamansal değişimleri çeşitli sınıflara ayırarak incelemeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda çalışma alanına ait orman amenajman planları ve meşcere tipleri haritalar temin edilerek 1967 ile 2006 yılları arasındaki zamansal değişimler ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre ormanlık alanlarda 227.6 ha artış, orman dışı alanlarda ise 227.6 ha değerinde bir azalış olduğu görülmüştür. Orman dışı alanlar sınıfında yer alan orman içi açık alanlarda ise 36.69 ha değerinde bir artış tespit edilmiştir. [Li ve ark. \(2019\)](#) yaptıkları çalışmada su basar orman türlerinin fenolojik değişimlerini belirlemek için GEE platformunda Sentinel-2 görüntülerinden 2017-2018 yılları arasında normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) zaman serisi oluşturuldu. Yapılan çalışmada su basar ormanların fenolojik değişimlerde büyük farklılıklar olduğunu

ortaya koymuşlardır. Çalışmanın genel doğruluk %84 ve Kappa değeri 0.840 olarak hesaplanmıştır. [Baines ve ark. \(2020\)](#) kentsel bir alanda orman alanlarının kapalılığını, yüksekliğini ve yoğunluğunu tahmin etmek amacıyla rastgele orman (RO) algoritması kullanmışlardır. Algoritma LiDAR, Sentinel-2 ve iklim ve topografya verileri ile eğitilmiştir. Yapılan çalışmada orman alanlarının kapalılığının yaklaşık %16.5, yüksekliğinin yaklaşık 8.1-15.0 m ve 4.6 m genişliğinde yoğun ağaçlardan oluştuğunu belirlemişlerdir. [Ghosh vd. \(2020\)](#) yaptıkları çalışmada Bhitarkanika da bulunan su basar orman örtüsü yüksekliğini belirlemek için Sentinel-1 ve Sentinel-2 verileri kullanmışlardır. Çalışmada RO algoritması ve sembolik regresyon (SR) kullanarak sentetik açıklıklı radar (SAR) ve optik verilerden orman örtüsü yüksekliğini tahmin eden bir model geliştirmişlerdir. RO modelinde gözlenen ve tahmin edilen orman örtüsü yüksekliği arasında RMSE 1.57 m, R² 0.60, SR modelde ise RMSE değeri 1.48, R² ise 0.62 olarak hesaplanmıştır. [Kaptan \(2021\)](#) çalışma alanına ait arazi örtüsü, toplam orman alanı, gelişim çağları ve kapalılık sınıflarında 1995-2018 yılları arasında meydana gelen zamansal ve konumsal değişimleri tespit etmeyi amaçlamıştır. 1995 ve 2018 yıllarında üretilen meşcere tipi haritaların ArcGIS yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmasıyla elde edilen sonuçlar ışığında arazi örtüsünün %27'sinde, gelişim çağının %56'sında ve kapalılık sınıfının ise %55'inde değişimler meydana gelmiştir. Buna ek olarak arazi örtüsü kategorisinde yapraklı orman %61, orman içi açık alan %30 ve ziraat %1 azalırken, ibreli orman %9 ve yerleşim alanı %20 oranında arttığı gözlemlenmiştir. [Sauti ve Karahalil \(2022\)](#) çalışma alanının ekosistem dinamikleri ve arazi örtüsü faktörlerinin zamansal değişimlerini tespit etmeyi amaçlamışlardır. 43 yıllık bir zaman diliminde meydana gelen değişimleri belirlemek için 1972, 2004 ve 2015 yıllarında üretilen meşcere tipi haritaları ve amenajman planları kullanılmıştır. ArcGIS yazılımı yardımıyla sayısallaştırılmış üç farklı meşcere tipi haritalar üzerinden gerçekleştirilen alansal kıyaslamalara göre, bozuk ormanlık alanların kayda değer bir şekilde azaldığı, karışık ormanlık alanların %117.2 oranında keskin bir artış gösterdiği ve son olarak genel orman varlığının ise %42 oranında arttığı tespit edilmiştir. [Sönmez ve ark. \(2022\)](#) orman kaynaklarındaki zamansal ve mekânsal değişimleri CBS kullanarak analiz etmişlerdir. Bu kapsamda çalışma alanına ait 1972, 2004-2006 ve 2017 yıllarındaki orman envanter kayıtlarını kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre 45 yıllık periyotta çalışma alanındaki ormanlık alanların %4.5 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda verimli orman alanlarının 24.13 hektardan 60.85 hektara yükseldiği, orman içi açık alanların ise 122.34 hektardan 97.09 hektara düştüğü tespit edilmiştir. [Şirvan ve Tanrıöver \(2023\)](#), Bursa şehrine ait Sentinel uydu görüntüleri yardımıyla obje tabanlı sınıflandırma kullanılarak arazi örtüsünde meydana gelen zamansal değişimleri tespit etmeyi amaçlamışlardır. 1972-2021 tarihleri arasında geçen zaman diliminde orman alanlarında ve açık yeşil alan miktarlarında sırasıyla 1,622 ve 3,450 hektarlık bir artış olduğu, açık alanlarda ise büyük bir değişimin yaşanmadığı gözlemlenmiştir.

OT alanlarının uydu görüntüleri ile izlenmesi ve dinamik bir şekilde güncellenmesine yönelik çalışmaların gerek ulusal gerekse uluslararası literatürde yetersiz olması bu çalışmadaki motivasyonun ana kaynağını oluşturmaktadır. Bu amaçla bu çalışmada Trabzon İli sınırları içerisinde seçilen pilot çalışma sahası içerisinde meşcere haritalarından seçilen on adet OT alanı belirlenmiştir. Belirlenen bu OT alanları üzerinde GEE platformunda UA teknikleri ile RO makine öğrenme algoritması kullanılarak sınıflandırma yapılmış ve aynı zamanda her bir alan için normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi NDVI zaman serisi analizi yapılmıştır. Bu çalışma ile kullanılan GEE platformu ve UA teknikleri ile OT alanlarının çok hızlı bir şekilde belirlenebileceği ve mevcut alanlarının meşcere haritalarında daha sık periyotlarla güncellenebileceği ortaya koyulmuştur.

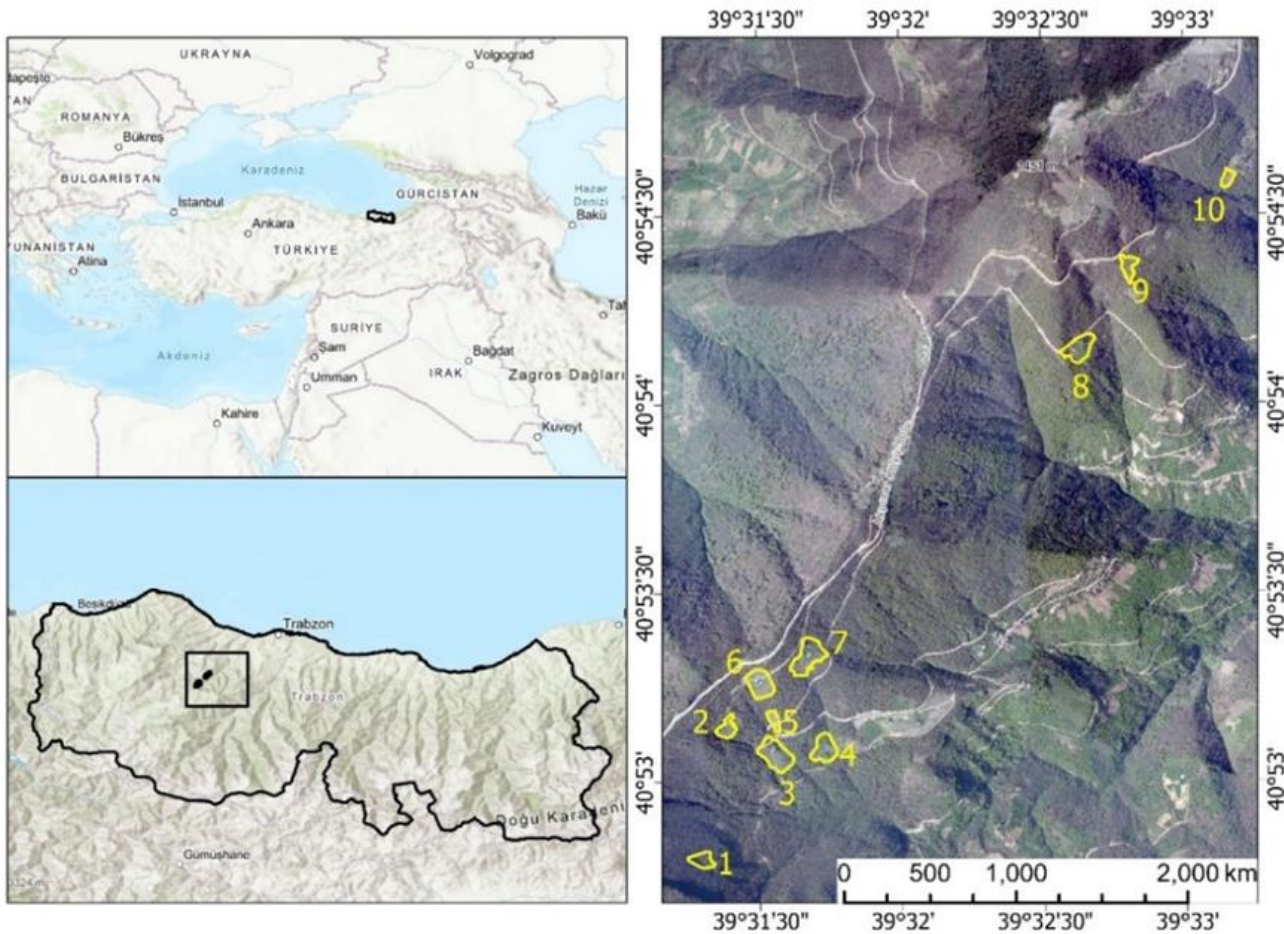
2. Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Bu çalışma Türkiye'deki Doğu Karadeniz Bölgesinin bir ili olan Trabzon il sınırları içinde gerçekleştirilmiştir. Trabzon, Türkiye'nin en kalabalık yirmi yedinci ili olma özelliğini taşımaktadır. İl, Karadeniz dağları ve sahili boyunca uzanmakta olup batısında Giresun, doğusunda

Rize ve güneyinde Gümüşhane illerine komşudur. Dağların denize paralel uzandığı Trabzon İli'nde topraklarının %22.4 yaylalardan oluşurken %77.6'sı tepeliklerden meydana gelmektedir. Bu ilde tipik Karadeniz iklimi hâkim olup her mevsim bol yağışlı ve nemlidir. Yıl boyunca ortalama sıcaklık 22.3 °C civarında olup, yıllık ortalama yağış miktarı ise 830 mm dir (Vatandaşlar ve Zeybek, 2021). Trabzon İli oldukça zengin bir biyoçeşitliliğe sahiptir. Başlıca kozalaklı ağaçlar; Ladin (*Picea orientalis*), Sarıçam (*Pinus sylvestris*), Doğu Karadeniz Göknaarı (*Abies nordmanniana* subsp), Fıstık çamı (*Pinus pinea*), geniş yapraklılar; Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), Adi gürgen (*Carpinus betulus*), Kızılağaç (*Alnus* spp), Anadolu kestanesi (*Castanea sativa*), Sapsız meşe (*Quercus petraea*) ve Gürgen yapraklı kayacık (*Ostrya carpinifolia*) gibi çeşitli türlere ev sahipliği yapmaktadır (Güner ve ark., 2014).

Trabzon İli'ne bağlı Düzköy İlçesi sınırlarında yer alan Cevizlik Köyü yakınındaki ormanlık alanların bulunduğu bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanı seçimi eldeki veriler doğrultusunda belirlenmiştir. Çalışma alanı sınırları içerisinde yer alan ve OT vasfıyla meşcere tipi haritalarına işlenen orman içi açıklıklar belirlenerek 1'den 10'a kadar numaralandırılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı.

2.2. Kullanılan veri kaynakları

Bu çalışmada Sentinel-2 (MSI) ve Landsat-5 (TM), Landsat-7 (ETM+), Landsat-8 (OLI) ve Landsat-9 (OLI-2)

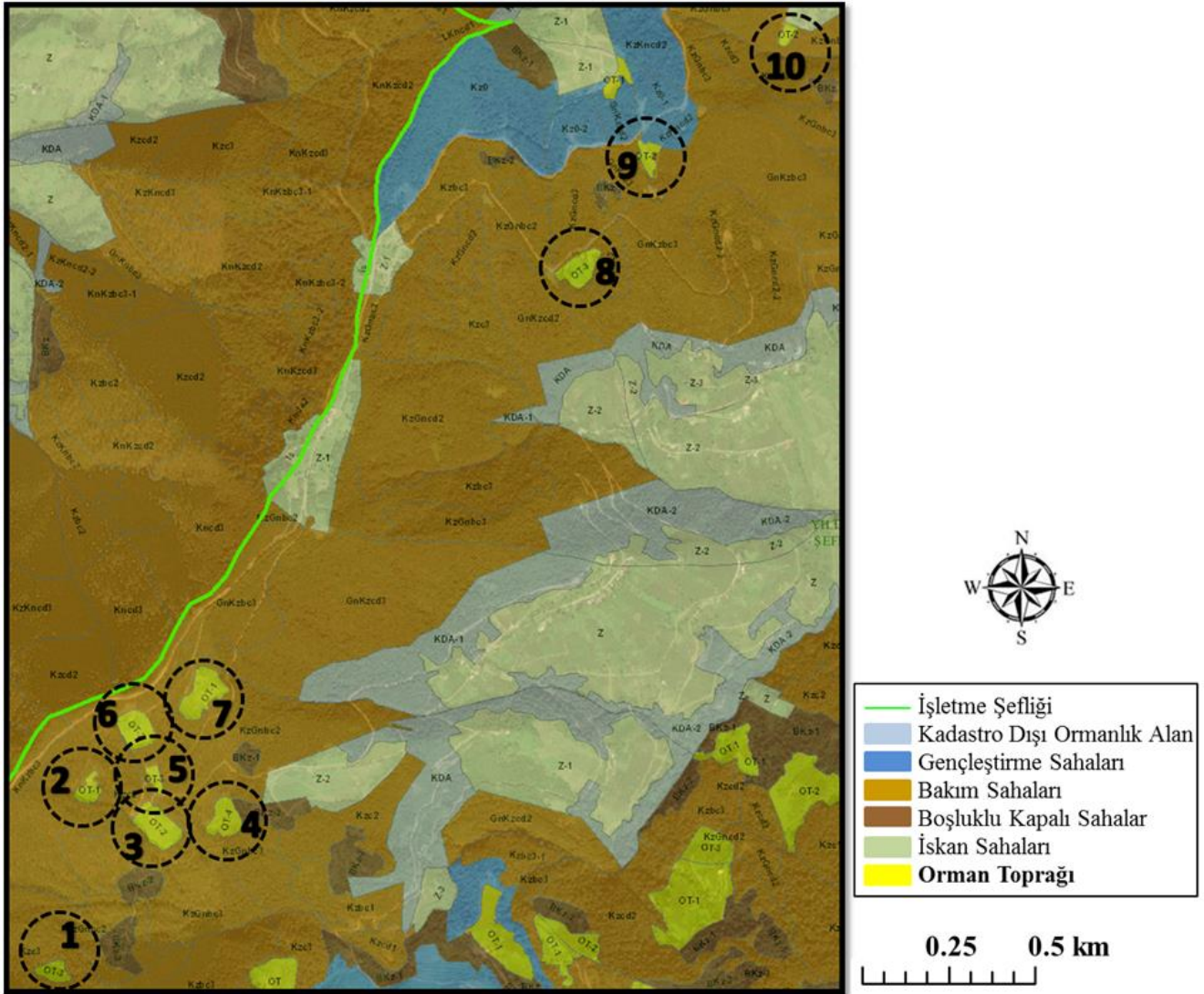
olmak üzere temelde iki ayrı uydu platformu kullanılmıştır. Sentinel-2 uydu görüntülerinden sınıflandırma yapılarak OT alanları tespit edilirken Landsat görüntülerinden belirlenen bu OT alanlarındaki

NDVI zaman serisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Sentinel uyduları ESA Copernicus programının bir parçası olarak göreve başlatılmıştır. Bu uydular Sentinel-2A ve Sentinel-2B olmak üzere iki takım uydudan oluşur ve sırasıyla 23 Haziran 2015 ve 7 Mart 2017 tarihlerinde faaliyete geçmişlerdir. Sentinel-2 uydusu görüntüleri 10 m ile 60 m arasında mekânsal çözünürlükte değişir ve 13 spektral banttan oluşur. Sentinel-2 görüntülerine GEE platformundan erişilebilir. Bu çalışmada atmosfer altı yüzey yansımaya değerleri düzeltilmiş atmosfer altı (BOA) görüntüler kullanılmıştır. Bu görüntüler yardımıyla bölgenin iklim koşulları da dikkate alınarak 07-05-2022 ve 30-09-2022 tarihleri arasında %5 bulut filtresi uygulanmıştır. Uygulanan bulut filtresi sayesinde çalışma alanında daha az bulutlu görüntüler seçilerek bir görüntü koleksiyonu oluşturulmuştur. Oluşturulan görüntü koleksiyonu üzerinden medyan istatistiği hesaplanarak çalışma alanının tamamını içine alacak şekilde tek bir görüntü elde edilmiştir.

Landsat-5 (TM), Landsat-7 (ETM+), Landsat-8 (OLI) ve Landsat-9 (OLI-2) görüntüleri NDVI zaman serisi

hesabında kullanılmıştır. Bu görüntüler, yeryüzü gözlemlerinde en uzun periyoda sahip uydu serisi olduğundan yeryüzü dinamiklerinin izlenmesinde eşsiz bir veri kaynağına sahiptir. Landsat-5, Landsat-7, Landsat-8 ve Landsat-9 uyduları sırasıyla 1 Mart 1984, 15 Nisan 1999, 11 Şubat 2013 ve 27 Eylül 2021 tarihlerinde yörüngelerine yerleştirilmiştir. Bu uydular yeryüzünden yaklaşık olarak 705 km yükseklikte olup 30 m mekânsal ve 16 günlük zamansal çözünürlükte veri sağlarlar. Bu çalışmada kullanılan görüntüleri GEE platformundan erişilerek sağlanmıştır. Söz konusu görüntüler, geometrik olarak referanslandırılmış ve atmosfer üstü (TOA) yansımaları düzeltilmiş görüntülerdir. Görüntülere ait spektral bant bilgileri ve çözünürlükler Tablo 1’de verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan on OT alanının, bölgeye ait 2019 yılında üretilen meşcere tipi haritası üzerindeki konumları Şekil 2’de gösterilmiştir. Belirlenen 10 adet OT alanı 1/5000 ölçekli meşcere tipi haritalar üzerinden manuel sayısallaştırılmış ve çalışmada pilot sahalar olarak kullanılmıştır.



Şekil 2. Meşcere haritası.

Tablo 1. Kullanılan uydu görüntülerine ait özellikler.

Spektral aralık	Dalga boyu Landsat-5 (TM) (nm)	Dalga boyu Landsat-7 (ETM+) (nm)	Dalga boyu Landsat-8 (OLI) (nm)	Dalga boyu Landsat-9 (OLI-2) (nm)	Mekansal çözünürlük (Landsat) (m)	Dalga boyu (S2A/S2B) (nm)	Mekansal çözünürlük (Sentinel) (m)
Mavi bant	450-520	450-520	450-510	450-510	30	496.6/492.1	10
Yeşil bant	520-600	520-600	530-590	530-590	30	560/559	10
Kırmızı bant	630-690	630-690	640-670	640-670	30	664.5/665	10
Yakın kızılötesi bant	760-900	770-900	850-880	850-880	30	835.1/833	10
Kısa dalga kızılötesi-1 bant	1,550-1,750	1,550-1,750	1,570-1,650	1,570-1,650	30	1,613.7/1,610.4	20
Kısa dalga kızılötesi-2 bant	2,080-2,350	2,080-2,350	2,110-2,290	2,110-2,290	30	2,202.4/2,185.7	20

2.3. Metodoloji

2.3.1. Rastgele orman algoritması

Bu çalışmadaki sınıflandırma işlemi RO algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. RO algoritması karar ağaçlarının kümelerine göre tahmin ve sınıflandırma yapan bir makine öğrenme algoritmasıdır (Breiman, 2001). Bireysel olarak oluşan karar ağaçları karar ormanı oluşturmak için bir araya gelir (Yılmaz ve ark., 2023a). Sınıflandırma ve regresyon karar ağaçları, en iyi tahminde bulunmaya yönlendirecek şekilde karar ormanları oluşturur (Ghimire ve ark., 2010). UA tekniklerinin kullanıldığı çalışmalarda RO algoritmasının çeşitli avantajları vardır. Özellikle büyük verileri sınıflandırmada diğer algoritmalara göre performansı daha iyidir. Bir diğer avantajı ise topluluk algoritması olarak, gürültüyü önlemede daha başarılıdır. Aynı zamanda her girdi özelliğinin önemini nicel değerlendirmesini sağlar (Li ve ark., 2019). Bunlara ek olarak RO, daha etkili tahmin gücü yaratmak amacıyla iterasyonlarla verileri etkili bir şekilde vurguladığı için diğer yöntemlere göre oldukça başarılıdır (Belgiu ve Drăgu, 2016).

RO algoritması GEE platformunda kod kütüphanesinde mevcut olarak kullanıcılara sunulmaktadır. Algoritma ormandaki ağaç sayısı (ntree) ve ağaçtaki düğüm sayısı (mtry) olmak üzere iki parametre girilerek sınıflandırma yapar. Daha önceki yapılan çalışmalarda ntree değeri 500 kullanılması önerilmiştir (Belgiu ve Drăgu, 2016). RO algoritması bir özelliğin sınıflarla ilişkili önemini Gini indeksi ile ölçer. Gini indeksi aşağıdaki Eşitlik 1 ile ifade edilir.

$$Gini = \sum_{j \neq i} \sum_{j \neq i} \left(\frac{f(C_i, T)}{|T|} \right) \left(\frac{f(C_j, T)}{|T|} \right) \quad (1)$$

Burada, T eğitim verisini, $\frac{f(C_i, T)}{|T|}$ ise seçilen bir pikselin C_i sınıfına ait olma olasılığıdır.

2.3.2. Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) zaman serisi

NDVI zaman serisi, bitki örtüsünün mevsimsel yapısı ve zaman içerisindeki gelişimi hakkında bilgi veren bir

indeks türüdür. Orman alanlarındaki bitki örtüsü gerek mevsimsel gerekse insan kaynaklı etkenlerden dolayı zaman içerisinde dinamik bir şekilde değişkenlik göstermektedir (Jin ve ark., 2018). Orman alanlarındaki bu değişimleri izleyebilmek için NDVI zaman serileri oldukça yararlıdır. NDVI bir bölgedeki bitki örtüsünün yoğunluğu ve sağlığı hakkında faydalı bilgiler sağlar (Rouse ve ark., 1974). Sağlıklı bitkiler, mavi ve kırmızı ışığın çoğunu emerken yeşil ve yakın kızılötesi (NIR) ışığı yansıtır. Bitkilerin bu özelliğinden yola çıkılarak NDVI Eşitlik 2 ile ifade edilir. NDVI indeksi -1 ile +1 arasında değer almaktadır. Negatif değerler bitki örtüsü açısından zayıf alanları gösterirken pozitif değerler bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgeleri temsil etmektedir (Chaitanya ve ark., 2021).

$$NDVI = \frac{Yakın\ kızılötesi\ bant - Kırmızı\ bant}{Yakın\ kızılötesi\ bant + Kırmızı\ bant} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de Sentinel görüntüleri için yakın kızılötesi bant B8’i, kırmızı bant ise B4’ü ifade etmektedir. Landsat 5/7 görüntülerinde ise yakın kızılötesi bant B4’ü, kırmızı bant B3’ü temsil ediyor iken, Landsat 8/9 görüntülerinde yakın kızılötesi bant B5’i, kırmızı bant ise B4’ü temsil etmektedir.

Bu çalışma temelde üç adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda seçilen çalışma bölgesine ait meşcere tipi haritasından orman içi açıklıkları temsil eden on farklı OT alanı birbirine yakın olacak şekilde tüm çalışma alanı içerisinde rastgele bir şekilde belirlenmiştir. Seçilen OT alanları meşcere tipi haritalarından ArcGIS yazılımı ile sayısallaştırılarak her bir OT alanına ait yüzölçümü değerleri hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında bu OT alanlarının bulunduğu bölge, Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işlemi GEE platformunda RO algoritması kullanılarak yapılmıştır. Uydu görüntüsünün kırmızı, yeşil, mavi, NIR bantları sınıflandırma işleminde kullanılmış olup, bölgedeki vejetasyon yoğunluğu dikkate alınarak sınıflandırma doğruluğunu artırmak için NDVI sınıflandırmaya bant olarak dahil edilmiştir (Ustuner ve ark., 2014). Çalışmanın üçüncü aşamasında ise seçilen on farklı OT alanlarındaki vejetasyon değişimini tespit etmek amacıyla 1985-2022 yılları arasında Landsat görüntüleri kullanılarak NDVI zaman serisi analizi yapılmıştır.

2.3.3. Doğruluk değerlendirmesi

Yapılan çalışmanın doğruluk değerlendirmesi oluşturulan hata matrisinden üretici doğruluğu (ÜD), kullanıcı doğruluğu (KD), genel doğruluk (GD) ve Kappa istatistiği hesaplanarak değerlendirilmiştir. ÜD bir sınıfı eğitmek için toplanan piksellerin ne kadarının doğru sınıflandırıldığını gösterir. KD herhangi sınıfa atanan bir pikselin bu sınıfı gerçekte temsil etme olasılığını gösterir. GD doğru sınıflandırılmış piksel sayılarının toplam piksel sayısına bölünmesi ile hesaplanır ve sınıflandırmanın genel doğruluğunu gösterir. Kappa istatistiği bir diğer uyum ya da doğruluk ölçütü olarak kullanılabilir. Kappa istatistiği temel olarak sınıflandırmanın rastgele atama değerlerine kıyasla ne kadar doğru yapıldığını test eder (Ahady & Kaplan, 2022; Ateş, 2022; Cohen, 1960; Yılmaz, 2021). Doğruluk metrikleri Eşitlik (3-6) ile hesaplanır.

$$UD = \frac{S_{ij}}{S_i} \times 100 \quad (3)$$

$$KD = \frac{S_{ij}}{S_j} \times 100 \quad (4)$$

$$GD = \frac{S_t}{n} \times 100 \quad (5)$$

$$Kappa = nxS_t - \sum_{i=1}^r \frac{S_{ij}}{n^2} - \sum_{i=1}^r S_{ij} \quad (6)$$

Burada; S_t doğru sınıflandırılmış piksellerin toplamını gösterir, n ise tüm pikselleri ifade eder. r , satır sayısını gösterir. S_{ij} , i satırı ve j sütunundaki gözlemdir. S_i , i sırasının marjinal toplamıdır. S_j , j sütununun marjinal toplamı gösterir.

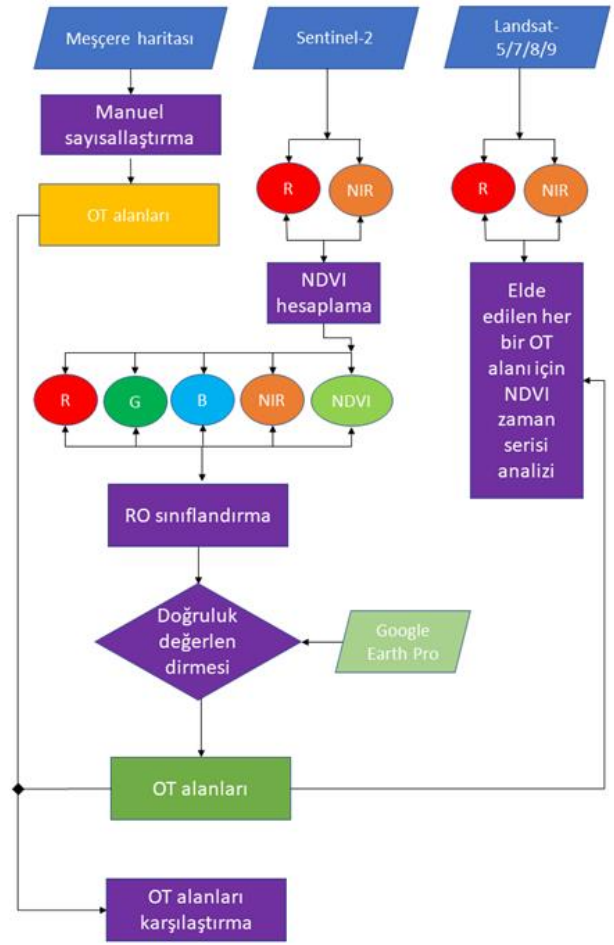
Yapılan çalışmaya ait genel iş akışı Şekil 3'de verilmiştir.

3. Bulgular

3.1. RO sınıflandırma

Bu çalışmada bölgeye ait meşcere tipi haritalarından on adet OT alanı tespit edilmiştir. Bu alanlar çeşitli büyüklüklere sahip olup çalışma alanı seçiminde herhangi bir özel kriter belirlenmemiştir. Seçilen bu OT alanları meşcere tipi haritalarından ArcGIS yazılımı ile sayısallaştırılarak yüzölçümleri hesaplanmıştır. Daha sonra vektör veri formatına dönüştürülen bu alanlar GEE platformuna aktarılmıştır. GEE platformuna aktarılan bu OT alanlarını içine alacak şekilde bir çalışma alanı belirlenerek 2022-05-07, 2022-09-30 tarih aralığını kapsayan Sentinel-2 görüntü koleksiyonu oluşturulmuştur. Görüntü seçilirken %5 bulut filtresi uygulanarak %5'in üstündeki bulutlu görüntüler elenmiştir. Elde edilen koleksiyonda alanı kaplayacak şekilde tek bir görüntü üretmek için medyan istatistiği uygulanmıştır. Sınıflandırma amaçlı GEE platformunda JavaScript kodları kullanılarak RO algoritması ile sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflandırma işlemi, bölgenin genel arazi yapısı dikkate alınarak ormanlık alanlar, OT alanları ve boş alanlar (yol, bina vb.) olmak

üzere üç farklı sınıf üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sınıflandırma haritası Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. İş akış diyagramı.

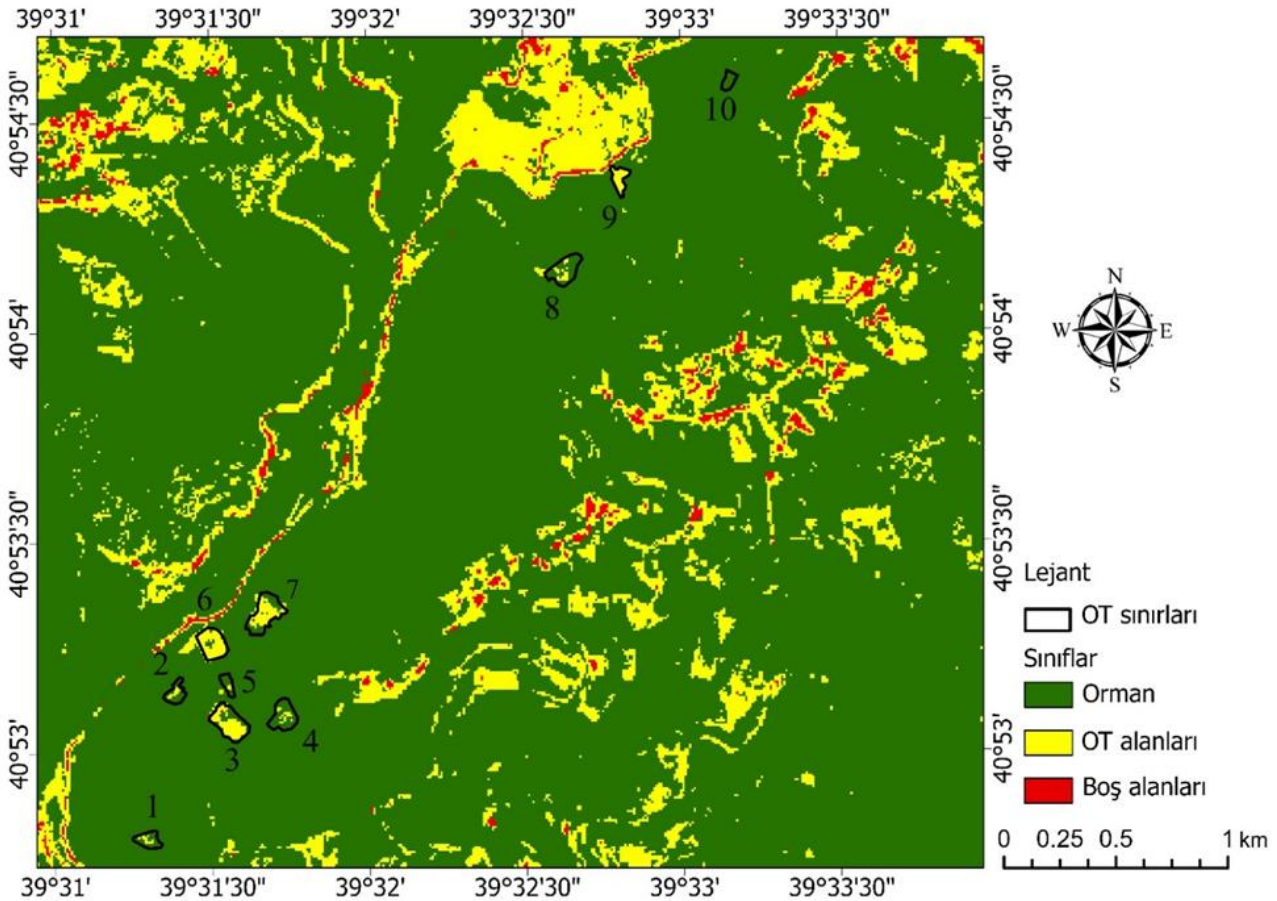
Üretilen sınıflandırma haritasının doğruluk değerlendirmesi için çalışma sahasını kaplayan, Google Earth Pro tarafından sağlanan WorldView-1/2/3, GeoEye-1 ve Airbus'ın Pleiades yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu bağlamda öncelikle çalışma bölgesini içine alacak şekilde toplam 3,805 adet rastgele nokta üretilerek tüm noktaların atandığı sınıf ile Google Earth Pro görüntülerine karşılık gelen arazi sınıfı görsel yorumlamaya dayalı şekilde değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda ÜD, KD, GD ve Kappa istatistiği değerlerinin hesaplandığı hata matrisi oluşturulmuştur (Tablo 2). Elde edilen genel doğruluk %85 üzerinde ve Kappa değeri ise 0.810 çıkmıştır. Bu sonuçlara göre yapılan sınıflandırmanın başarılı olduğu görülmektedir (Reis ve Taşdemir, 2010; Ünal ve ark., 2010; Akar ve Güngör, 2013; Sener ve ark., 2013; Apaydın ve Abdikan, 2021).

Bu çalışmada meşcere tipi haritalarından ve sınıflandırma sonucu üretilen haritalardan elde edilen OT alanları Tablo 3'te grafiği ise Şekil 5'te verilmiştir.

Bir numaralı OT'nin meşcere haritası üzerindeki yüzölçümü ile sınıflandırma haritası üzerindeki yüzölçümü arasındaki farkın 5,164.81 m² olduğu görülmüştür. Bu fark bir numaralı OT alanının %79.89 oranında kapandığını göstermiştir. İki numaralı OT için her iki yüzölçümü arasındaki fark 5,035.94 m² olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda iki numaralı OT alanının

%80.76 oranında kapandığı tespit edilmiştir. Üç numaralı OT alanı bir ve iki numaralı alana kıyasla yüzölçümü açısından daha büyük bir alanı kaplamaktadır. Bu alandaki yüzölçümü farkı, her iki harita üzerindeki yüzölçümü değerleri dikkate alındığında 5,419.4 m² olarak hesaplanmıştır. Bu değer üç numaralı OT alanının %30.93 oranında kapandığını göstermektedir. Bir ve iki numaralı OT alanlarındaki değişim oranları dikkate alındığında üç numaralı OT alanındaki kapanmanın daha az gerçekleştiği görülmektedir. Dört ve beş numaralı OT alanlarında her iki harita üzerindeki yüzölçümleri farkları sırasıyla 10,423.30 m² ve 2,835.45 m² olarak hesaplanmıştır. Bu farklar dört ve beş numaralı OT alanlarının sırasıyla %86.69 ve %73.93 oranlarında kapanarak bir değişime uğradıklarını göstermektedir. Altı numaralı OT alanı için ise her iki yüzölçümü arasındaki fark 3,930.00 m² olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda altı numaralı OT'nin ilk beş OT aksine-%28.75 oranında genişlediği tespit edilmiştir. Yedi ve sekiz numaralı OT alanlarında her iki harita üzerindeki yüzölçümleri farkları sırasıyla 5,672.30 m² ve 9,231.70 m² olarak hesaplanmıştır. Bu farklar yedi ve

sekiz numaralı OT alanlarının sırasıyla %31.92 ve %70.30 oranlarında kapanarak bir değişime uğradıklarını göstermektedir. Dokuz numaralı OT'de ise altı numaralı OT'ye benzer bir sonuç görülmektedir. Dokuz numaralı OT için her iki yüzölçümü arasındaki fark 6.84 m² olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda dokuz numaralı OT alanının tıpkı 6 numaralı OT alanı gibi-%0.11 oranında genişlediği tespit edilmiştir. Bu oran göz önünde bulundurulduğunda dokuz numaralı OT alanında herhangi bir değişiklikten söz etmek mümkün değildir. Çalışma alanı sınırları içerisinde seçilen son OT ise on numaralı alandır. On numaralı OT alanının meşcere tipi haritasındaki hesaplanan yüzölçümü 3,663.23 m² iken sınıflandırma haritasındaki hesaplanan yüzölçümü değeri 0.00 m² olarak tespit edilmiştir. Bu durum irdelendiğinde on numaralı OT alanının sınıflandırma haritasında OT olarak değil de orman alanı olarak sınıflandırıldığı görülmüştür. Yani meşcere haritasında OT olarak işaretlenen alan Sentinel-2 (MSI) görüntülerinde orman olarak sınıflandırılmıştır. Bu sonuç OT alanının tamamen ağaçlarla kaplandığını gösterir.



Şekil 4. Sınıflandırma haritası.

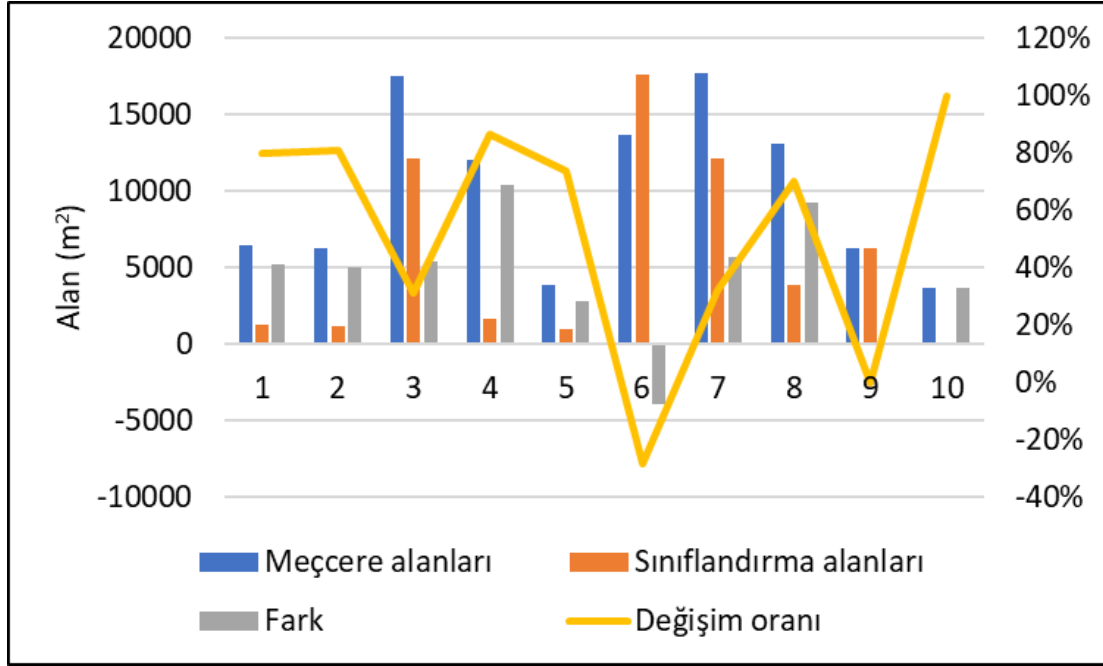
Tablo 2. Sınıflandırma doğrulukları.

Sınıflar	Orman	OT	Boş alanlar	Toplam
Orman	2,175	74	21	2,270
OT	163	871	55	1,089
Boş alanlar	24	64	358	446
Toplam	2,362	1,009	434	3,805
ÜD (%)	92.08	86.32	82.49	
KD (%)	95.82	79.98	80.27	

GD (%): %89.46, Kappa: 0.810

Tablo 3. OT alan değişimleri.

OT	Meşcere alanları (m ²)	Sınıflandırma alanları (m ²)	Fark (m ²)	Değişim oranı (%)
1	6,464.81	1,300.00	5,164.81	79.89%
2	6,235.94	1,200.00	5,035.94	80.76%
3	17,519.40	12,100.00	5,419.4	30.93%
4	12,023.30	1,600.00	10,423.3	86.69%
5	3,835.45	1,000.00	2,835.45	73.93%
6	13,670.00	17,600.00	-3,930.00	-28.75%
7	17,772.30	12,100.00	5,672.30	31.92%
8	13,131.70	3,900.00	9,231.70	70.30%
9	6,293.16	6,300.00	-6.84	-0.11%
10	3,663.23	0.00	3,663.23	100.00%

**Şekil 5.** Alan değişim grafiği.

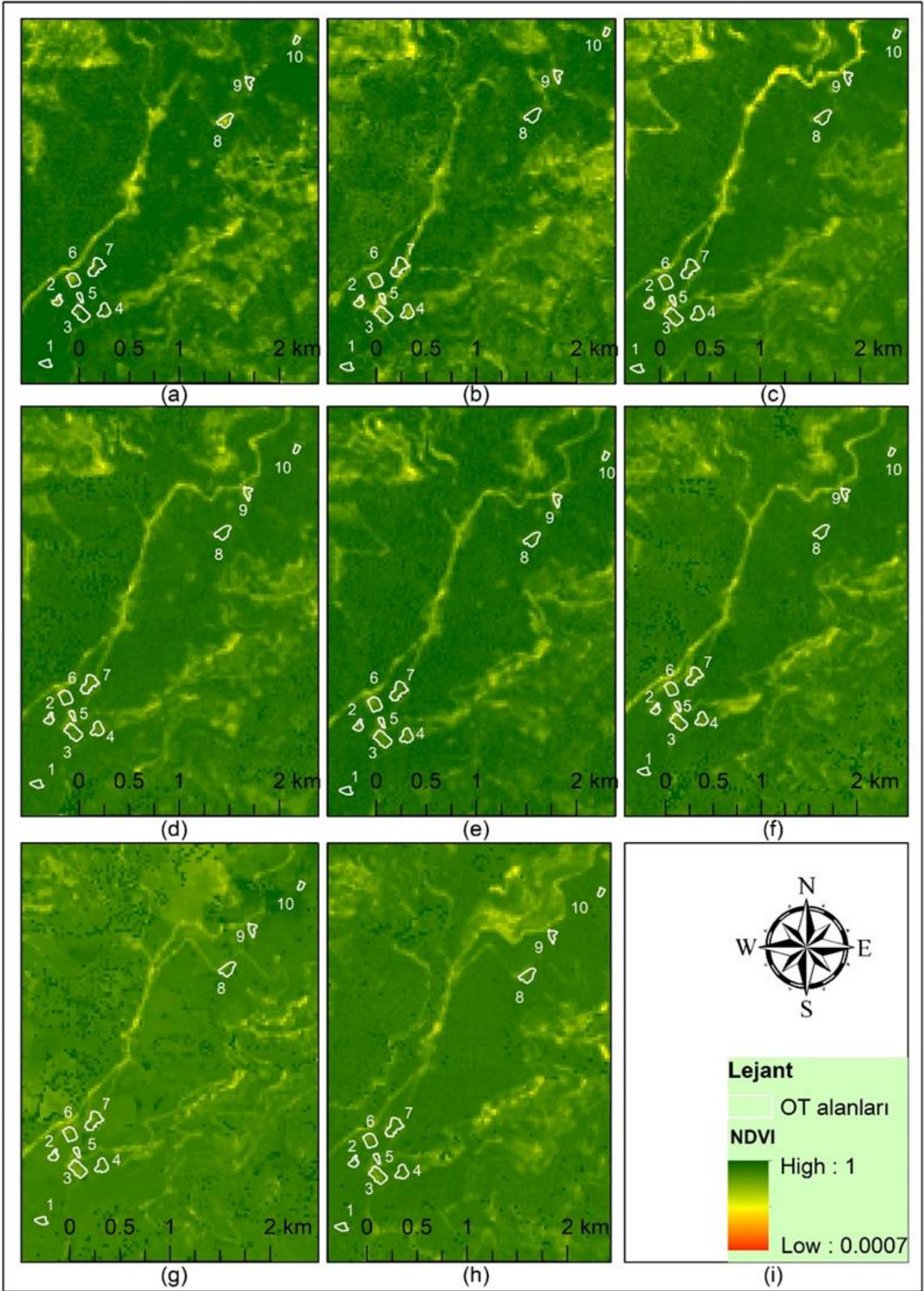
3.2. NDVI zaman serisi analizi

Bu çalışmada 1985-2022 yılları arasında çalışma alanının yıllık NDVI ortalama değerleri hesaplanmıştır. Şekil 6'da beşer yıl arayla hesaplanan NDVI haritaları gösterilmiştir. Tüm OT alanları için yıllık NDVI zaman serisi analizi yapılmıştır (Şekil 7). Spesifik olarak bitki örtüsü üretkenliğinin ve biyokütlenin bir temsili olan NDVI, 1985-2022 yılları arasında hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında NDVI değerlerinin tüm bölgelerde 0.6'nın üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. OT alanlarındaki NDVI değerlerinin genel olarak yüksek çıkması Karadeniz Bölgesinin yoğun vejetasyona sahip olması ile açıklanabilir. Genel olarak 0.1'in altındaki NDVI değerlerinin çorak arazileri, 0.1-0.2 arasındaki NDVI değerlerinin toprak arazileri, 0.2-0.5 arasındaki NDVI değerlerinin ise seyrek bitki örtüsüne sahip arazileri temsil ettiği bilinmektedir (Yılmaz ve ark. 2023b). Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda uygulama kapsamında seçilen OT alanlarının yer yer seyrek ve sığ bitki örtüsü alanlar ile kaplı olduğu sonucuna varılabilmektedir. Şekil 7'de ki grafik incelendiğinde genel olarak NDVI değerlerindeki bir artıştan bahsetmek mümkündür. Bu durum OT alanlarındaki kapılığın zamanla arttığını göstermiştir. Bu sonuç çalışmanın birinci işlem adımıyla elde edilen bulguları destekler niteliktedir. Fakat özellikle altı numaralı OT alanında diğer OT alanlarındaki sonuçların aksine bir durum söz

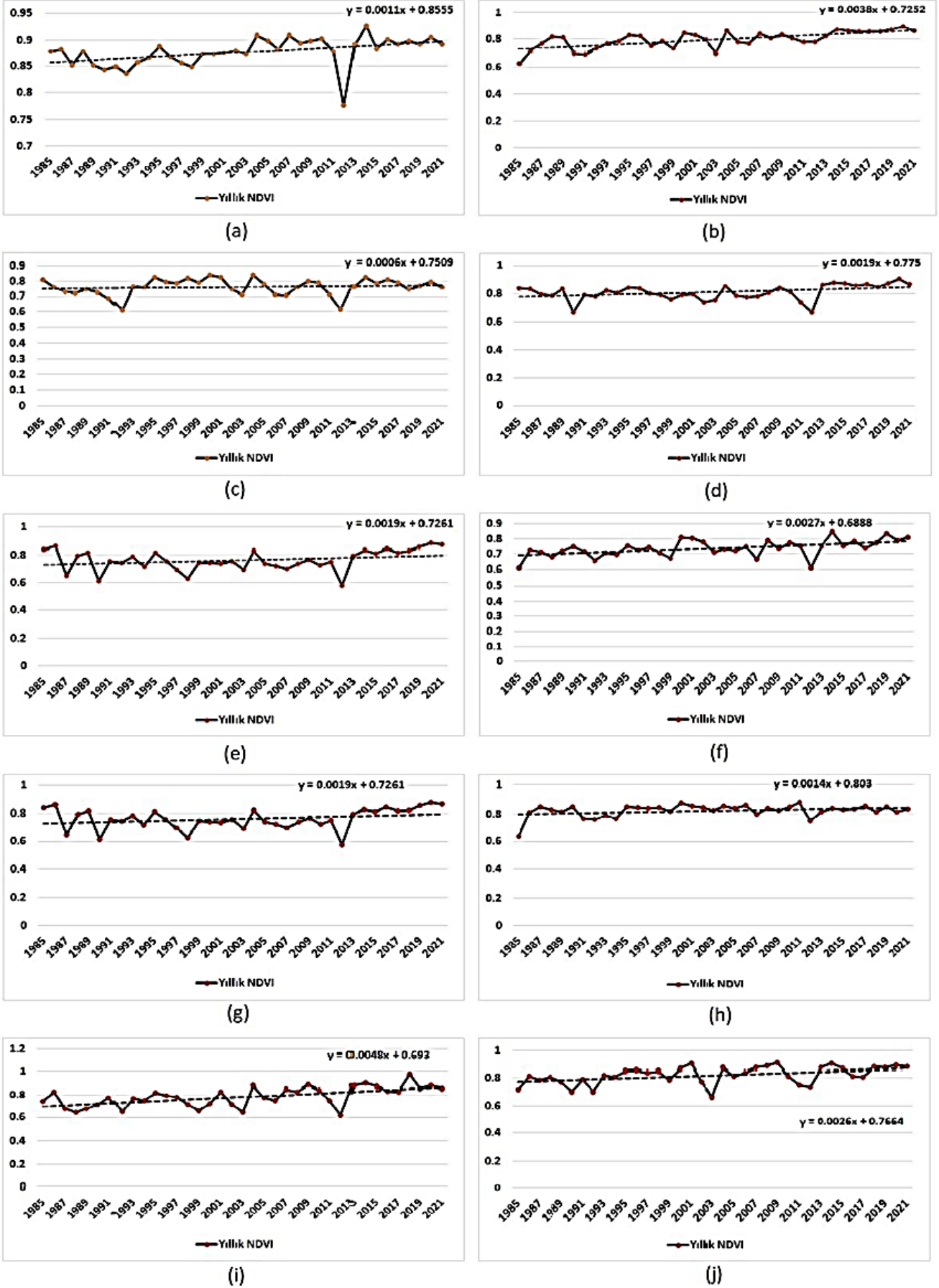
konusudur. Şöyle ki altı numaralı OT alanına ilişkin sonuçlar irdelendiğinde, NDVI zaman serilerinde altı numaralı OT alanının kapılılık oranı azalmasına rağmen sınıflandırma görüntülerinde bu alanın arttığı görülmüştür. Bu durumun nedeni o bölgede bir yol çalışmasının yapılması sonucu piksel yansıma değerlerindeki değişimle açıklanabilir. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar hemen hemen tüm bölgeler için tutarlılık göstermiştir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Ormanlık alanlarda gerçekleştirilen faaliyetlerin uzun yıllar sonra bile hissedilebilmesi, ormancılık politikalarında yürütülen planlamanın ne derece önemli bir faktör olduğunu kanıtlamaktadır. Planlamada veri olarak kullanılan orman envanter kayıtlarının doğru ve hassas bir şekilde üretilmesinin yanında güncel bir veri altyapısına sahip olması da ormancılık politikalarının sağlıklı ve hızlı bir şekilde yürütülebilmesi açısından oldukça önemli bir husustur. Çünkü ormancılık politikalarının yürütülmesine ışık tutan orman envanteri ne kadar güncel bir şekilde kayıt altına alınırsa, bu envanterden üretilen planlamalar o denli sağlıklı ve tutarlı sonuçlar vermektedir (Küçüköğül, 2017). Yapılan bu çalışmada meşcere tipi haritalar yardımıyla seçilen on adet OT alanlarındaki değişimlerin UA teknikleri ile analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. OT alanlarının yıllara göre NDVI değişim haritaları: a) 1985, b) 1990, c) 1995, d) 2000, e) 2005, f) 2010, g) 2015, h) 2022.



Şekil 7. Yıllık NDVI zaman serisi grafikleri: a) 1 numaralı OT, b) 2 numaralı OT, c) 3 numaralı OT, d) 4 numaralı OT, e) 5 numaralı OT, f) 6 numaralı OT, g) 7 numaralı OT, h) 8 numaralı OT, i) 9 numaralı OT, j) 10 numaralı OT.

Bu uygulama için çalışma alanı sınırları içinden seçilen on adet OT alanına ilişkin yüzölçümü değerleri,

RO makine öğrenme algoritması ile yapılan sınıflandırma sonucu üretilen harita ile mevcut meşcere haritası

kullanılarak hesaplanmıştır. Her iki harita üzerinden hesaplanan yüzölçümü değerleri dikkate alındığında dokuz numaralı OT hariç diğer tüm OT'lerde kayda değer farklar meydana geldiği tespit edilmiştir. Altı ve dokuz numaralı OT'lerde bu farklar alanların giderek genişlediğini, diğer tüm OT'lerde ise alanların giderek kapandığını göstermektedir.

Şirvan ve Tanrıöver (2023), arazi örtüsündeki değişimlerin tespitine yönelik gerçekleştirdikleri çalışmada ormanlık alanlarda ve açık yeşil alanlarda sırasıyla 1,622 ve 3,450 hektarlık artışlar hesaplamışlardır. Buna ek olarak açık alanlarda ise tıpkı bu çalışmadaki dokuz numaralı OT alanında olduğu gibi büyük bir değişimin meydana gelmediği vurgulanmıştır. **Zengin ve ark. (2018)** ise yaptıkları çalışmada 24 yıllık zaman dilimi içinde arazi kullanım biçimlerindeki zamansal değişimleri ortaya koymuşlardır. Bu bağlamda orman toprağı alanının 64,843 hektardan 62,709 hektara kadar düştüğünü tespit etmişlerdir. Bu çalışmadaki altı ve dokuz numaralı OT alanları dışındaki tüm OT alanlarında da benzer bir durum görülmektedir. Buna karşın **Kaptan (2021)** ve **Sönmez ve ark. (2022)** gerçekleştirdikleri çalışmalarda 23 ve 45 yıllık bir zaman dilimlerinde uygulama sahalarındaki orman içi açık alanların sırasıyla %30 ve %4.5 oranlarında arttığını tespit etmişlerdir. Buna ek olarak **Kaptan ve Durkaya (2019)** 39 yıllık zaman dilimi içinde arazi örtüsündeki meydana gelen değişimleri tespit etmeye yönelik gerçekleştirdikleri çalışmada da bölgedeki orman içi açık alanların 36.69 hektarlık bir artış eğiliminde olduğu sonucuna varmışlardır. Bu çalışma için seçilen altı ve dokuz numaralı OT alanlarında da benzer sonuçlar görülmüştür.

Ayrıca 1985 yılından 2022 yılına kadar geçen zaman diliminde NDVI zaman serileri ile yapılan analizler sonucunda OT alanlarındaki vejetasyonun genel olarak arttığı ve dolayısıyla alanların kapanma eğiliminde oldukları görülmüştür. Elde edilen sonuçlar ışığında çalışma alanındaki OT alanlarının geçen zaman dilimi içinde %70'lere varan ve ortalama olarak %52.56 oranında kapalılık yönünde değişimlere uğradıkları tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın doğruluk analizi, elde edilen hata matrisinden üretici doğruluğu (ÜD), kullanıcı doğruluğu (KD), genel doğruluk (GD) ve Kappa istatistiği hesaplanmasıyla ortaya konulmuştur. Çalışmanın sonucunda elde edilen genel doğruluk %85'in üzerinde ve Kappa değeri ise 0.810 çıkmıştır. Çalışma sonucunda hesaplanan genel doğruluk değerinin literatürdeki benzer çalışmalardan (**Reis ve Taşdemir, 2010; Ünal ve ark., 2010; Akar ve Güngör, 2013; Sener ve ark., 2013; Apaydın ve Abdikan, 2021**) elde edilen genel doğruluk değerleriyle kıyaslandığında yapılan sınıflandırmanın başarılı olduğu görülmektedir. Sonuçlar, orman içi açıklık olarak ifade edilen OT vasfıyla meşçere tipi haritaya işlenen alanların, UA teknikleri yardımıyla sürekli bir şekilde güncellenebileceğini göstermektedir. Böylece gerçekleştirilen uygulama neticesinde orman envanter haritasının temel kaynağı olan meşçere tipi haritasının işgücü ve maliyet gerektirmeden hızlı ve pratik bir şekilde ofis ortamında güncellenebileceği ortaya konulmuştur. Bu bağlamda orman envanter haritasının uygulanan yöntemler neticesinde daha güncel olması, bu haritadan beslenen

tüm ormancılık politikalarının daha doğru ve gerçekçi bir zeminde yürütülmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma, gençleştirme ve bakım sahaları, kapalı sahalar, orman içi açıklıklar ve benzeri orman kaynaklarının sürekli ve güncel bir şekilde UA teknikleri yardımıyla tespit edilmesine ve zamansal değişimlerin ortaya konulmasına yönelik bir uygulamadan oluşmaktadır. Bu uygulama, ormancılık faaliyetlerinin ana damarı olan orman kaynaklarının yoğun iş gücü ve arazi çalışmaları gerektirmeden uydu görüntüleri üzerinden güncel bir şekilde izlenebileceğini ve zamansal değişimlerin tespit edilebileceğini göstermiştir. Bu çalışmada güncel durumları tespit edilen OT alanlarındaki zamansal değişimlerin hızlı ve pratik bir şekilde ortaya konulması, çalışma alanındaki orman kaynaklarından sorumlu uygulayıcılara yürüttükleri faaliyetlerin uygulanabilir olması açısından yardımcı olmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma her ne kadar tek bir çalışma sahası için ele alınmış olsa da tüm ormanlık sahalar için uygulanabilir niteliktedir. Ormanlık sahanın büyüklüğüne bağlı olarak ayları bulan arazi çalışmaları sonucunda elde edilen meşçere tipi haritalar, yüksek iş gücü ve maliyet sonucunda üretilmektedir. Meşçere tipi haritaların üretiminde arazi ölçümlerine ihtiyaç duymaksızın uzaktan algılama tekniklerinin kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve avantajlı hale gelmektedir.

Son olarak gelecekte bu uygulamayı geliştirebilmek amacıyla meşçere tipi haritası üzerinden manuel bir şekilde OT alanlarının sayısallaştırılması yerine derin öğrenme teknikleri üzerinden otomatik bir şekilde tespit edilmesi, web tabanlı geliştirilecek mimariler yardımıyla orman kaynaklarındaki değişimlerin otomatik bir şekilde tespit edilmesine yönelik çalışmalar üzerinde durulacaktır.

Araştırmacıların katkı oranı

Fatih Kadı: Literatür taraması, Analiz, Düzenleme, Metin yazımı, **Osman Salih Yılmaz:** Analiz, Sonuçların hazırlanması ve yorumlanması, Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Abebe, G. A. (2013). Quantifying urban growth pattern in developing countries using remote sensing and spatial metrics: A case study in Kampala, Uganda [Master's thesis, University of Twente].
- Ahady, A. B., & Kaplan, G. (2022). Classification comparison of Landsat-8 and Sentinel-2 data in Google Earth Engine, study case of the city of Kabul. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(1), 24-31. <https://doi.org/10.26833/ijeg.860077>
- Akar, Ö., Güngör, O., (2013). Eş dizimlilik matrisi ve rastgele orman sınıflandırıcısı ile çay ve fındık alanlarının sınıflandırılması. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB'2013)*, 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon.

- Akyol, A., Serhat, O., & Türkoğlu, T. (2018). Orman amenajman planlarının hazırlanması ve uygulanması sürecinde karşılaşılan sorunlar: İzmir Orman Bölge Müdürlüğü örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 460–469.
- Anand, A., Pandey, P. C., Petropoulos, G. P., Pavlides, A., Srivastava, P. K., Sharma, J. K., & Malhi, R. K. M. (2020). Use of hyperion for mangrove forest carbon stock assessment in Bhitarkanika forest reserve: A contribution towards blue carbon initiative. *Remote Sensing*, 12(4), 597. <https://doi.org/10.3390/rs12040597>
- Apaydin, C., & Abdikan, S. (2021). Fındık bahçelerinin Sentinel-2 verileri kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleriyle belirlenmesi. *Geomatik*, 6(2), 107-114. <https://doi.org/10.29128/geomatik.705988>
- Ateş, A. M. (2022). Unlocking the floating photovoltaic potential of Türkiye's hydroelectric power plants. *Renewable Energy*, 199, 1495-1509. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.096>
- Baines, O., Wilkes, P., & Disney, M. (2020). Quantifying urban forest structure with open-access remote sensing data sets. *Urban Forestry & Urban Greening*, 50, 126653. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126653>
- Başkent, E. Z., & Kadioğulları, A. İ. (2007). Spatial and temporal dynamics of land use pattern in Turkey: A case study in İnegöl. *Landscape and Urban Planning*, 81(4), 316-327. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.01.007>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Bozali, N., Sivrikaya, F., & Akay, A. E. (2015). Use of spatial pattern analysis to assess forest cover changes in the Mediterranean region of Turkey. *Journal of Forest Research*, 20(4), 365-374. <https://doi.org/10.1007/s10310-015-0493-2>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Celik, D. A., & Kadioğulları, A. İ. (2022). Orman Amenajman Planlarına Göre Operasyonel Planlama Model Tasarımı. *Icontech International Journal*, 6(4), 43-54. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7489838>
- Chaitanya, T. P., Singh, U. K., & Agarwal, S. (2021). Forest fire monitoring of wildlife sanctuary using geospatial techniques. *Indian Journal of Ecology*, 48(3), 681-685.
- Chen, S., Woodcock, C. E., Bullock, E. L., Arévalo, P., Torchinava, P., Peng, S., & Olofsson, P. (2021). Monitoring temperate forest degradation on Google Earth Engine using Landsat time series analysis. *Remote Sensing of Environment*, 265, 112648. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112648>
- Chen, W., Shahabi, H., Shirzadi, A., Li, T., Guo, C., Hong, H., Li, W., Pan, D., Hui, J., & Ma, M. (2018). A novel ensemble approach of bivariate statistical-based logistic model tree classifier for landslide susceptibility assessment. *Geocarto International*, 33(12), 1398–1420. <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1425738>
- Cipta, I. M., Sobarman, F. A., Sanjaya, H., & Darminto, M. R. (2021). Analysis of mangrove forest change from multi-temporal Landsat imagery using Google Earth Engine application:(case study: Belitung Archipelago 1990-2020). In *2021 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, 90-95. <https://doi.org/10.1109/AGERS53903.2021.9617354>
- Çoban, H. O., & Gündoğdu, Ş. (2020). Orman alanlarındaki değişimlerin CBS tabanlı belirlenmesi: Çamsu Orman İşletme Şefliği örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 21(1), 60–69. <https://doi.org/10.18182/tjf.693465>
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Desai, G., & Gaikwad, A. (2022). Automatic land cover classification with SAR imagery and Machine learning using Google Earth Engine. *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems*, 13(10), 909-916. <https://doi.org/10.32985/ijeces.13.10.6>
- Eraslan, İ. (1982). Orman Amenajmanı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları. No:3010.
- Feizzadeh, B., Omarzadeh, D., Kazemi Garajeh, M., Lakes, T., & Blaschke, T. (2023). Machine learning data-driven approaches for land use/cover mapping and trend analysis using Google Earth Engine. *Journal of Environmental Planning and Management*, 66(3), 665-697. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.2001317>
- Gautam, A. P., Webb, E. L., Shivakoti, G. P., & Zoebisch, M. A. (2003). Land use dynamics and landscape change pattern in a mountain watershed in Nepal. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99(1-3), 83-96. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00148-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00148-8)
- Ghimire, B., Rogan, J., & Miller, J. (2010). Contextual land-cover classification: incorporating spatial dependence in land-cover classification models using random forests and the Getis statistic. *Remote Sensing Letters*, 1(1), 45-54. <https://doi.org/10.1080/01431160903252327>
- Ghosh, S. M., Behera, M. D., & Paramanik, S. (2020). Canopy height estimation using sentinel series images through machine learning models in a mangrove forest. *Remote Sensing*, 12(9), 1519. <https://doi.org/10.3390/rs12091519>
- Güner, A., Karabacak, E., Çingay, B., Güneş, F., Eker, İ., Öztekin, M., ... & Körüklü, T. (2014). Resimli Türkiye Florası. vol. 1. İstanbul: Ali Nihat Gökyigit Vakfı, Flora Araştırmaları Derneği and Türkiye İş Bankası Kültür Yayını.
- Güvel, Ş. P., Akgül, M. A., & Akkoyunlu, M. F. (2023). Monitoring and Evaluation of 2015 Devrek Zonguldak Landslide within the scope of Flood Risk Assessment by Landsat-8 Satellite Data. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(1), 81-89. <https://doi.org/10.21324/dacd.1152670>

- Jin, Y., Liu, X., Chen, Y., & Liang, X. (2018). Land-cover mapping using Random Forest classification and incorporating NDVI time-series and texture: A case study of central Shandong. *International Journal of Remote Sensing*, 39(23), 8703-8723. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1490976>
- Kadioğulları, A. İ. (2013). Assessing implications of land use and land cover changes in forest ecosystems of NE Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 2095-2106. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2691-0>
- Kadioğulları, A., & Başkent, E. (2009). Orman kaynaklarının konumsal ve zamansal değişiminin coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri ile irdelenmesi: İnayet ve Yenice örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 378-390.
- Kaplan, G., Milevski, I., & Valjarević, A. (2022). National Land Cover Mapping Using Various Remote Sensing Datasets In Gee. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 17(2), 297-306. <https://doi.org/10.26471/cjees/2022/017/223>
- Kaptan, S. & Durkaya, A. (2019). Analysing temporal and spatial changes in land cover: the case of Draha Forest Subdistrict Directorate. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 19 (1), 47-56. <https://doi.org/10.17475/kastorman.543428>
- Kaptan, S. (2021). Arazi örtüsü ile meşcere gelişim çağı ve kapallığı kategorilerindeki zamansal değişimlerin incelenmesi: Karabiga Orman İşletme Şefliği örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 22(2), 97-104. <https://doi.org/10.18182/tjf.903733>
- Karabulut, M., Küçükönder, M., Gürbüz, M., & Sandal, E. K. (2006). Kahramanmaraş şehri ve çevresinin zamansal değişiminin uzaktan algılama ve CBS kullanılarak incelenmesi. *Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri*, 13(16), 1-8.
- Küçüköğül, S. (2017). Kırsal Yerleşmelerde Tasarım Rehberi Süreç ve Değerlendirmeler: Bursa Örneği. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Labrière, N., Davies, S. J., Disney, M. I., Duncanson, L. I., Herold, M., Lewis, S. L., Phillips, O. L., Quegan, S., Saatchi, S. S., Schepaschenko, D. G., Scipal, K., Sist, P., & Chave, J. (2023). Toward a forest biomass reference measurement system for remote sensing applications. *Global Change Biology*, 29(3), 827-840. <https://doi.org/10.1111/gcb.16497>
- Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205-241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Li, H., Jia, M., Zhang, R., Ren, Y., & Wen, X. (2019). Incorporating the plant phenological trajectory into mangrove species mapping with dense time series Sentinel-2 imagery and the Google Earth Engine platform. *Remote Sensing*, 11(21), 2479. <https://doi.org/10.3390/rs11212479>
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2401. <https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>
- Oliphant, A. J., Thenkabail, P. S., Teluguntla, P., Xiong, J., Gumma, M. K., Congalton, R. G., & Yadav, K. (2019). Mapping cropland extent of Southeast and Northeast Asia using multi-year time-series Landsat 30-m data using a random forest classifier on the Google Earth Engine Cloud. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 81, 110-124. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.11.014>
- Özsoy, G. (2007). Uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemi (CBS) teknikleri kullanılarak erozyon riskinin belirlenmesi. [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].
- Parida, B. R., & Kumar, P. (2020). Mapping and dynamic analysis of mangrove forest during 2009-2019 using landsat-5 and sentinel-2 satellite data along Odisha Coast. *Tropical Ecology*, 61(4), 538-549. <https://doi.org/10.1007/s42965-020-00112-7>
- Reis S., Taşdemir K., (2010). Fındık Alanlarının Kendini Örgütleyen Eşlemlerle (Self Organizing Maps) Belirlenmesi, III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 11 - 13 Ekim 2010, Gebze - Kocaeli.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351(1), 309.
- Sauti, R., & Karahalil, U. (2022). Investigating the spatiotemporal changes of land use/land cover and its implications for ecosystem services between 1972 and 2015 in Yuvacık. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(4), 311. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09912-x>
- Sener, M., Altintas, B., & Kurc, H. C. (2013). Planning and controlling of hazelnut production areas with the remote sensing techniques. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 16(1), 16-23.
- Şirvan, B., & Akın Tanrıöver, A. (2023). Bursa Kentinin 1979-2021 Yılları Arasında Kentsel Açık Yeşil Alan Değişiminin İrdelenmesi. *Ağaç ve Orman*, 3(2), 14-22.
- Sönmez, T., Gencal, B., Taş, İ., & Kadioğulları, A. İ. (2022). Orman Ekosistemindeki Zamansal Değişimin Orman Amenajman Planları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla İncelenmesi: Bursa Orman İşletme Müdürlüğü Örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(3), 618-636. <https://doi.org/10.24011/barofd.1148842>
- Ünal, E., Aydoğdu, M., Ceylan, N., Sezer, A., Özenc, N., & Duyar, Ö. (2010). Giresun İlinde Fındık Alanlarının Uzaktan Algılama ile Tespit Edilmesinde Arazi Topografyasının Etkisinin İncelenmesi ve Alternatif Tarım Ürünlerine Uygunluğunun Belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 19(1-2), 1-10.
- Ustuner, M., Sanli, F. B., Abdikan, S., Esetlili, M. T., & Kurucu, Y. (2014). Crop type classification using vegetation indices of rapideye imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(7), 195-198. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-195-2014>
- Uzun, A., & Somuncu, M. (2013). Madra Dağı ve çevresinin arazi örtüsü/kullanımındaki zamansal

- değişimin uzaktan algılama yöntemi ile değerlendirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(30), 1-21
- Vatandaşlar, C., & Zeybek, M. (2021). Extraction of forest inventory parameters using handheld mobile laser scanning: A case study from Trabzon, Turkey. *Measurement*, 177, 109328. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109328>
- Wahap, N. A., & Shafri, H. Z. M. (2020). Utilization of Google earth engine (GEE) for land cover monitoring over Klang Valley, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 540(1), 12003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/540/1/012003>
- Wang, Y., Bonyng, G., Nugranad, J., Traber, M., Ngusaru, A., Tobey, J., Hale, L., Bowen, R., & Makota, V. (2003). Remote sensing of Mangrove change along the Tanzania coast. *Marine Geodesy*, 26(1-2), 35-48. <https://doi.org/10.1080/01490410306708>
- Xie, H., He, Y., Choi, Y., Chen, Q., & Cheng, H. (2020). Warning of negative effects of land-use changes on ecological security based on GIS. *Science of the Total Environment*, 704, 135427. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135427>
- Yılmaz, O. S. (2021). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi sistemleri Yardımıyla Yüzen Fotovoltaik Güç Santarallerinin Değerlendirilmesi: Demirköprü Barajı Örneği. [Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi].
- Yılmaz, O. S., Acar, U., Sanli, F. B., Gulgen, F., & Ates, A. M. (2023a). 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. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-00933-9>
- Yılmaz, O. S., Gülgen, F., & Ateş, A. M. (2022). Determination of the appropriate zone on dam surface for Floating Photovoltaic System Installation using RS and GIS technologies. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(1), 63-75. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1052556>
- Yılmaz, O. S., Gulgen, F., Balik Sanli, F., & Ates, A. M. (2023b). The Performance Analysis of Different Water Indices and Algorithms Using Sentinel-2 and Landsat-8 Images in Determining Water Surface: Demirköprü Dam Case Study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48, 7883-7903. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07583-x>
- Yılmaz, O. S., Gülgen, F., Güngör, R., & Kadı, F. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile Arazi Kullanım Değişiminin İncelenmesi, Köprübaşı İlçesi Örneği. *Geomatik*, 3(3), 233-241. <https://doi.org/10.29128/geomatik.410987>
- Zengin, H., Özdemir, H. Y., & Değermenci, A. S. (2018). Determination of temporal changes in land uses in Hasanlar Dam basin. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 68(1), 53-60. <https://doi.org/10.17099/jffiu.292036>
- Zhang, M., Gong, P., Qi, S., Liu, C., & Xiong, T. (2019). Mapping bamboo with regional phenological characteristics derived from dense Landsat time series using Google Earth Engine. *International Journal of Remote Sensing*, 40(24), 9541-9555. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1633702>
- Zheng, G., Chen, J. M., Tian, Q. J., Ju, W. M., & Xia, X. Q. (2007). Combining remote sensing imagery and forest age inventory for biomass mapping. *Journal of Environmental Management*, 85(3), 616-623. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.07.015>





Çok katlı mekanların navigasyonu için bluetooth tabanlı Beacon teknolojisi: Pamukkale Üniversitesi Hastanesi Örneği

Recep Çakır^{*1}, Çağrı Çiçekdemir², Serkan Doğanalp³

¹ Pamukkale Üniversitesi, Çameli Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Denizli, Türkiye, rcakir@pau.edu.tr

² Pamukkale Üniversitesi, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Denizli, Türkiye, ccicekdemir@pau.edu.tr

³ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, sdoganalp@ktun.edu.tr

Kaynak Göster: Çakır, R., Çiçekdemir, Ç., & Doğanalp, S. (2024). Çok katlı mekanların navigasyonu için bluetooth tabanlı Beacon teknolojisi: Pamukkale Üniversitesi Hastanesi Örneği. Geomatik, 9 (2), 156-163

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1378154>

Anahtar Kelimeler

Beacon
Kapalı alan konumlama
Navigasyon
Yakınlık algoritması

Araştırma Makalesi

Geliş: 19.10.2023
Revize: 22.11.2023
Kabul: 26.11.2023
Yayınlanma: 15.08.2024



Öz

İnsanlar alışveriş merkezi, hastane, metro, otopark gibi büyük yapıdaki kapalı alanlarda çoğu kez yönlerini bulmakta zorluk çekmektedirler. Bu tip kapalı alanlarda GNSS teknolojisinin de yetersiz kalmasından dolayı farklı teknolojilerle navigasyon ihtiyacı giderilmektedir. Bu teknolojilerden biri de Bluetooth tabanlı Beacon teknolojisidir. Bu çalışmada Beacon teknolojisi kullanılarak Pamukkale Üniversitesi Hastanesi için navigasyon amaçlı Android ve iOS tabanlı bir mobil uygulama geliştirilmiş ve mobil platformlarda yayınlanarak insanların kullanımına sunulmuştur. Çalışmada hastane katlarının haritası çıkartılarak her bir kata konum belirleme amaçlı Beacon ağı kurulmuştur. Hastanenin kat haritaları, ITRF datumunda ve UTM projeksiyonunda elde edilmiştir. Beacon'lar sinyal yapısına göre her bir kata gruplandırılarak yerleştirilmiştir. Beacon cihazlarının konumlandırılması hastanenin fiziksel durumuna göre 7 ile 12 metre arasında değişkenlik gösteren aralıklarla Yakınlık (Proximity) algoritmasına göre yapılmıştır. Uygulamada Dijkstra algoritması en kısa yol algoritması olarak seçilmiş ve navigasyon testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan navigasyon testlerinde %95 başarı elde edilmiştir.

Bluetooth-based Beacon technology for navigation in multi-story spaces: A case study of Pamukkale University Hospital

Keywords

Beacon
Indoor
Navigation
Proximity algorithm

Research Article

Received: 19.10.2023
Revised: 22.11.2023
Accepted: 26.11.2023
Published: 15.08.2024

Abstract

People often have difficulty finding their way in large indoor such as shopping malls, hospitals, subways and parking lots. Since GNSS technology is insufficient in such indoors, the need for navigation is met with different technologies. One of these technologies is Bluetooth-based Beacon technology. In this study, an Android and iOS based mobile application was developed for Pamukkale University Hospital for navigation purposes using Beacon technology and it was published on mobile platforms and made available to people. In the study, a map of the hospital floors was created, and a Beacon network was established to determine the location of each floor. Floor maps of the hospital were obtained in ITRF datum and UTM projection. Beacons were grouped and placed on each floor according to the signal structure. The positioning of beacon devices was made according to the proximity algorithm at intervals varying between 7 and 12 meters, depending on the physical condition of the hospital. In practice, Dijkstra algorithm was chosen as the shortest path algorithm and navigation tests were carried out. 95% success was achieved in the navigation tests.

1. Giriş

Günümüzde insanlar hastane, metro, alışveriş merkezi, terminal, kültür merkezi gibi kapalı alanlarda zamanlarının çoğunu geçirmektedirler. Bu tür yapıların büyük, karmaşık ve yönlendirme bakımından yetersiz oluşu insanların bu tip kapalı alanlar içerisinde gidecekleri hedefe ulaşmalarını güçleştirmektedir. Küresel Konum Belirleme Sistemleri (GNSS) ile çok hassas konum belirlenebilmektedir. Ancak kapalı alanlarda kullanıcıların GNSS sinyallerine sağlıklı erişememesinden dolayı bu sistemler iyi performans verememektedir (Ilci ve ark., 2015; Brena ve ark., 2017). Dolayısıyla kapalı alanlarda konum belirleme amaçlı farklı teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojilere Beacon, Wi-Fi, RFID (Radio Frequency Identification), ZigBee, UWB (Ultra Wide Band) tabanlı teknolojiler örnek olarak verilebilir (Brena ve ark., 2017; de Blasio ve ark., 2019; Eroğlu ve Doğan, 2019). Kapalı alanlarda konumlamada bu teknolojilerin başında gelen Beacon teknolojisi oldukça kullanışlıdır. Beacon cihazları kolay kurulum taşınabilen, pille çalışabilen, küçük, hafif, düşük enerji tüketimine sahip, düşük maliyetle yüksek konum doğruluğu sağlayan cihazlardır (Siekkinen ve ark., 2012; de Blasio ve ark., 2019). Beacon teknolojisi kullanıcılara konumlandırma bakımından direkt olarak gelişmiş bir olanak sağlayabilir (de Blasio ve ark., 2017). Beacon teknolojisi Bluetooth Low Energy (BLE) alt yapısını kullanmaktadır. BLE, klasik Bluetooth teknolojisini tamamlayan bir teknoloji olmasının yanı sıra mümkün

olan en düşük enerjiyle tasarlanıp üretilebilen kablosuz bir teknolojidir. BLE, Bluetooth özelliklerini taşımakla birlikte farklı tasarım ve pazar hedefleri olan başka bir teknoloji olarak düşünülmelidir (Heydon, 2013). BLE, Bluetooth 4.0 versiyonuyla 2010 yılında kullanıcılara sunulmuştur (Kajioka ve ark. 2014). Daha sonraki yıllarda BLE, özelliklerini 4.1, 4.2, 5.0 ve 5.1 versiyonları ile geliştirerek yenilemiştir (de Blasio ve ark., 2019). BLE alanında son versiyon ise 5.2 olarak karşımıza çıkmaktadır.

2. Yöntem

2.1. Uygulama alanı

Bu çalışmada, Denizli İli içerisinde yer alan Pamukkale Üniversitesi Hastanesi için Beacon tabanlı navigasyon uygulaması geliştirilmiştir. Hastane poliklinikleri 6, yataklı servisler ise 13 kattan oluşmaktadır. Günlük yaklaşık 5000 ile 12000 kişi arasında değişen ziyaretçileri (hasta, hasta yakını, kurum çalışanları vb.) poliklinik içerisindeki birimlere ve poliklinik harici yataklı servislere yönlendirmek çalışmanın ana hedefidir. Çalışma alanında kurulan Beacon ağının, yaklaşık olarak 40000.00 m² kapalı alanda navigasyon ihtiyacını karşılaması planlanmaktadır. Çalışmada 276 adet Beacon cihazı kullanılmıştır. Pamukkale Üniversitesi Hastanesi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Pamukkale Üniversitesi Hastanesi.

2.2. Beacon cihazı

Bu çalışmada Şekil 2'de gösterilen Bluetooth 4.2 ve 5.0 uyumlu Kontakt.io firmasının ürettiği Asset Tag Beacon cihazları kullanılmıştır (URL-1).

Bir Beacon'la iletişim kurmak için Universally Unique Identifier (UUID), Major, Minor ve ölçülen güç değerlerini (MPPower) bilmek veya yapılandırmak gereklidir (Kohne ve Sieck, 2014).

UUID: Beacon'ların kullanıldığı tüm ağı benzersiz şekilde tanımlamak için kullanılan 128-bitlik bir

tanımlayıcıdır.

Major: 16-bitlik bir veri parçası olup tanımlanan ağ içinde belirli bir bölgeyi veya grubu tanımlamak için kullanılır.

Minor: Tanımlanan ağ içerisinde bulunan belirli bir bölge veya grup içerisinde daha küçük kısımları tanımlamak için kullanılan 16-bitlik bir veri parçasıdır.

MPPower: Kullanıcıların Beacon cihazlarına yakınlığını hesaplamak için kullanılır (Siekkinen ve ark., 2012; Allurwar ve ark., 2016).



Şekil 2. Çalışmada kullanılan Beacon cihazı (URL-1).

2.3. Haritalama

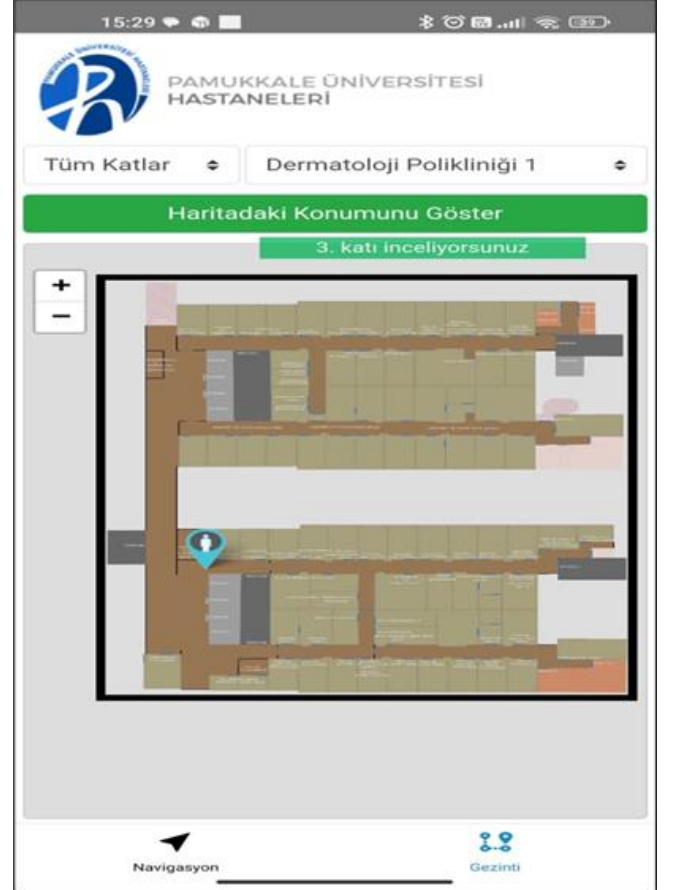
Navigasyon uygulaması için haritalama işlemi kat planlarından elde edilerek yapılmıştır. Bu işlem için iki boyutlu benzerlik dönüşümü kullanılmıştır. Benzerlik dönüşümü 1 ölçek, 1 dönüklük ve 2 öteleme olmak üzere 4 parametreden oluşur. Benzerlik dönüşümü için her iki sistemde koordinatları bilinen en az iki noktaya ihtiyaç vardır (Başçıftci ve İnal, 2008; Konakoğlu ve Gökalp, 2016; Hüsrevoğlu ve Tuşat, 2018).

Haritalama işlemi için hastanenin kat planlarındaki noktalar belirlenerek hastane içerisinde bu noktalardan ölçü alınmıştır. Yapılan ölçümler International Terrestrial Reference System (ITRF) datumunda ve Universal Transverse Mercator (UTM) projeksiyonundadır. Bu işlem için South G1 Galaxy GNSS alıcısı ile TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal GNSS Ağı Aktif) sisteminden yararlanılarak proje alanına sabit noktalar tesis edilmiştir. Bu noktalardan çıkış alınarak South N4 elektronik uzunluk ve açı ölçer ile hastane içerisindeki ortak noktalar ölçülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3. Saha ölçümleri.

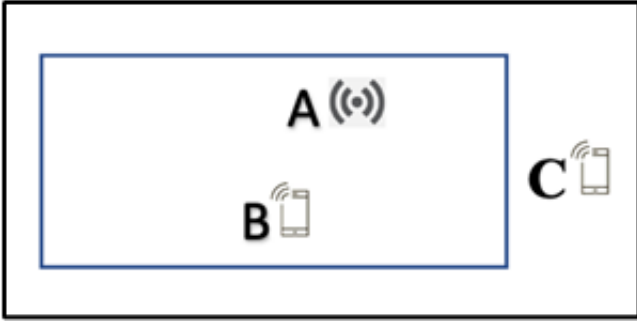
Her iki sistemdeki ortak noktalar yardımıyla benzerlik dönüşümü yapılarak kat planları koordinatlandırılmıştır. Elde edilen harita ITRF datumunda ve UTM projeksiyonundadır. Haritanın belirli bir datum ve projeksiyon sisteminde elde edilmesi veri analizi ve Beaconların uygulama sahası içerisindeki yerleşimini kolaylaştırmaktadır. Haritanın çizimi ise NetCad programında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen harita GeoTIFF formatında navigasyon uygulamasına aktarılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Kat haritası örneği.

2.4. Konumlandırma algoritması

Kapalı alanlarda konum belirlemek için Üçgenleme (Trilateration), Parmakizi (Fingerprint), Yakınlık (Proximity), Hibrit (Hybrid) algoritmalar gibi birçok algoritma kullanılmakta ve geliştirilmektedir. Bu çalışmalara Wang ve ark., (2013), de Blasio ve ark., (2017), İlci ve ark., (2018), Nagah Amr ve ark., (2021) örnek olarak gösterilebilir. Bu çalışmada uygulama alanının büyüklüğüne bağlı olarak çok fazla sayıda Beacon kullanılması sebebiyle Proximity algoritması konumlandırma algoritması olarak tercih edilmiştir. Proximity algoritmasının kullanımı oldukça basittir. Konumu bilinen noktalara vericiler (Beacon, Wi-Fi vb.) yerleştirilir. Kullanıcı vericilerle bağlantı kurduğunda kullanıcının konumu belirlenen nokta veya alanda kabul edilir. Şekil 5'te A vericisinin Proximity alanı dikdörtgen bölge ile gösterilmiştir. B kullanıcısı A vericisinden sinyal aldığı anda A vericisinin Proximity alanı içerisinde yer alacaktır. C kullanıcısı ise A vericisinin Proximity alanı dışında yer almaktadır (Khudhair ve ark., 2016).



Şekil 5. Proximity algoritması.

Kullanıcı ile Beacon arasındaki mesafenin konumlandırma algoritmaları için bilinmesi gerekmektedir. Bu mesafe Beacon cihazlarının yaydığı Bluetooth sinyallerinin gücündeki değişimden belirlenebilmektedir. Bu değişim Received Signal Strength Indication (RSSI) değeriyle temsil edilmektedir. RSSI değeri dBm (decibel-mill watt) şeklinde ifade edilir. RSSI değeri kullanılarak Beacon cihazıyla kullanıcı arasındaki mesafe [Eşitlik 1](#) ile hesaplanır.

$$d_i = 10^{\frac{r_0 - r_i}{10n}} \quad (1)$$

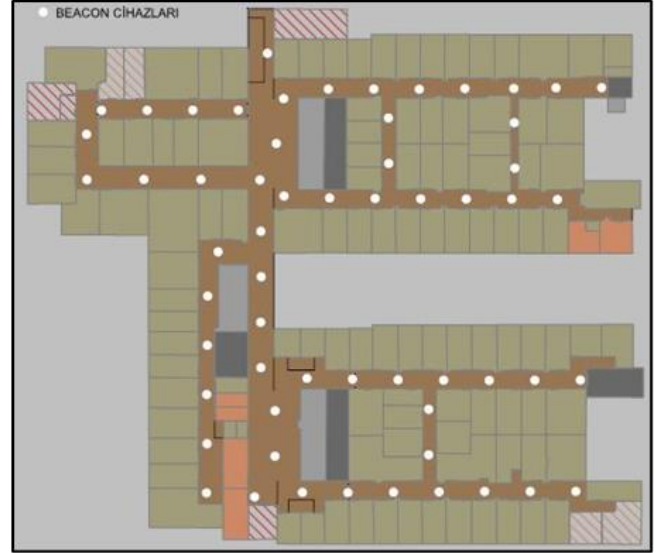
[Eşitlik 1](#)'de d_i alıcı ile verici arasındaki mesafeyi, r_i anlık algılanan RSSI değerini, r_0 (MPower) 1 m mesafe için hesaplanan RSSI değerini, n ise ortam koşullarına bağlı yol kaybı katsayısıdır ([Anagnostopoulos ve Deriaz 2014](#); [Khudhair ve ark., 2016](#); [Sung, 2016](#); [Vadivukkarasi ve Kumar, 2020](#); [Nagah Amr ve ark., 2021](#)). Ortam koşullarına göre n ve r_0 belirlenerek hesap yapılabilir. Ancak bu çalışmada, çalışma alanının büyük olması ve ortam koşullarının değişken olması nedeniyle üretici firma tarafından sağlanan donanım kaynaklı değerler kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Beacon yazılım kütüphanesinde ([URL-2](#)); "accuracy" değeri, Beacon cihazıyla kullanıcı arasındaki mesafeyi temsil etmektedir ([Şekil 6](#)).

```
{"uniqueid":null,"minor":14429,"firmwareVersion":"-1","txPower":77,"accuracy":6.356625926297197,"isShuffled":false,"batteryPower":1,"major":52046,"uuid":"41c83f82-3758-4218-93fc-f20b2b765a2d","name":null,"rssi":99,"address":"E4:16:21:9E:C4:3F","proximity":"FAR"}}
```

Şekil 6. Çalışmada kullanılan Beacon iletişim değerleri.

2.4.1. Konumlandırma planı

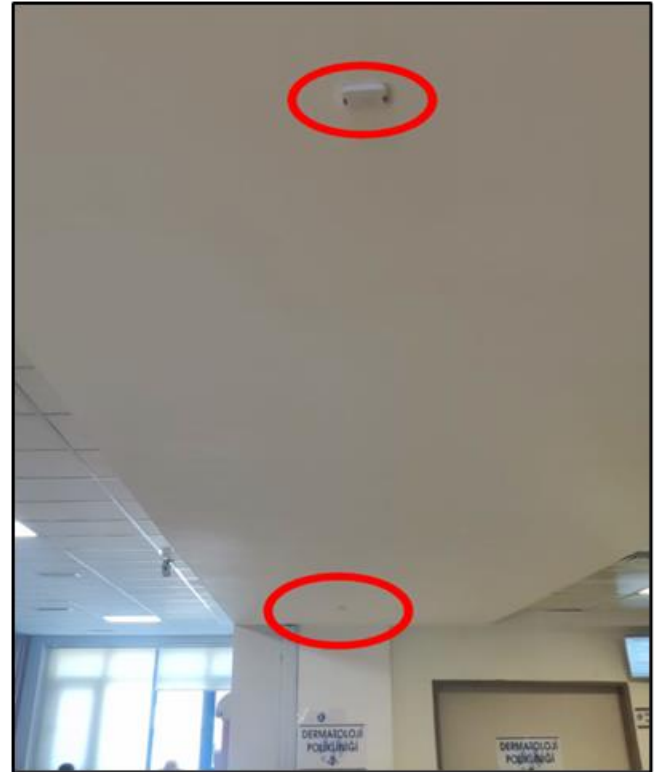
Çalışmada tasarlanan haritalar üzerinde Beacon'lar Proximity algoritmasına göre genel olarak 10 m aralıklı yerleştirilmiştir. Proximity algoritması için belirlenen 10 m aralık değeri ortam şartlarında test edilerek elde edilmiştir. Sahada sinyal yansımaları, sinyal karışıklığı gibi olumsuz durumlarla karşılaşıldığında Proximity algoritması için belirlenen 10 m aralık değeri, 7 m'ye kadar düşürülmüş veya 12 m'ye kadar artırılarak bu durum aşılmıştır. Bir başka çözüm yolu olarak da Beacon cihazının yeri değiştirilmiştir. Ancak değiştirilen Beacon cihazının konumundan kullanıcı sinyal aldığı yazılım müdahalesiyle kullanıcının planlanan konumda gösterilmesi sağlanmıştır. Beacon yerleşim planı örneği [Şekil 7](#)'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Beacon cihazlarının kat yerleşim planı.

Beacon'ların sahada yerleşimi harita üzerinde belirlenen plana göre koridorların tavanına yerleştirilmiştir. Plan üzerinde noktaların coğrafi koordinatları belirlenmiş ve belirlenen noktalara Beacon cihazları sabitlenmiştir. Beacon cihazlarının yerleşim örneği [Şekil 8](#)'de gösterilmiştir.

Sahadaki Beacon cihazlarının yerleştirilmesi Bluetooth uyumlu akıllı telefonlarla denenecek yapılmıştır.



Şekil 8. Beacon cihazlarının saha yerleşimi.

2.5. En kısa yol algoritması

Bu çalışmada kullanıcıların en kısa yoldan gidecekleri yere ulaşması için Dijkstra algoritması kullanılmıştır. Dijkstra algoritması Hollandalı matematikçi ve bilgisayar bilimcisi Edsger Wybe Dijkstra tarafından 1956 yılında

tasarlanmıştır. Algoritma başta yönlendirme olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır (Dhulkefi ve ark, 2020). Dijkstra tarafından 1959 yılında yayınlanan algoritma ağırlıklı ve yönlü graflar için geliştirilmiştir. Bir noktadan bir noktaya geçerken en iyi yerel çözümü sunan Greedy yaklaşımı ise (mümkün olan ve sonuca en yakın seçim) en kısa yolun belirlenmesinde kullanılır. En kısa yolun belirlenmesinde tüm seçenekler için yapılan iterasyonun her adımında bir sonraki noktaya ilerleme işleminde Greedy yaklaşımı ön plandadır (Dijkstra, 1959). Dijkstra algoritması birçok en kısa yol algoritmasına göre daha doğru ve kesin sonuçlar vermektedir. Ayrıca döngülü ve döngüsüz tüm yollara uygulanabilmektedir (Özdemir ve ark., 2021). Dijkstra algoritmasının genel içeriği Algoritma 1’de gösterilmiştir.

Algoritma 1. Dijkstra Algoritması (URL-3).

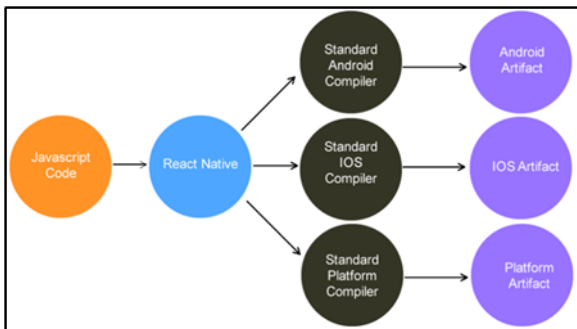
```

1 function Dijkstra(Graph, source):
2
3   for each vertex v in Graph.Vertices:
4     dist[v] ← INFINITY
5     prev[v] ← UNDEFINED
6     add v to Q
7   dist[source] ← 0
8
9   while Q is not empty:
10    u ← vertex in Q with min dist[u]
11    remove u from Q
12
13    for each neighbor v of u still in Q:
14      alt ← dist[u] + Graph.Edges(u, v)
15      if alt < dist[v]:
16        dist[v] ← alt
17        prev[v] ← u
18
19  return dist[], prev[]

```

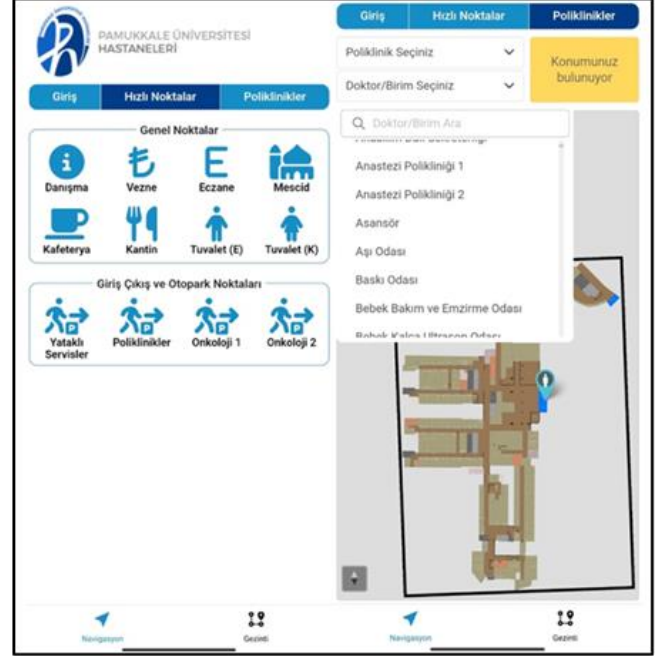
2.6. Mobil uygulama

Çalışmada, navigasyon yazılımı ile ilgili Android ve iOS tabanlı işletim sistemlerinde kullanılabilen bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Mobil uygulama hem Android hem de iOS işletim sistemleri ile uyumlu uygulamaların yazılabileceği JavaScript tabanlı bir platform olan React Native’de yazılmıştır. Açık kaynak kodlu ve geliştirilmeye açık olması React Native için önemli özelliklerdendir (Gülcüoğlu ve ark., 2021; URL-4; URL-5). React Native tasarım şeması Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. React Native Tasarım Şeması (URL-6).

Mobil uygulamanın kullanımı için akıllı telefonun internet bağlantısı, bluetooth bağlantısı ve konum bilgisi açık olmalıdır. Kullanıcılar tuvalet, kafeterya, kantin gibi hızlı noktaları direkt seçebilecek bir ara yüze sahip olmakla birlikte gideceği poliklinik birimini seçip aratabileceği bir ara yüze de sahiptir. Şekil 10’da mobil uygulamanın arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 10. Mobil uygulama arayüzü.

3. Bulgular

Çalışmada çok katlı kapalı alanlar için tasarlanan navigasyon uygulaması test edilmiştir. Testlerde kullanıcıların hedefe ulaşma ön planda tutulmuştur. Ayrıca çalışmada hasta ve hastane koşulları da dikkate alınarak hız ve zaman parametreleri değerlendirilmemiştir. Bu nedenle en kısa yol algoritmasında sadece uzaklık dikkate alındığı için simülasyon sonuçları ile saha testleri örtüşmüştür. Test aşamasında aynı kat içerisinde hedefe ulaşma, farklı katlar içerisinde hedefe ulaşma, koridor dışında Beacon’lardan alınan sinyallerde kesiklik oluşması durumunda hedefe ulaşma gibi durumlar test edilmiştir. Ayrıca test için belirlenen başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki konum değişiklikleri de gözlemlenmiştir. Bu kriterler göz önünde bulundurularak 20 başlangıç ve hedef noktası belirlenmiştir. Genel olarak Beacon yerleşimlerinin koridor içerisinde 10 m aralıklı olmasından ve Proximity algoritmasının yapısından dolayı yapılan testlerde kullanıcı hedefe $\pm 5 m$ kadar ulaştıysa başarılı kabul edilmektedir. Kullanıcı hedefe ulaşmış ancak nokta geçişlerinde sorun yaşamışsa kısmen başarılı kabul edilmektedir. Kullanıcı belirlenen hedefe ulaşamadıysa başarısız kabul edilmektedir. Navigasyon test örneği Şekil 11’de gösterilmiştir.

Test aşaması Beacon’lardan yayılan Bluetooth sinyallerini alabilen ve tasarlanan uygulamayı görüntüleyebilen akıllı bir mobil telefonla gerçekleştirilmiştir. Başlangıç noktası ile hedef nokta arasındaki mesafe ortalama bir hızda (5 km/saat)

geçilerek test edilmeye çalışılmıştır. Test sonuçları Tablo 1’de gösterilmiştir.



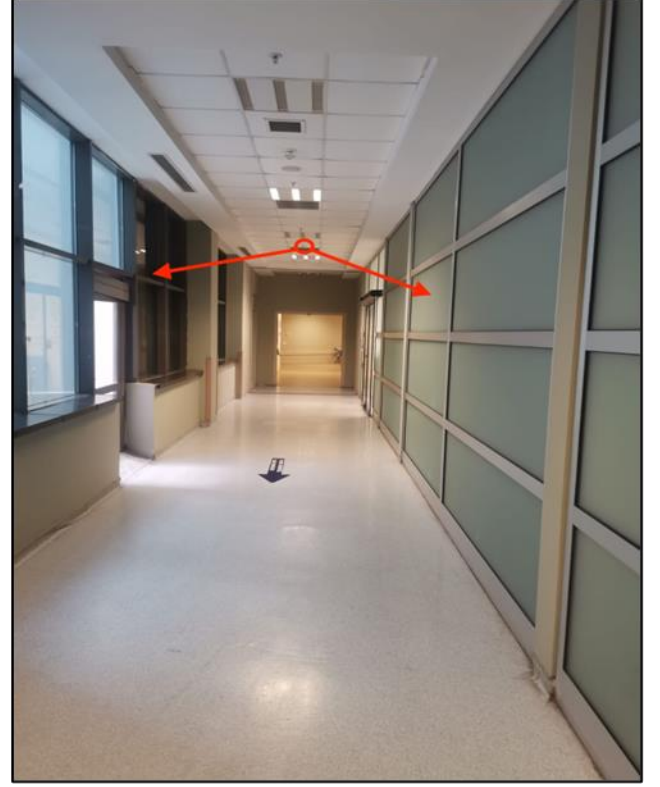
Şekil 11. Navigasyon test örneği.

Tablo 1. Test sonuçları.

Test No	Aynı Kat	Farklı Kat	Test Edilen Konum Sayısı	Başarı Durumu
1	•		12	Başarılı
2	•		14	Kısmen Başarılı
3	•		11	Başarılı
4	•		11	Başarılı
5	•		9	Başarılı
6		•	12	Başarılı
7		•	4	Başarılı
8		•	6	Başarılı
9		•	13	Başarılı
10		•	18	Başarılı
11		•	5	Başarılı
12		•	22	Başarılı
13		•	6	Kısmen Başarılı
14		•	4	Başarılı
15		•	24	Başarılı
16		•	24	Başarılı
17		•	22	Başarılı
18		•	5	Başarılı
19		•	9	Başarısız
20		•	21	Başarılı

Tablo 1 incelendiğine yapılan 20 test içerisinde 17 testin başarılı 2 testin kısmen başarılı ve 1 testinde başarısız olduğu görülmektedir. Kısmen başarılı olan testler irdelendiğinde kullanıcı iki nokta arasında hareket halindeyken hareket yönünde konum değişikliği olması beklenirken bu durum gerçekleşmemiştir. Bunun

yerine kullanıcı tek bir yöne ilerlerken iki nokta arasında değişiklik gösteren konum elde edilmiştir. Bu noktalar sahada gözden geçirildiğinde Beacon konumlarının etrafında sinyal yansıtıcı yüzeylerin olduğu fark edilmiştir. Sinyal yansıtıcı konuma sahip olan Beacon cihazının yeri Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. Beacon konumu ve yansıtıcı yüzeyler.

Başarısız olan test incelendiğinde belirli bir noktaya kadar navigasyon uygulamasının sağlıklı çalıştığı ancak bir noktadan sonra konum değişikliği çok geç algılandığı fark edilmiştir. Yürüme hızı da dikkate alındığında konum hatası olduğu görülmüştür. Konum değişikliğinin geç algılandığı noktadaki ortam şartları ve Beacon cihazı incelendiğinde Beacon cihazının sağlıklı çalışmadığı görülmüştür.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada çok katlı kapalı alanlarda Beacon tabanlı navigasyon uygulaması yapılmış ve test edilmiştir. Yapılan 20 test sonucunda navigasyon uygulamasının hedefe ulaşma açısından 17 başarılı, 2 kısmen başarılı, 1 başarısız olmak üzere %95 başarı sağladığı tespit edilmiştir. Bu durum çok katlı kapalı alanlarda Beacon tabanlı mobil navigasyon uygulamasının kullanılabilirliği göstermiştir. Hastane gibi bu tip kapalı alanlarda Beacon tabanlı yapılacak navigasyon uygulamalarında bu çalışmanın sonucu olarak aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

- 1- Bu tip büyük kapalı alanlarda, kat planlarından harita elde edilmesi zaman ve maliyet açısından uygun olmakla birlikte kat planlarının gerçekte kapalı alan ile örtüşmediği durumlar oluşmaktadır. Bu tip durumlarda kontrol ölçüsü ve saha kontrolleri yapılmalı ve harita güncel tutulmalıdır.

- 2- Kapalı alanın fiziki şartları baz alındığında konumlandırma algoritması olarak kapalı alanın çok sayıda koridordan oluşması, Beacon saha yerleşimine daha uygun olması, diğer konumlandırma algoritmalarına göre daha basit bir şekilde uygulanıyor olması, konum hassasiyeti bakımından navigasyon uygulamaları için yeterli olması gibi birçok sebepten dolayı Proximity algoritmasının kullanılması önerilmektedir.
- 3- Beacon sinyalleri ortam sıcaklığı, basıncı, yüzeyi gibi birçok durumdan etkilenmektedir. Çok sayıda Beacon sinyali karışarak kullanıcıya gelebilir. Dolayısıyla bu tip büyük kapalı alanlarda Beacon'ların saha yerleşimi dikkatli seçilmelidir.
- 4- Sinyal yansımalarının etkili olduğu yerlerde Beacon'ların saha içindeki konumları değiştirilmeli (aralarındaki mesafe arttırılmalı) sonuç alınmıyorsa o bölgedeki Beacon sayısı azaltılmalıdır.
- 5- Beacon'ların sahadaki yerleşiminden dolayı kullanıcı ilgili Beacon'a yakın olmasına rağmen bazen bu sinyali alamayabilir. Beacon sinyalini güvenli bir şekilde alması için Beacon'lar kapalı alanın tavanına yerleştirilmesi daha uygundur. Ancak tavan yüksekliğinin, standart tavan yüksekliğini (2.5 m-3.5 m) çok fazla aştığı durumlarda Beacon'lar duvara da monte edilebilir.
- 6- Beacon'ların saha yerleşiminde dikkat edilmesi gereken başka bir konu ise kullanıcıların yürüme hızıdır. Belirlenen Beacon saha yerleşim planında bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.
- 7- Sinyal karışıklıkları, ortamın fiziki durumu, planlama hatası vb. durumlarda kapalı alanda Beacon'ın bulunduğu konum ile kullanıcının hedef konumu uyuşmayabilir. Bu tip durumlarda ilgili Beacon'dan sinyal alındığında kullanıcının konum bilgisi (hedef konum) yazılım müdahalesiyle olması gereken yerlerde gösterilmelidir.
- 8- Bu çalışmada üretici firma tarafından sağlanan standart MPower değeri olan -77 kullanılmıştır. Kapalı alanın büyük olması nedeniyle farklı bir MPower ve n değeri hesaplanmamıştır. Burada dikkat edilmesi gereken durum, bu değerlerin değiştirilmesi durumunda kullanıcı ile Beacon'lar arasındaki mesafenin doğruluğunun ve hassasiyetinin değişeceğidir. Bu durum ise Beacon'ların pil ömrünü doğrudan etkilemektedir. Ayrıca Beacon'ların kendi içerisinde homojen konum doğruluğunu da olumsuz etkileyecektir. Benzer çalışmalarda bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.
- 9- Mobil uygulamayı kullanan kullanıcıların Beacon alıcıları (akıllı mobil telefonlar) ve işletim sistemleri farklı olmaktadır. Bu durum uygulamada konum bilgisinin elde etme hızını doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla standart bir Beacon alıcısı belirlemek oldukça güçtür. Bu ve buna benzer durumlarda test aşamasını gerçekleştiren kullanıcıların standartlarına yakın bir tasarım yapılması önerilmektedir.
- 10- Bu çalışmada belirli bir datum ve projeksiyonda harita elde edilmiştir. Bu durum kapalı alanlarda yapılacak değişiklikleri haritada güncelleme, Beacon'ların sahada hassas bir şekilde yerleştirme ve veri analizi gibi durumlar için kolaylık sağlamaktadır.

Benzer çalışmalarda bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışmada destekleri için Pamukkale Üniversitesi Yönetimine, Pamukkale Hastaneleri Yönetimine, çalışma süresince bizlere yardımcı olan Hastane çalışanlarına ve Üniversite personeli Hasan Eryılmaz'a teşekkür ederiz. Çalışmanın mobil navigasyon uygulamasına <http://nav.pau.edu.tr/> adresinden ulaşılabilir.

Araştırmacıların katkı oranı

Recep Çakır: Literatür taraması, Arazi çalışması, Makale yazımı. **Çağrı Çiçekdemir:** Literatür taraması, Revizyon, Yorumlama. **Serkan Doğanalp:** Revizyon, Düzenleme, Yorumlama.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Allurwar, N., Nawale, B., & Patel, S. (2016). Beacon for proximity target marketing. *International Journal of Engineering and Computer Science*, 15(5), 16359-16364. <https://doi.org/10.18535/ijecs/v5i5.08>
- Anagnostopoulos, G. G., & Deriaz, M. (2014). Accuracy enhancements in indoor localization with the weighted average technique. *SensorComm*, 2014, 112-116.
- Başçıftçı, F., & İnal, C. (2008). Jeodezide kullanılan bazı koordinat dönüşümlerinin programlanması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23(1), 27-40.
- de Blasio, G., Quesada-Arencibia, A., García, C. R., Molina-Gil, J. M., & Caballero-Gil, C. (2017). Study on an indoor positioning system for harsh environments based on Wi-Fi and bluetooth low energy. *Sensors*, 17(6), 1299. <https://doi.org/10.3390/s17061299>
- Brena, R. F., García-Vázquez, J. P., Galván-Tejada, C. E., Muñoz-Rodríguez, D., Vargas-Rosales, C., & Fangmeyer Jr, J. (2017). Evolution of indoor positioning technologies: A survey. *Journal of Sensors*, 2017(1), 2630413. <https://doi.org/10.1155/2017/2630413>
- de Blasio, G. S., Rodríguez-Rodríguez, J. C., García, C. R., & Quesada-Arencibia, A. (2019). Beacon-related parameters of bluetooth low energy: development of a semi-automatic system to study their impact on indoor positioning systems. *Sensors*, 19(14), 3087. <https://doi.org/10.3390/s19143087>
- Dhulkefl, E., Durdu, A., & Terzioğlu, H. (2020). Dijkstra algorithm using UAV path planning. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 8, 92-105. <https://doi.org/10.36306/konjes.822225>
- Dijkstra, E. W. (2022). A note on two problems in connexion with graphs. In Edsger Wybe Dijkstra: his life, work, and legacy, 287-290. <https://doi.org/10.1145/3544585.3544600>

- Eroğlu, O., & Doğan, M. (2019). Konum tabanlı hizmetler, bluetooth tabanlı iç mekân konumlandırma hizmeti, Antalya İli Örneği. TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara.
- Gülcüoğlu, E., Ustun, A. B., & Seyhan, N. (2021). Comparison of flutter and react native platforms. *İnternet Uygulamaları ve Yönetimi Dergisi*, 12(2), 129-143. <https://doi.org/10.34231/iuyd.888243>
- Hüsrevoğlu, M., & Tuşat, E. (2018). İki boyutlu bazı datum dönüşüm yöntemlerinin İncelenmesi. *Geomatik*, 3(1), 22-34. <https://doi.org/10.29128/geomatik.327737>
- İlci, V., Alkan, R. M., Gülal, V. E., & Cizmeci, H. (2015). Trilateration technique for WiFi-based indoor localization. *ICWMC 2015*, 36.
- İlçi, V., Gülal, E., & Alkan, R. M. (2018). An investigation of different Wi-Fi signal behaviours and their effects on indoor positioning accuracy. *Survey Review*, 50(362), 404-411. <https://doi.org/10.1080/00396265.2017.1292672>
- Kajioka, S., Mori, T., Uchiya, T., Takumi, I., & Matsuo, H. (2014). Experiment of indoor position presumption based on RSSI of Bluetooth LE beacon. 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), 337-339. <https://doi.org/10.1109/GCCE.2014.7031308>
- Khudhair, A. A., Jabbar, S. Q., Sulttan, M. Q., & Wang, D. (2016). Wireless indoor localization systems and techniques: survey and comparative study. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 3(2), 392-409. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v3.i2.pp392-409>
- Kohne, M., & Sieck, J. (2014). Location-based services with iBeacon technology. 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation, 315-321. <https://doi.org/10.1109/AIMS.2014.58>
- Konakoğlu, B., & Gökalp, E. (2016). A study on 2D similarity transformation using multilayer perceptron neural networks and a performance comparison with conventional and robust outlier detection methods. *Acta Montanistica Slovaca*, 21(4), 324-332.
- Nagah Amr, M., ELAttar, H. M., Abd El Azeem, M. H., & El Badawy, H. (2021). An enhanced indoor positioning technique based on a novel received signal strength indicator distance prediction and correction model. *Sensors*, 21(3), 719. <https://doi.org/10.3390/s21030719>
- Özdemir, S., Sacar, Ö., & Özcan, E. (2021). Dijkstra algoritması kullanılarak ipek yolu koridorları arasında en kısa ulaştırma güzergâhının belirlenmesi. *Demiryolu Mühendisliği*, (13), 97-105. <https://doi.org/10.47072/demiryolu.811572>
- Heydon, R. (2013). *Bluetooth Low Energy: The Developer's Handbook*. Prentice Hall.
- Siekkinen, M., Hiienkari, M., Nurminen, J. K., & Nieminen, J. (2012). How low energy is bluetooth low energy? comparative measurements with zigbee/802.15. 4. IEEE wireless communications and networking conference workshops (WCNCW), 232-237. <https://doi.org/10.1109/WCNCW.2012.6215496>
- Sung, Y. (2016). RSSI-based distance estimation framework using a Kalman filter for sustainable indoor computing environment. *Sustainability*, 8(11), 1136. <https://doi.org/10.3390/su8111136>
- URL-1: https://store.kontakt.io/app/uploads/2021/07/Kontakt.io_-Asset-Tag_Technical-Specification.pdf
- URL-2: <https://www.npmjs.com/package/react-native-kontaktio>
- URL-3: https://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s_algorithm
- URL-4: <https://reactnative.dev/>
- URL-5: <https://engineering.fb.com/2015/03/26/android/react-native-bringing-modern-web-techniques-to-mobile/>
- URL-6: <https://hackernoon.com/understanding-react-native-bridge-concept-e9526066ddb8>
- Vadivukkarasi, K., & Kumar, R. (2020). Investigations on real time RSSI based outdoor target tracking using kalman filter in wireless sensor networks. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 10(2), 1943-1951. <https://doi.org/10.11591/ijece.v10i2.pp1043-1951>
- Wang, Y., Yang, X., Zhao, Y., Liu, Y., & Cuthbert, L. (2013). Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods. 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 837-842. <https://doi.org/10.1109/CCNC.2013.6488558>



© Author(s) 2024. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Arazi ve arsa düzenlemesine yapılan itirazların davacı dilekçeleri esas alınarak incelenmesi

Şehadet Sevra Mintemur ^{*1}, Murat Selim Çepni ²

¹ Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Jeoinformasyon Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye, mintemursevra1@gmail.com

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, murat.selim.cepni@kocaeli.edu.tr

Kaynak Göster: Mintemur, Ş. S., & Çepni, M. S. (2024). Arazi ve arsa düzenlemesine yapılan itirazların davacı dilekçeleri esas alınarak incelenmesi. *Geomatik*, 9 (2), 164-174

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1403073>

Anahtar Kelimeler

Arazi ve arsa düzenlemesi
AAD memnuniyetsizlik gerekçeleri
Malik itirazları

Araştırma Makalesi

Geliş: 11.12.2023
Revize: 31.01.2024
Kabul: 02.02.2024
Yayınlanma: 15.08.2024



Öz

Arazi ve arsa düzenlemeleri (AAD) mülkiyete dokunan en cüretkâr idari işlemlerin başında gelir ve malikler için önemli sonuçlar doğurur. Dolayısıyla maliklerin itirazlarına konu olması kaçınılmazdır. Bugüne kadar emsal yargı kararlarını ve AAD işlemlerinin iptal edilme gerekçelerini inceleyen çalışmalar olmakla birlikte, sektörel anketler dışında, dava süreçlerinde davacı maliklerin itirazlarına yönelmiş bir çalışmaya rastlanmamıştır. Oysa AAD sürecine katılım sağlayan maliklerin memnuniyetsizliklerinin anlaşılabilmesi değerlidir ve ulusal proje ölçeğindeki AAD'ler için yeni yöntem arayışlarına da katkı sağlayacaktır. Bu çalışma idari dava süreçlerine konu olmuş malik itirazlarının derlenmesi, gruplandırılması ve analizi üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışma kapsamında Marmara Bölgesinde bulunan çeşitli idare mahkemelerinde açılmış 2015-2023 yıllarını kapsayan yaklaşık 400 dava dosyasından yararlanılmış, etik kurallar çerçevesinde gizlilikler sağlanarak davacıların şikâyet ve memnuniyetsizlikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın temel materyali davacı malikin itiraz dilekçesidir. İtiraz konuları önce gruplandırılmış, itirazların yönelimleri saptanmış ve olası ilişkili diğer parametreler ile birlikte değerlendirilmiştir. Bulgular maliklerin AAD'ye karşı memnuniyetsizliklerinin ve dava açma sebeplerinin, yargının iptal gerekçelerinden farklı olduğunu göstermektedir.

Examination of objections to land and plot arrangements based on plaintiff petitions

Keywords

Land Readjustment
Reasons for dissatisfaction of LR
Objection of owners

Research Article

Received: 11.12.2023
Revised: 31.01.2024
Accepted: 02.02.2024
Published: 15.08.2024

Abstract

Land readjustment (LR) are one of the most important administrative actions on property and, of course, have important consequences for the owners. Therefore, objection of owners is so inevitable. Although there have been studies examining precedent judicial decisions and the grounds for cancellation of LR, apart from sectorial surveys, no studies have been conducted on the objections of plaintiff owners during the litigation process. However, understanding the dissatisfaction of the owners who participate in the LR process is valuable and will contribute to the search for new methods for LR. This study focuses on the compilation, grouping and analysis of owner objections that have been subject to litigation. Within the scope of the study, around 400 case files covering the years 2015-2023 filed in various administrative courts were utilized, and the complaints and dissatisfaction of the plaintiffs were tried to be determined by ensuring confidentiality within the framework of ethical rules. The main material of the study is the petition of objection of the litigant owner. The objection topics were grouped; the orientation of the objections was identified and evaluated together with other potentially relevant parameters. The findings show that owners' dissatisfaction with the LR and their reasons for filing a lawsuit differ from grounds of cancellation.

1. Giriş

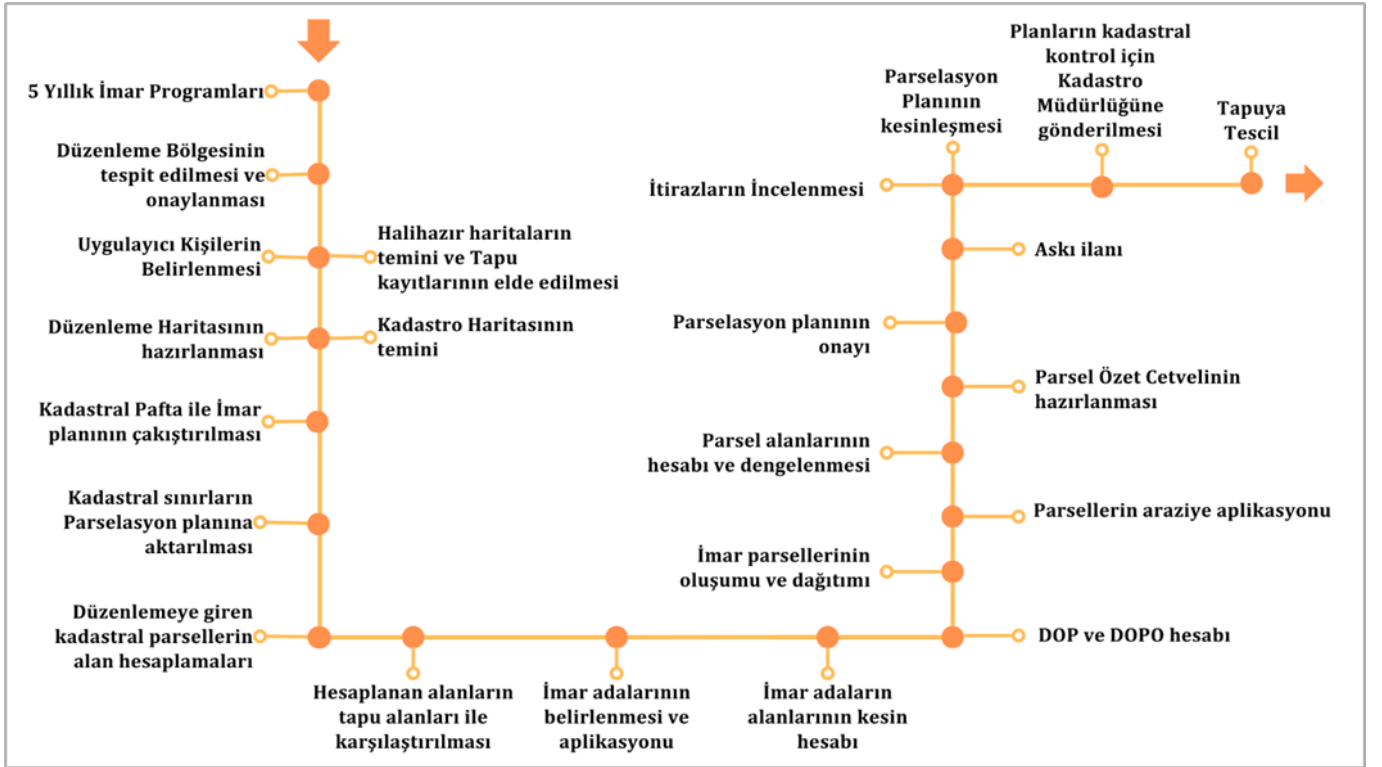
Son iki yüzyıldaki Dünya nüfusunun önemli ölçüde artması ve Birleşmiş Milletler (2019) nüfus değerlendirmelerine göre 2007 yılından itibaren dünya nüfusunun yarısından fazlası (%50.2) kentlerde yaşamaya başlaması, özellikle kentsel alanlarda arazi kullanımının yoğunlaşmasına yol açmıştır (Döner, 2021; Cengiz 2022). Arazi kullanımı talebindeki artışa koşut olarak kentsel gelişimin organize edilmesinde, imar planlarının ve arazi düzenlemelerinin başarısı birincil önemdedir.

İmar planları kendi kararlarını uygulama (*self regulation*) özelliğine sahip olmadığından imar planı uygulama araçları ile hayata geçirilir. İmar planı uygulama araçları, plan ile mülkiyet arasındaki arayüz olarak tanımlanabilir ve planlama kararlarının mekânsal ve hukuksal gerçekliğe dönüşümünü sağlar (Çepni, 2022).

Ülkemizde kullanılan imar planı uygulama yöntemleri arasında esas ve bütüncül olan Arazi ve Arsa Düzenlemeleridir (AAD) (Çepni ve Doğuyıldız, 2022). Arazi ve arsa düzenlemeleri (AAD), Anayasanın 35.

maddesinde öngörülen “kamu yararı” ilkesi çerçevesinde mülkiyete dokunan işlemlerdir ve doğası gereği malikler açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır. 3194 sayılı İmar Kanunu'nun 18. maddesi ve uygulanmasını içeren “Arazi ve Arsa Düzenlemeleri Hakkında Yönetmelik” hükümlerine göre yürütülen, parselasyon planının tescili ile sonuçlanan AAD süreci mülkiyete dokunan en cüretkâr idari işlemdir. Bu yönüyle mal sahipleri nezdindeki etkileri de yükündür.

Arazi ve arsa düzenlemelerinin ana materyali olan taşınmazlar, barınma, ticaret, üretim ve kamusal alan olarak kullanılan arazi parçalarıdır (Ünel ve ark., 2017). Arazi ve arsa düzenlemeleri, düzenleme sınırı içindeki tescilli ya da tescil harici arazi parçalarının varsayımsal tek bir kütleyle toplanmasından sonra imar planındaki adalar, parseller, yollar ve diğer donatılar olarak yeniden şekillendirilmesi, mülkiyet ilişkilerinin de yeni parsel dokusuna uyarlı hale getirilmesidir. AAD süreci birden fazla prosedürü içerisinde barındırır ve bazı aşamaları parselasyon, dağıtım, şuyulandırma gibi adlar da alır. İmar planının uygulanması işlemi olmasından ötürü yaygın olarak imar uygulaması ismi kullanılır. Şekil 1’de AAD süreci şematize edilmiştir.



Şekil 1. Arazi ve arsa düzenlemesi işlem süreci.

AAD işlemi kamu idarelerince resen yapılan bir idari işlemdir ve tüm idari işlemlerde olduğu gibi imar uygulamasında da temel amaç kamu yararadır. İmar planı yapma yetkisine sahip pek çok kamu idaresi bulunmakla birlikte, İmar Kanunu 18. maddesinde, imar uygulaması yetkisi Belediye ve Valiliklere verilmiş, Toplu Konut ve Kamu Ortaklığı İdaresi (TOKİ) Başkanlığına ve Organize Sanayi Bölgelerine de kendi yasaları içinde yetki tanınmıştır. Buna göre imar uygulamasının hukuksal anlamda tarafları kamu idaresi ile taşınmaz malikleridir. Teknik yönden bakıldığında ise idare adına işi üstlenen müellif harita mühendisi sürecin önemli unsurudur.

Mülkiyet hakkına doğrudan dokunan idari işlemlerin başında gelen AAD'lerin, maliklerin itiraz ve memnuniyetsizlikleri ile karşılaşması kaçınılmazdır. Zira AAD mülkiyetin içeriğini ve sınırlarını doğrudan etkilemektedir (Güngör ve İnam, 2019). Parselasyon planının askı sürecinde malik tarafından yapılan itiraz sonrası uyuşmazlığın giderilmemesi durumunda, idari başvuru yollarını tüketen hak sahibi uyuşmazlığın giderilmesi için hukuki süreç başlatabilir. İdari işlemlere karşı idarenin bulunduğu yerdeki idare mahkemelerine dava açılır.

İmar uygulamalarına karşı açılan idari yargılama davaları 2577 sayılı İdari Yargılama Usulü Yasası çerçevesinde görülür (Köktürk, 2007). Ön koşullar yönünden ilk incelemeden sonra idari işlemler, “yetki, şekil, sebep, konu ve maksat” yönlerinden esas incelemesine tabi tutulur. Birinci basamak idari yargı kararı sonrası dava süreci Bölge İdare Mahkemeleri ve Danıştay’a taşınabilir.

Arazi ve Arsa Düzenlemeleri idari yargılamada sıklıkla iptal kararları almaktadır. Bu özellikleri dolayısıyla da kırılğan idari işlemler olarak nitelenmektedir (Çepni ve Akıncı, 2020). İptal kararları sonrasında taşınmazlar üzerindeki tüm aynı ve şahsi haklar etkilenmiş olduğundan yargı kararları ve iptal gerekçeleri birçok akademik çalışmanın konusu edilmiştir.

Doğan (2013) yaptığı “Esenyurt Planlama Sürecinde 18. Madde Uygulamaları Sorunu ve Çözüm Arayışları” adlı çalışmasında parselasyon planı iptal edilmiş ve parselasyon planı kesinleşmiş iki farklı düzenleme sahasına yapılan işlemler incelenmiştir. İptal edilen parselasyon planları, dava örnekleri ve bilirkişi raporları incelenerek işleme yönelik kusurlar tespit edilmiştir. Planlama sürecinde şehircilik ilkelerine, kamu yararına ve imar mevzuatına uyulmadığı, 3194 Sayılı Yasanın 18. Maddesi ve 2981 Sayılı Yasanın 10/b-c maddesi ile birlikte kullanıldığı için iptal kararları verildiği, belediyelerde teknik elemanların eksik olduğu ve karar organlarında teknik bilginin eksik olduğu, düzenleme sahaslarının seçiminde özenli davranılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Çelik (2013) yaptığı “İptale Konu İmar Planı Uygulamalarında Geri Dönüş İşleminin İrdelenmesi ve Çözüm Önerileri Yaklaşımı” adlı çalışmasında AAD için verilen iptal kararından ikinci uygulama yapılıncaya kadar kök parsel dönüş işlemi irdelenmiştir. Geri dönüş işlemleri örnek uygulamalar üzerinden ele alınmıştır. Mal ve hak sahiplerinin elde ettiği hakların korunması için farklı çözüm önerileri sunulmuştur. Çelik bu çalışmasında:

- Mevcut kışelerin ihtiyaçlara cevap vermediğini ve yeterli standartta olmadığını, yeni geri dönüş kışelerinin oluşturulması gerektiğini vurgulamış,
- Geri dönüş sonrası alınacak ikinci uygulama kararı ile birlikte uygulama yönteminin de belirtilmesini,
- İptal sonrası oluşan alan farklarının trampa, ilave imar hakkı verilmesi vb. farklı yöntemlerle tanzim edilmesini,
- Tebligat mekanizmasının değiştirilmesini,
- İmar düzenleme ve danışma kurulu oluşturulmasını ve parsel bazlı dağıtım tahsis raporu hazırlanmasını,
- Geri dönüş işlemi ile ilgili mevzuatın oluşturulmasını önermiştir.

Pamuk (2016) yaptığı “Türkiye’de Arazi ve Arsa Düzenlemelerinin İptal Nedenleri” adlı çalışmasında AAD iptal nedenleri irdelenmiştir. Çalışmada, 282 adet emsal Danıştay kararı incelenmiştir. Söz konusu davaların 233 adedi AAD iptali istemiyle açılmış ve bunların 158 adedinde AAD işleminin iptal edildiği belirlenmiştir. Başlıca iptal nedenleri:

- Düzenleme sınırının belirlenmesinde yapılan hatalar,
- Düzenleme Ortaklık Payı (DOP) oranının belirlenmesinde yapılan hatalar,
- Dağıtım ve tahsis işlemlerinde hatalar,
- Uygulama sonucu müstakil mülkiyetin hisseli mülkiyete dönüştürülmesi,
- Büyükşehir belediyelerine bağlı ilçe belediyelerinde Büyükşehir belediyesinin nezaretinde yapılan AAD’ de Büyükşehir belediyesinin onayının olmaması,
- Uygulama imar planı bulunan yerlerde 2981 sayılı yasanın 10/c maddesine göre uygulama yapılmasının mevzuata aykırı olması ve buna rağmen madde 10/c uygulanması,
- AAD işleminin asıl amacının konut yapımına hazır arsa üretmek olduğu ancak uygulamanın amacı dışına çıkması iptale konu kusurlar olarak tespit edilmiştir.

Alp (2019) yaptığı “3194 Sayılı İmar Kanunu 18. Madde İmar Uygulamaları ve Karşılaşılan Sorunlar: Van Örneği” adlı çalışmasında Van ili içerisinde yapılan 18. Madde uygulamalarının bir bölümünü ele almıştır. Bu uygulamalardaki teknik ve hukuki sorunlar belirlenmiştir. Bunlar özetle şunlardır:

- Mera arazilerinin mera vasfının yitirmeden uygulamaya alınması,
- Yapılaşmanın yoğun olduğu bölgelerde uygulamanın yapılması,
- İmar planından kaynaklı sorunlar,
- Encümen kararındaki şekil eksiklikleri,
- Yoldan ihdas ile belediye adına parsel oluşturulması,
- Vakıf arazilerinin kullanımı,
- DOP ve Kamu Ortaklık Payı (KOP) ile ilgili hatalar,
- Düzenleme sınırının hatalı geçirilmesi,
- 18. Madde ile 2981 sayılı yasanın 10/c ve 3290 sayılı yasanın Ek-1 maddesinin birlikte uygulanmasından kaynaklı sorunlardır.

Belirlenen sorunlara yönelik çıkarılan Danıştay kararları ile çözüm önerileri ortaya koyulmuştur.

Tırak (2019) yaptığı “Kentsel Gelişme Alanlarının Çok Yönlü Düzenlenmesinde İmar Uygulamaları (Van Örneği)” adlı çalışmasında 2011 Van Depremi sonrasındaki yaklaşık 1 yıl içerisinde yapılmış AAD’leri ele almıştır. Çalışmada AAD iptali için açılan 20 adet dava dosyasının yargı kararı ve bilirkişi raporları incelenmiştir. AAD iptal edilme nedenleri irdelenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Tırak çalışmasında, incelenen AAD’lerin yasal boşluklar ve teknik hatalar nedeniyle kentte sorunlara yol açtığını belirtmiştir. Çözüm önerileri olarak; yargı kararlarının ayrıntılı irdelenmesini, AAD sahaslarının daha küçük boyutlarda seçilmesini, uygulama sırasında daha hassas çalışılmasını ve taşınmaz malikleri ile irtibat halinde kalınmasını, idarelerin imar planlarını zamanında uygulaması için yasal yaptırımların uygulanmasını önermiştir.

Haciosmanoğlu ve Demir (2020) yaptıkları “Arazi ve Arsa Düzenlemelerinin Geri Dönüşüm İşlemlerinde Yargı Kararlarına Dayalı Öneriler” adlı çalışmasında, iptal edilmiş AAD’lerin kök parsellere dönüş işlemlerini ele almıştır. Çalışmada öncelikle AAD iptal nedenleri sebep,

maksat, konu, yetki ve şekil yönleriyle incelenmiştir. Geri dönüşüm işlemleri, idari, teknik ve hukuki olmak üzere üç başlık altında şematize edilerek açıklanmıştır. Bu çalışmada öneri olarak, iptal nedenlerine, fiili kullanımın söz konusu olduğu durumlara, geri dönüşüm için idarece herhangi bir işlem yapılmaması durumuna, tapu kayıtlarının düzeltilmesine yönelik “geri dönüşüm işlemlerinde iş akış diyagramları” oluşturulmuştur.

Literatürde incelenen çalışmalarda Türkiye’de yapılan arazi ve arsa düzenlemesindeki sorunlar ya da idari yargının iptal kararları üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada ise; maliklerin işleme yönelik itiraz konuları ele alınmıştır. AAD iptaline neden olan uygulama hatalarından ziyade vatandaşın memnuniyetsiz olduğu, işlem sonucundan endişe duyduğu konuların belirlenmesi hedeflenmiştir. Bir diğer söyleyişle iptal gerekçelerinin değil itiraz nedenlerinin anlaşılabilmesi üzerinde durulmuş ve davaların açılma nedenleri araştırılmıştır. Araştırma öncesi gözlemler iptal nedenleri ile itiraz gerekçeleri farklılığına işaret etmektedir ve dava dosyalarındaki şikâyetlerin tutarlılığı bilirkişi görüşleri eşliğinde değerlendirilmiştir. Maliklerin memnuniyetsizliklerinin anlaşılabilmesi durumunda AAD uygulamalarında daha başarılı olunabileceği inancı çalışmanın temel motivasyon kaynakları arasındadır.

2. Yöntem

Arazi ve arsa düzenlemesi yoluyla planlama vizyonunun öngördüğü kent dokusunun oluşturulması, tahmini nüfusun ihtiyaç duyacağı kamusal nitelikli donatı alanlarının elde edilmesi ve kent fonksiyonlarının gereksinimi olan arsa stokunun üretimi amaçlanır. İdari işlem tesisinin ve de mülkiyete el atmanın ön koşulu olarak kamu yararı mutlak gerekliliktir, idare kadar maliklerin de kamu yararı ilkesinden beklentileri olağandır. Bununla birlikte, AAD’lerde itiraz ve dava sayılarındaki yoğunluk tartışılması gereken sorunların varlığına işaret etmektedir. Bu çalışma memnuniyetsizliklerin analizi üst kategorisi içerisinde, idari dava dosyalarının incelenmesi yöntemine dayanmaktadır. Dava dosyalarındaki davacı dilekçeleri baz alınarak AAD’ye yönelik şikâyetlerin tespiti ve itirazların kategorize edilmesi çalışmanın ana eksenidir. Ayrıca aynı dosyadaki bilirkişi görüşleri derlenerek itirazların irdelenmesinde materyal oluşturulmuştur.

2.1. Verilerin değerlendirilmesi

Çalışmada veri olarak birinci basamak idari yargıda 2015-2023 yılları arasında açılmış davalardaki taşınmaz maliklerinin dava dilekçeleri kullanılmıştır. Bu kapsamda 5 ayrı şehirdeki idare mahkemelerinde görülen dava dosyası bilgilerinden yararlanılmış, 397 davacı dilekçesi ve bilirkişi raporu incelenmiştir. Bu dilekçelerin içeriği, ilk ikisinin gizliliği sağlanan, 5 adet başlık halinde incelenmiştir:

1. Dava dilekçe numarası
2. İdare mahkemesi
3. Davacının kamu / özel kişiliği

4. Söz Konusu taşınmazın yapılı/yapısız durumuna
5. İtiraz konusu

Dilekçe ve raporlardan elde edilen veriler belirlenen 5 ana başlık altında kayıt altına alınmıştır.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında ise idari yargı kararlarının kapsama dahil edilmesi ve analizlerin yargı hiyerarşik kararları ile genişletilmesi planlanmaktadır.

İmar mevzuatındaki değişikliklerin taşınmaz maliklerinin dava dilekçeleri üzerindeki etkisi ve itiraz konularının bu 8 yıllık tarihsel süreçteki değişiminin incelenmesi bu çalışma kapsamında yer almamaktadır. Buna ilişkin çalışmanın, kesinleşmiş yargı kararlarının olduğu ayrı bir çalışma şeklinde yürütülmesi planlanmaktadır.

2.1.1. Çalışma alanı

Bu çalışmada Marmara Bölgesinde bulunan 8 şehirdeki AAD uygulamaları ele alınmıştır. Bu uygulamalara açılan davalar, Kocaeli, İstanbul, Sakarya, Bursa ve Edirne illerindeki İdare Mahkemelerinde incelenmiştir (Şekil 2). Dosya sayıları ve illere göre dağılımı Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Dosyaların derlendiği idare mahkemeleri.

Tablo 1. Dava dilekçelerinin illere göre dağılımı.

İdare mahkemesi	Davacı dilekçesi sayısı
Kocaeli	347
Sakarya	21
Bursa	10
İstanbul	6
Edirne	13
Toplam	397

2.1.2. Davaların tarafları

Çalışmada 397 dava dilekçesi sahibinin 20’sinin kamu tüzel kişilikleri, 377’sinin ise özel kişiler olduğu belirlenmiştir. İl Defterdarlığı, Valilik, İl Milli Emlak Müdürlüğü, T.C.D.D. Yolları İşletmesi Genel Müdürlüğü kamu tüzel kişiliğine haiz davacı kurumlardır. Mülkiyeti elinde bulunduran gerçek kişiler, şirketler, kooperatifler özel kişiliği oluşturmaktadır. Davalarda davalı taraf ise idari işlemi tesis eden il/ilçe belediyeleri veya TOKİ olmuştur.

2.1.3. Dava konusu taşınmazların yapı durumu

Davaya konu taşınmazlardaki yapı durumu veri olarak alınmıştır. Bu şekilde hak sahibi vatandaşların AAD'ye yönelik itirazlarının yapı ve yapısız parsellere göre değişiklik gösterip göstermediği irdelenmiştir.

2.2. İtiraz konuları

Çalışmada incelenen davacı dilekçelerinde maliklerin itirazları incelenerek başlıklar halinde gruplandırılmış, 17 başlık halinde itiraz konusu belirlenmiştir.

2.2.1. Tahsis işlemine yönelik itirazlar

AAD'den etkilenen maliklerin parsellerinin düzenleme sonrasındaki konumundan memnuniyetsizliklerini içeren itirazlardır. Kendi yerinden veya eşdeğer tahsis yapılmadığına yönelik iddialar dile getirilmektedir. Bu kategorideki itirazlar iki başlık altında toplanmıştır: Birincisi imar plan kararlarına bağlı olarak kök parselin yeşil alan, otopark, resmi kurum alanları gibi kamusal alanlara denk gelmesi dolayısıyla gelen itirazlardır. Davacı dilekçelerinden birinin itiraz konusu şu şekildedir:

"Davacıların kök parselinin bulunduğu yerin uygulama ile yeşil alan yapıldığı, bahse konu yerin yola çift cepheli, manzaralı ve ticari alan içerisinde kaldığı" biçiminde belirtilmektedir.

Tahsis işlemi başlığı altındaki başka itiraz gerekçesi olarak parselasyon ilkelerine aykırı tahsis işlemine yöneliktir. Buna göre taşınmaz sahipleri teknik, fiili ve hukuki zorunluluk olmamasına rağmen kadastral parselinin eşdeğer olmayan farklı konuma taşınmasına itiraz etmektedir. Bu duruma ilişkin itiraz konusu dava dilekçesinde şu şekilde belirtilmiştir:

"Arsa ve arazi düzenlemeleri (AAD) yönetmeliğine göre mümkün mertebe en yakın yerdeki parsel tahsisin gerekmesine rağmen aynı yerden, her yönden emsali olan parsel verilmediği, daha uzak, kök parseli göre cadde, şehir merkezi ve ticaret merkezlerine uzak, ekonomik değeri daha düşük bir parselden tahsis yapıldığı..."

2.2.2. Fiili kullanımın bir kısmının mülkiyetten çıkmasına itirazlar

Düzenlemeye giren parsellerin önemli bir bölümünde yapı, müstemilat, sanayi veya tarımsal amaçlı tesisler, bahçe, peyzaj, ağaçlar gibi fiili kullanım bulunmaktadır. AAD sonrasında imar planı ve/veya DOP kesintisine bağlı olarak fiili kullanım alanı bütünlüğü etkilenmektedir:

"...davacının bağı, müstemilatı, su kuyusunun başka parselde bırakıldığı",

"DOP kesintisi ile taşınmazın kullanılamaz hale getirildiği, söz konusu alanda bulunan tek yapının davacıya ait fabrika binası olduğu, fabrika binalarının bir kısmının oluşturulan parselin dışında kaldığı, fabrika sahasının kullanılmasının fiilen engellendiği" ifadeleri bu kategoride örnek olarak sunulabilir.

2.2.3. Hisseli hale gelme durumuna itirazlar

Hisseli hale gelmenin gerekli veya hakkaniyetli olmadığı, 3. kişilerle hisseli hale geldiği, müstakil

durumdan hisseli hale geldiği benzeri itirazlardır. Örnek olarak;

"Müstakil tapu sahibi iken 7 hissedarlı bir parseli mecbur edildiği"

"Parselasyon planı sonrası farklı bir adada ve başkaları ile hisseli hale getirilerek davacının mağdur edildiği" ifadeleri verilebilir.

2.2.4. İmar uygulamasına ihtiyaç olmadığına yönelik itirazlar

Düzenlemede parsel sahibi vatandaşlar, uygulama yapılan bölgede *"yapılaşmanın tamamlanması, imar uygulamalarının daha öncesinde yapılması nedeniyle parselasyon planının yapılmasına gerek olmadığını"* ileri sürmektedir.

2.2.5. İmar planı kararlarına yönelik itirazlar

Arazi ve arsa düzenlemesi, imar planlarını gerçekleştirmek için yapılır ve plan kararlarını uygulamakla yükümlüdür. Düzenlemeden etkilenen malikler, imar uygulamasına itiraz etse de bu itirazları esasında imar plan kararlarına dönüktür.

"Parselasyon planına göre parsellerinin batı kısmının genişleyen yola katıldığı, 35 metre genişliğinde planlanan yolun büyük kayıplara yol açtığı"

"Davacıya ait alanın tamamının jeolojik açıdan yerleşime uygun olmayan alan içerisinde olduğu ve taşınmazın park alanı olarak kamuya ayrıldığı bilgisini aldığı, bu işlemin mülkiyet hakkını gasp ettiği ve yapılan işlemin eşitlik ve kamu yararına aykırı olduğu" şeklinde itirazlar bulunmaktadır.

2.2.6. Parselasyonun geometrik yapısına yönelik itirazlar

Bu memnuniyetsizlik düzenleme sonrası parselin şeklinin bozuk, yetersiz ve kullanışsız olmasından kaynaklıdır.

"Yeni parselin gerek konum gerekse değer olarak önceki parselden daha az değerli olduğu gibi çapı nedeni ile de ticari kullanıma uymayacak şekilde oluşturulduğu"

"Kayıtlı taşınmaz kare pozisyonunda iken idarenin bunu üçgen hale getirdiği, yaşam alanını kısıtladığı"

"Uygulama İmar Planı hükümlerine göre en az parsel büyüklüğünün 2000 m² olması gerekirken parselin 1924 m² olduğu" şeklinde itirazlar bulunmaktadır.

2.2.7. Tahsisin parçacıl yapılmasına yönelik itirazlar

Parselasyon planında tahsisin çok sayıda parselden hisse olarak verilmesi veya dağınık birden fazla parsel oluşturulması gibi itirazların kategorisidir.

"Davacının malik olduğu 1 parselden toplam 7 adet taşınmaza hisseli olarak taşındığı, davacının mağduriyetine sebep olunduğu",

"Tahsislerin davacının kök parseline yapılmadığı, davacılarının hisselerinin çok sayıda dağınık ve küçük parsellere dağıtılmasının mülkiyet hakkı ihlali olduğu,"

"Davacıların elbirliği ile maliki oldukları, tahsisin yedisi hisseli olmak üzere 9 adet parseli dağıtıldığı, mevcut

mülkiyet ilişkisinin muhafaza edilmediği” şeklinde bütüncül olmayan tahsise yönelik eleştirilerdir.

2.2.8. DOP hesabına yönelik itirazlar

AAD'den etkilenen vatandaşlar, DOP hesabının hatalı hesaplandığı, yasal sınırın üstünde kesinti yapıldığı, her parsel için eşit DOP oranı uygulanmadığı görüşlerini ileri sürmüşlerdir. Ayrıca eski terakülüklerin dikkate alınmadığı, birden fazla kesinti yapıldığı vb. ifadeler de bu grupta toplanmıştır.

Emsal yargı kararlarından bilgi sahibi olması muhtemel davacılar veya vekillerinin kapanan kadastral yolların DOP hesabından düşülmediği yönünde iddialarına da rastlanmaktadır.

Bazı maliklerin ise parselinde daha öncesinde imar uygulaması yapıldığı ve bu uygulama ile de ikinci bir DOP kesintisinin yapılarak mağdur edildiği şeklinde itirazları belirlenmiştir.

2.2.9. Tebligat ve bilgilenelemeye ilişkin itirazlar

İncelenen dava dilekçeleri arasında imar uygulamasından haberlerinin olmadığını ve sonradan öğrendiklerini bildiren maliklerde mevcuttur. Maliklerin bir kısmı parselasyon planı tebligat yükümlülükleri yerine getirilmediğini, itiraz haklarının kısıtlandığını belirtmişlerdir.

2.2.10. Düzenleme sınırının geçirilmesine yönelik itirazlar

Arazi ve Arsa Düzenlemeleri Hakkında Yönetmeliğin 10. Madde hükümlerine uyulmaması, düzenleme sınırı geçirilirken fiili kullanımların dikkate alınmaması, sınırın kadastro parsellerini parçalaması itiraz sebebi haline gelmiştir.

“Düzenleme sınırının iskân sınırlarından geçirilmesi gerektiği halde sanayi alanının da düzenleme sınırı içerisine alınmasının hukuka aykırı olduğu”

“Davaya konu işlemde, düzenleme sahası geçirilirken düzenlemeye konu ada ile fiziki bağlantısı bulunmayan davalı idareye parselin düzenlemeye alınarak İmar Kanunu'na aykırı olduğu”

“Düzenleme sınırının belirli bölgelerde girdi çıktısı olmasının sınırın objektif ölçütlere dayanan bir sınır olmadığını gösterdiği” şeklinde itirazlar bulunmaktadır.

2.2.11. AAD işleminde amaç yönünden itirazlar

İmar Kanunu'nun 18. Maddesi, kamu yararı doğrultusunda, kamu ve umumi hizmet alanlarının elde edilmesi ile imar parsellerinin oluşturulmasını hedeflemektedir. Bununla birlikte, taşınmaz maliklerinin bir kısmının yetkili idareye karşı güven duygusunu kaybettiği ve/veya tüzenin amacı doğrultusunda kullanılmadığı yönünde düşüncelerin oluştuğu görülmüştür.

“İmar planları ile sorunsuz ve yapı yapmaya elverişli imar parseli oluşturmak olduğu açık iken, dava konusu parselasyon ile yapıya elverişsiz, sorunlar yumağı oluşturulduğu ve TOKİ'nin tek taraflı menfaatlerini gözetildiği”

“Davaya konu düzenleme ile konut arsası üretilmesi gerektiği halde sanayi arsası üretildiği” şeklinde idarenin usulsüzlük yaptığını da vurgulayan itirazlar bulunmaktadır.

2.2.12. Kamu kurumunun ihdas talebinin olması

Bu itiraz konusunda söz konusu parseller Hazine taşınmazlarıdır. Maliye Hazinesi özellikle kapanmış dere yataklarının, tescil harici alanların Hazine adına ihdas edilmesi gerektiğine yönelik itirazda bulunmuşlardır.

2.2.13. Yapılan düzenlemenin üst ölçekli planlara aykırı olduğuna ilişkin itirazlar

Yapılan uygulamada söz konusu parselasyon planının üst ölçekli planlarla uyumlu olmaması bir itiraz sebebidir. İncelenen davacı dilekçelerine göre:

“Parselasyon planı ile donatı alanlarının yaklaşık 58.000 m2 arttırıldığı, dayanağı olan 1/5000 ölçekli Nazım Plan ile belirlenen standartların üzerine çıkıldığı, planların kademeli birlikteliği ilkesinin ihlal edildiği”

“İptalini istedikleri imar uygulamasının nazım plana uygun olmadığı, şehircilik kurallarına ve planlama esaslarına aykırı olduğu” şeklinde itirazlar bulunmaktadır.

2.2.14. Uygulamanın onay ve kesinleşme süreçlerinin tamamlanmaması

Arazi ve Arsa Düzenlemeleri Hakkında Yönetmeliğin 25. maddesinin 2. bendinde onaylamaya yetkili idarenin onayından sonra yürürlüğe gireceği hükmü yer almaktadır. Bu hüküm kapsamında davaya konu parselasyon planının zorunlu onay mercilerinden gerekli onayın alınmadığına ilişkin itiraz konusu olmuştur. İncelenen davacı dilekçelerinde;

“Parselasyon işleminin 5216 sayılı yasanın 7/b maddesine göre Büyükşehir Belediye Başkanlığına onaya sunulması gerekirken bunun yapılmadığı, işlemin yetki yönünden iptali gerektiği” şeklinde bir itiraz bulunmaktadır.

2.2.15. Bedele dönüştürme işlemine itirazlar

22.02.2020 tarihinde yürürlüğe giren AAD Hakkında Yönetmeliğinin 16. maddesine göre düzenlemeye tabi tutulan parsellerden, üzerindeki yapılar dolayısıyla düzenleme ortaklık payının tamamının ya da bir kısmının alınmadığı ve mevzuata uygun bir imar parselinin oluşturulabilirdiği hallerde iki seçenek söz konusudur. Öncelikli seçenek, Belediye/Valilik/Hazine taşınmazlarından tahsis yapılmak suretiyle hisselendirme; ikinci seçenek ise kesinti yapılamayan parsel için gelen miktarı bedele dönüştürmedir. Bu işlemin söz konusu olduğu uygulamalarda, bedele dönüştürmeye konu parsellerin sahipleri, bu işlemin hatalı olduğunu ifade etmişlerdir.

“Arazi ve Arsa Düzenlemesi Hakkında Yönetmelik hükümlerine aykırı işlem yürütüldüğü, bedele dönüştürme ve hesabının hatalı olduğu”

“... ada ... numaralı davacı parselinden 3137,28 m² DOP kesintisi yapıldığı, 905,81 m² ise bedele dönüştürülmek

üzere ayrıldığı, DOP kesintisi yanında davacının bedele dönüştürülen miktarın imar parseline ilave edilmesi mümkün olmasına rağmen uygulanmadığı” örnek itirazlardır.

2.2.16. Güncel tapu kayıtlarının kullanılmamasına itirazlar

İncelenen bir davacı dilekçesine göre vatandaş, uygulamamanın güncel tapu kayıtlarına göre yapılmadığını, eski kayıtların dikkate alındığını ifade ederek itirazda bulunmuştur.

2.2.17. Uygulama sonrasında hisse oranlarının değişmesine itirazlar

İncelenen bir davacı dilekçesinde vatandaş, söz konusu taşınmazında Maliye Hazinesi ile hissedar olduğunu ancak uygulama sonrasında hisse oranının değiştiğini, Maliye Hazinesi tarafından olası bir ecir misil bedeli talebinde, hisse oranından dolayı daha fazla bedel ödemesinin muhtemel olduğu ve mağdur edildiği şeklinde itirazda bulunmuştur.

2.3. Bilirkişi görüşleri

Çalışmanın esas amacı dava dosyalarındaki itiraz gerekçelerini saptamak ve maliklerin AAD hakkındaki memnuniyetsizlik nedenlerini ortaya çıkarmaktır. Materyal olarak kullanılan dava dosyalarında, dava dilekçeleri yanında bilirkişi görüşleri de mevcuttur. Bilirkişi görüşleri kuşkusuz yargı kararlarını temsil edemez. Bu görüşler üzerinden bir değerlendirmeye gidilmesi tercih edilmemiştir. Bununla birlikte maliklerin itiraz gerekçeleri ve iddialarına uzman bilirkişinin tespitleri önemli bir veridir. Çalışmanın daha fazla irdeleme olanağı sunması bağlamında itiraz konularının bilirkişi görüşü ile birlikte verilmesinde yarar görülmüş, itiraz gerekçesi-bilirkişi görüşü ikilisi korelatif bir yaklaşım sağlayabilmesi bağlamında değerlendirmeye alınmıştır.

Bu noktada, incelenen dava dosyaları özelinde bilirkişi görüşlerinin çok büyük oranda hükme esas alındığı ve yüksek yargıda onama oranlarının çok yüksek olduğu dipnot olarak düşülmelidir. Ayrıca incelenen dava dosyalarının aynı bilirkişi heyetince değerlendirilmiş olması değerlendirmenin iç tutarlılığı açısından pozitif bir unsurdur.

Bilindiği üzere, idari yargılama resen araştırma ilkesi ile hareket eder (Evren, 2008) ve itiraz konuları dışında idari işlem tüm unsurları yönünden incelenir (Aslan, 2001). Bu nedenle idari yargı karar gerekçeleri ile maliklerin itiraz konuları arasında farklılıklar olması olağandır. Literatür bölümünde verilen çalışmalardaki iptal kararları analizinin memnuniyetsizliklere dair kapsayıcı olamayacağı açıktır.

Çalışma kapsamında incelenen dava dosyalarındaki bilirkişi tespitlerinin itiraz konularından farklılık gösterdiği, itiraz konuları dışındaki kusur tespitlerinin baskın olduğu gözlenmiştir. Ancak tekrar vurgulamak gerekirse çalışma iptal gerekçelerine değil itiraz konularına yöneliktir. Bilirkişi görüşleri dahil yargı kararları makale kapsamının dışındadır.

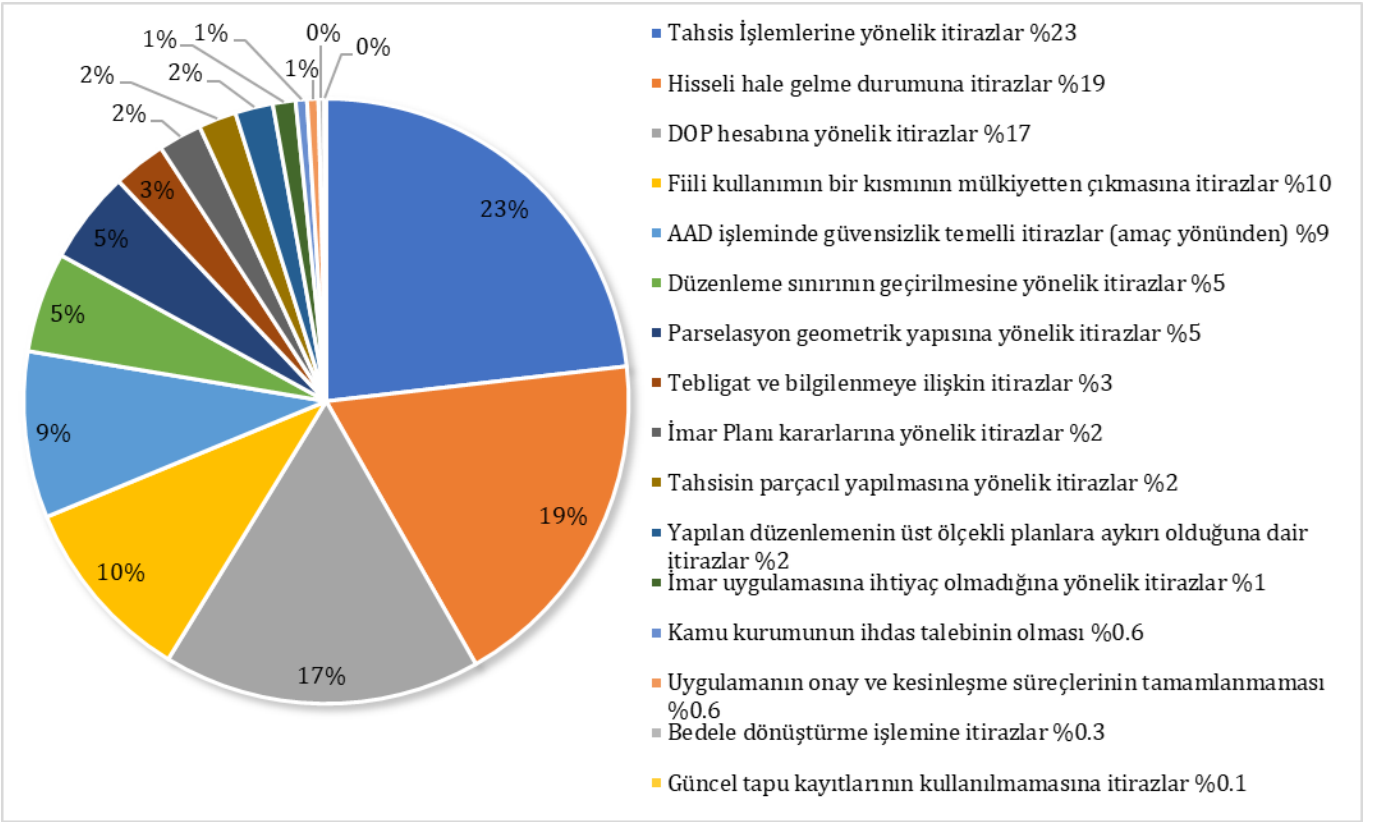
Çalışma kapsamında bilirkişi görüşleri, sadece, itiraz konularının değerlendirilmesinde bir veri olarak sunulmuş ve okuyucuya ek irdeleme olanağı oluşturulmuştur.

3. Bulgular

İncelenen dava dilekçelerinden derlenen itiraz konularının sınıflandırılması Bölüm 2.2’de açıklanmıştır. Bu bölümde verilerin analizinden elde edilen bulgular paylaşılmaktadır. İncelenen 397 dava dilekçesinden toplam 990 adet itiraz kaydedilmiştir. İtirazların en çok kümelendiği 4 konu (Şekil 3); 229 itiraz ile tahsis işlemi, 184 itiraz ile hisseli hale gelme, 168 itiraz ile DOP hesabı, 99 itiraz ile fiili kullanımın bir kısmının mülkiyetten çıkmasına yönelik itirazlardır (Tablo 2).

Tablo 2. İtiraz konuları ve itiraz sayıları ilişkisi.

İtiraz No	İtiraz konusu	Toplam itiraz sayısı
1.1	Plan kaynaklı yerinden olmayan tahsis	41
1.2	Parselasyon ilkelerine aykırı yerinden olmayan tahsis	188
2	Fiili kullanımın bir kısmının mülkiyetten çıkmasına itirazlar	99
3	Hisseli hale gelme durumuna itirazlar	184
4	İmar uygulamasına ihtiyaç olmadığına yönelik itirazlar	12
5	İmar Planı kararlarına yönelik itirazlar	23
6	Parselasyon geometrik yapısına yönelik itirazlar	49
7	Tahsisin parçacıl yapılmasına yönelik itirazlar	20
8	DOP hesabına yönelik itirazlar	168
9	Tebliğat ve bilgilenmeye ilişkin itirazlar	28
9.1	İmar uygulamasından haberdar olunmaması	5
9.2	İlgili idarenin tebliğat yapmaması	23
10	Düzenleme sınırının geçirilmesine yönelik itirazlar	53
11	AAD işleminde amaç yönünden itirazlar	88
12	Kamu kurumunun ihdas talebinin olması	6
13	Yapılan düzenlemenin üst ölçekli planlara aykırı olduğuna ilişkin itirazlar	20
14	Uygulamanın onay ve kesinleşme süreçlerinin tamamlanmaması	6
15	Bedele dönüştürme işlemine itirazlar	3
16	Güncel tapu kayıtlarının kullanılmamasına itirazlar	1
17	Uygulama sonrasında hisse oranlarının değişmesine itirazlar	1
	Toplam	990



Şekil 3. İtirazların oransal olarak dağılımı.

Çalışma kapsamında incelenen dava dilekçelerinde tek bir itiraz üzerinde kalınmadığı, çoğu durumda itirazların iç içe kümelendiği gözlenmektedir. Yaklaşık rakamlar ile 400 dosyada 1000 itiraz konusu, her bir dilekçede 2,5 ortalama itirazın net olarak seçilebildiğini ortaya koymaktadır. Bu rakamlar seçilebilen, ayrıştırılabilen ve AAD için karşılığı bulunan ifadeleri kapsamaktadır.

Malik itirazlarının birbiri ile ilişkili olması itiraz konularındaki değerlendirme de etkilemektedir. Örneğin; *-DOP kesintisi sonrası-* hisseli hale gelmeye yapılan itirazların bulunduğu dilekçelerde DOP hesabına itirazlar da artmaktadır. Bununla birlikte yerinden olmayan tahsis durumunda fiili kullanımın bir kısmının mülkiyetten çıkması ve/veya hisseli hale gelme de itiraz konusu olarak dile getirilmektedir.

İtiraz konularının dağılımına ilişkin ilk göze çarpan unsurlardan biri, itirazların ağırlıklı süregelen fiili durumun değişimine yoğunlaşmasıdır. Konum, yüzölçümü, geometrik yapı, mülkiyet durumu, yapılar ve hatta muhdesat açısından, maliklerin taşınmazlarına yapılan her müdahaleye duyarlı oldukları açıktır. Bu duyarlılık yargı sürecini de beraberinde getirmektedir.

Özellikle taşınmaz üzerinde fiili kullanımı olan maliklerin, kendi yerinden imar parseline tahsis yapılsa dahi, parsel biçiminin değişmesi, kendisi için önemli bir muhdesatın (örneğin su kuyusunun) dışarıda kalması veya hissedar getirilmesi durumlara itirazları baskındır.

Dilekçelerde daha önceki yargı kararlarından öğrenilmiş ifadelerin de yer aldığı vurgulanmalıdır. DOP hesabına itirazlar olarak kümelenen grupta yargı kararlarından etkilenimle DOP hesabının hatalı olduğuna, kapanan yolların uygun şekilde kullanılmadığına ilişkin ifadeler yer bulmaktadır.

En sık görülen itiraz yerinden tahsis alamamaktır. Bu kapsamdaki itiraz ifadeleri yukarıda açıklanmış olup itirazların bazılarının doğrudan plan kararına yöneldiği, esas rahatsızlığın kök taşınmazın donatı alanında kalması olduğu belirtilmelidir. Kök taşınmazı kamusal alanda kalan maliklerin çok büyük bölümü için kök parsel dışındaki her seçenek haksız ve adaletsiz bir işlemi tanımlamaktadır. Gelecekteki olası hak kayıplarından veya pişmanlıklardan endişe duyan malikler yeni oluşan durumdan kayıpları olacağı kaygısı taşımakta ve "tahsisin eşdeğer olmadığı" kanısına varmaktadır.

Tamamen kök parsel dışına taşınması olmasa dahi fiili kullanım alanının bir bölümü mülkiyetinden çıkan malikler de bu duruma tepkilidir. AAD işlemini gereksiz veya başarısız görmektedir. Her türde yapı ve tesisler ile peyzajlı bahçeler gibi dış bütünlük arz eden taşınmazların DOP kesintisi kadar bir bölümünün başka parseller içerisinde kalması durumu maliklerce dramatik ifadeler ile eleştirilmektedir.

En sık görülen itiraz başlıklarından biri de yeni mülkiyet dokusu dolayısıyladır. Malikler uygulama öncesinde paydaşlığının olmadığı kişiler ile hissedar hale gelmeye tepkilidir. Özellikle, kendi kök parselinin bulunduğu yerde müşterek mülkiyetin oluşmasını veya başka paydaşların eklenmesini imar uygulamasının yol açtığı bir karmaşa hali olarak görmektedir.

Belirli sayıda malik için imar uygulamasının amacı görünür olmayan başka bir problemi çözmektir. AAD yapan idarenin çoğu durumda bir kamu kurumuna veya başka bir malike özel gerekçelerle işlemi tesis ettiği inancı itirazlara yansımıştır.

Davaların açılma amacı beklentileri karşılamayan AAD'lerin iptal ettirilmesidir ve maliklerin kendi durumunda oluşan değişiklikler yanında iptal gerekçesi

oluşturabilecek başkaca hususlar da dava dilekçelerinde yer bulmaktadır. İtiraz konularındaki çeşitliliğin ve genele ilişkin itiraz konularının kaynağı özellikle dava vekilleri üzerinden taşınan ve “kalıp” olarak nitelenebilecek bazı iddialardır. Bu iddiaları diğer başlıklardan ayıran parsel veya kişi bazında olmamaları ve/veya usule ilişkin olmalarıdır.

İtirazın konusu yapıya ilişkin olmasa dahi fiili durumun memnuniyetsizliğe etkisi merak edilen sorular içerisinde yer almaktadır. Çalışmada itirazların taşınmazın yapı durumuna bağlı olarak değişiklik gösterip göstermediği araştırılmıştır. Buna göre, 397 dava dilekçesinde 189’unun yapısız, 208’sinin ise yapılı parsellerden geldiği belirlenmiştir. Yapıların konut, ticari ve sanayi yapısı şeklinde veri girişi yapılmış, **Tablo 3**’te özet olarak sunulmuştur.

Toplam 990 itirazın 459’u yapısız, 531’i yapılı parsellerin bulunduğu dosyalardan alıntılanmıştır. Yapılı parsellerde; konut yapıları için 272, konut + ticari yapı için 14, ticari yapı için 74, sanayi yapıları için 171 adet itiraz bulunmaktadır. Bu davalarda incelenen yapıları ve yapısız parsellerdeki itirazların, en çok tahsis işlemlerine, hisseli hale gelmeye ve DOP kesintisine yönelik olduğu görülmüştür (**Tablo 4**).

Tablo 3. Taşınmazdaki yapı durumuna göre dava dilekçeleri sayısının dağılımı.

Taşınmaz durumu	Taşınmaz sayısı
Yapısız parsel	189
Yapılı parsel	208
Konut	100
Konut + Ticari	6
Ticari yapı	31
Sanayi yapısı	71

Yapı türü kapsamında ise konut yapıları parsellerde itiraz tahsis işlemi, konut + ticari ve ticari yapıları parsellerde hisseli hale gelme; sanayi yapıları parsellerde ise DOP kesintisi en çok görülen itiraz konusudur (**Tablo 4**).

Tablo 4 incelendiğinde, parsel üzerinde yerleşik hale gelmiş ve belirli bir amaca özgülenmiş faaliyet sürdüren maliklerin, imar uygulaması ile meydana gelen değişim konusunda daha reaksiyonel oldukları görülebilmektedir. Kuşkusuz bu da beklenen bir durumdur. Ayrıca yapısız olup da tesis, peyzajlı bahçe vb. üzerinde fiili bir kullanım süren parseller için de benzer düşünmek mümkündür.

Tablo 4. İtiraz sayılarının yapı/yapısız taşınmaz durumuna göre dağılımı.

İtiraz No	İtiraz konusu	Yapısız parsel	Konut yapısı	Konut+ Ticari yapı	Ticari Yapı	Sanayi yapısı
1	Tahsis İşlemlerine yönelik itirazlar	137	57	3	15	17
1.1	Plan kaynaklı yerinden olmayan tahsis	29	2	0	2	8
1.2	Parselasyon ilkelerine aykırı yerinden olmayan tahsis	108	55	3	13	9
2	Fiili kullanımın bir kısmının mülkiyetten çıkmasına itirazlar	5	48	1	13	32
3	Hisseli hale gelme durumuna itirazlar	82	47	5	21	29
4	İmar uygulamasına ihtiyaç olmadığına yönelik itirazlar	5	5	0	0	2
5	İmar Planı kararlarına yönelik itirazlar	4	5	0	2	12
6	Parselasyon geometrisine yönelik itirazlar	27	16	0	0	6
7	Tahsisin parçalı yapılmasına yönelik itirazlar	11	6	0	0	3
8	DOP hesabına yönelik itirazlar	74	47	1	11	35
9	Tebliğat ve bilgilenmeye ilişkin itirazlar	7	13	1	1	6
10	Düzenleme sınırının geçirilmesine yönelik itirazlar	25	14	0	3	11
11	AAD işleminde güvensizlik temelli itirazlar (amaç yönünden)	69	10	3	1	5
12	Kamu kurumunun ihdas talebinin olması	3	2	0	0	1
13	Yapılan düzenlemenin üst ölçekli planlara aykırı olduğuna dair itirazlar	6	1	0	2	11
14	Uygulamanın onay ve kesinleşme süreçlerinin tamamlanmaması	1	1	0	4	0
15	Bedele dönüştürme işlemine itirazlar	2	0	0	1	0
16	Güncel tapu kayıtlarının kullanılmamasına itirazlar	1	0	0	0	0
17	Uygulama sonrasında hisse oranlarının değişmesine itirazlar	0	0	0	0	1
	Toplam	459	272	14	74	171

Fiili duruma bağlı itirazlarda DOP kesintisine yöneltilenler dahil itirazların ortak noktası, imar uygulamasının ortaya çıkardığı yeni parsel ve mülkiyet dokusundan duyulan rahatsızlıktır.

Tablo 5’te taşınmazların yapı ya da yapısız durumları için itiraz konularının dağılımı verilmektedir.

Verilerden fiili kullanım alanı kaybına dönük itirazların daha belirginleştiği anlaşılmaktadır.

AAD’ye karşı dava açan davacılar arasında kamu kurumları da bulunmaktadır. İncelenen 397 davadan 20’si ve toplamda 990 itirazdan 27’si kamu tüzel kişiliklerine aittir. Davalarda kamusal iç denetim mekanizmalarının sorumlular üzerindeki etkisinin

belirleyici olduğunu söylemek güç değildir. İtiraz konularının da sınırlı ve noktasal olduğu iptalden ziyade talep odaklı davranıldığını destekler görünümündedir.

Tablo 5. Yapılı/Yapısız taşınmaz durumuna göre itiraz konuları ve itiraz sayıları.

Yapılı taşınmaz	Yapısız taşınmaz
1. Hisseli hale gelme durumuna itirazlar (102)	Parselasyon ilkelerine aykırı yerinden olmayan tahsis (108)
Fiili kullanımın bir kısmının mülkiyetten çıkmasına itirazlar (94)	2. Hisseli hale gelme durumuna itirazlar (82)
3. DOP hesabına yönelik itirazlar (94)	3. DOP hesabına yönelik itirazlar (74)
Parselasyon ilkelerine aykırı yerinden olmayan tahsis (80)	4. AAD işleminde amaç yönünden itirazlar (69)

İncelenen dilekçelerdeki itirazlar ile bilirkişi raporlarındaki görüşlerin eşleşme durumları da irdelenmiştir. Daha açık ifadeyle maliklerin itiraz ettiği

hususların bilirkişi tarafından AAD kusuru olarak görülüp görülmediği sorusuna cevap aranmıştır. Çalışmanın daha doğru bir bakış açısı sunması adına, bir toplu konut proje alanında aynı dava vekilinin açtığı 59 dava dosyasındaki tekrar eden itiraz ve tahsis ilkelerindeki genel kusura ilişkin aynı bilirkişi görüşü tek bir vaka olarak alınmış, dava dilekçeleri ve bilirkişi görüşleri 338 dava dosyası üzerinden sunulmuştur.

Buna göre 338 dava dosyasının 140'ında bilirkişi mevzuata aykırı imar uygulaması görüşü bildirmiştir. Bu 140 görüşün 36 tanesinin ilgili dava dilekçesindeki itirazlardan en az biri ile eşleştiği, diğer aykırılık görüşlerinin ise davacı itirazları dışındaki tespitlere dayalı olduğu belirlenmiştir (Tablo 6).

Çalışmanın esas yönelimi itibari ile irdelendiğinde; malik itirazlarının bilirkişi heyeti tarafından karşılık görme oranı dosya bazında \approx %10-11 civarındadır. İtiraz sayıları toplamında ise oran %8,9 olmaktadır. Eşleşen diğer konular ve eşleşme miktarları Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Bilirkişi görüşü ile destek bulan itiraz konuları ve oranları.

İtiraz konuları	İtiraz sayısı (Adet)	Eşleşen görüş sayısı (Adet)	Eşleşme oranı (%)
Parselasyon ilkelerine aykırı yerinden olmayan tahsis	130	11	8.5
Parselasyon geometrik yapısına yönelik itirazlar	49	2	4.1
DOP hesabına yönelik itirazlar	159	17	10.7
Yoldan ihdasların DOP'tan düşülmemesi	8	4	50.0
Düzenleme sınırının geçirilmesine yönelik itirazlar	53	1	1.9
Kamu kurumunun ihdas talebinin olması	6	1	16.7
Toplam	405	36	8.9

4. Sonuçlar

Çalışma, arazi ve arsa düzenlemesi işlemine yönelik davacı maliklerin memnuniyetsizliklerinin anket, mülakat dışı bir metodik ile tespitine dönük akademik bir araştırma amacı taşımaktadır. İtiraz konularının derlenmesi ve oransal tespitlerin AAD metodğine ciddi katkı verebileceğine inanılmaktadır. Çalışmanın devamında dava dosyası analizlerinin daha fazla parametre ile genişletilmesi ve yargı kararı sonuçları ile desteklenmesi hedeflenmektedir.

Arazi ve arsa düzenlemesi işlemine yapılan itirazlar ülkemizde fazlaca çalışmaya konu edilmemiştir. Literatürde daha çok AAD'de karşılaşılan sorunlar ve AAD'nin iptaline neden olan konular ele alınmış, veri olarak çoğunlukla Danıştay kararlarına dayandırılmıştır. Bu çalışmada ise paydaşların, AAD işleminde yaşadıklarını düşündükleri mağduriyetler ve itirazlar işlenmektedir. Bu kapsamda, idari yargılamaya taşınmış davacı dilekçelerindeki beyan esas alınarak itiraz konuları derlenmiştir. Davacı maliklerin itirazlarının dayanaklı olup olmadığı hakkında fikir vermesi açısından aynı davadaki bilirkişi görüşüne de yer verilmiştir. Çalışmada 397 dava dosyasındaki davacı dilekçesi ve bilirkişi raporu incelenmiş, 17 başlık altında, toplamda 990 adet itiraz belirlenmiştir. Bu dilekçeler esas alındığında, vatandaşların itirazlarının yaklaşık %69'unun 4 konu üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir:

1. Tahsis işlemine yönelik itirazlar (%23),
2. Hisseli hale gelmeye yönelik itirazlar (19),

3. DOP hesabına yönelik itirazlar (%17),
4. Fiili kullanımın bir kısmının mülkiyetten çıkmasına yönelik itirazlar (%10).

İtirazlarda mülkiyetin konum ve paydaşlık olarak etkilenmesi itirazların yaklaşık %69'una karşılık gelmektedir. Malikler kök taşınmazlarındaki değişimlere karşı duyarlıdır ve AAD bazı malikler için istemleri dışında bir el atma anlamı taşımaktadır. Dava dosyalarının bütünsel incelemesine dayanarak, özellikle yapı, müstemilat, bağ, bahçe, peyzaj gibi fiili durum oluşmuş taşınmazlarda memnuniyetsizliğin daha yüksek olduğu görülmektedir.

DOP hesabı ile ilgili itirazlarda da kesinti miktarının yüksekliği dolayısıyla alan kaybı ifadeleri dikkat çekmektedir. Ayrıca bu itirazın da kullanım alanındaki değişim kaynaklı bir memnuniyetsizliğe gönderme yaptığı belirtilmelidir.

İtirazlara ilişkin bilirkişi görüşlerine bakıldığında, itirazın haklı görülme oranlarındaki düşüklük göze çarpmaktadır. AAD'lerin memnuniyetsizlik nedeni ile bilirkişinin iptal gerekçesi tespiti arasındaki farklılık önemli bir veri olarak değerlendirilmektedir.

Çalışma kapsamında materyal olarak kullanılan dava dilekçelerinden AAD sürecinde maliklerin itirazları ile AAD iptal gerekçeleri arasında önemli bir ayrışıklık olduğu anlaşılabilmektedir. AAD mülkiyet hakkına dokunan en cüretkâr idari işlemdir ve mülkiyet hakkını elinde bulunduran kişilerin memnuniyetsizlik belirtmeleri beklenen bir olgudur. Bununla birlikte ülkemizdeki AAD uygulamalarının tamamen boş

arazilerde yapılamadığı, imar planı ve plan uygulamalarının çoğu durumda fiili kullanımlardan sonra geldiği bilinmektedir. Mekânsal bir kullanım oluşturan kişinin ise düzenleme ile gelen değişime olumlu yaklaşmayacağını söylemek güç değildir.

Bir başka açıdan ele alındığında sonuçlar memnuniyetsizlik kaynağının AAD yönteminden ziyade kullanım alanındaki değişime yönelik olduğu tezini desteklemektedir.

Dava dosyalarında, yargı kararlarından etkilenme suretiyle artışı gözlenen itirazlar da seçilebilmektedir. Özellikle kapanan yol fazlalıklarının kullanımı dolayısıyla verilen iptal kararları dava dilekçelerine de yansımış, maliklerin normal koşullarda hâkim olamayacakları teknik bir detay itiraz olarak yazılmıştır. Öğrenilmiş bir iddia olarak sunulan DOP itirazlarının karşılık bulması da bu bağlamda son derece olağandır.

Araştırmacıların katkı oranı

Şehadet Sevrâ Mintemur: Literatür taraması, Dosya analizi, Makale yazımı; **Murat Selim Çepni:** Makale Kurgusu, Düzenleme, Makale yazımı

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Alp, E. (2019). 3194 sayılı imar kanunu 18. madde imar uygulamaları ve karşılaşılan sorunlar: Van örneği. [Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi].
- Arazi ve arsa düzenlemeleri hakkında yönetmelik, (2020). RG. 31027, 22.02.2020.
- Aslan, Z. (2001). İdari yargıda yürütmenin durdurulması. 3. Alfa Yayınları, İstanbul, Haziran.
- Cengiz, S. (2022). Kentsel ekolojik koridor modeli: Malatya örneği. *Artium*, 10(2), 101-111. <https://doi.org/10.51664/artium.1147872>
- Çelik, N. (2013). İptale konu imar planı uygulamalarında geri dönüş işleminin irdelenmesi ve çözüm önerileri yaklaşımı. [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi].
- Çepni, M. S., & Akıncı, M. (2020). Şekillenmeyen hamur: İmar mevzuatındaki değişiklikler için bazı tespitler. *Mahalli İdareler Dergisi*, 94(220), 3-16.

- Çepni, M. S. (2022). Tescil dışı alanların arsa düzenlemelerinde değerlendirilmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 9(2), 127-136. <https://doi.org/10.9733/JGG.2022R0009.T>
- Çepni, M. S., & Doğuyıldız, C. (2022). Arazi ve Arsa Düzenlemeleri Tüzesinde 2020 Yılı Değişikliklerine Dair Bazı Değerlendirmeler. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 4(2), 54-61. <https://doi.org/10.51765/tayod.1100569>
- Doğan, N. (2013). Esenyurt planlama sürecinde 18. Madde uygulamaları sorunu ve çözüm arayışları. [Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi].
- Döner, F. (2021). Analysis of literature on 3D cadastre. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 90-97. <https://doi.org/10.26833/ijeg.703244>
- Evren, Ç. C. (2008). İptal davalarında kendiliğinden araştırma ilkesi. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 12(1), 701-724.
- Güngör, R., & İnam, Ş. (2019). İmar Uygulamalarında Farklı Dağıtım Metotlarının Karşılaştırılması. *Geomatik*, 4(3), 254-263. <https://doi.org/10.29128/geomatik.548592>
- Hacıosmanoğlu, S., & Demir, H. (2020). Arazi ve arsa düzenlemelerinin geri dönüşüm işlemlerinde yargı kararlarına dayalı öneriler. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 7(1), 47-69. <https://doi.org/10.9733/JGG.2020R0004.T>
- Köktürk, E. (2007). Arsa düzenlemeleri ve yargı ilişkisi (18. maddenin idari yargıda iptali ve ortaya çıkan sorunlar) Semineri. İstanbul: TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yayını.
- Pamuk H. (2016). Türkiye’de arazi ve arsa düzenlemelerinin iptal nedenleri. [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi].
- Tırak, O. (2019). Kentsel gelişme alanlarının çok yönlü düzenlenmesinde imar uygulamaları (Van örneği). *Geomatik*, 4(1), 30-40. <https://doi.org/10.29128/geomatik.445834>
- Unel, F. B., Yalpir, S., & Gulnar, B. (2017). Preference changes depending on age groups of criteria affecting the real estate value. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(2), 41-51. <https://doi.org/10.26833/ijeg.297271>





Geomatik

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Metin ve konum bazlı sosyal medya analizleriyle Antarktika'yı haritalama yaklaşımı

Ayşe Giz Gülnerman^{*1}, Fevzican Karakuş², Necip Enes Gengeç³, Himmət Karaman³, Hasan Hakan Yavaşoğlu^{3,4}, Burcu Özsoy^{4,5}

¹ Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Tapu Kadastro Yüksekokulu, Tapu Kadastro Bölümü, Ankara, Türkiye, ayse.gulnerman@hbv.edu.tr

² Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, fevzican.karakuş@hacettepe.edu.tr

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, gengec@itu.edu.tr, karamanhi@itu.edu.tr

⁴ TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Kutup araştırmaları Enstitüsü, Türkiye, yavasoglu@itu.edu.tr

⁵ İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Tuzla, İstanbul, Türkiye, ozsoybu@gmail.com

Kaynak Göster: Gülnerman, A. G., Karakuş, F., Gengeç, N. E., Karaman, H., Yavaşoğlu, H. H., & Özsoy, B. (2024). Metin ve konum bazlı sosyal medya analizleriyle Antarktika'yı haritalama yaklaşımı. *Geomatik*, 9 (2), 175-184

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1417673>

Ahahtar Kelimeler

Kitle kaynaklı haritalama
Mekansal bilgi çıkarımı
Metin bazlı analizler
Kutup araştırmaları
Sosyal medya

Araştırma Makalesi

Geliş: 10.01.2024
Revize: 08.02.2024
Kabul: 13.02.2024
Yayınlanma: 15.08.2024



Öz

Antarktika bulunduğu konum ve iklim özellikleri sebebiyle insanların aktif olarak yaşamadığı bir kıtadır. Bu nedenle Antarktika kıtasındaki coğrafi bilgi üretimi farklı açılardan kısıtlıdır. Geleneksel haritalama teknolojileri olarak kabul edilen uzaktan algılama, fotogrametri ve yersel ölçme yöntemleri ile Antarktika dijital veri tabanına katkı sunulmaktadır. Bu tekniklerin yanı sıra, son 10 yılda yeni haritalama teknolojileri ortaya çıkmıştır. İnsanı bulunduğu çevreyi algılayan bir sensör olarak tanımlayan bu teknolojiler "kitle kaynaklı haritalama" olarak adlandırılmaktadır. Sosyal medya platformları, sunduğu kitle kaynaklı veriler ve üretilen bilgi çıkarım algoritmaları sayesinde bu yeni haritalama teknolojisine katkı vermektedir. Ancak sosyal medya kaynağında üretilen veriler veri miktarı, tamlığı, yanlılığı gibi konularda düzenli veri üretilen teknolojilere göre belirsizlikler içermektedir. Sosyal medyanın düzensiz veri yapısı ve veri kalitesindeki belirsizlikleri, üretilen bilgi çıkarım algoritmalarında değişikliklere neden olmakta ve üretilen sonuçların anlamlılığı da tartışılmaktadır. Bu çalışmada Antarktika kıtası için toplanan sosyal medya verileri üretilen metin bazlı bilgi çıkarım algoritması ve sonuçları tartışılmakta ve ilk defa Antarktika kıtası için metin ve konum bazlı bilgi çıkarım algoritması sunulmaktadır. Aynı zamanda bu çalışmanın önerdiği sosyal medya veri analiz yöntemleri veri azlığı olan, karma doğal dil kullanılan bölgelerde coğrafi yer adlarının çıkarılması ve konuşulan güncel konuların haritalanması için tekrarlanabilir.

Mapping Antarctica through text and location-based social media analysis

Keywords

Crowdsourced mapping
Geo-information extraction
Text based analysis
Polar science
Social media

Research Article

Received: 10.01.2024
Revised: 08.02.2024
Accepted: 13.02.2024
Published: 15.08.2024

Abstract

Antarctica is a continent where people do not actively live due to its location and climate characteristics. Consequently, geographic information production in Antarctica is limited from various perspectives. Conventional mapping technologies, such as remote sensing, photogrammetry, and ground surveying methods, contribute to the digital database of Antarctica. In addition to these techniques, new mapping technologies have emerged in the last decade. One of these technologies, defined as "crowdsourced mapping," considers humans as sensors perceiving their environment. Social media platforms contribute to this new mapping technology through the data they provide, and the information inference algorithms generated. However, data produced in social media sources contain uncertainties in terms of data quantity, completeness, and bias compared to regularly generated data in traditional technologies. The unstructured data and uncertainties in data quality of social media lead to changes in information extraction algorithms, and the significance of the generated results is also debated. In this study, social media data collected for the Antarctica continent are discussed in terms of the text-based information extraction algorithm and its results. In this study, a text and location-based information extraction algorithm is presented for the Antarctica continent for the first time. In addition, the social media data analysis methods suggested in this study are repeatable for extracting geographic names and mapping current topics in regions with data scarcity and mixed natural language use.

1. Giriş

Günümüzde yeryüzünde gelişen olaylarla ilgili bilgi edinmek için çeşitli veri kaynakları kullanılmaktadır. Bu veri kaynaklarının coğrafi kodla buluşması ile ortaya çıkan verilere, coğrafi veri adı verilmektedir. Son yıllarda geleneksel coğrafi veri elde etme kaynaklarına ek olarak yeni yöntemler ortaya çıkmıştır (Psyllidis, 2020; Anbaroglu, 2017). Bu veri elde etme yöntemleri sensörlerin küresel konumlama sistemleriyle entegrasyonu sonucunda yaygınlaşmıştır (Heipke, 2010). Özellikle insan kaynaklı sistemler olan giyilebilir cihazlar ve akıllı telefonlar aracılığı ile coğrafi veri sıradan insanlar tarafından sağlanabilir hale gelmiştir. Gönüllü coğrafi veri olarak adlandırılan bu kaynaklardan sağlanan verilerin kalitesi birçok açıdan eleştirilmekte olsa da bu kaynaklardan sağlanan verilerin işlenerek coğrafi bilgiye dönüşmesi birçok alanda oldukça önemli katkılar sunmaktadır (Anbaroglu ve ark., 2021; Flanagan ve Metzger, 2008; Hacı ve Gökgöz, 2021; Senaratne ve ark., 2017). Özellikle hızlı, basit ve düşük maliyetli olarak edinilebilecek bu veriler afet acil durumlarının yönetiminde (Gulnerman ve ark., 2021), kentsel mekân algısının ölçülmesinde (Liu ve ark., 2020), insan hareketlerinin değişimi (Calafiore ve ark. 2021) üzerine araştırmalarda ve kentsel sorunların yönetiminde (Taşkanat ve ark., 2018) kullanılmıştır. Sosyal medya platformları milyarlarca kayıtlı kullanıcısı ile dünya çapında çeşitli yapısal olmayan veri sunmaktadır. Bu yapısal olmayan veriler daha çok kentsel alanlar için değerlendirilmiştir (Bilgi ve ark., 2019).

Bu çalışma, mekânsal veri üretiminin zor olduğu Antarktika kıtasına ait alternatif bir veri kaynağı olan sosyal medya kaynağını değerlendirmektedir. Bu değerlendirme özellikle üretilen sosyal medya verilerini metin bazlı analiz yöntemleri ile ele almakta, üretilen metin bazlı analiz adımlarının sonuçları ile Antarktika'yı coğrafi etiketler ile haritalamayı hedeflemektedir. Bu sayede kıtada geçici sürelerde yaşayan veya kıtayı kısa sürelerde ziyaret eden araştırmacıların, turistlerin ve çalışanların kullandıkları ortak ve farklı diller, coğrafi isimler ortaya konulmaktadır. Coğrafi etiketlerin ortaya çıkarılması kıtada gerçekleşen mekânsal aktiviteler hakkında önemli çıkarımlar yapılmasını sağlamaktadır. Özellikle Antarktika kıtasında farklı dillerde üretilen coğrafi isimlendirmelerin keşfedilmesi, zaman içerisinde kıtada gerçekleşen mekânsal aktivite bilgilerinin ortaya koyması bakımından önemlidir. Bu anlamda çalışma, Antarktika kıtasının mekânsal kullanımının uzun soluklu keşi için bir başlangıçtır.

2. Yöntem

Sosyal medya verileri üzerine yapılan araştırmalarda metin tabanlı, konum tabanlı, görüntü tabanlı ve ağ tabanlı olmak üzere dört temel analiz yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bir ya da birkaçının seçimi bilgi çıkarımı için hedeflenen konuya, sosyal medya platformundan sağlanan verinin içeriğine ve yapısına bağlıdır. Bu çalışmada Antarktika kıtası sınırları içerisinde üretilmiş veriler üzerinden coğrafi yer adlarının çıkarılması ve popüler konuların haritalanması amaçlanmıştır. Bu amaca bağlı olarak 2006 yılından

itibaren hizmet veren Twitter (yeni adıyla X) verileri toplanmış, veri içeriğine bağlı olarak geliştirilen metin ve konum bazlı algoritma araştırması yapılmıştır. Veri elde etme ve verinin düzenlenmesi için belirlenen yöntem adımları 2.1 alt başlığında, verinin metin ve konum bazlı bilgi çıkarım algoritması için izlenen adımlar da 2.2. alt başlığı altında sunulmaktadır.

2.1. Veri elde etme ve filtreleme

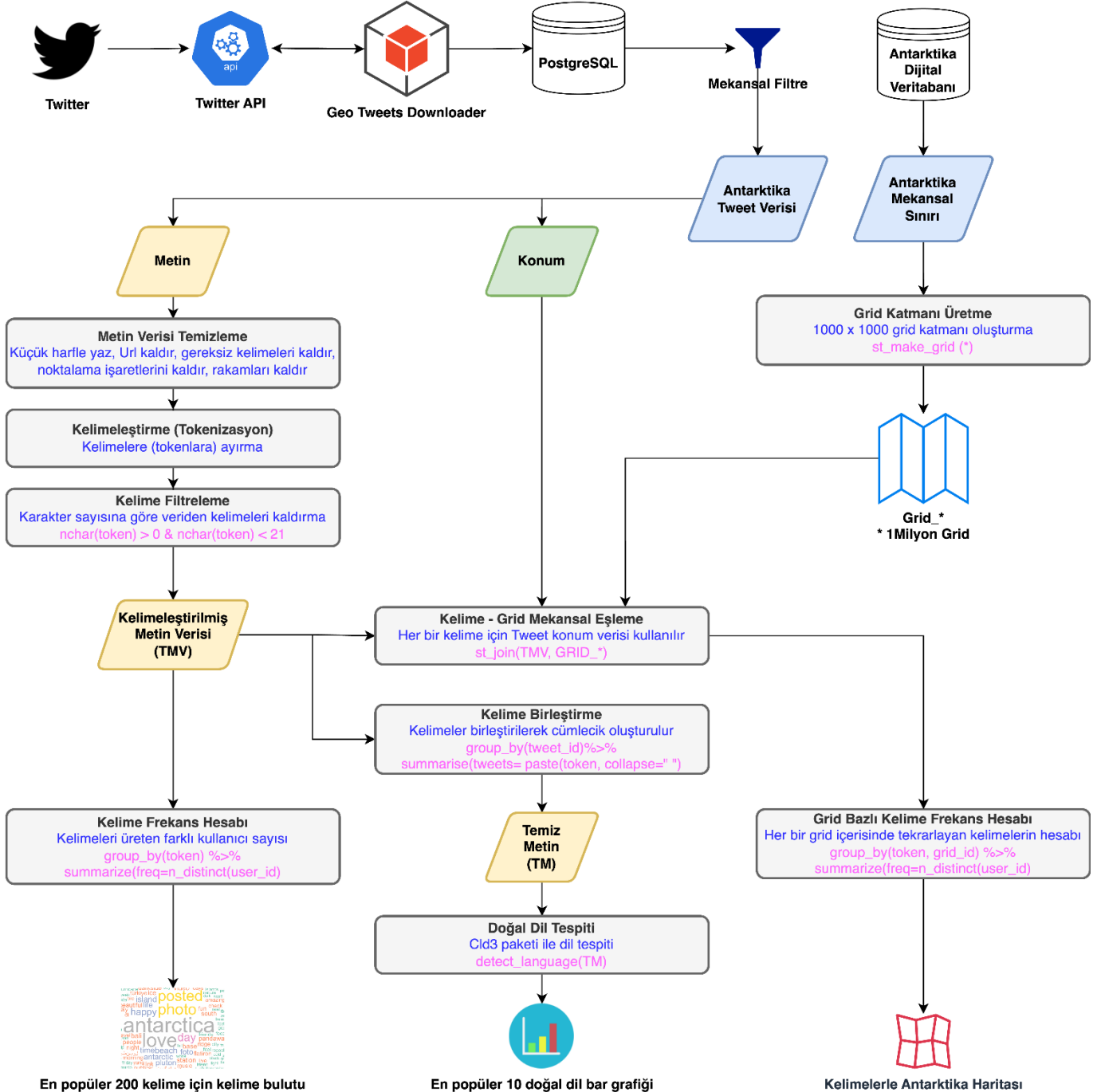
Sosyal medya platformları, kullanıcıları tarafından üretilen verileri çeşitli yöntemlerle sunmaktadır. Bu yöntemlerin en başında Uygulama Programlama Arabirimi (Application Programming Interface- API) gelmektedir. API ile veri sunan popüler sosyal medya platformları arasında Flickr, Twitter, Meta, Instagram yer almaktadır (Lomborg ve Bechmann, 2014; URL-1). Sosyal medya platformlarının sunduğu bu yöntemi kullanabilmek için verisi elde edilecek sosyal medya platformundan API izinlerinin alınmış ve anahtar kodlarının edinilmiş olması gerekmektedir. Bu anahtar kodlar sosyal medya platformları tarafından kullanıcıya (veri istemcisine) özgü olarak tanımlanmakta ve veri elde etme talebine göre sınıflanabilmektedir. Örneğin, Twitter Şubat 2023 tarihinden önce birden çok API türü tesis etmiş (akademik, ticari, sıradan, standart vb.) ve kullanıcıların amaçlarına yönelik API anahtarlarını sağlamıştır. Firma Şubat 2023 tarihinde ücretsiz erişim sağladığı API türlerini kaldıracağını duyurmuş ve şirket politikasındaki değişikliğe gitmiştir (URL-2). Twitter halihazırda daha önceden akademik çalışmalar için sunduğu ücretsiz veri kaynağını kapatmış ve eski döneme ait sağlamış olduğu API anahtarlarının kullanımını durdurmuştur.

API kullanımı için programlama dillerini bilmek, istenilen veriye ulaşım sağlamaktadır; ancak bu verinin istenilen şekilde filtrelenmesi, çekilmesi için programlama bilgisi ve yeteneği gerektirmektedir. Buna ek olarak, hazır masaüstü veya bulut tabanlı uygulamalar (örn: Gephi, Crowdtangle, Netlytic) amaca yönelik veri elde etmeyi kolaylaştırmakta ve bilinen analiz yöntemlerini de barındırarak sosyal medya araştırmacılarına programlama bilgisi olmadan veri üzerinde araştırma yapma imkânı sağlamaktadır (Batinca ve Treleavan, 2015).

Bu çalışmada Şubat 2023 öncesi ücretsiz olarak akademik çalışmalar için sorumlu yazara sunulan Twitter API anahtarı ile veriler toplanmıştır. Twitter API anahtarı ile 2017-2023 yıllarına ait veriler toplanmıştır. Toplanan veriler için Geo Tweet Downloader (Gulnerman ve ark., 2016) masaüstü uygulaması kullanılmıştır. Bu uygulama ile yalnızca konum verisi içeren tweetler toplanmaktadır. Twitter API akademik uygulamalar için sağladığı anahtarlara yalnızca verinin 1%'ine erişim imkânı vermektedir (Cvetojevic ve ark., 2016). Bu 1% veri Twitter'ın rastgelelik algoritmasına göre çalışmakta ve normalde üretilen verilerin çok az bir yüzdesi konum verisi eklenerek üretildiği için, toplanan verilerin çoğunluğu da konum verisi içermemektedir. GeoTweetsDownloader veri toplarken sadece konum bilgisi içeren veri istemi gönderdiği için, araştırılan bölge için üretilen konum bazlı veri elde etme potansiyelini artırmaktadır.

Bu çalışma için elde edilen veriler bir tablo yapısında PostgreSQL veritabanında depolanmıştır. Tablo yapısında yer alan kolonlar; "id", "tweet", "kullanıcı_adi", "tarih", "enlem", "boylam" olarak tanımlanmıştır. Tweet içerikleri için dil sınırlaması bulunmamaktadır. Tarih kolonu "Gün-Ay-Yıl Saat:Dakika:Saniye" olarak tutulmaktadır. Antarktika Tweet Verisi katmanı oluşturmak için toplanan verilere mekânsal filtre

uygulanmıştır. Mekânsal filtreleme işlemi için Quantarctica (Matsuoka ve ark., 2021) uygulamasından elde edilen Antarktika coğrafi sınır katmanı kullanılmıştır. Mekânsal filtreleme işlemi için gerekli olan mekânsal işlem kabiliyeti PostgreSQL veritabanının PostGIS eklentisi ile sağlanmıştır. Bu sayede mekânsal filtreleme için st_contain fonksiyonu kullanılarak Antarktika Tweet Verisi katmanı hazırlanmıştır (Şekil 1).



2.2. Metin ve konum bazlı analiz yöntemi

Metin bazlı analizler trend konuların belirlenmesinde, duygu analizlerinde, seçim tahminleri gibi geniş yelpazeli alanlarda kullanılmaktadır (Wang ve ark., 2017; Chauhan ve ark., 2021). Bu çalışmada ise coğrafi olarak tekrarlanan metinler üzerinden Antarktika coğrafyasının anlaşılması hedeflenmiştir.

Metin verisinden özellik çıkarımı üzerine farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Irfan ve ark. (2015), bu yaklaşımları sözcüksel, söz dizimsel ve anlamsal olarak sınıflandırmıştır. Bu çalışmada kelime frekansına bağlı izlenen yöntem sözcüksel yaklaşım sınıfında değerlendirilmektedir.

Stock (2018), coğrafi alanların sosyal medya analizleri ile tanımlanma yöntemlerini detaylı bir

literatür taraması ile sunmuştur. [Gülnerman ve Karaman \(2020\)](#), coğrafi tekrarlık temelli metin analizini kullanarak İstanbul ve Londra için coğrafi veri sözlüğü üretimi üzerine bir vaka analizi gerçekleştirmiştir. İstanbul için Türkçe, Londra genelinde ise baskın olarak İngilizce kullanılması ve yer adlarının çıkarımı için takip edilen metin desenleri sayesinde anlamlı sonuçların üretilmesini başarmışlardır. Ancak kullanılan metin bazlı desenin Antarktika verilerinde yer almaması ve kentsel alanda referans alınabilen yol ağının Antarktika kıtasında bulunmayışı hem metin hem de mekân bazlı analiz yöntemlerinin farklılaşmasını gerektirmektedir. Ayrıca Antarktika’da farklı doğal dilleri kullanan insanların varlığı sebebiyle metin bazlı analizlerde bu durumun da göz önünde bulundurulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Şekil 1’de veri analiz adımları sunulmaktadır. Veri analizinden önce 2.1.’de anlatıldığı gibi Antarktika tweet veri setinin elde edilmesi için izlenen adımlara şekilde yer verilmiştir. Veri analizi metin verilerinin temizlenmesi ile başlamaktadır. Metin temizleme için izlenen yöntemler kadar bu yöntemlerin uygulanma sıralaması da önemlidir. Bu nedenle özellikle metin bazlı analiz adımlarında sıranın değiştirilmesi ortaya çıkan sonucu da etkilemektedir. Temizleme adımlarının tasarlanması deneysel çalışmalarla gerçekleşmiştir. Bu deneysel çalışma sonuçlarına göre metin verisinin en temiz hali için takip edilen adımlar:

1. Küçük harfle yaz
2. URL kaldır
3. Gereksiz kelimeleri kaldır
4. Noktalama işaretlerini kaldır
5. Rakamları kaldır

Üçüncü adımda bahsi geçen gereksiz kelimeler (stopwords), tek başına anlam içermeyen kelimeler (ör. acaba, sanki, belki) olarak tanımlanmaktadır. Her dil için bu kelimelerin listesi tanımlanmıştır. R programlama dilinde “stopwords” kütüphanesi ([Benoit ve ark., 2021](#)) farklı kaynakları kullanarak 50’den fazla doğal dil için gereksiz kelimeler listesini sunmaktadır. Bu sayede farklı dilleri kapsayıcı gereksiz kelime temizliği yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Antarktika veri setinden birçok doğal dil için (İngilizce, Çince, Arapça, Türkçe, Rusça, İspanyolca vb.) stopwords kütüphanesi kullanılarak gereksiz kelimeler çıkarılmıştır.

Veri temizliğinin ardından, metinlerin kelimelere (tokenlara) ayrılma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işleme tokenizasyon (parçalara ayırma) denilmektedir ([Çınar, 2023](#)). Bir metin verisini parçalara ayırma işleminde parçalar içerisinde yer alacak kelime sayısı önceden belirlenir. Bu kelime sayısı n_gram ile ifade edilir. Eğer bir metin verisi tek kelime ($n=1$) içerecek parçalara bölünüyorsa uni_gram , iki kelime ($n=2$) içerecek parçalara bölünüyorsa bi_gram tokenizasyonu yapılmıştır. Bu çalışmada her bir tweet metni tek kelime parçalara ayrılmıştır. Bu parçalara ayırma işlemi çalışma boyunca “kelimeleştirme” olarak adlandırılmıştır. Bu işlem sayesinde her bir kelime ayrı olarak ele alınabilmektedir. Ayrıca temizleme sonrası kelimeler arasında yer alacak boşlukların temizlenmesi amaçlanmaktadır.

Kelimeleştirme (Tokenizasyon) işleminin ardından her bir kelime karakter sayısına bakılarak filtreleme işlemi yapılmıştır. Karakter sayısı 0’dan büyük ve 20’den küçük olan kelimeler (tokenlar) veri seti içerisinde bırakılmıştır. Bazı dillerde tek karakter bir anlam ifade etmezken ve bu karakter sayısı filtreleme adımında filtrelenirken, Çince ve Japonca gibi farklı dillerde tek bir karakter bir kelimeyi ifade edebilmektedir. Buna ek olarak kelimelerin karakter sayılarının çok olması da bazı metinlerde yazım hatası, birleşik yazım ve/veya etiket (hashtag) gibi kelimeler olduğu gözlemlenmektedir. Birden çok doğal dilden metinleri içeren veri seti göz önüne alınarak bir kelime için karakter sayısı üst sınırı 20 kabul edilip filtreleme yapılmıştır.

Veri temizleme, kelimeleştirme ve filtreleme aşamalarından sonra, kelime frekansı hesaplanmıştır. Kelime frekansı için kaç farklı Twitter kullanıcısı tarafından paylaşıldığı dikkate alınmıştır. Bu sayede benzer içeriği tekrarlayan bot ya da tekil kullanıcının bilgi çıkarımında yanlılık (bias) yaratmasının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Yanlılık birçok çeşidi (mekân, zaman, katılım vb.) olan bir araştırma konusudur ([Basiri ve ark. 2019](#)). Veriden çıkarılacak analiz sonuçlarının bozulmasına, hedeflenen çıktılara ulaşılmamasına yol açabilir ([Gengeç, 2023](#)). Bu çalışmada bahsedilen yanlılık veriyi üreten tekil kullanıcıların yapabileceği sürekli ve çok sayıdaki paylaşımların bir konumda kullanılan yaygın bir etiket varmışçasına bir çıkarım yapılmasına neden olmasındır. Buna terminolojide kullanıcı yanlılığı (user bias) denilmektedir ([Tsou ve ark. 2017](#)) ve bu çalışmada kelime frekansı hesabında kullanıcı sayısının dikkate alınması ile bu yanlılık problemi ortadan kalkmaktadır.

Mekânsal kelime frekansı hesabında ilk olarak her bir kelimenin konum verisi eşlenmiştir. Hücre bazlı tekrarlılık hesabı için 1000 x 1000’lik grid katmanı üretilmiştir. Grid üretimi için R programlama dilinde mekânsal analiz fonksiyonlarının yer aldığı sf kütüphanesi ([Pebesma, 2018](#)) kullanılmıştır. Bu kütüphanenin içerisinde yer alan `st_make_grid` fonksiyonu grid üretimi için kullanılacak bir alan tanımı, en ve boy için grid sayısı ile koordinat referans sistemi tanımı istemektedir. Antarktika Dijital Veritabanı (ADD) ([URL-3](#)) ve QGIS Quantarctica eklentisi ([Matsuoka ve ark., 2021](#)) içerisinde yer alan Antarktika veri sınır katmanı alan tanımında, Antarctic Polar Stereographic (EPSG:3031) koordinat referans sistemi kullanılarak, satır ve sütun sayısı 1000 x 1000 olmak üzere 1 milyon hücreye sahip grid katmanı üretilmiştir.

Bu çalışmada deneysel olarak farklı grid boyutları araştırılmıştır. Ancak daha büyük grid boyutları mekânsal tanımlama kabiliyetini düşürmektedir. Daha küçük grid boyutlarında ise anlamlı bir detay çıktısına rastlanmamıştır. Bu nedenle 1000 x 1000’lik grid katmanının üretilmesine karar verilmiştir. Üretilen grid katmanı hücresel kelime frekansının hesaplanması için analiz imkânı sunmaktadır. Frekans hesabı için kelime konum bilgileri ile hücreler mekânsal eşlemeye tabi tutulmaktadır. Hücre bazlı frekans hesabında her bir kelimeyi üreten farklı kullanıcı sayısı dikkate alınmaktadır.

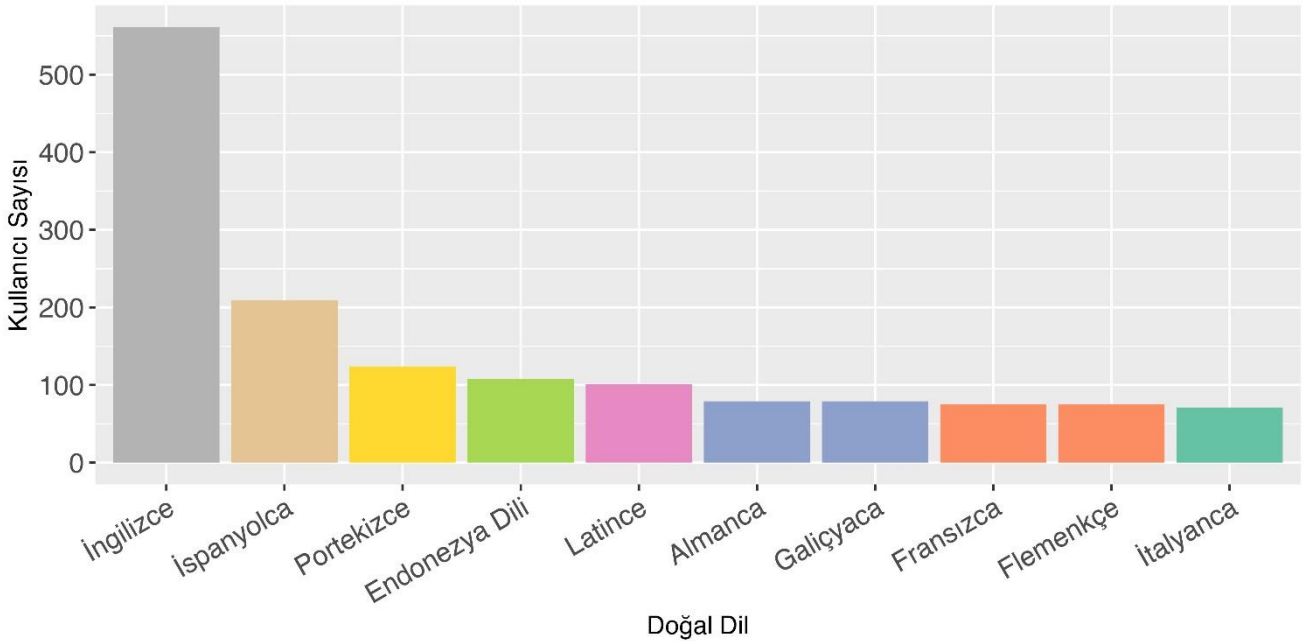
Frekans hesaplarına ek olarak, temizlenmiş kelime verisi tweet id'lerine bağlı kalınp birleştirilerek cümlecik oluşturulmuştur. Bu cümlecikler üzerinden doğal dil tespit algoritması çalıştırılarak Antarktika sosyal medyasında popüler olarak kullanılan dillerin tespiti hedeflenmiştir. Dil tespiti için R cld3 paketi (Ooms, 2023) kullanılmıştır. Bu paket Google'ın Compact Language Detector kütüphanesini kullanarak geniş dil tanıma desteği sunması ve hızlı olması özellikleri nedeniyle tercih edilmiştir.

3. Bulgular

Antarktika Twitter verisi 2.1'de bahsedilen yöntemlerle elde edilmiş, veri tabanına kaydedilmiş ve Antarktika kıta sınırı baz alınarak filtrelenmiştir. Elde edilen veri seti yaklaşık 150 bin adet tweet verisi içermektedir. Metin verisi üzerinde gerçekleştirilen veri temizliği aşamalarından sonra geriye yaklaşık 50 bin tweet içeriği kalmıştır. Tweet içeriklerinin birçok farklı doğal dili barındırdığı öngörülerek doğal dil tespit analizi verinin açıklanması ve anlaşılması için gerçekleştirilmiştir. R cld3 paketi ile yapılan bu tespit

işleminde 97 farklı dilin Antarktika sahasında kullanıldığı belirlenmiştir. Ancak 2079 adet tweet içeriği bu paket aracılığı ile tespit edilememiştir. Buna ek olarak belirleme yapılan cld3 paketinin hata payı da bu çıkarımda göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tespit işlemine göre Antarktika sahasında en yaygın kullanılan 10 dil Şekil 2'de kullanıcı sayıları ile birlikte verilmiştir.

Bu sonuçlar kıtada en çok araştırma faaliyeti gösteren ülkelerin veya kıtayı ziyaret eden turistlerin kullandığı dilleri göstermektedir (URL-4; URL-5). İngilizce kıtada aktif olarak faaliyet gösteren Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere, Yeni Zelanda, Avustralya gibi ülkeler tarafından, İspanyolca Arjantin, İspanya, Şili, Uruguay gibi ülkeler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Kıtaya komşu ülkelerden Brezilya'nın kullandığı dil Portekizce ilk 10'da yer almaktadır. Çin kıtada aktif faaliyet göstermesine rağmen Çince en çok kullanılan diller arasında görülmemektedir. Bu durum Çin halkının Twitter uygulaması yerine milli sosyal medya platformları olan WeChat uygulamasını kullanmalarıyla açıklanabilir. Bu bulgu Twitter verisinde katılım yanlılığı olduğunun bir göstergesidir.



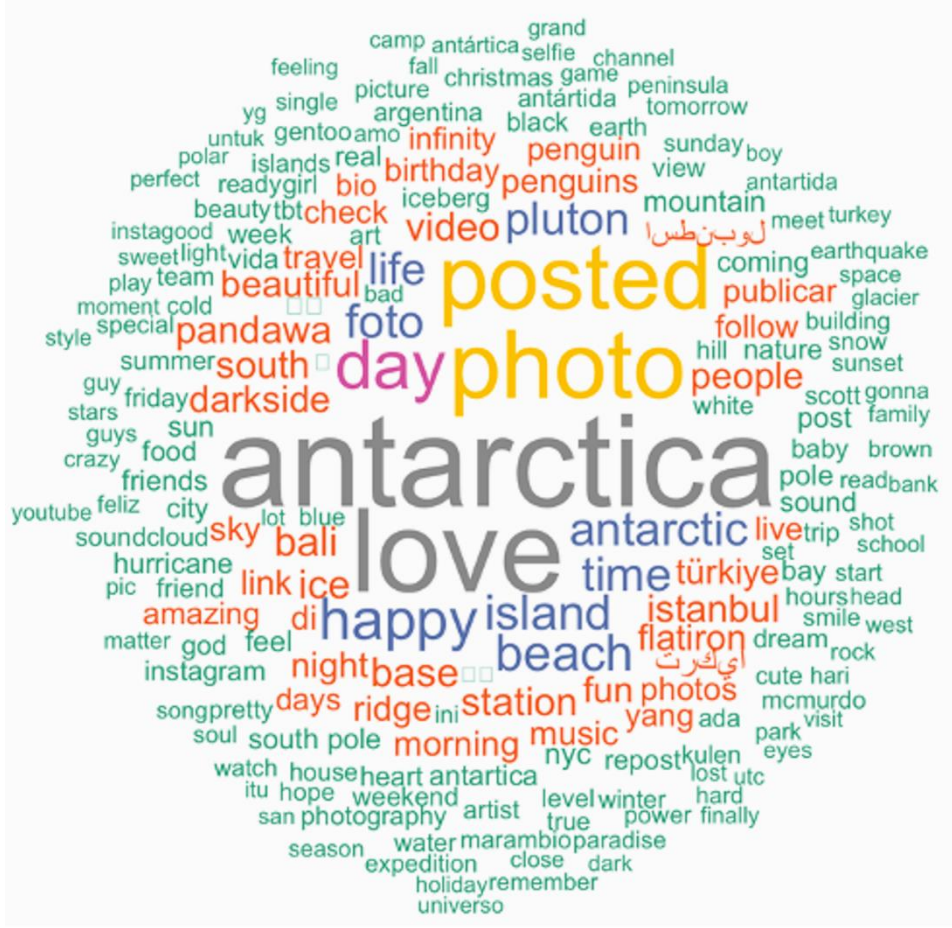
Şekil 2. Antarktika'da en çok kullanılan 10 doğal dil.

Antarktika sahasında en sık kullanılan, tekrarlanan kelimeler Şekil 3'de kelime bulutu aracılığı ile sunulmuştur. Bu kelime bulutuna göre en sık kullanılan dilin yine İngilizce olduğu, bazı kelimelerin farklı dillerde tekrarlandığı (antarctica, antartida, antartica vb.) görülmektedir. Buna ek olarak bazı yer isimlerinin ("antarctica", "argentina", "türkiye") tekrarlandığı ve sık kullanılan kelimeler arasında girdiği söylenebilir. Kelime anlamlarına bakarak tweet içeriklerinde fotoğraf paylaşımının yaygın olduğunu, canlılara (penguin, gentoo), araştırma istasyonlarına (base, station) ve popüler bazı yer adlarına (mcmurdo, peninsula, scott) yer verildiği anlaşılmaktadır.

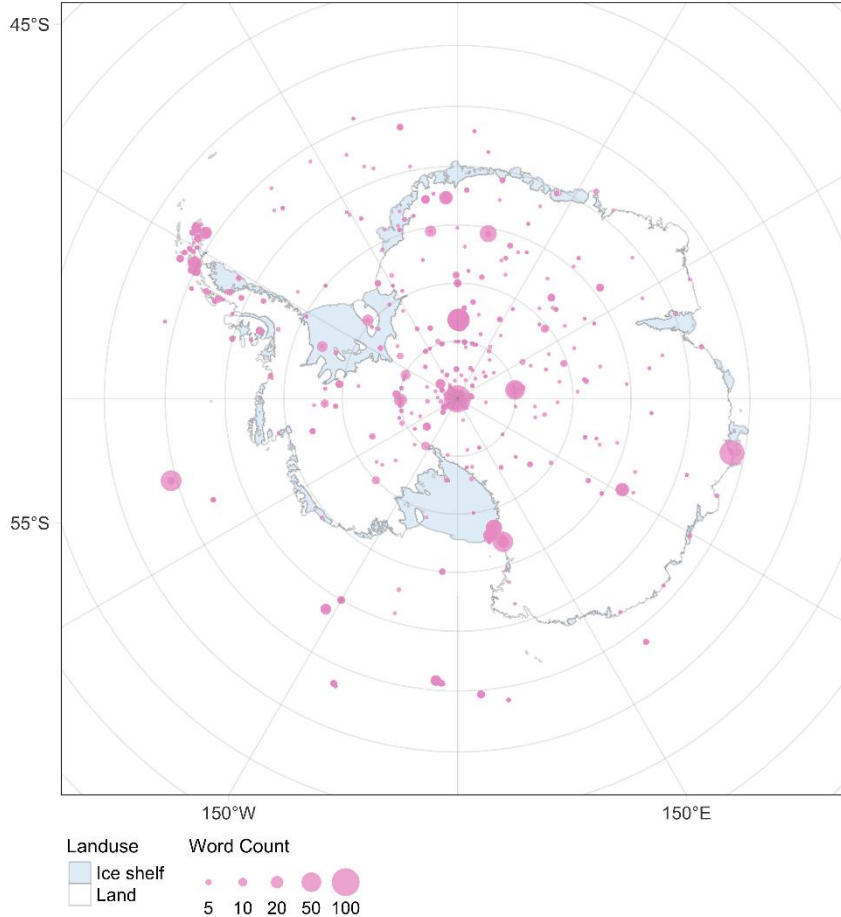
Kelimelerin mekânsal tekrarının tespiti için Antarktika'yı kaplayan ve 1 milyon hücreyi içeren grid

katmanı üretilmiştir. Böylece, mekânsal olarak farklı kullanıcılar tarafından üretilen kelimeler ortaya çıkarılmıştır. Bu grid bazlı mekânsal tekrarlılık araştırması sonucunda 2100 kelime tespit edilmiştir. Şekil 4 'de tekrarlanan kelimeler temsili kabarcık haritası ile gösterilmiştir. Her bir balon bir kelimeyi, balonun büyüklüğü ise kelimenin kaç farklı kullanıcı tarafından paylaşıldığını temsil etmektedir. Kullanıcı sayısı arttıkça balon büyüklüğü artmaktadır.

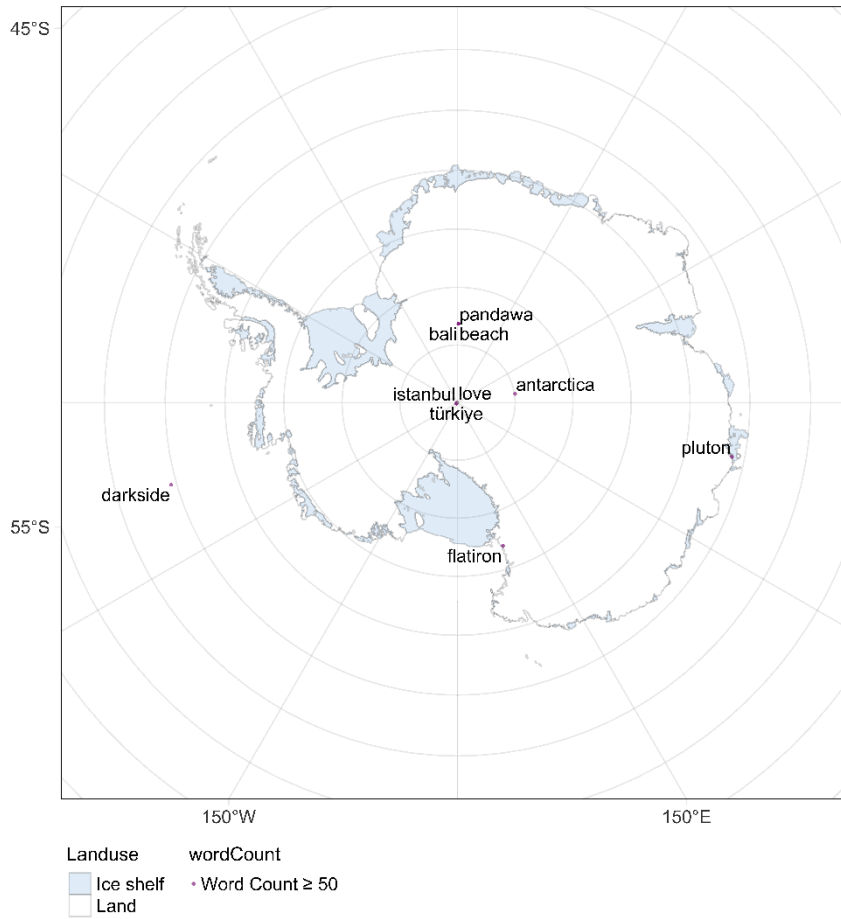
Her bir kelime etiketlenerek haritalandırıldığında Antarktika'daki mekânları tanımlamaktadır (Şekil 5). Bu kelimelere harita üzerinde bakarak Antarktika'daki mekanların kullanımlarıyla ilgili bilgi çıkarmak mümkündür.



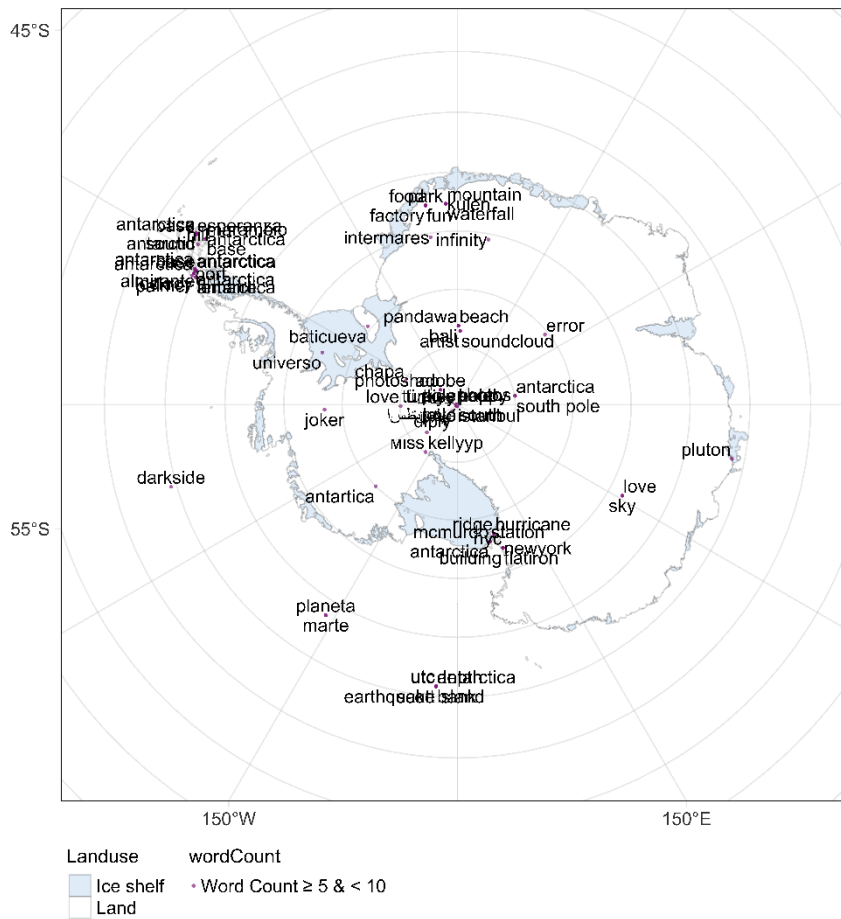
Şekil 3. Antarktika sınırı içerisinde en çok paylaşılan 200 kelime.



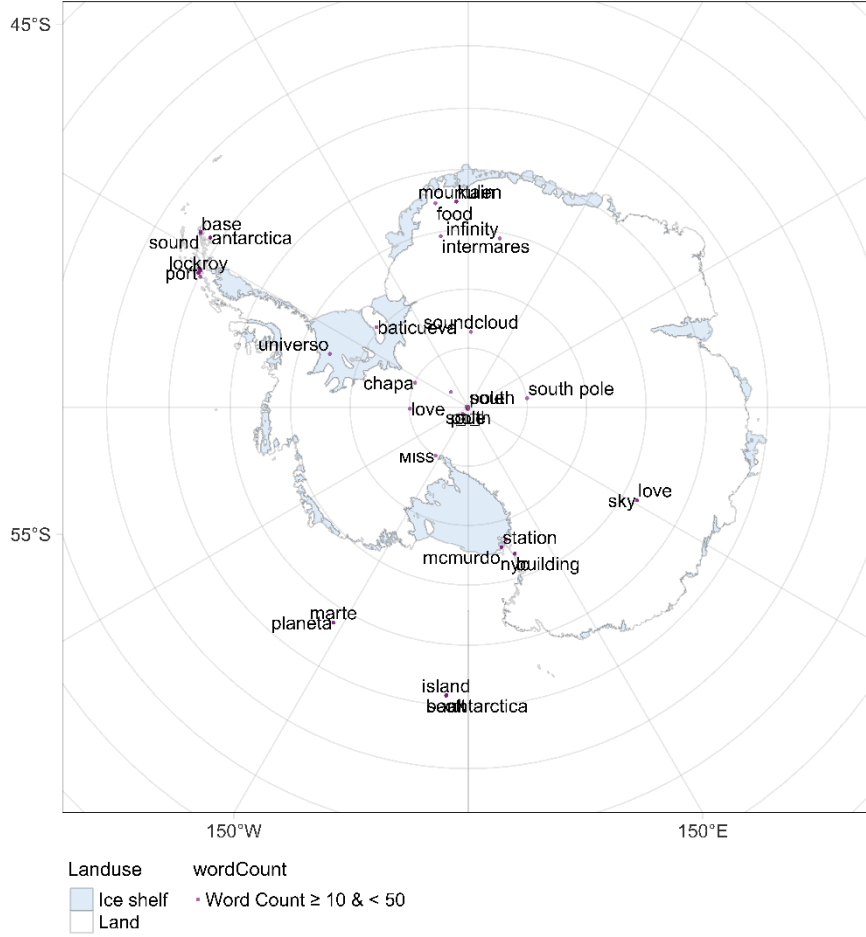
Şekil 4. Antarktika sınırı içerisinde kullanıcı sayısına göre kelimelerin mekânsal dağılımları.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. Antarktika'nın en popüler kelimeleri (a) grup 1, (b) grup 2, (c) grup 3.

Şekil 5 (a) 'da en çok tekrarlanan 10 kelime yer almaktadır. Bu kelimeler arasında Antarktika'da yer alan Flatiron vadisi ve Pluton buzulunun adı görülmektedir. Ancak Antarktika'da yer almayan popüler olarak ziyaret edilen yer adlarını (örn: İstanbul, Türkiye, Bali, Pandawa) da görüyoruz. Okyanus üzerinde 'darkside' (karanlık taraf) kelimesinin 56 farklı kullanıcı tarafından tekrarlandığı görülmektedir. Bu kelime ADD yer isimleri listesinde yer almamaktadır. Bu kelime Antarktika dışında kalan alanlar için de popüler bir yer adı değildir. Bu nedenle, bu coğrafyada bulunan kişilerin haritadaki konumu 'darkside' olarak tanımladığı düşünülmektedir. Tüm harita etiketlerinin haritalanması mümkün olmadığı için Şekil 5 (b) ve (c)'de harita görselleştirme için kullanılan R tmap kütüphanesinin (Tennekes, 2018) üst üste gelen etiketleri sil özelliği kullanılmıştır. Görsellerdeki okunabilirliği arttırmak için tüm kelimelere yer verilememiştir. Şekil 5 (b)'de en az 10 ve en çok 50 kere tekrarlanan kelimeler yer almaktadır. Bu gruba 62 kelime girmektedir. Bu grupta south ve pole kelimelerinin Antarktika merkezine yakın noktalarda farklı gridlerde tekrarlandığı gözlenmektedir. Yine bu grupta sıklıkla anılan bilinen araştırma üsleri (port locroy (Rusya), mcmurdo (ABD)) ve yer isimlerinin (sound canal, kulen dağları) ortaya çıkarılabildiği görülmektedir. Şekil 5 (c)'de ise 10'dan az 5'e eşit veya çok sayıda bir grid içerisinde tekrarlanan kelimelerin mekânsal dağılımı verilmektedir. Özellikle Antarktik Yarımadası olarak tabir edilen, Antarktika'ya giriş

kapılarından biri olan Şili'ye en yakın kısmında Antarktika kelimesinin sıklıkla ancak başka gridlerde tekrarlandığı görülmektedir. Bu grupta Şekil 5 (b)'de de görülen bazı kelimelerin (plenata marte, baticueva, universo, intermares vb.) yakın konumlarda tekrarlandığını görmek mümkündür. Bu kelimelerin ADD yer adları listesinde yer almamaktadır. Bu kelimelerin farklı dillerde olması ama benzer bölgelerde tekrarının sıklıkla görülmesi nedeniyle farklı dillerde bölgelerin farklı isimlerle tanımlanabildiği çıkarımı yapılmaktadır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Twitter verileri metin ve konum tabanlı olarak analiz edilmiş ve bu analizler yardımıyla verilerin Antarktika'daki araştırmalar için kullanılabilirliği incelenmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre Antarktika'da yapılan paylaşımlar için kullanılan diller arasından İngilizce baskın dil olsa da yapılan paylaşımlarda kullanılan dilin diğer coğrafi bölgelerde beklenilene göre daha fazla çeşitlilik içerdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuç, kıtadaki araştırmacıların ve diğer ziyaretçilerin çeşitliliği hakkında bilgi vermektedir. Bu çeşitliliğin bir sonucu olarak yapılan analizlerin farklı dillerin karakterleri de dikkate alınarak özelleştirilmesi gerekmektedir. Örneğin kelime filtreleme için belirlenen kelime uzunluk sınırları için belirlenen alt sınırın Çince

ve Japonca gibi dillerdeki tek harften oluşan kelimeler için uygun olmadığı gözlemlenmiştir.

Coğrafi etiketlerin sosyal medya metinlerden çıkarılması için yapılan literatürdeki Antarktika kıtası dışında yapılan araştırmalarda kullanılan yol ağından türetilen Voronoi gibi referans katmanlar bu çalışmada bahsedilen verilerin Antarktika için bulunmaması nedeniyle kullanılamamıştır. Bunun yerine benzeri bir coğrafi referans oluşturmak ve verileri konumsal olarak özetleyebilmek için gridlerden yararlanılmıştır.

Analizlerde, sıkça kullanılan kelimelerin coğrafi dağılımları incelenmiştir. Buna göre paylaşım yapılan konumların sıklıkları dikkate alındığında paylaşımların kıta üzerindeki yerleşim ve insan aktivitesinin yoğunlaştığı yerleri işaret ettiği gözlemlenmektedir. Bu ilişkiye dayanarak ilgili verinin bilinen insan aktivitesini tutarlı bir şekilde temsil ettiği ifade edilebilir. Paylaşılan kelimeler ve konuma göre paylaşım sıklıkları irdelendiğinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre sık paylaşılan yer adı, tür adı gibi kelimelerin kıta üzerinde buldukları/rastlandıkları yerler ile ilişkili sonuçlar elde edilmiştir. Bu tutarlılığa ek olarak Bölüm 3'te değinilen 'darkside' örneğinde olduğu gibi semantik tutarlılığa sahip ancak daha önce coğrafi ya da metin kaynaklarda belgelenmemiş genel kabul gördüğü değerlendirilen yer adları ile karşılaşmıştır. Bu ve benzeri örneklerin artırılması Twitter ve benzeri şekilde analiz edilebilecek diğer sosyal medya kaynaklarının konum verisi kaynaklarındaki eksiklikleri tamamlayıcı bir kaynak olarak kullanılabilirliğini arttıracaktır.

Antarktika kıtasında gerçekleşen aktivitelerin haritalanmasının hedeflendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar sınırlıdır. Bunun temel iki sebebi bulunmaktadır. İlki Antarktika kıtasındaki internet altyapısının kapsayıcı olmamasıdır. İkincisi ise kıtada seyir halinde olan araştırmacı ve turistlerin arazi keşifleri sırasında kullandıkları ve veri topladıkları cihazların bataryalarının soğuk sebebiyle hızla tükenmesi veya kısıtlı olmasıdır. Bu sebepler Antarktika kıtasında sosyal medya üzerindeki veri üretiminin anlık olması önündeki engellerdir. Bu sebeple Antarktika kıtasına ait sosyal medya araştırmalarında uzun süreli takip ve incelemeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışma, coğrafi etiketleme sonrasında coğrafi kodlama ve metin tabanlı konum belirleme algoritmaları açısından geliştirilebilir potansiyele sahiptir. Coğrafi kodlama, bölgenin otomasyon sistemleri ve gönüllü coğrafi verilerle analizi ile haritalanmasında önemli bir araç olabilir. Özellikle, az veriye sahip ve izole bir bölge olarak Antarktika'nın coğrafi kodlama ile haritalanması, doğal afetler, bilimsel araştırmalar ve çevre izleme gibi alanlarda kritik öneme sahip olabilir. Bu bağlamda, genel anlamda makine öğrenmesi algoritmalarının ve büyük dil modellerinin (Large Language Model-LLM) kullanımı, coğrafi kodlama alanında performansı artırabilir. Ayrıca, Antarktika bölgesi için özel olarak bölgeye uygun mekânsal veri tabanlarının entegrasyonu sayesinde daha yüksek performanslı coğrafi kodlama ve bilgi çıkarımları hedeflenebilir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK KUTUP 1001 Programı kapsamlarında yürütülen, "Kutup Bölgelerinde Veri ve Bilgi Arttırımı için Kitle Kaynaklı Coğrafi Veri Elde Etme, Bilgi Çıkarma Algoritmaları ve Uygulaması" başlıklı projesi (Proje No: 122Y193) ile desteklenmiştir. 6 Şubat Depremi sonrası TÜBİTAK BİÇABA Burs Programı katkısı ve destekleri ile bu yayına katkı sunan Fevzican Karakuş projede yer almış ve desteklenmiştir.

Araştırmacıların katkı oranı

Ayşe Giz Gülnerman: Literatür taraması, Uygulama, Makale yazımı; **Fevzican Karakuş:** Literatür taraması, Uygulama; **Necip Enes Gengeç;** Makale yazımı, Düzenleme; **Himmet Karaman:** Makale yazımı, Düzenleme; **Hasan Hakan Yavaşoğlu:** Düzenleme; **Burcu Özsoy:** Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Anbaroğlu, B. (2017). Gönüllü coğrafi bilgi: Mekansal bilişim çalışmalarına web 2.0 devrinde yeni bir yaklaşım. *Harita Dergisi*, 158, 1-9.
- Anbaroğlu, B., Güllüoğlu, N., Bilgin, G., & Aydınöğlu, A. Ç. (2021). Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi Ulaşım Veri Temasının Katılımcı Coğrafi Bilgi Yaklaşımıyla Güncellenmesi. *Geomatik*, 6(2), 115-123. <https://doi.org/10.29128/geomatik.714493>
- Basiri, A., Haklay, M., Foody, G., & Mooney, P. (2019). Crowdsourced geospatial data quality: Challenges and future directions. *International Journal of Geographical Information Science*, 33(8), 1588-1593. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1593422>
- Batrinca, B., & Treleaven, P. C. (2015). Social media analytics: a survey of techniques, tools and platforms. *Ai & Society*, 30, 89-116. <https://doi.org/10.1007/s00146-014-0549-4>
- Benoit, K., Muhr, D., & Watanabe, K. (2021). Stopwords: Multilingual stopword lists. R package version, 2.
- Bilgi, S., Gülnerman, A. G., Arslanoğlu, B., Karaman, H., & Öztürk, Ö. (2019). Complexity measures of sports facilities allocation in urban area by metric entropy and public demand compatibility. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(3), 141-148. <https://doi.org/10.26833/ijeg.540180>
- Calafiore, A., Palmer, G., Comber, S., Arribas-Bel, D., & Singleton, A. (2021). A geographic data science framework for the functional and contextual analysis of human dynamics within global cities. *Computers, Environment and Urban Systems*, 85, 101539. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101539>
- Chauhan, P., Sharma, N., & Sikka, G. (2021). The emergence of social media data and sentiment analysis in election prediction. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12, 2601-2627. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02423-y>

- Cvetojevic, S., Juhasz, L., & Hochmair, H. (2016). Positional accuracy of twitter and instagram images in urban environments. *GI Forum*, 1, 191-203. https://doi.org/10.1553/giscience2016_01_s191
- Çınar, N. (2023). R ile Twitter verisi analizi: Veri toplama, sosyal ağ analizi ve metin analizi aşamaları. *Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, 13(1), 193-224. <https://doi.org/10.7456//11301100/014>
- Flanagin, A. J., & Metzger, M. J. (2008). The credibility of volunteered geographic information. *GeoJournal*, 72, 137-148. <https://doi.org/10.1007/s10708-008-9188-y>
- Gengeç, A. G. G. (2023). Exploring crowdsourcing accountability for mapping Antarctica: a case study using 5 years of social media data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(8), 1041-1051. <https://doi.org/10.55730/1300-0985.1892>
- Gulnerman, A. G., Gengeç, N. E., & Karaman, H. (2016). Review of public tweets over Turkey within a pre-determined time. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 153-159. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W1-153-2016>
- Gulnerman, A. G., Karaman, H., & Basiri, A. (2021). New age of crisis management with social media. *Open Source Geospatial Science for Urban Studies: The Value of Open Geospatial Data*, 131-160. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58232-6_8
- Gülnerman, A. G., & Karaman, H. (2020). Sosyal medyanın gönüllü coğrafi veri olarak kullanımı ve sosyal medya verilerinden coğrafya sözlüğü üretimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(2), 276-286. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.667397>
- Hacar, M., & Gökğöz, T. (2021). A new approach for matching road lines using efficiency rates of similarity measures. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(3), 146-156. <https://doi.org/10.26833/ijeg.791324>
- Heipke, C. (2010). Crowdsourcing geospatial data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(6), 550-557. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.06.005>
- Irfan, R., King, C. K., Grages, D., Ewen, S., Khan, S. U., Madani, S. A., ... & Li, H. (2015). A survey on text mining in social networks. *The Knowledge Engineering Review*, 30(2), 157-170. <https://doi.org/10.1017/S0269888914000277>
- Liu, Y., Yuan, Y., & Zhang, F. (2020). Mining urban perceptions from social media data. *Journal of Spatial Information Science*, (20), 51-55. <https://doi.org/10.5311/JOSIS.2020.20.665>
- Lomborg, S., & Bechmann, A. (2014). Using APIs for data collection on social media. *The Information Society*, 30(4), 256-265. <https://doi.org/10.1080/01972243.2014.915276>
- Matsuoka, K., Skoglund, A., Roth, G., de Pomereu, J., Griffiths, H., Headland, R., ... & Melvær, Y. (2021). Quantarctica, an integrated mapping environment for Antarctica, the Southern Ocean, and sub-Antarctic islands. *Environmental Modelling & Software*, 140, 105015. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105015>
- Ooms, J. (2023). cld3: Google's Compact Language Detector 3 (Version 1.6.0).
- Pebesma, E. J. (2018). Simple features for R: standardized support for spatial vector data. *R J.*, 10(1), 439.
- Psyllidis, A. (2020). Sensing the city through new forms of urban data. In *Seeing the City: Interdisciplinary Perspectives on the Study of the Urban*, 56-69. Amsterdam University Press.
- Senaratne, H., Mobasher, A., Ali, A. L., Capineri, C., & Haklay, M. (2017). A review of volunteered geographic information quality assessment methods. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(1), 139-167. <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1189556>
- Stock, K. (2018). Mining location from social media: A systematic review. *Computers, Environment and Urban Systems*, 71, 209-240. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.05.007>
- Taşkanat, T., Karaağaç, A., Beşdok, E., & Bostancı, B. (2018). Kentsel sorunların yönetimi için bir gönüllü coğrafi bilgi mobil uygulaması geliştirilmesi. *Geomatik*, 3(1), 84-91. <https://doi.org/10.29128/geomatik.371144>
- Tennekes, M. (2018). tmap: Thematic Maps in R. *Journal of Statistical Software*, 84, 1-39. <https://doi.org/10.18637/jss.v084.i06>
- Tsou, M. H., Zhang, H., & Jung, C. T. (2017). Identifying data noises, user biases, and system errors in geo-tagged twitter messages (Tweets). *Social and Information Networks*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1712.02433>
- URL-1: <https://medium.com/rakuten-rapidapi/top-10-social-media-apis-twitter-facebook-instagram-and-many-more-5c13262c61fe>
- URL-2: <https://twitter.com/XDevelopers/status/1621026986784337922>
- URL-3: <https://www.add.scar.org/>
- URL-4: <https://www.comnap.aq/antarctic-facilities-information>
- URL-5: <https://iaato.org/information-resources/data-statistics/>
- Wang, L., & Gan, J. Q. (2017). Prediction of the 2017 French election based on Twitter data analysis. *2017 9th Computer Science and Electronic Engineering (CEECE)*, 89-93. <https://doi.org/10.1109/CEECE.2017.8101605>





CBS tabanlı ÇKKV-AHS yöntemi ile ekoturizm alanlarının yer seçimi: Çamlıhemşin İlçesi Örneği

Cemile Koca*¹ , Çağlar Kıvanç Kaymaz ¹ 

¹ Atatürk Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Erzurum, Türkiye, kocacemile10@gmail.com, ckkaymaz@atauni.edu.tr

Kaynak Göster: Koca, C., & Kaymaz, Ç. K. (2024). CBS tabanlı ÇKKV-AHS yöntemi ile ekoturizm alanlarının yer seçimi: Çamlıhemşin İlçesi Örneği. *Geomatik*, 9 (2), 185-206

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1419623>

Anahtar Kelimeler

CBS
ÇKKV
AHS
Ekoturizm
Akıllı planlama

Araştırma Makalesi

Geliş: 15.01.2024
Revize: 02.04.2024
Kabul: 23.04.2024
Yayınlanma: 15.08.2024



Öz

“Sorumsuz” seyahat ve bilinçsiz bir tüketim şekliyle kitle turizminin, dünya ekosistem dengesini bozan zararlı etkilerine çözüm arayışında, sürdürülebilir turizm türleri gelişmeye başlamıştır. Ekoturizm, çevreye karşı bilinçli hareket edebilme, kitle turizminin olumsuz etkilerini azaltma, doğal ve kültürel turistik çekicilikleri sürdürülebilir bir şekilde kullanma gibi olumlu özelliklerinden dolayı turizm sektörünün vazgeçilmez bir parçası olan “sorumlu” seyahat şeklidir. Sahip olduğu ekoturizm potansiyeline rağmen Çamlıhemşin, hızlı turist akışı ve bilinçsiz turizm kullanımına maruz kaldığı için, sürdürülebilirlik açısından tehdit altındadır. Kırılğan ekosistemler üzerinde baskı oluşturmadan, habitat bozulmalarına, biyolojik çeşitliliğin kaybına ve sosyo-kültürel değerlerin kaybına yol açmadan uygulanacak bir turizm faaliyeti için ekoturizm planlamasının yapılması gerekmektedir. Nitekim bu planlamalarda kullanılacak “Çamlıhemşin ilçesi ekoturizm uygunluk modeli”nin oluşturulması; koruma, turizmi doğru yönde geliştirme, gelişimi dengeleme, yerel sakinleri toplumsal-ekonomik açıdan güçlendirme ve böylece bölgenin uzun vadeli sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından oldukça elzemdir. Çamlıhemşin’in ekoturizme uygun alanlarının belirlenmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı Çok Kriterli Karar Verme-Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi, uzman görüşleri anketinden hazırlanan veri seti, MS Excel Macro ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ArcGIS 10.8 yazılımı bütünlüklü kullanılmıştır. Sonuçta elde edilen nihai uygunluk modeli ile ilçe genelinde ekoturizme uygun olan alanlar belirlenmiş ve mevcut kullanımları değerlendirilerek, turizm alanında gerçekleştirilecek planlama ve uygulamalara yönelik önemli önerilerde bulunulmuştur.

Site selection of ecotourism areas with GIS-Based MCDM-AHP method: A case study of Çamlıhemşin District

Keywords

GIS
MCDM
AHP
Ecotourism
Smart Planning

Research Article

Received: 15.01.2024
Revised: 02.04.2024
Accepted: 23.04.2024
Published: 15.08.2024

Abstract

Sustainable tourism types have begun to develop in the search for solutions to the harmful effects of mass tourism, a form of "irresponsible" travel and unconscious consumption, which disrupts the world ecosystem balance. Ecotourism is a form of "responsible" travel that is an indispensable part of the tourism industry due to its positive features such as being able to act consciously towards the environment, reducing the negative effects of mass tourism, and using natural and cultural tourist attractions in a sustainable manner. Despite its ecotourism potential, Çamlıhemşin is under threat in terms of sustainability as it is exposed to rapid tourist flow and unconscious tourism use. Ecotourism planning is required for a tourism activity that will be implemented without creating pressure on fragile ecosystems, causing habitat degradation, loss of biodiversity and loss of socio-cultural values. As a matter of fact, the creation of the "Çamlıhemşin district ecotourism suitability model" that can be used in these plans; Conservation is essential for developing tourism in the right direction, balancing development, empowering local residents socially and economically, and thus ensuring the long-term sustainability of the region. To determine the areas of Çamlıhemşin suitable for ecotourism, the Geographic Information Systems-based Multi-Criteria Decision Making-Analytical Hierarchy Process method, the data set prepared from the expert opinion survey, MS Excel Macro and Geographic Information Systems ArcGIS 10.8 software were used. With the final suitability model obtained, areas suitable for ecotourism throughout the district were determined and their current uses were evaluated and important suggestions were made for planning and practices in the field of tourism.

1. Giriş

Sanayi devrimi sonrasında ortaya çıkan aşırı endüstrileşme ve kentleşme insan yaşamı üzerinde birçok etki yaratmıştır. Çağdaş insan, kırsaldan uzaklaşarak kentlere mahkûm olmuş, nüfus artışıyla birlikte toplumsal-kişisel sorunlar ve yaşamın monotonlaşması gibi çeşitli olumsuzluklarla karşılaşmıştır (Koca ve Genç, 2023). Aynı zamanda refah seviyesinde ki artış ve ulaşım imkânlarındaki gelişmelerle insanoğlu karşılaştığı bu olumsuzlukları seyahat ihtiyacı ile giderebilmiştir. Dolayısıyla bu seyahat akışı, turizmi meydana getirmiştir.

Turizmin gelişimi doğal ve sosyal/kültürel çevreye bağlıdır. Bu nedenle, turizm mekânlarının kalitesinin korunması veya artırılması büyük önem taşımaktadır (Zhong ve ark., 2011). Öyle ki, turizmin geleceği mekânın doğru kullanımına bağlıdır (Soykan, 1999). Mekânın doğru kullanımı için turizme bağlı olarak ortaya çıkan sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerin bir bütüncül yaklaşımla değerlendirilmesi ve olumsuz etkilerinin de göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Kitle turizmi, büyük oranda biyofiziksel çevre ve sosyo-kültürel çevre üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (Zhong ve ark., 2011). Özellikle iyi planlanmamış turizm ve rekreasyon faaliyetleri su, hava, flora ve fauna gibi ekolojik denge unsurları üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır (Demir, 2002). Ekoturizm ise doğal ortamın korunmasına ve sürdürülebilir turizme odaklanarak bu alanlara fayda sağlamayı amaçlamaktadır (Horoehowski ve Moisey, 1999). Ekoturizm başta olmak üzere sürdürülebilir turizm türlerinin amacı; turizm hareketinin yoğunlaştığı alanlarda taşıma kapasitesi aşımını, kaynakların bozulmasını ve tükenmesini engellemektir (Kıvılcım ve Bilici, 2020).

Ekoturizm; “çevreyi koruyan, yerel halkın refahını sürdüren, yorumlama ve eğitimi içeren doğal alanlara yönelik sorumlu seyahat” olarak tanımlanmaktadır (TIES, 2015). Ekoturizm, özgün deneyimleri teşvik ederek, yerel kültür ve geleneksel dokularla yerel toplulukların ekonomik ve sosyal kalkınmalarına destek olmaktadır (Kiper, 2013). Ekoturizm, kitle turizminin çevre üzerindeki etkilerini azaltarak koruma girişimlerini geliştirmekte ve turistlerin ekolojik ayak izini en aza indirmektedir (Taylor ve ark., 2003). Hem doğal çevrenin hem de turizm endüstrisinin uzun vadeli sürdürülebilirliği açısından ekoturizm büyük bir gereksinimdir (Venkatesh ve Gouda, 2016).

Hiç kuşkusuz seyahat mekânlarının sürdürülebilir turizm bağlamında planlanması, yönetilmesi ve gelecek kuşaklara miras olarak bırakılması gerekmektedir. Bu, farklı düzeylerdeki devlet kurumlarının, ekoturizmi kolaylaştıracak uygun politikalar hazırlama, yerel toplulukların doğal kaynaklarını-çevrelerini koruma ve sürdürülebilir turizmi desteklemek için gerekli önlemleri almaları ile mümkündür (Shasha ve ark., 2020).

Çamlıhemşin ilçesinin turizm değerlerinin incelendiği çalışmalara bakıldığında, ilçenin sahip olduğu doğal ve kültürel özelliklerden dolayı ekoturizm potansiyelinin yüksek olduğu (Gülay, 1994; Zaman, 2010; Çoğalmış, 2019; Kaya ve Yıldırım, 2020; Kaymaz ve ark., 2020a; Kıvılcım ve Bilici, 2020), ancak yoğun olarak yayla

turizmi ve kültür turizminin gerçekleştirildiği ve diğer ekoturizm faaliyetlerinden bahsedilmediği görülmektedir (Kıvılcım ve Bilici, 2020; Çoğalmış, 2019).

Aynı zamanda sürdürülebilirlik kavramını koruma ve geliştirme açısından ele almada yetersiz kalındığı, sürdürülebilir gelişimini sağlamada yayla turizmi, doğa turizmi ve kültür turizmini kapsayan ekoturizm modelinin ön planda tutulması gerektiği (Kıvılcım ve Bilici, 2020), ekoturizme uygun bir saha olmasına rağmen planlama eksikliği ve uygulamadaki yanlışlardan dolayı ekoturizmin tam manası ile tatbik edilmediği ve bu durumun aşırı tüketimden dolayı tahrip olan Ayder Yaylası gibi turizme açılma girişimlerinde olan diğer yaylaların geleceği ile ilgili kuşku yarattığı belirtilmiştir (Kıvılcım ve Bilici, 2020; Hatırnaz, 2016).

Dağlık alanlardaki turizm, plansız bir şekilde gelişir ve sürdürülebilir bir anlayışla yönetilmezse bu durumun çevre üzerinde büyük bir tahribat bırakması kaçınılmazdır. Çünkü yaylaları da içinde barındıran dağlık alanlar, hassas ekosistemlerdir (Fettahoğlu Şenkaya ve ark., 2012). Bu nedenle araştırma sahasındaki turizm uygulamaları ve turizm destinasyonlarının geliştirilmesine yönelik atılacak adımlar planlı ve uzun vadede gerçekleşen yatırımlar olması oldukça önemlidir. Plansız yapılaşmayı engellemeyi amaçlayan önlemler alınmalı, bunları yaparken ticari bilinçle değil koruma bilinciyle hareket edilmelidir. Rize İli Çamlıhemşin İlçesi örneğinde gerçekleştirilen bir envanter çalışması ile buna bağlı olarak geliştirilen arazi kullanım kararları aracılığıyla bir model ortaya konulması ve doğru bir planlamanın yapılması gerekmektedir (Gülay, 1994; Özçağlar ve ark., 2022; Somuncu ve Yılmaz, 2006; Haberal, 2011; Fettahoğlu Şenkaya ve ark., 2012; Hatırnaz, 2016; Kaymaz ve ark., 2020b).

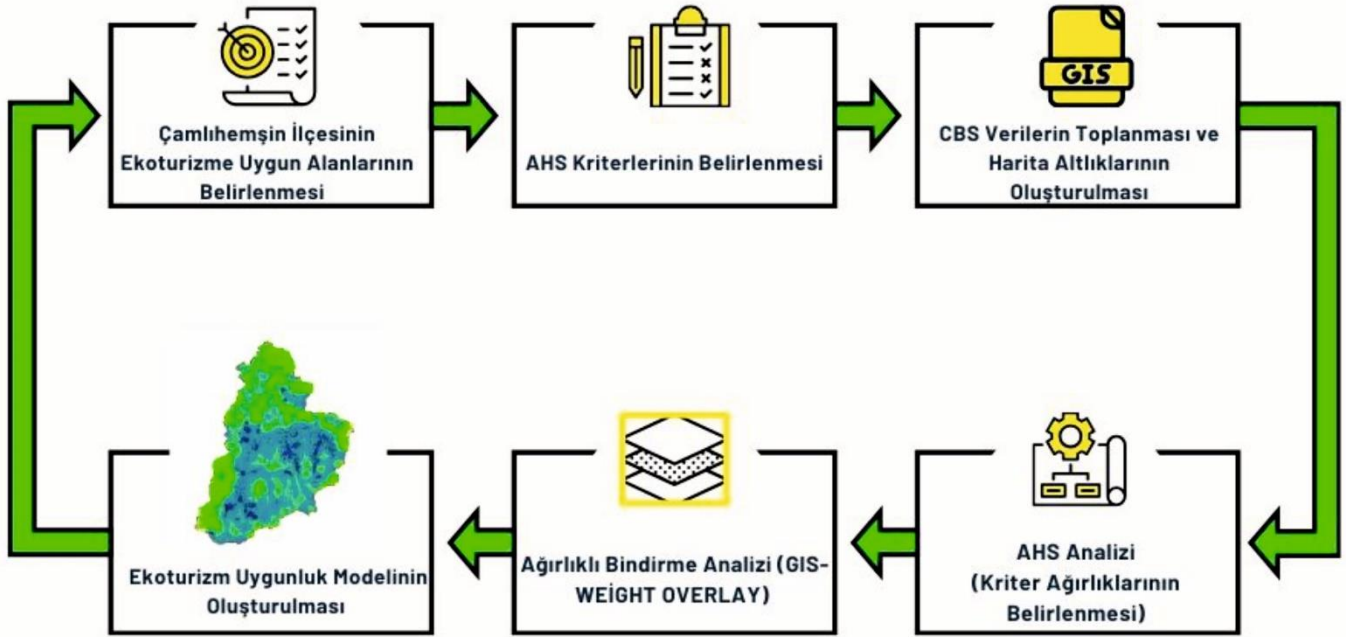
Çamlıhemşin İlçesi, dünyanın tehlike altında bulunan 200 ekolojik (Olson ve Dinerstein, 2002) ve biyoçeşitlilik bakımından 34 sıcak bölgesi içerisinde kalan (Mittermeier ve ark., 2004) Kaçkar Dağları Milli Parkı gibi önemli değerlere sahiptir. Bu nedenle ilçenin korunan alan statüsünde olan kesimleri ekoturizm bakımından büyük önem arz etmektedir (Özçağlar ve ark., 2022). Sahip olduğu ekoturizm potansiyeline rağmen Çamlıhemşin, hızlı turist akışı ve bilinçsiz turizm kullanımına maruz kaldığı için, sürdürülebilirlik açısından tehdit altındadır. Kırılgan ekosistemler üzerinde baskı oluşturmadan, habitat bozulmalarına ve biyolojik çeşitliliğin kaybına yol açmadan uygulanacak bir turizm faaliyeti için sürdürülebilir ekoturizm planlamanın yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, Çamlıhemşin ilçesinde ekoturizme uygun alanların “ekoturizm uygunluk modeli” ile belirlenmesi amaçlanmıştır (Şekil 1). Nitekim bu sayede Çamlıhemşin İlçesi için; koruma, turizmi doğru yönde geliştirme, gelişimi dengeleme, yerel sakinleri toplumsal ve ekonomik açıdan güçlendirme, yerel kaynakları, bilgileri, gelenekleri koruyabilme ve böylece bölgenin uzun vadeli sürdürülebilirliği sağlanabilecektir. Bu kapsamda Çamlıhemşin ilçesinin ekoturizm açısından temel problemi şu şekilde belirlenmiştir:

Çamlıhemşin İlçesi ve yakın çevresinin ekoturizme uygun alanları nelerdir?

Bu doğrultuda çalışmanın temel hipotezleri şunlardır:

H0: Doğal ortam ve sosyo-ekonomik koşulların ekoturizmin uygunluğu üzerinde etkisi yoktur.

H1: Doğal ortam ve sosyo-ekonomik koşulların ekoturizmin uygunluğu üzerinde etkisi vardır.



Şekil 1. Çalışma planı ve iş akışı.

2. Çalışma sahası

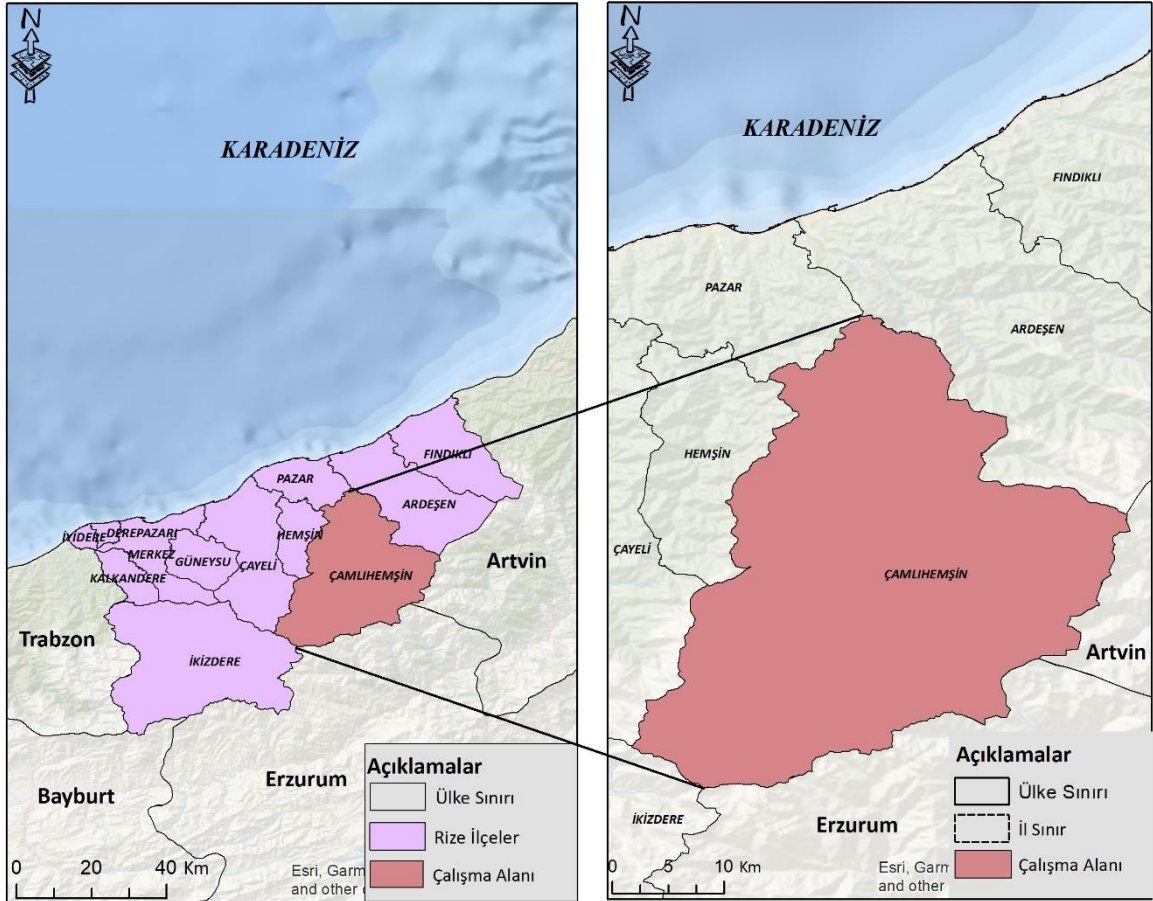
Çamlıhemşin ilçesi, idari açıdan Rize ili sınırları içerisinde kalmaktadır. Kuzeyden Pazar, kuzey-kuzeydoğudan Ardeşen, güneydoğudan Artvin (Yusufeli), güneyden Erzurum (İspir), güneybatıdan İkizdere, batıdan Çayeli ve Hemşin ilçelerinin idari alanları ile çevrilidir (Şekil 2). Ayrıca coğrafi olarak Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü, Rize-Hopa yöresinde yer almaktadır. İlçe, coğrafi koordinat sistemine göre yaklaşık 41°6'-40°43' kuzey enlemleri ile 41°13'-40°49' doğu boylamları arasında kalmaktadır. Toplam 3835 km²'lik alana sahip olan Rize ilinin 774 km²'sini (%20) Çamlıhemşin ilçesi oluşturmaktadır (HGM, 2022).

3. Yöntem

Araştırmacılar, alternatifleri birden fazla kriterle değerlendirdiğinde, kriterlerin ağırlıkları, tercih bağımlılığı ve kriterler arasındaki çatışmalar gibi birçok problem, problemleri karmaşık hale getirmekte ve bu durumun daha karmaşık yöntemlerle aşılması gerekmektedir (Tzeng & Huang, 2011). Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi, birçok kriterin ortaya çıktığı karmaşık durumlarda, farklı kriter kapsamalarını ve kriter ağırlıklarını herhangi birçok kriterli karar verme tekniği kullanılarak analiz edilmesiyle en iyisinin ve en uygun olanın seçilmesine yardımcı olan bir karar verme tekniğidir (Aruldoss, ve ark., 2013; Majumder ve Majumder 2015; Özcan ve ark., 2020). Belton ve Stewart'ın (2012) çalışmasına göre, ÇKKV yöntemleri, karar vericilere çoklu, çoğu zaman birbiriyle çelişen kriterlerle karakterize edilen karmaşık karar problemlerini analiz etmede yardımcı olan sistematik

yaklaşımlardır. Bu yöntemler, karar probleminin yapılandırılmasını, paydaşların tercihlerinin ortaya çıkarılmasını, tercihlerin bir araya getirilmesini ve sonuçta alternatiflerin kriterler genelindeki performanslarına göre sıralanmasını veya seçilmesini içerir. Bu nedenle birçok çalışma, ÇKKV yöntemlerinin sezgisel yaklaşımlara göre daha iyi sıralamalar sağladığını iddia etmektedir (Asadabadi ve ark., 2019). Günümüzde seçilebilecek çok sayıda MCDM yöntemi bulunmaktadır (Lee ve Chan, 2008). Bu yöntemler arasında AHP, ANP, TOPSIS, COPRAS, MABAC, VIKOR, ELECTRE, FUZZY, DELPHI, DEMATEL ve bunların birleşik-bütünleşik istatistik ve jeostatistik (statistics-geostatistics) yöntemleri yer almaktadır (Kaymaz ve ark., 2020a). Bu araçlar kullanılarak problem tanımlanır, kriterler belirlenir, karar matrisi oluşturulur ve kriterlerin ağırlıkları belirlenir (Coruhlu ve ark., 2022). Belirlenen faktörler veya kriterler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile görsel olarak mekânsal veriler şeklinde temsil edilir (Kang ve ark., 2024). CBS, bu verileri işleyerek, analiz ederek ve görselleştirerek sonucu ideal bir hale getirir (ESRI, 2004).

CBS teknikleri ve işlemleri, ÇKKV problemlerinin analizinde önemli bir role sahiptir. CBS ve ÇKKV bütünleşmesi, karar verme hususunda çeşitli mekânsal verileri otomatikleştirerek yönetmek ve analiz etmek için benzersiz yetenekler sunar. Bu amaçla, CBS tabanlı ÇKKV; nihai kararların mekânsal düzenlenmeye bağlı olduğu olayları analiz etmeye yarayan, bir teknik işlemler topluluğu olarak tanımlanabilir (Malczewski, 1999). ÇKKV ve CBS bütünleşik olarak kullanıldığında, etkili, uygun maliyetli ve hızlı yer seçimine olanak tanıyan ve birçok kaynaktan elde edilen karmaşık verileri yönetebilen güçlü bir araca dönüşmektedir (Coruhlu ve ark., 2022).



Şekil 2. Çamlıhemşin İlçesinin konumu.

Bir alanı çok geniş çerçevede analiz edebilmek özelliğine sahip olan CBS, ekoturizme uygun bir bölgenin yönetiminde nitelikli ve etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, ekoturizm gelişimi için uygun arazi değerlendirilmesinde bulunan araştırmacılar, araştırma yöntemlerinde çoğunlukla ÇKKV ile CBS'yi entegre bir şekilde uygulamaktadırlar (Ronizi ve ark., 2020).

3.1. Analitik hiyerarşi süreci (AHS)

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), en kapsamlı kriter ağırlığı belirleyen (Bunruamkaew ve Murayam, 2011), sosyal, idari ve kurumsal karar problemlerini çözmek için kullanılan (Lee ve Chan, 2008) "ÇKKV" tekniklerinden biridir. AHS, bizi basit bir ÇKKV yönteminden daha güvenilir sonuçlara götürmektedir

(Asadabadi ve ark., 2019). Çünkü, karar verme durumlarında gerçekçi olmak, tüm önemli maddi ve manevi, niceliksel olarak ölçülebilir niteliksel faktörleri içermeli ve ölçmelidir. AHS ile yapılan da tam olarak budur (Saaty, 1980). Ayrıca faydasının sıralı araştırma yönteminden daha fazla olması nedeniyle araştırmalarda oldukça popüler hale gelmiştir (Cheng ve Li, 2001).

AHS yöntemi anlaşılması kolay, yürütülebilir ve düşük maliyetli bir tekniktir (Souissi ve ark., 2020). Aynı zamanda araştırmaya yönelik hem niteliksel hem de niceliksel yaklaşımları dikkate alır ve bunları tek bir ampirik araştırmada birleştirir (Cheng ve Li, 2001). Saygın ve güçlü bir yöntem olan AHS, karmaşık kararlar almak ve analiz etmek için matematik ve psikolojiyi kullanır (Pant ve ark., 2022). AHS'nin temel kullanımı, çok kriterli bir ortamda seçim problemlerinin çözümüdür. Bu metodoloji, hedeflerin ve alternatiflerin doğal, ikili bir şekilde karşılaştırılmasını içerir. Bireysel tercihleri, ilgili alternatifler için doğrusal toplamsal ağırlıklar halinde birleştirilen oran ölçekli ağırlıklara dönüştürür. Sonuçta ortaya çıkan bu ağırlıklar, alternatifleri sıralamak için kullanılır ve böylece karar vericiye bir seçim yapmada veya bir sonucu tahmin etmede yardımcı olur (Forman ve Gass, 2001). Analitik Hiyerarşi Sürecinin üç unsuru vardır: (1) mantıksal hiyerarşiler oluşturularak sorunları yapılandırmak (karmaşıklık yapılandırmak); (2) her düzeyde hiyerarşinin unsurları arasında önceliklerin belirlenmesi (oran ölçeğinde ölçmek); ve (3) seçimler arasındaki tercihin niceliksel ölçümlerini oluşturmak için matris cebirinin özvektörleri fikirlerini kullanmak (sentezlemek) (Gray, 1984; Forman ve Gass, 2001).

AHS, uzmanların ve paydaşların kriterleri göreceli önemlerine göre karşılaştırmalarına ve önceliklendirmelerine olanak tanıyan bir karar verme tekniğidir (Kang ve ark., 2024). Böylelikle AHS hızlı, kolay ve rasyonel karar vermeyi sağlayan yaklaşım olarak, bilim insanları tarafından karar verme kalitesini artıran bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Canco ve ark., 2021). CBS-AHS bütünleşmesi ise ekoturizm alanlarının potansiyel olarak belirlenmesi için etkin bir yöntemi oluşturmaktadır (Kumari ve ark., 2010).

1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş (Saaty, 1980) olan AHS yöntemi, karmaşık, yapılandırılmamış ve çok özellikli kararlarla başa çıkmak için karar vermeye yardımcı bir araçtır (Partovi, 1994). AHS yönteminde izlenilmesi gereken adımlar aşağıda verilmiştir (Saaty, 1987; Kurttila ve ark., 2000; Ömürbek ve ark., 2015; Kaymaz ve ark., 2020b):

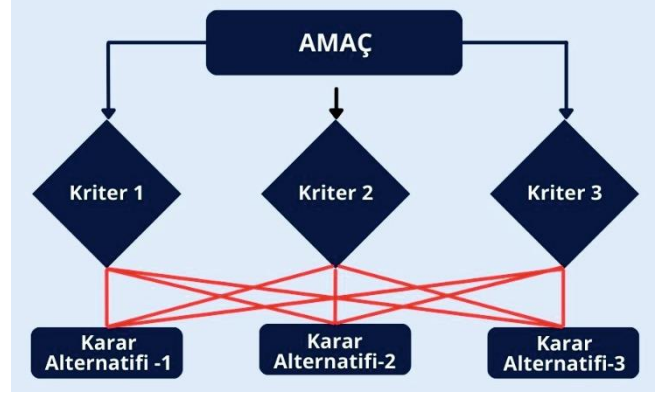
3.1.1. Adım 1: Hiyerarşik yapının oluşturulması

AHS yönteminde, problemin çözümü için öncelikle elzem kriter ve alt kriterlerden oluşan bir hiyerarşik yapının oluşturulması gerekmektedir. Hiyerarşik yapı, çalışmanın amacını belirledikten sonra bu amaca yönelik uygun kriterler seçilerek meydana getirilir (Şekil 3).

3.1.2. Adım 2: Önceliklerin belirlenmesi

Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra ikinci aşama, kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesidir. Karar

kriterlerinin ikili karşılaştırmasında kullanılması için Saaty 1990 tarafından bir Göreceli Önem Ölçeği geliştirilmiştir (Tablo 1). Bu ölçeğe göre kriterler ikili olarak karşılaştırıldığında 1 ile 9 arasında bir değer alır. Bu adımda, tüm kriterlerin birbirleriyle karşılaştırılması yapıldığı için kendi içlerindeki etki değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır.



Şekil 3. Hiyerarşik yapının oluşturulması.

Tablo 1. Göreceli önem ölçeği (Saaty, 1990).

Önem Derecesi	Anlam
1	Öğeler eşit önemde veya aralarında kayıtsız kalınır.
3	Orta derecede önemli.
5	Çok önemli,
7	Çok yüksek derecede önemli,
9	Aşırı derecede önemli.
2, 4, 6, 8	Ara değerler

3.1.3. Adım 3: İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Saaty (1990) tarafından geliştirilen dokuz tercihli ölçeklendirmenin (Tablo 1) kullanıldığı ikili karşılaştırma matrisi $A(a_{ij})$ inşa edilir. Örneğin $A(a_{ij})$ matrisinde yer alan kriterleri A_1, A_2, \dots, A_n olarak belirtilirse bu kriterlerin önem dereceleri şu şekilde oluşturulur: A_1 'in A_1 göre olan önem derecesi 1, A_1 'in A_2 'ye göre önem derecesi a_{12} , A_2 'nin A_1 göre olan önem derecesi ise $1/a_{12}$ olur. Buna göre $a_{12}=5$ ise $1/a_{12}=1/5$ ya da $a_{12}=1/5$ ise $1/a_{12}=5$ şeklindedir. İkili karşılaştırma matrisin genel yapısı Eşitlik (1)'de gösterilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

3.1.4. Adım 4: İkili karşılaştırma matrisinin normalleştirilmesi

Bu aşamada ikili karşılaştırma matrisinde yer alan her bir sütunun toplamı hesaplanır. Daha sonra her bir matris elemanı kendi sütun toplamına bölünür ve bu durum tüm sütunlar için gerçekleştirilir. Elde edilen sonuç matrisi, normalleştirilmiş ikili karar matrisidir.

3.1.5. Adım 5: Kriterlerin etki ağırlıklarının belirlenmesi

Normalize edilmiş matriste yer alan her bir satırın ortalaması hesaplanarak önceliklerin vektörleri yani kriterlerin etki ağırlıkları ($w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$) belirlenir.

3.1.6. Adım 6: Tüm önceliklerin matrisinin hesaplanması

Tüm önceliklerin matrisinin hesaplanması için 3. adımda yer alan ikili karşılaştırmaların matrisi ve 4. adımda belirlenen kriterlerin etki ağırlıkları çarpılır. Çarpım sonucu ile elde edilen B matrisinin her bir satırı toplanarak ağırlıklandırılmış toplam vektör ($P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$) elde edilir. Bu adım [Eşitlik \(2\)](#)'de gösterilmiştir.

$$B = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \vdots \\ P_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

3.1.7. Adım 7: Tutarlılık

Ağırlıklandırılmış toplam vektörün her bir elemanı, kriterlerin etki ağırlıklarında kendisine karşılık gelen vektöre bölünür. Böylece bir vektör daha elde edilir. Bu vektörün aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değer en büyük öz değer olan " λ_{max} " 'ı vermektedir. Daha sonra tutarlılık göstergesi (CI) ve oranı (CR) [Eşitlik \(3\)](#) ve [\(4\)](#) belirtildiği gibi hesaplanarak sonucun doğruluğu kontrol edilir.

$$\text{Tutarlılık Göstergesi: } CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$\text{Tutarlılık Oranı: } CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Tutarlılık oranının hesaplanabilmesi için Rastgele Tutarlılık İndeksi (RI) oluşturulmuştur ([Tablo 2](#)). Burada " N " kriter sayısıdır ve bu sayı büyüdükçe rastgele gösterge değerlerinde de bir artış görülmektedir. Karar matrisinin tutarlı olabilmesi için $CR < 0,10$ olması gerekir. CR değeri sıfıra ne kadar yakın olursa karşılaştırma sonuçları da daha tutarlı olacaktır ([Saaty, 1987](#)).

Tablo 2. Rastgele tutarlılık indeksi (RI) [Saaty \(1987\)](#).

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

3.2. Coğrafi bilgi sistemleri yöntemi

CBS, her türlü veriyi oluşturan, yöneten, analiz eden ve haritalandıran bir sistemdir. CBS, konum verilerini her türlü açıklayıcı bilgiyle bütünleştirerek verileri bir haritaya bağlar. CBS, kullanıcıların; kalıpları, ilişkileri ve coğrafi bağlamları anlamalarına yardımcı olur. Gelişmiş iletişim olanağının ve verimliliğin yanı sıra daha iyi karar vermeyi içeren bir yönetim şeklidir ([ESRI, 2022](#)).

CBS'nin uygulanabileceği alanlar çok geniştir. Ağırlıklı olarak mekânsal planlama, devlet idaresi, ulaşım, kaynak yönetimi, kamu hizmetleri, güvenlik, askerî sektör, çevre, perakende, vergi yönetim, finans, arkeoloji vb. gibi mekânsal verilerle çalışmanın gerekli olduğu alanlarda kullanılabilir ([Vankova ve ark., 2022](#)). CBS, uygunluk ve/veya potansiyel belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda da sıklıkla kullanılmaktadır ([Yılmaz ve ark., 2023](#); [Patil ve ark., 2023](#); [Adjiski ve ark., 2023](#); [Topçu ve ark., 2023](#); [Meşin ve Demir, 2023](#); [Akbaba ve ark., 2023](#); [Urfalı ve Eymen, 2021](#); [Bünyan Ünel ve ark., 2023](#)).

Uygunluk analizleri; atık depolama alanı yer seçimi ([Mokhtarian ve ark., 2014](#)), tarım ürünü üretme alanı yer seçimi ([Mokarram ve ark., 2023](#)), yenilebilir enerji kaynakları yer seçimi ([Shriki ve ark., 2023](#)), endüstriyel yer seçimi ([Ramya ve Devadas, 2019](#)), tesis yerleşmesi yer seçimi ([Zhao ve ark., 2023](#)), baraj alanı yeri seçimi ([Kharazi ve ark., 2019](#)) ve ekoturizme uygun yer seçimi ([Ronizi ve ark., 2020](#)) gibi birçok farklı konuda ve farklı bilim dallarında kullanılmaktadır. Nitekim, her geçen gün daha da yaygın bir biçimde kullanılan bu sistemler, dünya da meydana gelen olumsuz değişimlere karşı çevre bilinciyle beslenen ekoturizme uygulanması, Çamlıhemşin gibi hassas ekosisteme, zengin doğal ve

kültürel değerlere sahip alanların sürdürülebilir kullanımı için oldukça önemlidir.

3.2.1. Ağırlıklı çakıştırma (Weighted Overlay)

AHS yönteminde belirlenen ağırlıkların ilgili CBS altlıklarıyla olan çakıştırma işlemi, Weighted Overlay (Ağırlıklı Çakıştırma) analizi ile gerçekleştirilmiştir. Ağırlıklı çakıştırma analizi, en uygun yer seçimi veya uygunluk modellemesinde uygulanan bir yöntemdir. Buna göre uygunluk analiziyle şu tarzda soru türlerine yanıt aranabilir: Yeni bir konut projesi nereye kurulmalı? Gayik yaşamı için hangi alanlar daha iyidir? Ekonomik büyüme en muhtemel nerede cereyan eder? Çamur kaymalarına en duyarlı yerler nerelerdir? Örneğin, yeni konut projesi için yer seçimi; arazi maliyeti, mevcut hizmetlere yakınlık ve eğitim gibi birçok unsurun değerlendirilmesini gerektirmektedir. Ayrıca analizde yer alan bu unsurların önem dereceleri birbirlerinden farklı olabilir ([ESRI, 2023](#)).

4. Bulgular

4.1. AHS yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi

Çamlıhemşin ilçesinin ekoturizme uygun alanlarının belirlenebilmesi sürecinde ilk olarak AHS yöntemi ile kriterlerin ağırlıklarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede öncelikle literatür taramalarına ([Bunruamkaew ve Murayam, 2011](#); [Sahani, 2019](#); [Kaymaz ve ark., 2021](#); [Yasin ve Woldemariam, 2023](#)) daha sonra 5 akademisyen/uzman görüşüne

başvurulmuştur. Bu kapsamda uzmanlarla birlikte nominal grup yöntemine (Delbecq ve ark., 1975, aktaran

Özkalp, 1991) göre yapılan değerlendirme sonucunda 15 kriter belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Çamlıhemşin İlçesi'nin ekoturizm uygunluğunu belirlemek için kullanılan kriterler ve veri kaynakları.

Kod	Kriterler	Veri
K1	Yükselti	Harita Genel Müdürlüğü (Topografik Harita)
K2	Eğim	Harita Genel Müdürlüğü (Topografik Harita)
K3	Bakı	Harita Genel Müdürlüğü (Topografik Harita)
K4	Sıcaklık	Meteoroloji
K5	Yağış	Meteoroloji
K6	Jeoloji	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
K7	Toprak	Tarım İl Müdürlüğü
K8	Bitki Örtüsü	Orman Genel Müdürlüğü
K9	Arazi Kullanımı	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü
K10	Hassas Alan	Doğa Koruma ve Milli Parklar Müdürlüğü
K11	Su	Harita Genel Müdürlüğü (Topografik Harita)
K12	Yerleşim	Harita Genel Müdürlüğü (Topografik Harita)
K13	Ulaşım	Harita Genel Müdürlüğü (Topografik Harita)
K14	Kültürel Alan	İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü (Kültür Envanteri)
K15	Negatif Faktörler	Rize AFAD-Çamlıhemşin Belediye

Oluşturulan anket formu yine ekoturizm ve coğrafya alanında uzman 10 kişiye uygulanmıştır. Uzmanların değerlendirmeleri sırasında sahanın doğal, beşerî ve kültürel özellikleri aynı zamanda genel ekoturizm faaliyetlerinin uygulama koşulları dikkate alınması istenmiştir. Uzmanların değerlendirmeleri sonucunda ilgili bölümde verilen AHS yönteminin uygulama

adımlarına göre normalize değerler tablosu elde edilmiştir (Tablo 4).

Analitik hiyerarşi süreçleri analiz sonuçlarında CI/RI yani CR değeri 0,07 olarak tespit edilmiştir (Tablo 5). Bu açıdan AHS analizinde bulunan tutarlılık (0,07'lik CR değeri) oranının istenen sınırlar arasında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla da analizde kullanılan ölçeğin tutarlı olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. Ana kriterler için ikili karşılaştırma matrisleri.

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
Yükselti (K1)	1														
Eğim (K2)	1/2	1													
Bakı (K3)	1/5	1/3	1												
Sıcaklık (K4)	1	3	4	1											
Yağış (K5)	1/2	1	6	1/2	1										
Jeoloji (K6)	1/2	1	5	1/3	1	1									
Toprak (K7)	1/3	1/2	3	1/5	1/4	1/3	1								
Bitki Örtüsü (K8)	3	6	6	1	2	4	7	1							
Arazi Kullanımı (K9)	1	4	6	1/2	1	4	6	1/3	1						
Hassas Alan (K10)	7	7	7	5	5	5	7	4	5	1					
Su (K11)	4	6	8	5	6	6	7	3	5	1/4	1				
Yerleşim (K12)	1	3	5	1	3	4	5	1/2	1	1/5	1/4	1			
Ulaşım (K13)	1	3	6	3	4	4	6	1	3	1/2	1/3	3	1		
Kültürel Alan (K14)	6	7	7	5	6	5	7	4	5	1	1	7	2	1	
Negatif Faktörler (K15)	1	1	3	1	1	1/2	1	1/2	1	1/3	1/3	1	1/2	1/3	1

Tablo 5. Çamlıhemşin İlçesi'nin ekoturizm uygunluğunu belirlemek için kullanılan kriterlerin AHS yöntemi ile belirlenen normalize değerleri.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15
K1	0,035	0,043	0,066	0,039	0,056	0,048	0,046	0,019	0,034	0,029	0,028	0,036	0,078	0,029	0,042
K2	0,017	0,021	0,04	0,013	0,028	0,024	0,031	0,009	0,008	0,029	0,019	0,012	0,026	0,025	0,042
K3	0,007	0,007	0,013	0,009	0,004	0,004	0,005	0,009	0,005	0,029	0,014	0,007	0,013	0,025	0,014
K4	0,035	0,065	0,053	0,039	0,056	0,073	0,077	0,059	0,069	0,040	0,023	0,036	0,026	0,035	0,042
K5	0,017	0,021	0,08	0,019	0,028	0,024	0,062	0,029	0,034	0,040	0,019	0,012	0,019	0,029	0,042
K6	0,017	0,021	0,066	0,013	0,028	0,024	0,046	0,014	0,008	0,040	0,019	0,009	0,019	0,035	0,085
K7	0,011	0,010	0,04	0,007	0,007	0,008	0,015	0,008	0,005	0,029	0,016	0,007	0,013	0,025	0,042
K8	0,107	0,130	0,08	0,039	0,056	0,097	0,108	0,059	0,104	0,050	0,038	0,073	0,078	0,044	0,085
K9	0,035	0,087	0,08	0,019	0,028	0,097	0,093	0,019	0,034	0,040	0,023	0,036	0,026	0,035	0,042
K10	0,249	0,152	0,093	0,199	0,141	0,121	0,108	0,236	0,173	0,203	0,461	0,183	0,157	0,178	0,128
K11	0,142	0,130	0,106	0,199	0,169	0,146	0,108	0,177	0,173	0,050	0,115	0,146	0,236	0,178	0,128
K12	0,035	0,065	0,066	0,039	0,084	0,097	0,077	0,029	0,034	0,040	0,028	0,036	0,026	0,025	0,042
K13	0,035	0,065	0,08	0,119	0,112	0,097	0,093	0,059	0,104	0,101	0,038	0,109	0,078	0,089	0,085
K14	0,214	0,152	0,093	0,119	0,169	0,121	0,108	0,236	0,173	0,203	0,115	0,256	0,157	0,178	0,128
K15	0,035	0,021	0,04	0,039	0,028	0,012	0,015	0,029	0,034	0,067	0,038	0,036	0,039	0,059	0,042
CR:	0,07 (%7)														

Normalize değerler belirlendikten sonra ise kriterlerin ağırlıkları tespit edilmiştir. Buna göre K10 kodlu *Hassas alan* özelliği 0,220 ağırlıkla ilk sırada gelmiştir. Bu kriteri sırasıyla 0,175 ağırlıkla K14 kodlu *Kültürel alan* (tarihi köpüler, kaleler vb.); 0,137 ağırlıkla K11 kodlu *Su varlığı* (akarsu, göl); 0,083 ağırlıkla K13 kodlu *Ulaşım*; 0,063 ağırlıkla K8 kodlu *Bitki örtüsü çeşitliliği*; 0,046 ağırlıkla K15 kodlu *Negatif faktörler* (çevre kirliliği, heyelan, çığ vb.); 0,041 ağırlıkla K4 kodlu iklim elemanlarından *Sıcaklık*; 0,039 ağırlıkla K12 kodlu *Yerleşim*; 0,038 ağırlıkla K9 kodlu *Arazi Kullanımı*; 0,037 ağırlıkla K1 kodlu *Yükselti*; 0,030 ağırlıkla K5 kodlu iklim elemanı *Yağış* ve K6 kodlu *Jeolojik yapı*; 0,024 ağırlıkla K2 kodlu *Eğim*; 0,020 ağırlıkla K7 kodlu *Toprak özelliği*, 0,017 ağırlıkla ise K3 kodlu *Bakı faktörü* takip etmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Çamlıhemşin İlçesi'nin ekoturizm uygunluğunu belirlemek için kullanılan kriterlerin, AHS yöntemi ile belirlenen ortalama ağırlık, ortalama ağırlıkların yüzdeleri ve ağırlık sıralamaları.

Kriterler	Ortalama Ağırlık	Ortalama Ağırlık (%)	Ağırlık Sıralaması
K1	0,037	3,7	10
K2	0,024	2,4	12
K3	0,017	1,7	14
K4	0,041	4,1	7
K5	0,030	3,0	11
K6	0,030	3,0	11
K7	0,020	2,0	13
K8	0,063	6,3	5
K9	0,038	3,8	9
K10	0,220	22,0	1
K11	0,137	13,7	3
K12	0,039	3,9	8
K13	0,083	8,3	4
K14	0,175	17,5	2
K15	0,046	4,6	6

4.2. CBS ve AHS Bütünleşik Yöntemi ile Alt Kriterlerin Analizi

4.2.1. Yükseklik (K1)

Yükseklik, doğal bitki örtüsü ve manzara zenginliğine doğrudan etki etmektedir. Öyle ki yükseklik bakımından farklılık gösteren sahalar ekoturizm için de ayrı ayrı çekicilikler sunmaktadır. Çalışma alanını oluşturan Çamlıhemşin ilçesinin yükseltisi 170 m ile 3932 m arasında değişmektedir. Yükseltinin ekoturizm ile olan ilişkisi göz önüne alınarak yapılan uzman değerlendirmelerinde, 1500-2500 m en uygun, 500-1500 m ve 2500-3500 m orta derece uygun, 170-500 m ve 3500-3932 m uygun değil olarak belirlenmiştir. Yapılan "*yükselti dağılımı uygunluğu*" analiz sonucuna göre çalışma alanının; 252 km²'si en uygun, 505 km²'si orta derece uygun ve 17 km²'si uygun değil olarak tespit edilmiştir (Tablo 7; Şekil 4).

4.2.2. Eğim (K2)

Ekoturizmin uygunluğunu etkileyen bir diğer topografik parametre ise eğimdir. Ekoturizm gelişimi için arazi değerlendirmesinde eğim, çok temel bir faktör

olarak değerlendirilebilir (Bali ve ark., 2015). Eğim örneğin, şelale oluşumunda yapıcı bir etkiye sahipken yerleşim, ulaşım ve tarım gibi erişilebilirlikle ilişkili faaliyetler için ise sınırlayıcı bir etkiye sahiptir. Eğimi, >%45'ten fazla olan dik alanlar, ekoturizmi kısıtlamaktadır (Bali ve ark., 2015). Sahanın eğim değerleri % 0-78 arasında değişmektedir. Uzman değerlendirmelerine göre % 0-15 en uygun, % 15-30 uygun, % 30-45 uygun değil, % 45-78 eğim değerine sahip olan alanlar ise ekoturizm için hiç uygun değildir. Bu sınıflamaya göre eğim yüzdesinin düşük olduğu akarsu yatakları, buzul vadileri ve plato alanları en uygun alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışma alanının "*eğim dağılımı uygunluğu*" analizine göre; 65 km²'si en uygun, 290 km²'si uygun, 370 km²'si uygun değil ve 49 km²'si hiç uygun değil olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 5).

4.2.3. Bakı (K3)

Bakı, iklim koşulları üzerindeki etkisinden dolayı ekoturizm üzerinde de bir etkiye sahiptir. Ayrıca güneşlenme açısından ekolojik çeşitliliğe etki etmektedir. Çamlıhemşin ilçesinin ekoturizm uygunluğunun belirlenmesinde kullanılan 15 kriter arasında en az öneme sahip (%1,7) ölçüt olan bakı, yamaçların güneş ışınlarını alışı açılarını ifade etmektedir. Karadeniz bilhassa Kaçkar Dağları denildiğinde akla ilk gelen, sahanın kuzey yamaçları ve bu yamaçlardaki biyolojik çeşitliliktir. Fakat bu bölgenin güney yamaçları da farklı bir ekosistem içermektedir (Göncügil, 2009). Bu nedenlerle uzmanlara göre kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı en uygun, güney, güneydoğu ve güneybatı uygun, doğu, batı ve düz alanlar orta derece uygun olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanının "*bakı dağılımı uygunluğu*" analiz sonucuna göre; 332 km²'si en uygun, 236 km²'si uygun, 206 km²'si orta derece uygun olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 6).

4.2.4. Sıcaklık (K4)

Sıcaklık, iklim elemanları içerisinde yaşamı etkileyen en önemli parametredir. Bu nedenle bir bölgenin sıcaklık değerlerini bilmek, yapılacak gezi tipini ve zamanını belirleme açısından oldukça önemlidir (Zarkesh ve Almasi, 2011). Çalışma sahasının yıllık sıcaklık değerleri ortalama 4 °C -22,5 °C arasında değişmektedir. Saha içerisindeki sıcaklık koşulları uzmanlar tarafından 16-22 °C en uygun, 12-16 °C uygun, 9-12 °C orta derece uygun, 4-9 °C uygun değil olarak sınıflandırılmıştır. Sıcaklık bakımından en uygun alanlar, Çamlıhemşin ilçe merkezi, Dikkaya ve Şenyuva köyleri civarına karşılık gelmektedir. Sıcaklık değerlerinin düşük olduğu yerler ise sahanın güneyini çevreleyen dağ silsileleri ile kaplı alanlardır. Çalışma alanının "*sıcaklık dağılımı uygunluğu*" analizine göre; 153 km²'si en uygun, 166 km²'si uygun, 205 km²'si orta derece uygun ve 250 km²'si uygun değil olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 7).

4.2.5. Yağış (K5)

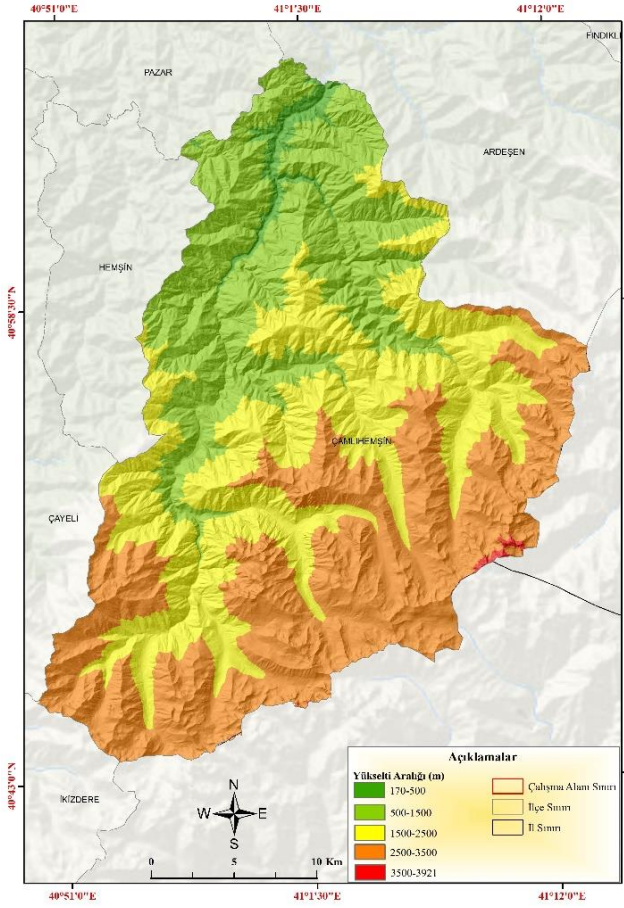
İklim elemanlarından yağış ise yaşamı etkileyen bir diğer önemli parametredir. Genel anlamda flora ve fauna

çeşitliliğine doğrudan etki ederek ekoturizm için uygun doğal ortamlar meydana getirir. Burada öncelikle bilinmesi gereken şey yağış miktarının fazla veya az olması ekoturizm açısından olumsuz bir durum olduğudur (Kaymaz ve ark., 2021). Yukarıda belirtilen görüşlere göre 850,1-1250 mm en uygun, 450,1-850 mm ve 1251-1650 mm orta derece uygun, 69,67-450 mm ve 1651-2000 mm uygun değil olarak belirlenmiştir. En

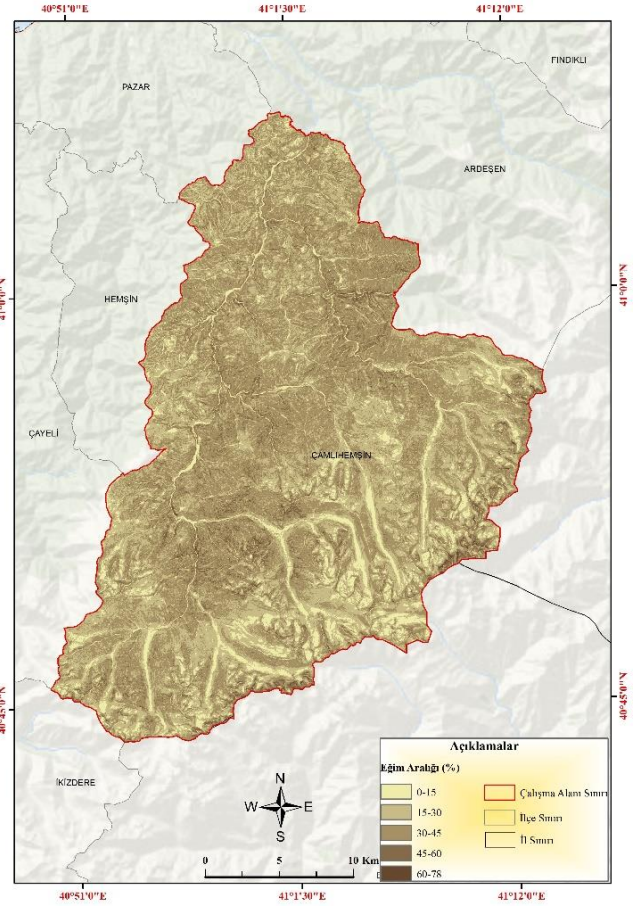
uygun olan yağış değerleri sahanın iç kesiminde yer alan Ayder Yaylası, Sal Yaylası, Pokut Yaylası ve Çatköy civarında iken, Çamlıhemşin merkez Dikkaya civarı ve güneydeki dağlık alanlar ise uygunluğunun az olduğu yerlerdir. Çalışma alanının “yağış dağılımı uygunluğu” analiz sonucuna göre; 165 km²'si en uygun, 434 km²'si orta derece uygun ve 175 km²'si uygun değil olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 8).

Tablo 7. Çamlıhemşin İlçesi'nin ekoturizm uygunluğunu belirlemek için kullanılan kriterler, kriterlerin ortalama ağırlıkları, alt ölçütler, puan ve uygunluk derecelerine göre alan (km) ve yüzdeleri.

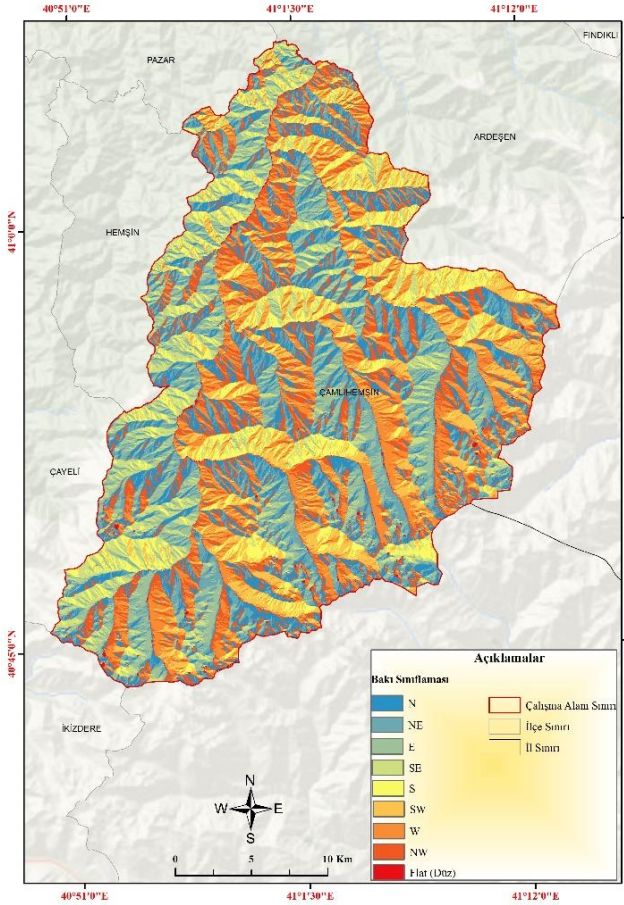
Kriterler	Kriter Ağırlık	Alt Ölçütler	Puan	Alan (km)	Yüzde (%)
K1	0,037	170-500 m ve 3500-3932 m	2	17	2,20
		500-1500 m ve 2500-3500 m	3	505	65,25
		1500-2500 m	5	252	32,55
K2	0,024	% 0-15	5	65	8,40
		% 15-30	4	290	37,47
		% 30-45	2	370	47,80
		% 45-78	1	49	6,33
K3	0,017	Kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı	5	332	42,90
		Güney, güneydoğu ve güneybatı	4	236	30,50
		Doğu, batı ve düz alanlar	3	206	26,60
K4	0,041	16-22 °C	5	153	19,77
		12-16 °C	4	166	21,44
		9-12 °C	3	205	26,49
		4-9 °C	2	250	32,30
K5	0,030	850,1-1250 mm	5	165	21,32
		450,1-850 mm ve 1251-1650 mm	3	434	56,07
		69,67-450 mm ve 1651-2000 mm	2	175	22,61
K6	0,030	Kk1	5	394	50,90
		Kç	4	274	35,40
		Jh	3	104	13,44
		JKb	2	2	0,26
K7	0,020	Kırmızı-sarı podzolik toprak	5	170	21
		Gri-kahverengi podzolik toprak	4	4	1
		Kireçsiz kahverengi orman toprağı, seyrek toprak örtüsü ve yüksek dağ çayır toprağı	3	600	78
K8	0,063	%70-100 en uygun	5	280	36
		%10-70 orta derece uygun	3	440	57
		%0-10 hiç uygun değil	1	54	7
K9	0,038	Mera alanı, orman örtüsü ve doğal çayırlıklar	5	571	74
		Çalılık-seyrek bitki örtüsü	3	52	7
		Meyve bahçesi ve tarım alanı	2	26	3
K10	0,220	Çıplak kayalık alan	1	125	16
		Korunan alanlar	5	460	59
K11	0,137	Diğer alanların	2	314	41
		0-500 m	5	395	51,03
		500-1000 m	4	240	31
		1000-3000 m	3	138	17,84
		3000-5000 m	2	1	0,13
		5000-10000 m	1	-	-
K12	0,039	0-500 m	5	20	2,58
		500-1000 m ve 1000-3000 m	4	395	51
		3000-5000 m	3	200	25,83
		5000-10000 m	2	155	20,08
		10000-15000 m	1	4	0,51
K13	0,083	0-500 m	5	410	53
		500-1000 m ve 1000-3000 m	4	348,89	45
		3000-5000 m	3	15	1,99
		5000-10000 m	2	0,11	0,01
K14	0,175	10000-15000 m	1	-	-
		0-500 m	5	57	7
		500-1000 m	4	130	17
		1000-3000 m	3	483	63
		3000-5000 m	2	100	12,48
K15	0,046	5000-10000 m	1	4	0,52
		0-500 m	1	15	2
		500-1000 m	2	45	6
		1000-3000 m	3	305	39,40
		3000-5000 m ve 5000-10000 m	5	400	51,60
10000-20000 m	2	9	1		



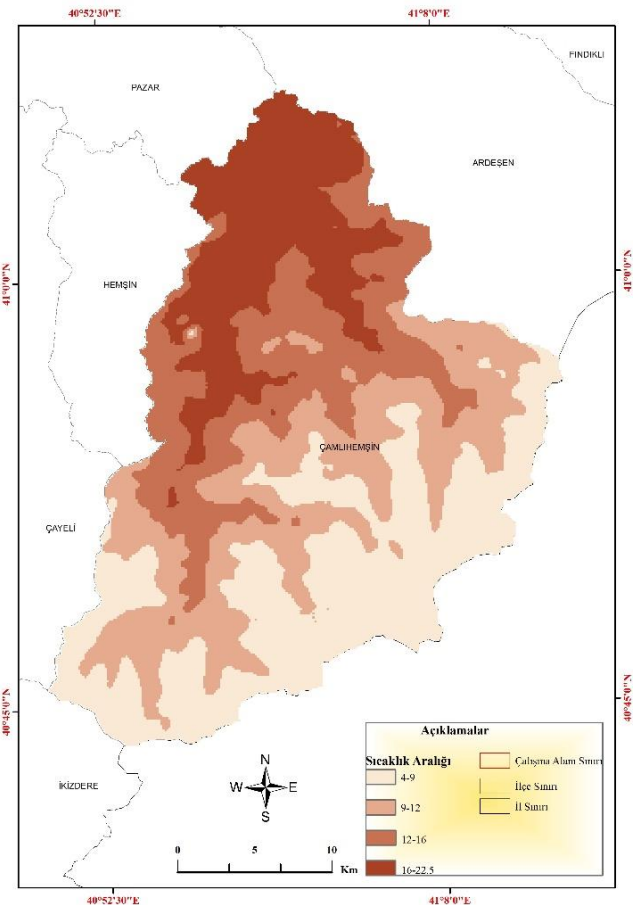
Şekil 4. Yükselti kriterinin dağılış haritası.



Şekil 5. Eğim kriterinin dağılış haritası.



Şekil 6. Bakı kriterinin dağılış haritası.



Şekil 7. Sıcaklık kriterinin dağılış haritası.

4.2.6. Jeoloji (K6)

Jeolojik mirasın, doğaya bıraktığı en değerli kaynakları olan kayalar, fosiller ve tortullar jeoturizmin ve ekoturizmin ilgi alanları içerisinde yer almaktadır. Burada yer alan jeolojik birimler ekoturizm kapsamında jeoçeşitlilik bakımından değerlendirilmektedir. Formasyonlar, kayaç zenginliğine göre uzmanlar tarafından JKb (dolomitik, killi, kumlu, çörtlü kireçtaşı) uygun değil, Jh (bazaltik- andezitik, dasitik lav, kumtaşı, marn) orta derece uygun, Kç (bazaltik-andezitik ve piroklastik, killi kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı; riyodasitik-dasitik; bazalt-aglomera) uygun, Kk1 (granit, granodiyorit, kuvars diyorit, diyorit, gabro, diyabaz) en uygun formasyonlar olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının “jeolojik formasyonların uygunluğu” analizine göre; 394 km²'si en uygun, 274 km²'si uygun, 104 km²'si orta derece uygun ve 2 km²'si uygun değil olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 9).

4.2.7. Toprak (K7)

Yeryüzünün ana örtüsünü oluşturan toprak, bitki örtüsü türünü, su geçirgenliğini ve arazi kullanımını belirlemektedir (Gigović ve ark., 2016). Uzmanlarca; kırmızı-sarı podzolik toprak en uygun, gri-kahverengi podzolik toprak uygun, kireçsiz kahverengi orman toprağı, seyrek toprak örtüsü ve yüksek dağ çayır toprağı ise orta derece uygun olarak belirlenmiştir. Değerlendirmede toprakların besledikleri bitki türleri ve renk özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Çünkü toprağın bitki örtüsüne can vermesi ve doğaya görsel canlılık sunması ekoturizm açısından oldukça değerlidir. Örneğin; *kırmızı-sarı podzolik topraklar*, organik madde bakımından zengin olmaları buna bağlı olarak da lifli geniş yapraklı ağaç türlerini beslemelerinden dolayı en uygun olarak puanlanmıştır. Çalışma alanının “toprak dağılışı uygunluğu” analiz sonucuna göre; 170 km²'si en uygun, 4 km²'si uygun ve 600 km²'si orta derece uygun olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 10).

4.2.8. Bitki örtüsü yoğunluğu (K8)

Yapılan çalışmalarda bitki örtüsünün ekoturizm faaliyetleri için eşsiz potansiyellere sahip olduğu ortaya konulmuştur (Bunruamkaew ve Murayam, 2011; Bali ve ark., 2015). Ormanlar ise bitki örtüsü içerisinde ekoturizm gelişiminin en yüksek olduğu alanlardır (Gigović ve ark., 2016). Uzmanlara göre %0-10 çıplak alan, %10-70 seyrek bitki örtüsü, %70-100 yoğun bitki örtüsü olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre, %70-100 en uygun, %10-70 orta derece uygun, %0-10 hiç uygun değil olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanının “bitki örtüsü uygunluğu” analizine göre; 280 km²'si en uygun, 440 km²'si orta derece uygun ve 54 km²'si ise hiç uygun değil olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 11).

4.2.9. Arazi kullanımı (K9)

Bir bölgedeki mekânın kullanım kalıpları, arazi kullanımı terimiyle ifade edilmektedir. Arazinin mekânsal olarak nasıl kullanıldığı ekoturizm açısından büyük bir öneme sahiptir. Örneğin; ormanlık alanlar

ekoturizm için cazip iken, sanayi alanları ve tarım arazileri ise cazip değildir (Gigović ve ark., 2016; Bali ve ark., 2015). Nitekim bu çalışmada da doğal ve insan kullanımından uzak olan alanlar daha değerli görülmüştür. Bu bakımdan mera alanı, orman örtüsü ve doğal çayırliklar en uygun, çalılık-seyrek bitki örtüsü orta derece uygun, meyve bahçesi ve tarım alanı uygun değil, çıplak kayalık alan hiç uygun değil olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının “arazi kullanım sınıflarına göre uygunluk” analizi sonucunda; 571 km²'si en uygun, 52 km²'si orta derece uygun, 26 km²'si uygun değil ve 125 km²'si hiç uygun olmayan alanlardır (Tablo 7; Şekil 12).

4.2.10. Hassas (Korunan) alan (K10)

Ekoturizm uygunluğu belirlemede kullanılan ölçütlerden en önemlisi hassas alanlardır. Hassas-korunan alanlarda, doğanın ve doğal güzelliklerin korunması ekoturizmin gelişimi için hayati önem taşımaktadır (Goodwin, 1996; Gigović ve ark., 2016). Çamlıhemşin ilçesinin yaklaşık 460 km²'si (Kaçkar Dağları Milli Parkı, Tar-Bulut Şelalesi Tabiat Anıtı, Kaçkar ve Verçenek Dağı Yaban Hayatı Geliştirme Sahası) hassas ve korunan alanları meydana getirmektedir. Uzmanlarca korunan alanlar en uygun ve diğer alanların ise uygunluğu daha düşük olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanının “hassas (korunan) alanların uygunluğu” analizine göre; 460 km²'si en uygun ve 314 km²'si uygun değil olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 13).

4.2.11. Su kaynaklarına uzaklık (K11)

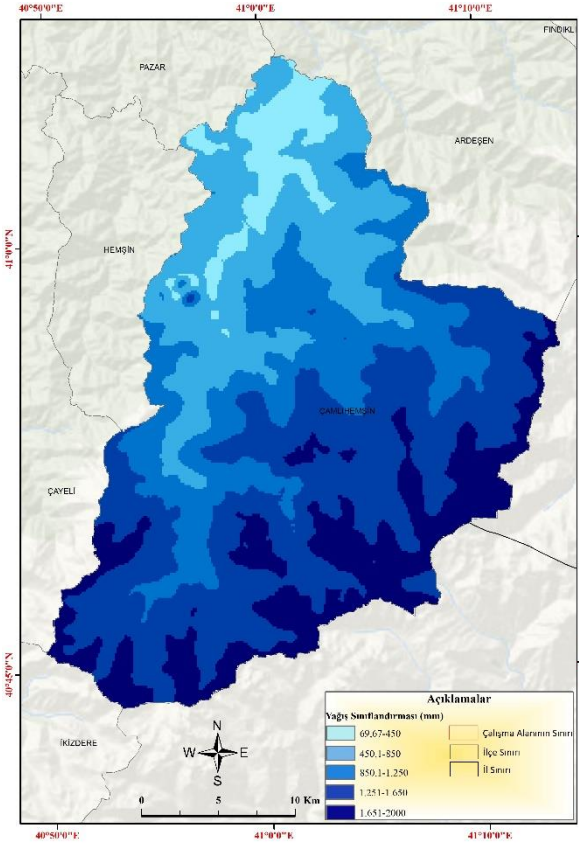
Su, canlı yaşamı için vazgeçilmez bir kaynaktır. Su kaynakları, insanlık tarihi boyunca çeşitli medeniyetlerin ortaya çıkmasında ve gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır. Ayrıca antik çağda ve günümüz modern dünyasında nehirler, doğal ve yapay göller seyyahların, turistlerin dikkatini çeken çeşitli hidrografik kaynaklardır (Prideaux ve ark., 2009). Çamlıhemşin ilçesi su varlığı bakımından zengin bir potansiyele sahiptir. Birçok göl ve akarsuya sahip olan saha için 0-500 m en uygun, 500-1000 m uygun, 1000-3000 m orta derece uygun, 3000-5000 m arası uygun değil, 5000-10000 m arası ise hiç uygun değil olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının “su kaynaklarına uzaklık açısından uygunluk” analizi sonucuna göre; 395 km²'si en uygun, 240 km²'si uygun, 138 km²'si orta derece uygun ve 1 km²'si uygun değil olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 14).

4.2.12. Yerleşim yerlerine uzaklık (K12)

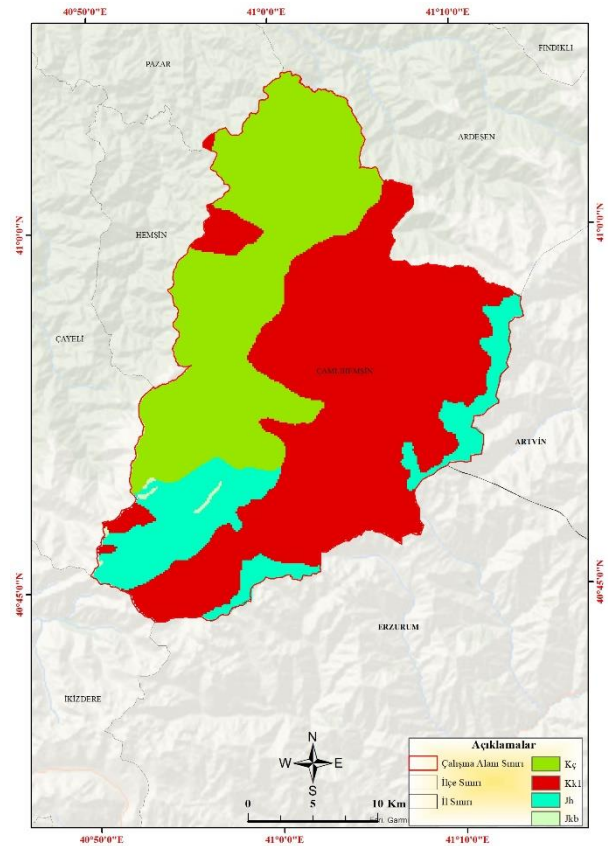
Ekoturizm için önemli olan bir diğer hususta yerleşim birimlerine uzaklıktır. Kentsel alanlar ve kalabalık nüfus yoğunluğu ekoturizmde olumsuz bir faktör olarak değerlendirilirken, daha az nüfuslu kasaba, köy ve yayla gibi daimî ve/veya geçici yerleşim birimleri olumlu bir etkiye sahiptir. Dünyada yerel halkın ekonomik, çevresel ve sosyal etkileşiminin güçlü olduğu yerellik, ekoturistler ve halk arasında pozitif durumlar meydana getirmektedir (Schweinsberg ve ark., 2018). Sahanın kasaba, köy ve yayla yerleşim birimlerine sahip olmasından dolayı, yerleşim birimlerine yakınlık uzmanlarca olumlu olarak değerlendirilmiştir. Çünkü bu

alanlar, kentsel görünümde olmayan, nüfus yoğunluğunun az olduğu, çeşitli mal ve hizmetleri (konaklama, yeme-içme vs.) satın alabilecekleri yerlerdir. Bu nedenlerle, 0-500 m en uygun, 500-1000 ve 1000-3000 uygun, 3000-5000 orta derece uygun, 5000-10000 m uygun değil, 10000-15000 hiç uygun değil

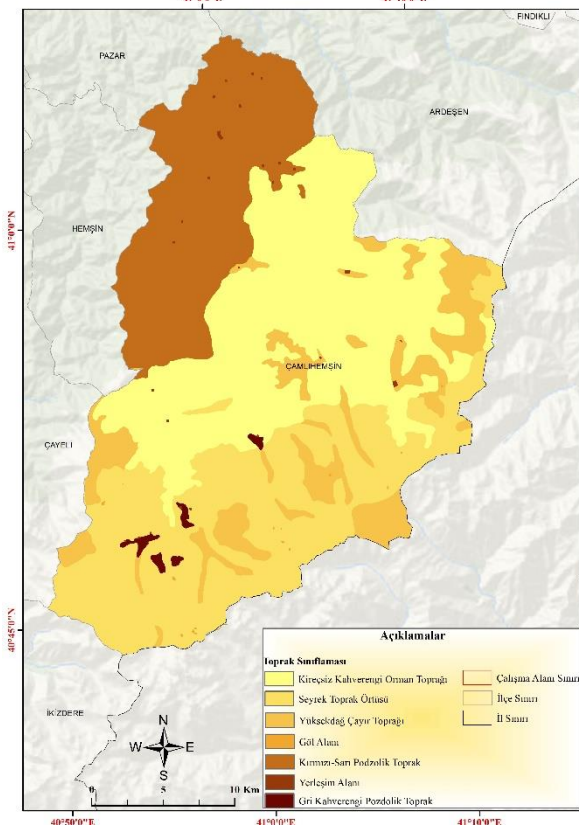
olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının “yerleşim yerlerine uzaklık açısından uygunluk” analizi sonucuna göre; 20 km²'si en uygun, 395 km²'si uygun, 200 km²'si orta derece uygun, 155 km²'si uygun değil ve 4 km²'si hiç uygun değil olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 15).



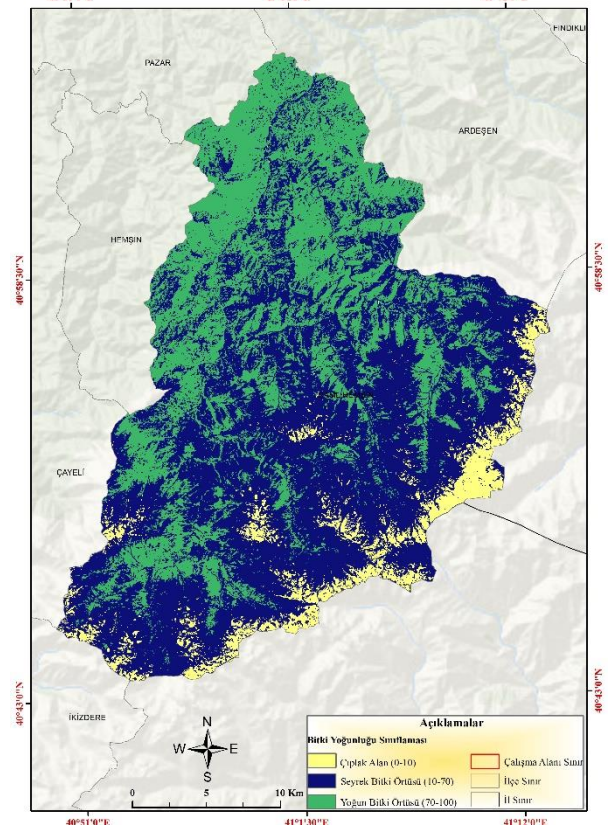
Şekil 8. Yağış kriterinin dağılış haritası.



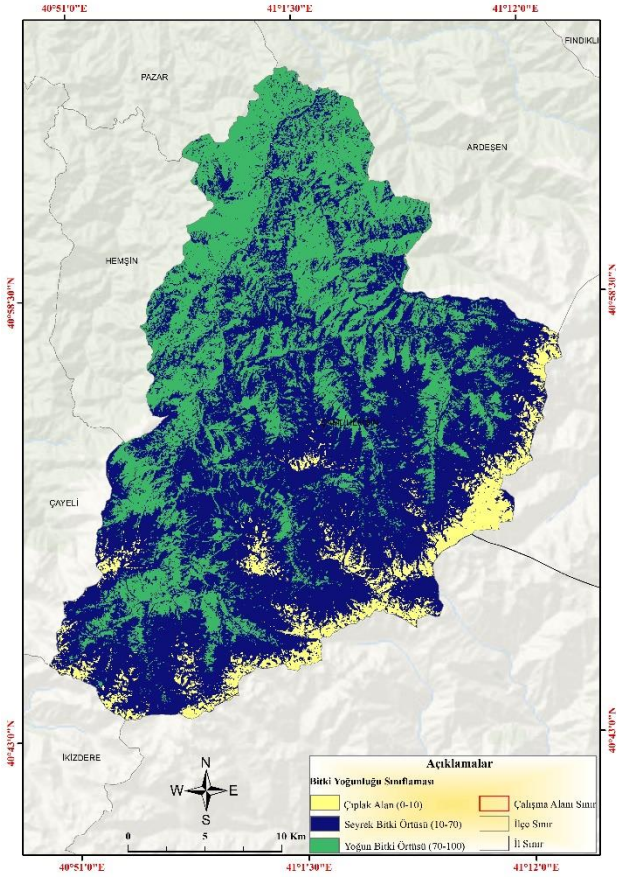
Şekil 9. Jeoloji kriterinin dağılış haritası.



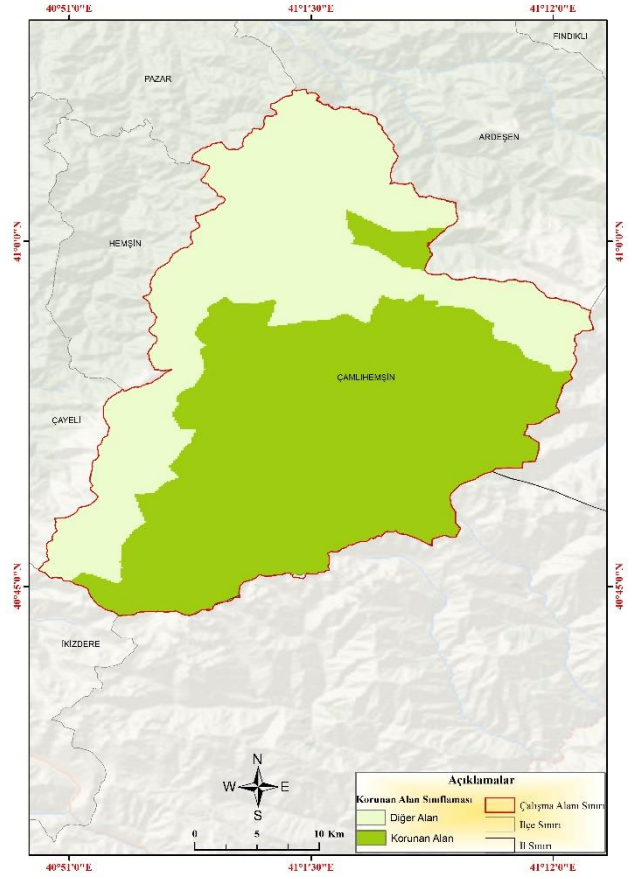
Şekil 10. Toprak kriterinin dağılış haritası.



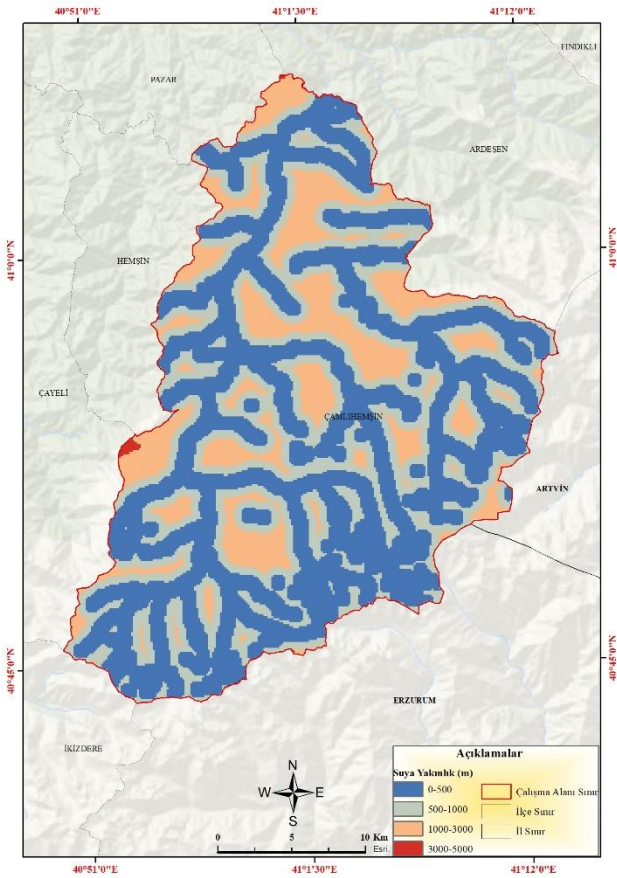
Şekil 11. Bitki yoğunluğu kriterinin dağılış haritası.



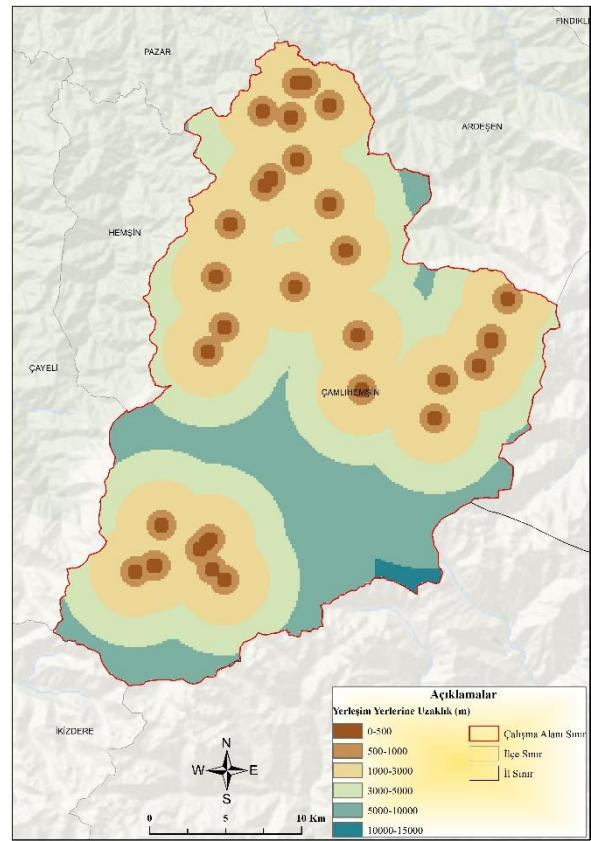
Şekil 12. Arazi kullanım kriterinin dağılış haritası.



Şekil 13. Hassas (Korunan) alan kriterinin dağılış haritası.



Şekil 14. Su kaynaklarına uzaklık haritası.



Şekil 15. Yerleşim yerlerine uzaklık haritası.

4.2.13. Ulaşım yollarına uzaklık (K13)

Ulaşım, turizm altyapısının en önemli unsurlarından biridir. Ülke, bölge veya bir yörenin turizm kaynakları, ancak erişilebilir olduğunda anlam kazanabilir (Özgüç, 2003). Öyle ki dağlık ve engebeli bir araziye sahip Çamlıhemşin ilçesinde ekoturizm faaliyetlerinin yapılabilmesi için ulaşım ehemmiyetli bir husustur. Bu kapsamda ekoturizm alanlarının ulaşım hatlarına yakın olması gerekmektedir. Uzmanlardan alınan görüşlere göre 0-500 m en uygun, 500-1000 ve 1000-3000 uygun, 3000-5000 orta derece uygun, 5000-10000 m uygun değil, 10000-15000 hiç uygun değil olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanının “ulaşım yollarına uzaklık açısından uygunluk” analizi sonucuna göre; 410 km²'si en uygun, 348,89 km²'si uygun, 15 km²'si orta derece uygun ve 0,11 km²'si uygun değil olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 16).

4.2.14. Turistik kaynaklara uzaklık (K14)

Ekoturizm kavramı, yaygın olarak doğayla ilgili turizm işletmelerini tanıtmak amacıyla kullanılmaktadır. Ancak ekoturizm, sadece doğa anlamına gelmez, aynı zamanda da kültürel değerleri de kapsar (Barna ve ark., 2011). Bu ölçütte tarihi camiler, tarihi köprüler, tarihi evler-konaklar ve tarihi kaleler gibi kültürel miras değerlerinin yanı sıra göller, şelaleler ve yaylalar da analize dâhil edilmiştir. Uzmanlara göre 0-500 m en uygun, 500-1000 m uygun, 1000-3000 m orta derece uygun, 3000-5000 m uygun değil, 5000-10000 m hiç uygun değil olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanının “turistik değerlere uzaklık açısından uygunluk” analizi sonucuna göre; 57 km²'si en uygun, 130 km²'si uygun, 483 km²'si orta derece uygun, 100 km²'si uygun değil ve 4 km²'si hiç uygun değil olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 17).

4.2.15. Negatif faktörlere uzaklık (K15)

Rize AFAD yetkilileri ve Çamlıhemşin Belediyesi'nden alınan bilgilere göre heyelan, kaya düşmesi ve çığ bölgede sık ve ciddi görülen doğal afetler arasında yer almaktadır. Heyelan; Behice köyü, Dikkaya köyü, Topluca köyü ve Çayırdüzü köyü, kaya düşmesi; Behice ve Dikkaya köyü, çığ ise Palovit, Trovit, Samistal, Aşağıkavron, Yukarıkavron Ayder, Aşağıceymakcur, Yukarıceymakcur ve Tapkur yaylaları gibi yüksek kesimlerde görülmektedir. Ayrıca Ayder Yaylası mevkiinde Ayder yolu üzerinde yer alan TOKİ çalışması da çevresel kirlilikten ve ekolojik dengeye verdiği zarardan dolayı olumsuz olarak değerlendirilmiştir. Burada negatif faktörlere yakınlık olumsuz bir sonuç oluştururken, uzaklık ise olumlu bir sonuç çıkarmaktadır. Nitekim çalışma alanında olumsuz faktörlere olan uzaklık bakımından 0-500 m hiç uygun değil, 500-1000 m uygun değil, 1000-3000 m orta derece uygun, 3000-5000 m ve 5000-10000 m en uygun, 10000-20000 m uygun değil olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanının “negatif faktörlere uzaklık açısından uygunluk” analizi sonucuna göre; 15 km²'si hiç uygun değil, 54 km²'si uygun değil, 305 km²'si orta derece uygun ve 400 km²'si en uygun olarak belirlenmiştir (Tablo 7; Şekil 18).

Tablo 7'de ayrı ayrı ele alınan 15 kriter ağırlıklı çakıştırma (weighted overlay) ile dört ana grupta birleştirilmiştir.

4.3. CBS ve AHS bütünleşik yöntemi ile topografik faktörlere dayalı uygunluk analizi

Topografik uygunluk haritası, bu guruba dâhil olan alt kriterlerin (yükselti, eğim ve bakı) çakıştırılmasıyla elde edilmiştir. Buna göre en uygun alanlar 1500-2500 m yükseltiye ve %0-30 eğim değerlerine sahip olan yerlerdir. Bu alanlar çoğunlukla yayla alanlarını kapsamaktadır. Uygun ve orta derece uygun olan alanlar ise en uygun olan sahaları çevrelemektedir. Topografik olarak 170-500 m yükseltideki Dikkaya-Behice köyleri gibi alçak alanlar ve 3500-3921 m yükseltideki yaklaşık %60-78 eğime sahip Kaçkar-Bulut Dağlarının zirve kısımları ekoturizme uygun görülmemiştir. Çalışma alanının topografik faktörlere dayalı uygunluk analizine göre; 84 km²'si en uygun, 355 km²'si uygun, 320 km²'si orta derece uygun ve 15 km²'si uygun değil olarak belirlenmiştir (Şekil 19).

4.4. CBS ve AHS bütünleşik yöntemi ile doğal faktörlere dayalı uygunluk analizi

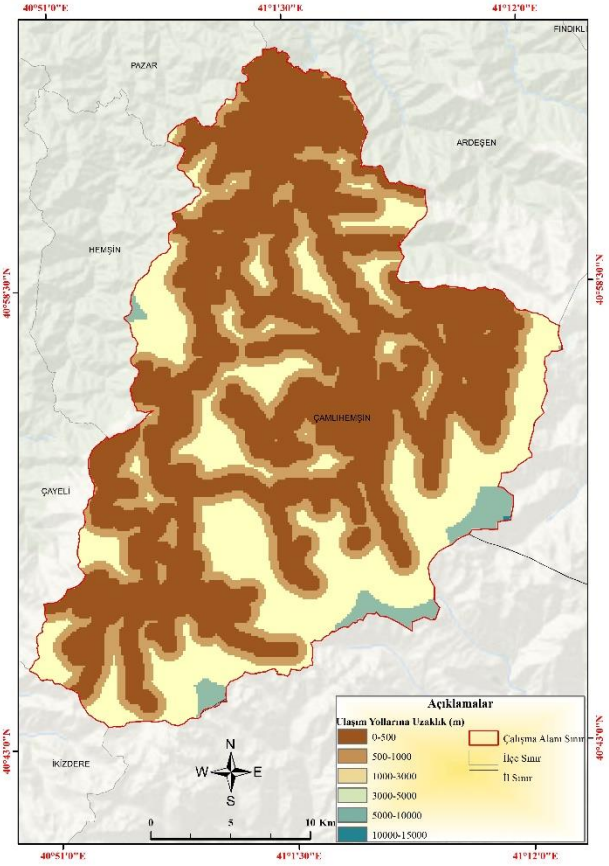
Doğal uygunluk haritası, bu gruba dâhil olan alt kriterlerin (sıcaklık, yağış, jeoloji ve toprak) çakıştırılmasıyla elde edilmiştir. Buna göre en uygun sahalar ortalama 16-22,5 °C sıcaklık, 450-800 mm yağış, kırmızı-sarı podzolik toprak ve Kk1 (granit, granodiyorit, kuvars diyorit, diyorit, gabro, diyabaz) formasyonunu içeren alanlardır. Bu sahalar Cicikar Tepe, Kalbun Tepe, Kösemin Dağı, Şenyuva kuzey mahallesi, Seyrankar mezarası ve Boğaz Tepesi'dir. Sıcaklığın 4-9 °C'a düştüğü, 1650-2000 mm yağış alan, seyrek toprak örtüsüne ve genel olarak Jh (bazaltik-andezitik, dasitik lav, kumtaşı, marn) formasyonuna sahip Cimil Dağı, Koçbayırı, Tatos Dağı, Kaçkar Dağı, Yaz Dağı ve Avgahan Tepesi ekoturizme doğal olarak uygun olmayan alanlardır. Orta uygunluktaki alanlar ise uygun olmayan alanların çevresinde yer almakla birlikte Samistal Yaylası, Kızılkaya Tepesi ve Palovit Yaylarına kadar uzanmaktadır. Çalışma alanının doğal faktörlere dayalı uygunluk analizine göre; 8 km²'si en uygun, 462 km²'si uygun, 260 km²'si orta derece uygun ve 44 km²'si uygun değil olarak belirlenmiştir (Şekil 20).

4.5. CBS ve AHS bütünleşik yöntemi ile çevresel faktörlere dayalı uygunluk analizi

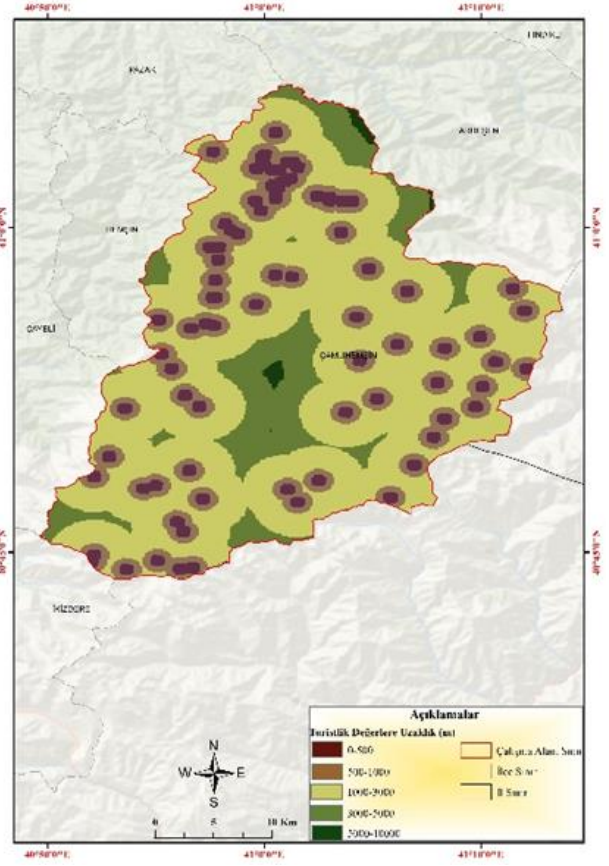
Çevresel uygunluk haritası, bu gruba dâhil olan alt kriterlerin (bitki yoğunluğu, arazi kullanımı, hassas alan varlığı ve su kaynaklarına uzaklık) çakıştırılmasıyla elde edilmiştir. Korunan alanların önem derecesinin yüksek olması diğer alanların uygunluğunu azaltmaktadır. Kaçkar Dağları Milli Parkı ve Tar Deresi Bulut Şelalesi Tabiat Anıtı içerisinde kalan, %10-70 bitki örtüsü yoğunluğuna sahip doğal çayırılık ve mera alanlarının bulunduğu sahalar yüksek derece uygun çıkmıştır. Uygun olmayan alanlar ise korunan alanların dışında kalan, suya olan uzaklığın arttığı ve/veya tarım-meyve bahçelerinin olduğu yerler olduğu görülmektedir. Analiz

sonucuna göre; Şenyuva, Ortanköy, Sal Yaylası, Pokut Yaylası ve Avucur Yaylasının sırası orta uygunlukta iken, Koçbayırı, Cimil Dağı, Avgahan Tepesi ve Karap Tepesi çevresel olarak uygun olmayan alanlar olarak tespit

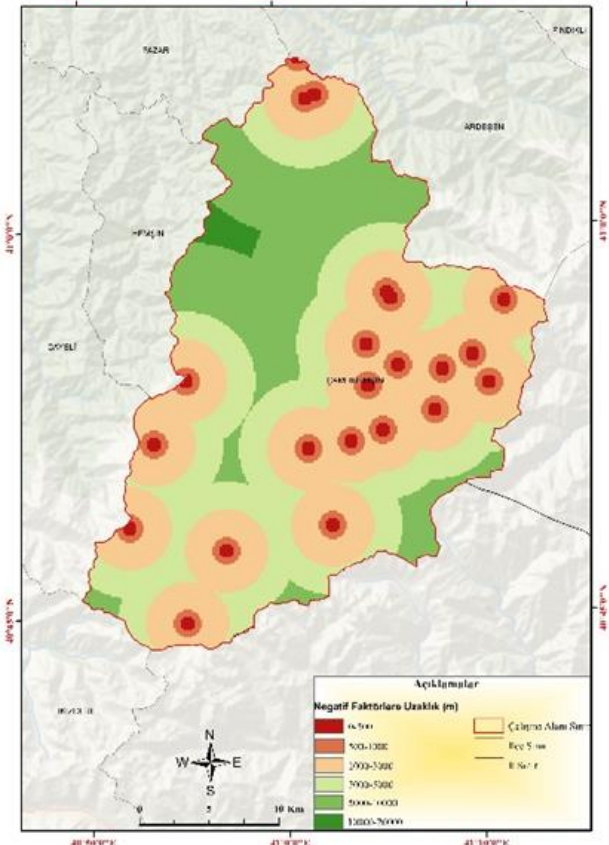
edilmiştir. Çalışma alanının çevresel faktörlere dayalı uygunluk analizine göre; 230 km²'si en uygun, 215 km²'si uygun, 228 km²'si orta derece uygun ve 101 km²'si uygun değil olarak belirlenmiştir (Şekil 21).



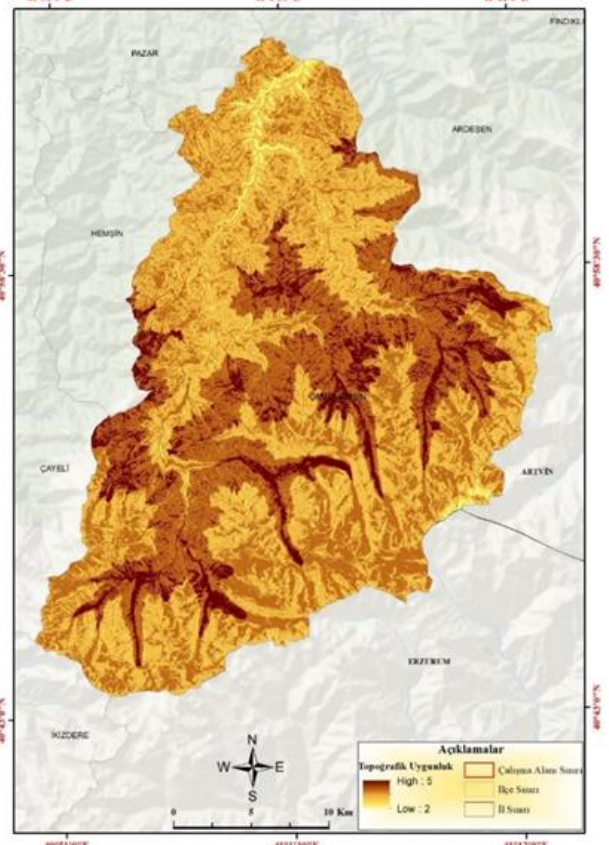
Şekil 16. Ulaşım yollarına uzaklık haritası.



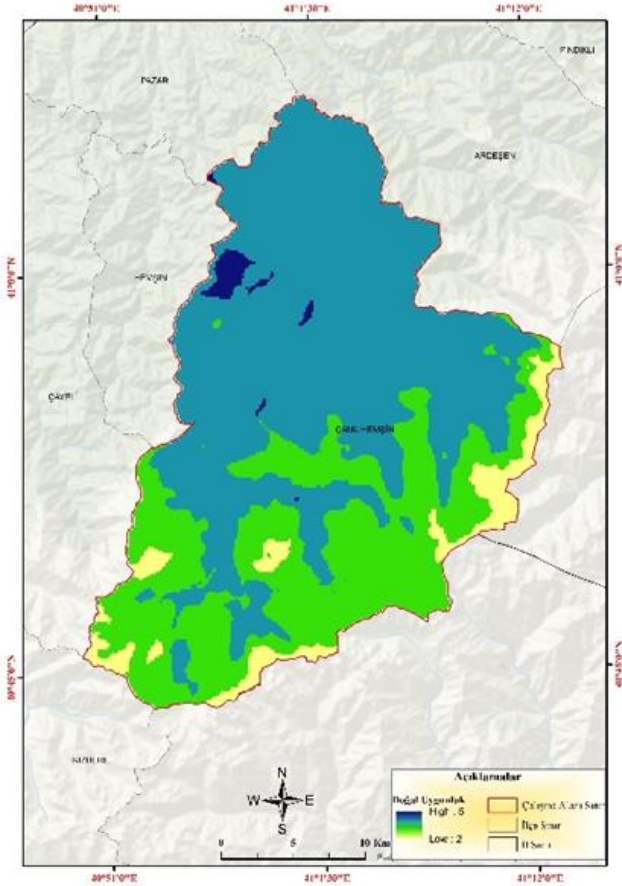
Şekil 17. Turistik kaynaklara uzaklık haritası.



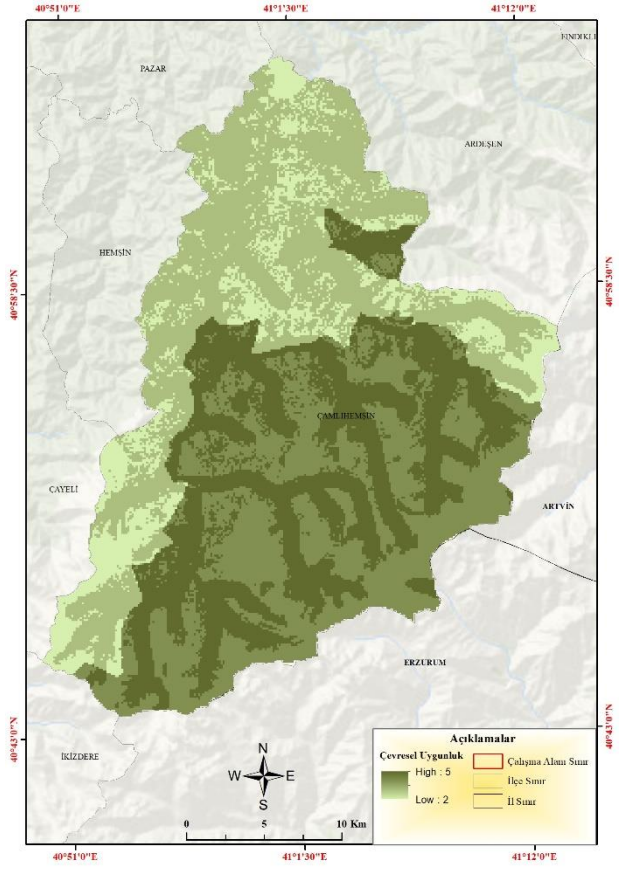
Şekil 18. Negatif faktörlere uzaklık haritası.



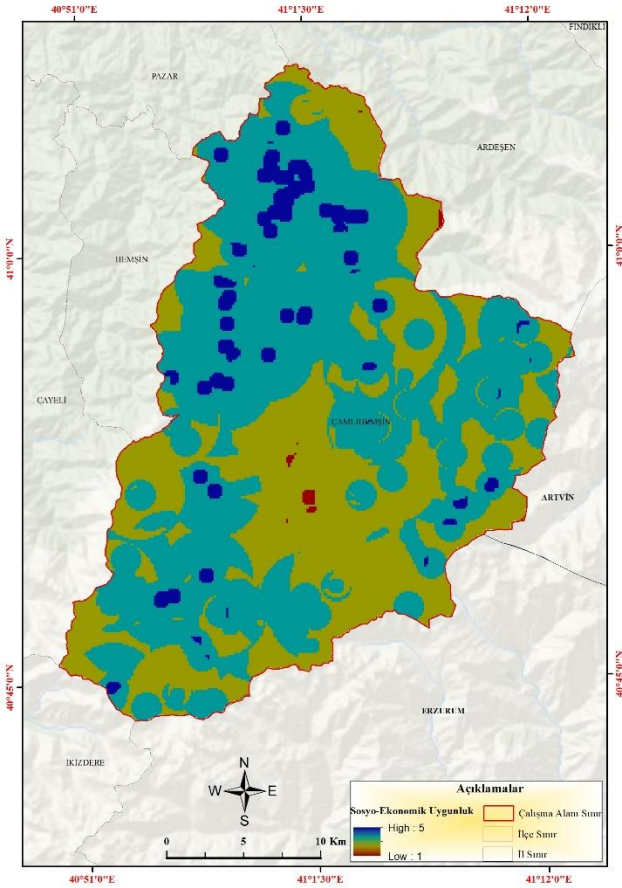
Şekil 19. Topografik faktörlere dayalı uygunluk haritası.



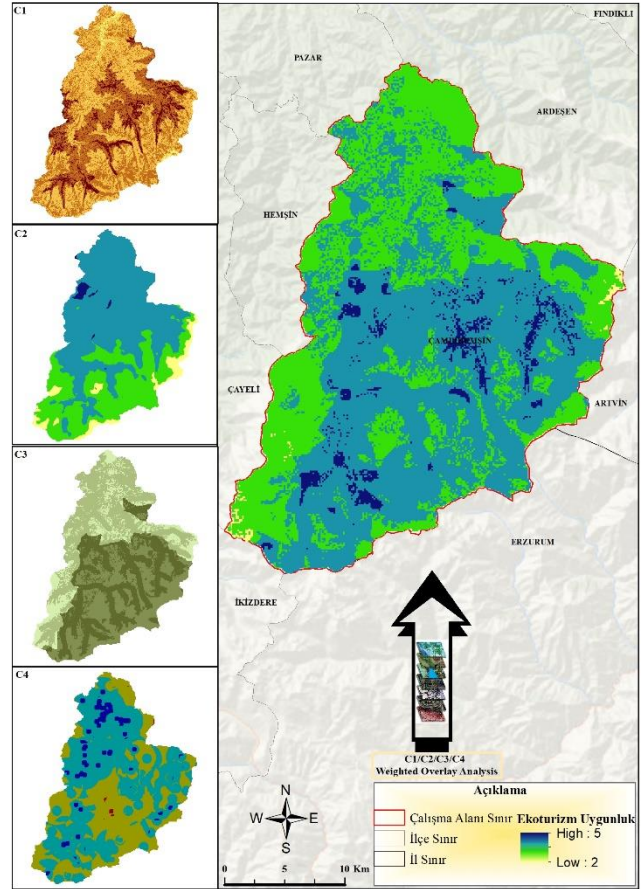
Şekil 20. Doğal faktörlere dayalı uygunluk haritası.



Şekil 21. Çevresel faktörlere dayalı uygunluk haritası.



Şekil 22. Sosyo-ekonomik faktörlere dayalı uygunluk haritası.



Şekil 23. Nihai uygunluk haritası.

4.6. CBS ve AHS bütünleşik yöntemi ile sosyo-ekonomik faktörlere dayalı uygunluk analizi

Sosyo-ekonomik uygunluk haritası, bu gruba dâhil olan alt kriterlerin (yerleşim birimlerine uzaklık, ulaşım yollarına uzaklık, turistik kaynaklara uzaklık ve negatif faktörlere uzaklık) çakıştırılmasıyla elde edilmiştir. Bu analizde, turistik/kültürel alanlara, yollara ve yerleşim birimlerine yakınlık olumlu etki ederken, negatif faktörler uygunluk derecesini düşürmüştür. Örneğin Ayder Yaylası turistik/kültürel alanlara, yollara ve yerleşim birimlerine yakın olmasına rağmen uygun alanlar sınıfında yer almıştır. Köprübaşı, Muratköy, Çamlıhemşin ilçe merkezi, Konaklar, Yolkiy, Ortanköy, Aşağışimşirlik, Yukarışimşirlik, Göroluk, Kaplıca, Şenyuva, Ülküköy, Sal Yaylası, Pokut Yaylası, Hazindak Yaylası, Şenköy, Zilkale, Badara mezarası, Çatköy, Ortayayla ve Kavron buzul gölleri mevki sosyo-ekonomik açıdan en uygun alanlardır. Diğer taraftan Yaylaköy, Kitokible Tepesi ve Tafteni mahallesi yollara ve yerleşmelere yakın olmalarına karşın kültürel ve negatif ölçütlerden dolayı sosyo-ekonomik olarak uygun olmayan alanlar olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanının sosyo-ekonomik faktörlere dayalı uygunluk analizine göre; 31 km²'si en uygun, 440 km²'si uygun, 301 km²'si orta derece uygun ve 2 km²'si uygun değil olarak belirlenmiştir (Şekil 22).

4.7. CBS ve AHS bütünleşik yöntemi ile ekoturizme uygun alanların belirlenmesinde nihai uygunluk analizi

Nihai uygunluk analizi sonucuna göre; ekoturizm uygunluğu çok yüksek olan alanlar, çoğunlukla korunan-hassas alanlar içerisinde yer almanın yanı sıra doğal ve kültürel çekiciliklerin yoğun olduğu, topografik, çevresel ve sosyo-kültürel açıdan da ekoturizme negatif etkide bulunmayan sahalar olarak dikkat çekerler. Zilkale ve çevresi, Zilkale köyü ve çevresi, Sıcak mezarası, Şenköy ve çevresi, Palovit Şelalesi ve çevresi, Amlakit Yaylası, Hazındağ Yaylası, Pertusun Tepesi, Palovit Yaylası, Trovit Yaylası, Çatköy, Çilinç Yaylası, Çiçekli Yaylası ve Yıldız gölü civarı, Ortayayla, Ortasirt Yaylası, Kale köy, Aşağıceymakcur, Yukarıceymakcur, Aşağıkavron, Yukarıkavron, Bulut (Tar) Şelalesi ve çevresi, Aşağışimşirli mahallesi ve çevresi ekoturizm uygunluğu en yüksek alanlardır.

Uygun olan alanlar ise yine korunan-hassas alanlar içerisinde yukarıda belirtilen çok uygun alanların çevresinde yer almaktadır. Nitekim bu sahalar içerisinde; Ayder Yaylası, Samistal Yaylası, Avusor Yaylası, Dobape Yaylası, Bektaş Tepesi, Kito Yaylası, Meydanköy, Yaylaköy, Karunç Yaylası, Pokut Yaylası, Sal Yaylası, Göroluk, Şenyuva, Konaklar, Ortanköy, Boğaziçi, Yolkiy köyü ekoturizme uygun olarak değerlendirilen yerlerdir. Ayder Yaylası hem çığ tehlikesi hem de doğanın yapısına uygun olmayan mimarileşme sonucu çok uygun alanların dışında kalmıştır. Ayder Yaylası hariç diğer uygun olan alanlar gelişmeye açık sahalardır.

Orta derece uygun alanlar ise genel olarak doğal çeşitliliğin azaldığı, özellikle bu alanların çoğunluğu korunan-hassas alanların dışın kalan yerlerdir. Yaz Dağı, Kızıl Tepe, Gürcan Tepe, Horcan Tepe, Enlibayır Tepe,

Kebut Tepe, Pornak Tepe, Kortak Tepe, Kızılkaya Tepe, Sıcok Yaylası, Sele Gediği, Okvame Tepesi, Hacızeni Yaylası, Peryatak Yaylası, Çamyatak Yaylası, Tıkça Yaylası, Oba Dağı, Tikisirlilik Tepesi, Kösemin Dağı, Sayolar Dağı, Avup Dağı, Çamlıhemşin ilçe merkez, Dikkaya, Behice, Güllüköy ve Çayırdüzü ekoturizme orta derece uygun alanlardır.

Ekoturizme uygun olmayan alanlar ise artık doğal ve kültürel çekiciliğin, topografik, çevresel ve sosyo-ekonomik açıdan da uygunluğun azaldığı yerlerdir. Demirkapı Dağları'nın batı tarafında yer alan Cimil Dağı, Koç Bayırı, Baltası Tepesi, Orta Tepe, Çelik Tepe, Ayvikur Tepesi ve Kemerlikaçkar Dağı'dır (Şekil 23).

5. Sonuçlar

Tüm bilimsel çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmanın da teorik ve pratik olarak çeşitli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Teorik açıdan çalışmanın bazı çıkarımları vardır. Öncelikle Çamlıhemşin ilçesine yönelik yapılan ekoturizm çalışmalarında uygunluk modeli oluşturmaya yönelik bir araştırmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışma Çamlıhemşin ilçesinin ekoturizme uygun alanlar konusunu model olarak ele alan ilk ve en kapsamlı çalışmadır. Bu modelin oluşturulması, ekoturizm kaynaklarının doğru ve sürdürülebilir kullanımı açısından oldukça önemlidir. Uluslararası, ulusal, bölgesel ve yerel (fiziki ve beşerî özellikler) kaynaklar üzerinden belirlenen kriterlerin ağırlık değerlerinin belirlenmesi için 10 uzman görüşüne başvurulmuştur. Uzman değerlendirmelerinin yer aldığı AHS anketi analiz edilerek 4 ana ve 15 alt kriterin önem dereceleri yani ağırlıkları belirlenmiştir. Weighed Overlay (Ağırlıklı Çakıştırma) işleminde 15 alt kriterin kendi veri değerlerinin puanlaması ise yine alanında uzman kişilerin olduğu nominal grup yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler ve yapılan analizler sonucunda çalışma alanının 31 km²'si *en uygun*, 436 km²'si *uygun*, 304 km²'si *orta düzeyde uygun*, 3 km²'si ekoturizme *uygun olmayan* alan olarak belirlenmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Çamlıhemşin İlçesi'nin ekoturizme uygun değerlerinin alansal ve yüzdesel dağılımı.

Değerlendirme kriteri	Alan (km ²)	Alan (%)
Çok uygun	31	4
Uygun	436	56.3
Orta derece uygun	304	39.3
Uygun değil	3	0,4
Hiç uygun Değil	-	-

En uygun ve uygun dereceye sahip alanlar öncelikle yaylalar, daha sonra mezra ve köyleri kapsamaktadır. Bu sahalar ekoturizmde öncelikli olarak değerlendirilmesi gereken yerlerdir. Orta derece uygun alanlar ise genel olarak sahanın en alçak ve en yüksek kısımlarında yer alır. Burada gerçekleştirilen ekoturizm faaliyetleri daha sınırlı sayıdadır. Örneğin, Kaçkar Dağları'nın eteklerindeki yaylalarda doğa yürüyüşü, trekking, kamping gibi birçok faaliyet yapılabilirken, zirvelerinde ise dağcılık ve tırmanış faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Uygun olmayan alanlar ise belirlenen kriterlere göre Çamlıhemşin'in ekoturizm gelişimine olanak sunmamaktadır.

Saha gözlemleri ve geliştirilen modele göre Çamlıhemşin'in ekoturizm potansiyeli ve faaliyet çeşitliliği oldukça yüksektir. Alanda yapılan mevcut ekoturizm faaliyetleri de modele uygun bir paralellik göstermektedir. Bu kapsamda; "Doğal ortam ve sosyo-ekonomik koşulların ekoturizmin uygunluğu üzerinde etkisi vardır" hipotezi kabul edilmiştir.

Çamlıhemşin ilçesi; akarsu, göl, şelale, orman, flora ve fauna güzellikleri gibi gerek doğal gerekse kültürel amaca yönelik deneyimler sunabilecek birçok alana sahiptir. Turizme sunulan mal ve hizmetler bağlamında ise Ayder Yaylası göze çarpmaktadır. Ancak Yaylaköy, Çat köy, Yukarıkavran, Pokut, Trovit, Amlakit, Apivanak, Avusor, Başyayla, Ceymakcur, Cimil, Çermeç, Çiçekli, Hacivanak, Hazindak, Karmik, Kito, Komati, Ortayayla, Palakçur, Palovit, Samistal, Sıraköy, Sırtayla, Kaleköy, Mezovit ve Verçenik gibi olağanüstü manzaraları ve temiz havasıyla turizm potansiyelinin yüksek olduğu birçok yerleşim birimleri de bulunmaktadır (Doğu ve ark., 1993; Doğu ve ark., 1995; Doğu ve ark., 1997; Somuncu ve Yılmaz, 2006; Zaman, 2010; Kaymaz ve ark., 2020a). Burada bahsedilen yayla ve köy yerleşmelerinin birçoğu "Çamlıhemşin Ekoturizm Uygunluk" modeline göre en uygun ve uygun statüsünde yerler olduğu tespit edilmiştir. Ayder Yaylası dışında ekoturizm açısından ön plana çıkan ve modele göre daha uygun olan yerler mevcut olmasına rağmen bu yerlerin en önemli problemi sunulan turistik mal ve hizmetler bağlamında sınırlı olmalarıdır. Dolayısıyla bu gibi yerlerde doğayla uyumlu turizm faaliyetlerini desteklemek veya bu alanlarda turizmi geliştirmek, bazı destinasyonlarda yoğunlaşan baskıyı azaltmaya olanak sunacaktır. Bu yüzden konaklama ve diğer hizmetler açısından turist talebini karşılayacak yatırımların en uygun, uygun ve orta derecede uygun olan alanlara kaydırılması gerekmektedir.

Kaçkar Dağları Milli Parkı Türkiye'nin en iyi korunan alanlarından birisidir. Ancak burası için kapsamlı envanter çalışmaları olmasına karşın etkili bir planlama ve sürdürülebilir bir alan yönetiminden bahsetmek zordur (Koca ve ark., 2016). Planlama ve yönetimdeki pürüzler, yerel sakinler ve resmî kurumlar arasında bazı sorunlar meydana getirmektedir. Sahanın daha sürdürülebilir şekilde yönetilebilmesi için yerel halk ve yönetim arasında yaşanan problemler gibi olumsuz durumların çözülmesi gerekmektedir. Aksi taktirde korunan alanlar birer rant sahaları haline gelecektir. Aynı zamanda yerel halk yasal düzenlemelerden dolayı ekonomik problemler yaşadıklarını ve sürekli göç verdiklerini dile getirmişlerdir. Sahada sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için insan gücüne ihtiyaç vardır. Bu nedenle yapılan yasal düzenlemelerde yerel halkın çıkarlarının gözetilmesi gerekmektedir.

Türkiye Turizm 2023 Stratejisi'nde Samsun'dan Hopa'ya kadar uzanan "Yayla Koridoru" projesi önerilmiş olup, bu proje için gerekli faaliyetlere başlanılmıştır. Çamlıhemşin İlçesinde; Yukarıkavran-Samistal-Amlakit-Palovit-Trovit gibi yaylara açılan Yeşil Yol Projesi bu alanlarda erozyon, kaya düşmesi ve çığ gibi tehlikelere neden olmaktadır. Aynı zamanda yapılan bu yol çalışmasının asfalt ve/veya beton malzeme ile yapılması ekolojik dengeye zarar vermektedir. Bu nedenle Yeşil Yol Projesinin durdurulması gerektiği düşünülmektedir.

Yapılan arazi çalışmalarında sahanın geleneksel mimarisine uygun olmayan yapılaşmalar olduğu gözlemlenmiştir. İnşa edilen meskenler, çevre ve ortam ilişkisine bağlı kalınarak tasarlanmalıdır. Aynı zamanda bu alanda oluşturulacak yeni yapılar, yerel yönetimlerce takip edilmelidir.

Sahada yerel halk tarafından dile getirilen; kaçak avcılık, kaçak ağaç kesimi, yol kalitesinin durumu, elektrik kesintisi ve telekomünikasyon gibi sorunların yerel yönetim, ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından denetlenmesi ve belirtilen sorunlara yönelik çözümler üretmesi gerekmektedir.

Rize ilinin en önemli turizm merkezi olan Çamlıhemşin ilçesi için; turizmin kontrolsüz gelişimini önlemek, araziye daha verimli şekilde kullanmak, çevrede ve toplumsal kültürde olumlu değişim meydana getirmek, gelen turist sayısını sınırlandırmak, taşıma kapasitesinin aşılmasına engel olmak ve turizmin belirli destinasyonlarda yoğunlaşmasının önüne geçilmesi noktasında turizmin diğer alanlara yayılması sağlanarak bir alanda oluşan baskının önlenmesi için ekoturizm planlamasının yapılması elzemdir. Ekoturizm uygunluğunun belirlenmesi, doğal çevrenin korunması, yerel kalkınma, kültürel değerlerin sürdürülebilir korunması ve ziyaretçi deneyimi gibi faktörleri değerlendirerek sürdürülebilir turizm uygulamalarının doğru kullanımına yardımcı olur. Bu hususta geliştirilen "Çamlıhemşin Ekoturizm Uygunluk" modelinin karar vericiler-yatırımcılar tarafından yapılacak planlamalara ve bilimsel araştırmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Ayrıca alanın sürdürülebilirliği için; iklim değişikliği ile mücadele, adaptasyon, verimliliği artırıcı, koruma odaklı, dengeli doğal kaynak kullanımı ve eğitim gibi konulara yönelmek ve bu kapsamda yeni yaklaşımlarla çalışmalar gerçekleştirilerek alanın sürdürülebilir turizm gelişimine katkı sunmak gerekir. Bunun için hassas ekosistemleri ile ön plan çıkan alanlarda; ekolojik risk analizlerine, taşıma kapasitesi hesaplamalarına, ekolojik ayak izi, su ayak izi, karbon ayak izi, tarım ayak izi, orman ayak izi, yapılandırılmış alan ayak izi, balıkçılık sahası ayak izi ve otlak ayak izi gibi konulara yönelik çalışmalar yapılmasına ihtiyaç vardır (Dünya Doğay Koruma Vakfı-World Wide Fund for Nature-WWF).

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma, T.C. Atatürk Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından SYL-2022-11272 nolu proje kapsamında desteklenmiş olan ve 19.12.2023 tarihinde Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Ana Bilim Dalı, Coğrafya Bilim Dalında tamamlanan "Çamlıhemşin İlçesi ve Yakın Çevresinin CBS-AHS Yöntemi ile Ekoturizme Uygun Alanlarının Belirlenmesi" başlıklı yüksek lisans tezi esas alınarak hazırlanmıştır.

Araştırmacıların katkı oranı

Cemile Koca: Literatür taraması, Arazi çalışması, Modelleme, Makale yazımı; **Çağlar Kıvanç Kaymaz:** Arazi çalışması, Düzenleme, Analizlerin Doğruluğunun Sınanması

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Adjiski, V., Kaplan, G., & Mijalkovski, S. (2023). Assessment of the solar energy potential of rooftops using LiDAR datasets and GIS based approach. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 188-199. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1112274>
- Akbaba, M. Y., Atay, G., Başeğmez, M., & Aydın, C. C. (2023). Sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için bisiklet ve yürüyüş yolu yer seçimi: Ankara ili Mamak ilçesi Ege mahallesi örneği. *Geomatik*, 8(2), 136-151. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1139226>
- Aruldoss, M., Lakshmi, T. M., & Venkatesan, V. P. (2013). A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *American Journal of Information Systems*, 1(1), 31-43.
- Asadabadi, M. R., Chang, E., & Saberi, M. (2019). Are MCDM methods useful? A critical review of analytic hierarchy process (AHP) and analytic network process (ANP). *Cogent Engineering*, 6(1), 1623153. <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1623153>
- Bali, A., Monavari, S. M., Riazi, B., Khorasani, N., & Zarkesh, M. M. K. (2015). A spatial decision support system for ecotourism development in Caspian Hyrcanian mixed forests ecoregion. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 21(2), 340-353.
- Barna, C., Epure, M., & Vasilescu, R. (2011). Ecotourism-conservation of the natural and cultural heritage. *Review of Applied Socio-Economic Research*, 1(1), 87-96.
- Belton, V., & Stewart, T. (2012). Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Springer Science & Business Media.
- Bunruamkaew, K., & Murayam, Y. (2011). Site suitability evaluation for ecotourism using GIS & AHP: A case study of Surat Thani province, Thailand. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 21, 269-278. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.07.024>
- Bünyan Ünel, F., Kuşak, L., Yakar, M., & Doğan, H. (2023). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanarak Mersin ilinde otomatik meteoroloji gözlem istasyonu yer seçimi. *Geomatik*, 8(2), 107-123. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1136951>
- Canco, I., Kruja, D., & Iancu, T. (2021). AHP, a reliable method for quality decision making: A case study in business. *Sustainability*, 13(24), 13932. <https://doi.org/10.3390/su132413932>
- Cheng, E. W., & Li, H. (2001). Information priority-setting for better resource allocation using analytic hierarchy process (AHP). *Information Management & Computer Security*, 9(2), 61-70. <https://doi.org/10.1108/09685220110388827>
- Coruhlu, Y. E., Solgun, N., Baser, V., & Terzi, F. (2022). Revealing the solar energy potential by integration of GIS and AHP in order to compare decisions of the land use on the environmental plans. *Land Use Policy*, 113, 105899. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105899>
- Çoğalmış, İ. (2019). Yerel Halkın Sürdürülebilir Turizm Algılarının Sürdürülebilir Destinasyon Tutumları Üzerine Etkisi: Ayder Üzerine Bir Araştırma [Yüksek lisans tezi, Kırklareli Üniversitesi].
- Delbecq, A. L., Van de Ven, A. H. & Gustafson, D. H. (1975). Group techniques for program planning: a guide to nominal group and delphi processes. Scott Foresman Glenview.
- Demir, C. (2002). Turizm ve rekreasyon faaliyetlerinin olumsuz çevresel etkileri: Türkiye'deki milli parklara yönelik bir uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(2), 93-117.
- Doğu, A. F., Çiçek, İ., Gürgen, G., Tunçel, H., & Somuncu, M. (1994). Göller (Hunut) dağında buzul şekilleri, yaylalar ve turizm. *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 3, 193-218.
- Doğu, A. F., Gürgen, G., Tuncel, H., & Çiçek, I. (1997). Glacier shapes, yaylas and tourism on the Bulut-Altıparmak Mountains. *Turkish Geography Bulletin, Ankara University*, 6, 63-91.
- Doğu, A. F., Somuncu, M., Çiçek, İ., Tunçel, H., & Gürgen, G. (1993). Kaçkar Dağında buzul şekilleri, yaylalar ve turizm. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 36(1-2), 52-79.
- ESRI. (2022). What is GIS? Geographic Information System Mapping Technology. <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>
- ESRI. (2023). Understanding overlay analysis. Understanding overlay analysis-ArcGIS Pro | Documentation. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/understanding-overlay-analysis.htm>
- ESRI. (2004). Whatisarcgis? https://downloads.esri.com/support/documentation/ao_/698What_is_ArcGis.pdf
- Fettahoğlu Şenkaya, B., Demirel, Ö., & Özkır, D. (2012). Ayder (Çamlıhemşin-Rize/Türkiye) termal ve yayla turizm bölgesinin termal koruma ve turizm gelişimi açısından değerlendirilmesi. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 2(5), 151-164.
- Forman, E. H., & Gass, S. I. (2001). The analytic hierarchy process—an exposition. *Operations Research*, 49(4), 469-486. <https://doi.org/10.1287/opre.49.4.469.11231>
- Gigović, L., Pamučar, D., Lukić, D., & Marković, S. (2016). GIS-Fuzzy DEMATEL MCDA model for the evaluation of the sites for ecotourism development: A case study of “Dunavski ključ” region, Serbia. *Land Use Policy*, 58, 348-365. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.07.030>
- Goodwin, H. (1996). In pursuit of ecotourism. *Biodiversity & Conservation*, 5, 277-291. <https://doi.org/10.1007/BF00051774>
- Gönençgil, B. (2009). Küresel Degradasyon Sürecinde Dağlar ve Dağlık Alanların Yönetimi. *Çantay Kitabevi*
- Gray, P. (1984). Review of the analytic hierarchy process; decision making for leaders: The analytic hierarchy process for decisions in a complex world. *Interfaces*, 14(3), 97-99.

- Gülay, Ş. (1994). Türkiye'nin Turizm ve Tanıtımında Çamlıhemşin [Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi].
- Haberal, H. (2011). Yaylacılık Kültürünün Yayla Turizmi İçindeki Önemi: Rize Yaylaları Örneği. [Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi].
- Hatırnaz, B. (2016). Ayderin Sürdürülebilir Turizm Sürecinin Turizm Paydaşları Tarafından Değerlendirilmesi. [Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi].
- HGM (2022). Harita Genel Müdürlüğü- Ulusal Haritacılık Kurumu. <https://www.harita.gov.tr/il-ve-ilce-yuzolcumleri>
- Horoehowski, K., & Moisey, R. N. (1999). The role of environmental NGOs in sustainable tourism development: a case study in northern Honduras. *Tourism Recreation Research*, 24(2), 19-30. <https://doi.org/10.1080/02508281.1999.11014872>
- Kang, Y. O., Yabar, H., Mizunoya, T., & Higano, Y. (2024). Optimal landfill site selection using arcgis multi-criteria decision-making (mcdm) and analytic hierarchy process (ahp) for kinshasa city. *Environmental Challenges*, 14, 100826. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100826>
- Kaya, F., & Yıldırım, G. (2020). Ekoturizm potansiyeli açısından Doğu Karadeniz Bölgesi'nin değerlendirilmesi. *Tourism and Recreation*, 2(2), 125-133.
- Kaymaz, Ç. K., Çakır, Ç., Birinci, S., & Kızıllan, Y. (2021). GIS-Fuzzy DEMATEL MCDA model in the evaluation of the areas for ecotourism development: A case study of "Uzundere", Erzurum-Turkey. *Applied Geography*, 136, 102577. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102577>
- Kaymaz, Ç. K., Kızıllan, Y., & Birinci, S. (2020). Ordu İli turizm merkezlerinin çok kriterli karar verme yöntemlerine göre analizi. *Kriter Yayınevi*.
- Kaymaz, Ç. K., Kızıllan, Y., & Birinci, S., (2020). Kaçkar Dağları Milli Parkı'nın sürdürülebilir dağ turizmi tecrübe modeline göre analizi. *Coğrafi perspektifle dağ ve dağlık alanlar (Sürdürülebilirlik-Yönetim-Örnek Alan İncelemeleri)*, 355-399. *Kriter Yayınevi*.
- Kharazi, P., Yazdani, M. R., & Khazealpour, P. (2019). Suitable identification of underground dam locations, using decision-making methods in a semi-arid region of Iranian Semnan Plain. *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100240. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100240>
- Kıvılcım, B., & Bilici, N. S. (2020). Sürdürülebilir turizm kapsamında seyahat acentelerinin ekoturizm faaliyetleri: Doğu Karadeniz Bölgesinde bir araştırma. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (45), 53-69. <https://doi.org/10.30794/pausbed.792027>
- Kiper, T. (2013). Role of ecotourism in sustainable development. *Advances in Landscape Architecture*. <https://doi.org/10.5772/55749>
- Koca, C., & Genç, M. (2023). Giresun Kalesi'nin Gülez ve rekreasyon performans-kapasite analiz yöntemlerine göre rekreasyonel değerlerinin belirlenmesi. *Edebiyat ve Beşeri Bilimler Dergisi*, (70), 68-84. <https://doi.org/10.5152/AUJFL.2023.22003>
- Koca, R., Güney, İ., Altundal Öncü, M., & Somuncu, M. (2016). Korunan alanlarda etkili planlama ve sürdürülebilir alan yönetimi üzerine Kaçkar Dağları Milli Parkı'nın incelenmesi. *Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*, 771-778.
- Kumari, S., Behera, M. D., & Tewari, H. R. (2010). Identification of potential ecotourism sites in West District, Sikkim using geospatial tools. *Tropical Ecology*, 51(1), 75-85.
- Kurttila, M., Pesonen, M., Kangas, J., & Kajanus, M. (2000). Utilizing the analytic hierarchy process (AHP) in SWOT analysis—a hybrid method and its application to a forest-certification case. *Forest Policy and Economics*, 1(1), 41-52. [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(99\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(99)00004-0)
- Lee, G. K., & Chan, E. H. (2008). The analytic hierarchy process (AHP) approach for assessment of urban renewal proposals. *Social Indicators Research*, 89, 155-168. <https://doi.org/10.1007/s11205-007-9228-x>
- Majumder, M., & Majumder, M. (2015). Multi criteria decision making. Impact of urbanization on water shortage in face of climatic aberrations, *Springer Briefs in Water Science and Technology*, 35-47. https://doi.org/10.1007/978-981-4560-73-3_2
- Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. *John Wiley & Sons*.
- Meşin, V., & Demir, V. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak Konya il merkezinde teknoloji geliştirme bölgesi için yer seçimi. *Geomatik*, 8(3), 208-221. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1161059>
- Mittermeier, R. A., Robles, G. P., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C. G., Lamoreaux, J. and da Fonseca, G. A. V. (2004). Hotspots revisited. *Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. Cemex.
- Mokarram, M., Pourghasemi, H. R., & Pham, T. M. (2023). Identification of suitable location to cultivate grape based on disease infestation using multi-criteria decision-making (MCDM) and remote sensing. *Ecological Informatics*, 76, 102142. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102142>
- Mokhtarian, M. N., Sadi-Nezhad, S., & Makui, A. (2014). A new flexible and reliable interval valued fuzzy VIKOR method based on uncertainty risk reduction in decision making process: An application for determining a suitable location for digging some pits for municipal wet waste landfill. *Computers & Industrial Engineering*, 78, 213-233. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.09.008>
- Olson, D. M., & Dinerstein, E. (2002). The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 199-224. <https://doi.org/10.2307/3298564>
- Ömürbek, N., Makas, Y., & Ömürbek, V. (2015). AHP ve TOPSIS yöntemleri ile kurumsal proje yönetim yazılımı seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (21), 59-83.
- Özcan, İ., İnan, U. H., & Korkusuz, A. Y. (2020). Çok kriterli karar verme yöntemleriyle metro sürücüsü

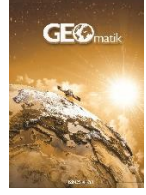
- seçimi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 15(3), 1185-1202.
<https://doi.org/10.17153/oguiibf.573735>
- Özçağlar, A., Somuncu, M., Bayar, R., Yılmaz, M., Murat Yücesahin, M., Yavan, N., ... & Karadeniz, N. (2022). Çamlıhemşin İlçesinde doğal ve beşeri kaynak tespitine bağlı olarak geliştirilen arazi kullanım kararları. Coğrafi Bilimler Dergisi, 4(1), 1-27.
https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000060
- Özkalp, E. (1991). Örgütlerde grupların karar verme teknikleri. Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 9(1), 311-320.
- Pant, S., Kumar, A., Ram, M., Klochkov, Y., & Sharma, H. K. (2022). Consistency indices in analytic hierarchy process: a review. Mathematics, 10(8), 1206.
<https://doi.org/10.3390/math10081206>
- Partovi, F. Y. (1994). Determining what to benchmark: an analytic hierarchy process approach. International Journal of Operations & Production Management, 14(6), 25-39.
<https://doi.org/10.1108/01443579410062068>
- Patil, M., Saha, A., Pingale, S. M., Rathore, D. S., & Goyal, V. C. (2023). Identification of potential zones on the estimation of direct runoff and soil erosion for an ungauged watershed based on remote sensing and GIS techniques. International Journal of Engineering and Geosciences, 8(3), 224-238.
<https://doi.org/10.26833/ijeg.1115608>
- Prideaux, B., Timothy, D. J., & Cooper, M. (2009). Introducing river tourism: physical, ecological and human aspects. River Tourism.
- Ramya, S., & Devadas, V. (2019). Integration of GIS, AHP and TOPSIS in evaluating suitable locations for industrial development: A case of Tehri Garhwal district, Uttarakhand, India. Journal of Cleaner Production, 238, 117872.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117872>
- Ronizi, S. R. A., Mokarram, M., & Negahban, S. (2020). Utilizing multi-criteria decision to determine the best location for the ecotourism in the east and central of Fars province, Iran. Land Use Policy, 99, 105095.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105095>
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical Modelling, 9(3-5), 161-176.
[https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T.L. (1980) The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, 48(1), 9-26.
[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Sahani, N. (2019). Assessment of ecotourism potentiality in GHNPCA, Himachal Pradesh, India, using remote sensing, GIS and MCDA techniques. Asia-Pacific Journal of Regional Science, 3(2), 623-646.
<https://doi.org/10.1007/s41685-019-00116-9>
- Schweinsberg, S., Darcy, S., & Wearing, S. L. (2018). Repertory Grids and The Measurement of Levels of Community Support for Rural Ecotourism Development. Journal of Ecotourism, 17(3), 239-251.
<https://doi.org/10.1080/14724049.2018.1502936>
- Shasha, Z. T., Geng, Y., Sun, H. P., Musakwa, W., & Sun, L. (2020). Past, current, and future perspectives on ecotourism: A bibliometric review between 2001 and 2018. Environmental Science and Pollution Research, 27, 23514-23528.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-08584-9>
- Shriki, N., Rabinovici, R., Yahav, K., & Rubin, O. (2023). Prioritizing suitable locations for national-scale solar PV installations: Israel's site suitability analysis as a case study. Renewable Energy, 205, 105-124.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.057>
- Somuncu, M., & Yılmaz, M. (2006). Rize ilinde yayla-dağ turizminin gelişimi ve yöredeki ekonomik kültürel ekolojik etkileri, 208-216. Rize Valiliği
- Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zhibi, A., & Dlala, M. (2020). GIS-based MCDM-AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. Geocarto International, 35(9), 991-1017.
<https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1566405>
- Soykan, F. (1999). Doğal Çevre ve Kırsal Kültürle Bütünleşen Bir Turizm Türü: Kırsal Turizm. Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi, 10(1), 67-75.
- Taylor, J. E., Dyer, G. A., Stewart, M., Yunez-Naude, A., & Ardila, S. (2003). The economics of ecotourism: A Galápagos Islands economy-wide perspective. Economic Development and Cultural Change, 51(4), 977-997.
- TIES. (2015). What Is Ecotourism?. The international ecotourism society. <https://ecotourism.org/what-is-ecotourism/>
- Topçu, G. Z., Bayır, K., Cavıldak, Z. E., Başeğmez, M., & Aydın, C. C. (2023). Yeşil alan uygunluk analizinin CBS tabanlı AHP ve TOPSIS yöntemleriyle değerlendirilmesi. Geomatik, 8(3), 235-249.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.1171069>
- Tzeng, G. H., & Huang, J. J. (2011). Multiple attribute decision making: methods and applications. CRC Press.
- Urfalı, T., & Eymen, A. (2021). CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi. Geomatik, 6(3), 227-237.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.772453>
- Vankova, L., Krejza, Z., Kocourkova, G., & Laciga, J. (2022). Geographic Information System Usage Options in Facility Management. Procedia Computer Science, 196, 708-716.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.067>
- Venkatesh, R., & Gouda, H. (2016). Eco-tourism—planning and developmental strategies. Global Journal for Research Analysis, 5(12), 420-422.
- Yasin, K. H., & Woldemariam, G. W. (2023). GIS-based ecotourism potentiality mapping in the East Hararge Zone, Ethiopia. Heliyon, 9(8).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18567>
- Yılmaz, O. S., Gülgen, F., & Ateş, A. M. (2023). Determination of the appropriate zone on dam surface for floating photovoltaic system installation using RS and GIS technologies. International Journal of Engineering and Geosciences, 8(1), 63-75.
<https://doi.org/10.26833/ijeg.1052556>
- Zaman, M. (2010). Fırtına Deresi Havzası ve Kaçkar Dağları Milli Parkı'nın alternatif turizm açısından

önemi. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 12(2), 1-33.
Zarkesh, M. M. K., & Almasi, N. (2011). Ecotourism land capability evaluation using spatial multi criteria evaluation. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 3(7), 693-700.
Zhao, R., Xiao, Y., Luo, R., Yang, R., Zhou, S., & Zhang, S. (2023). Discrete-continuous model for facility location problem with capacity-cost relation

constraints. Computers & Industrial Engineering, 185, 109661.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109661>
Zhong, L., Deng, J., Song, Z., & Ding, P. (2011). Research on environmental impacts of tourism in China: Progress and prospect. Journal of Environmental Management, 92(11), 2972-2983.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.011>



© Author(s) 2024. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde yıkılan binalar ile zemin ilişkisinin incelenmesi ve depremde yıkıma uğrama riski analizi

Selim Eraslan ¹, İlter Kutlu Hatipoğlu ², Fatih Ocak ³, Fatih Işık ^{1*}, Halil İbrahim Zeybek ⁴

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, selimeraslan@yandex.com, fatihtrbzon.61@gmail.com

² Samsun Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Samsun, Türkiye, ilter.hatipoglu@samsun.edu.tr

³ Samsun Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Samsun, Türkiye, fatih.ocak@samsun.edu.tr

⁴ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Samsun, Türkiye, zeybekhi@gmail.com

Kaynak Göster: Eraslan, S., Hatipoğlu, İ. K., Ocak, F., Işık, F., & Zeybek, H. İ. (2024). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde yıkılan binalar ile zemin ilişkisinin incelenmesi ve depremde yıkıma uğrama riski analizi. *Geomatik*, 9 (2), 207-226

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1422639>

Anahtar Kelimeler

Bina-zemin
Deprem-topografya
Uzaktan algılama
Deprem frekans oranı
Kahramanmaraş depremleri

Araştırma Makalesi

Geliş: 19.01.2024
Revize: 17.02.2024
Kabul: 02.04.2024
Yayınlanma: 15.08.2024



Öz

Depremler, yıkıcı etkileriyle bilinen felaketlerdir. Bu özelliği nedeniyle depremler, zemini ve üzerindeki her yapıyı tehdit etmektedir. Bu çalışmada, 6 Şubat Kahramanmaraş depremlerinden etkilenen bölgelerdeki bina-zemin ilişkisi belirlenerek gelecekte oluşabilecek depremlerde binaların yıkılma riski analiz edilmiştir. Çalışma, depremin etkilediği 11 ilde gerçekleştirilmiş ve bu kapsamda, jeoloji, eğim, yükseklik, en büyük yer ivmesi, zemin geçirimsizliği, büyük fay hatlarına yakınlık verileri kullanılmıştır. Yıkılan bina-zemin ilişkisi Uzaktan Algılama teknikleriyle belirlenmiş ve depremde yıkılmaya karşı riski değerlendirmek için ise Coğrafi Bilgi Sistemleri tekniklerinden yararlanılarak frekans oranı yöntemi uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; yıkımların %84'ünün düz alanlarda gerçekleştiği belirlenmiştir. Diğer taraftan yıkımların %49,7'sinin 0-500 m yükseklik aralığında, gerçekleştiği görülmüştür. Özellikle, yıkılan binaların %46'sının (110,8 km²) Kuvaterner dönemine ait alüvyon arazi üzerinde yer aldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada ele alınan toplam 108.812 km² alanda yapılan deprem frekans analizine göre de alanın %43,72'si "Riskli" düzeyde yer almaktadır ve bu durum, bölgenin büyük bir kısmının önemli oranda deprem riski altında olduğunu göstermektedir. Ayrıca, depremde binaların yıkılma riskinin yüksek olduğu illerin başında Hatay, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa, Kahramanmaraş ve Malatya gelmektedir. Çünkü bu illerde aktif fay hatlarının uzandığı ve alüvyon arazinin yaygın olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, deprem riski taşıyan illerde yer seçimi ve yapı stoğu konularında daha fazla önlem alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Investigation of the relationship between the buildings collapsed in February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquakes and the soil and analysis of the risk of collapse in earthquakes

Keywords

Building-floor
Earthquake-topography
Remote sensing
Earthquake frequency rate
Kahramanmaraş earthquakes

Research Article

Received: 19.01.2024
Revised: 17.02.2024
Accepted: 02.04.2024
Published: 15.08.2024

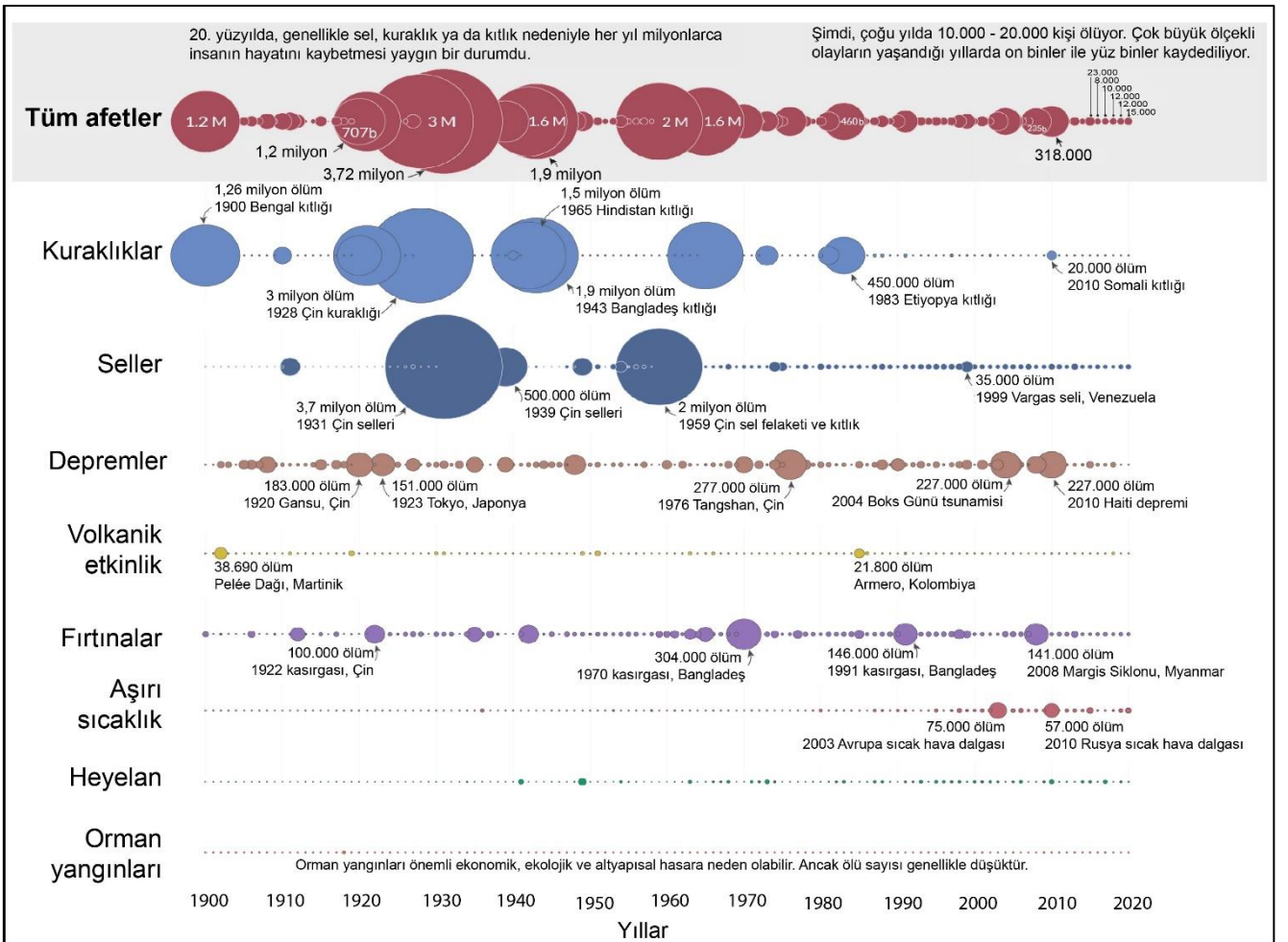
Abstract

In this study, the building-ground relationship in the areas affected by the February 6 Kahramanmaraş earthquakes was determined, and the risk of building collapse in future earthquakes was analyzed. Remote sensing techniques determined the collapsed building-soil relationship, and the frequency ratio method was applied by utilizing Geographic Information Systems techniques to assess the risk of collapse in earthquakes. According to the research results, 84% of the collapses occurred in flat areas. On the other hand, 49.7% of the collapses occurred in the 0-500 m elevation range. In particular, it was determined that 46% (110.8 km²) of the collapsed buildings occurred on alluvial land belonging to the Quaternary period. According to the earthquake frequency analysis of the total 108,812 km² area considered in this study, 43.72% of the area is at the "Risky" level, indicating that a large part of the region is at significant earthquake risk. Moreover, Hatay, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa, Kahramanmaraş, and Malatya are the provinces where the risk of collapse of buildings in an earthquake is high. These results reveal the necessity of analyzing by considering many criteria in determining residential areas in provinces at risk of earthquakes.

1. Giriş

Doğal afetler, insanlık tarihinin en büyük zorluklarından birini oluşturmaktadır. Jeolojik, meteorolojik, hidrolojik, klimatolojik ve biyolojik olaylar, dünya genelinde ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilen afetlerin ortaya çıkmasına da zemin hazırlarlar (Zeybek, 1998; 2002; Uzun ve ark., 2016; UNDRR, 2015; Chaudhary ve Piracha, 2021; Hatipoğlu ve Zeybek, 2023; Işık ve ark., 2023). Bu afetler ekonomik, sosyal ve çevresel açılardan büyük bir yıkıma sebep olurken, toplumların dayanıklılığını sınanan kritik olaylar olarak da karşımıza çıkmaktadır (FAO, 2021; Mata-Lima ve ark., 2013). Bu bağlamda, deprem gibi doğal afetler, özellikle deprem kuşağı üzerinde bulunan bölgelerde, insan hayatı ve yapılar üzerinde ciddi tehditler oluşturan olaylardır

(Kalaycioglu ve ark., 2006; Nola, 2018). Deprem, yer kabuğunda biriken enerjinin aniden boşalması ile ortaya çıkan jeolojik bir olaydır (Hoşgören, 2011). Bilindiği üzere durmaksızın devam eden yer kabuğu hareketleri, sürekli olarak enerjinin birikmesine ve bir noktadan sonra da serbest kalmasına yol açmaktadır. Bu serbest kalan enerji, yer kabuğunun belirli bölgelerinde gerçekleşen kırılma ve kayma hareketleriyle sonuçlanmaktadır (Kavak, 2017). Sonuç olarak, büyük yer kabuğu hareketleriyle ilişkilendirilen, yer yüzeyinde meydana gelen titreşimler ve sarsıntılar olarak bilinen depremler, büyük yıkımlara neden olabilen doğa olayları olarak da tanımlanabilir. Dünyada meydana gelen afetlerde kuraklık ve sel/taşkından sonra depremler en fazla ölüme neden olan üçüncü doğal afettir (Şekil 1).



Şekil 1. Yüzyılı aşkın bir süredir afetlerden kaynaklanan küresel ölümler (Balonun boyutu tahmini yıllık ölü sayısını temsil etmektedir. En büyük yıllar bu toplam rakamla ve bu ölümlerin -genellikle hepsi olmasa da- çoğuna katkıda bulunan büyük ölçekli olaylarla birlikte etiketlenmiştir), (EM-DAT, 2023; Ritchie ve ark., 2022'den düzenlenmiş ve çevrilmiştir).

Ulusal Deprem Bilgi Merkezi'ne (The National Earthquake Information Center) göre, her yıl dünya genelinde yaklaşık olarak 20.000 adet deprem (M değeri 2.0 veya daha büyük olan) meydana gelmektedir. Bu depremlerin günlük ortalama sayısı ise yaklaşık 55'tir. Ancak, çoğu deprem çok küçük büyüklükte gerçekleşmektedir. Uzun vadeli kayıtlara göre, her yıl ortalama olarak 16 büyük çaplı deprem (Mw büyüklüğü 7 veya daha fazla) meydana gelmektedir (USGS, 2023).

Bu büyük depremler, genellikle ciddi hasarlara ve can kayıplarına yol açabilen önemli olaylar olarak kabul edilmektedir. 1990 yılının ocak ayından 2023 haziran ayına kadar dünya genelinde meydana gelen depremlerde, tsunami olayları da dahil olmak üzere yaklaşık 2,4 milyon insan hayatını kaybetmiştir (EM-DAT, 2023; USGS, 2023). Şekil 2'ye göre yüksek can kayıpları ile öne çıkan iki yıl, 2004 ve 2010'dur. Bu yıllarda yıllık ölüm oranları 100 binleri bulmuştur. 2004

yılında meydana gelen Hint Okyanusu depremi ve ardından oluşan tsunamide yaklaşık 165.708 kişi hayatını kaybederken, 2010 Haiti depreminde kayıp ise yaklaşık 222.570'dir.

Depremler dünyanın farklı yerlerinde ve farklı zamanlarda meydana gelebilmektedir. Ancak sismik enerjinin yaklaşık %90'ının levha sınırları boyunca serbest kaldığı bilinmektedir (Rao, 2016). Dünyada meydana gelen depremlerin önemli bir kısmı yer kabuğunu oluşturan kıta levhalarının hareketleriyle gerçekleşmektedir. Bu levha hareketleri, üç ana deprem kuşağını oluşturmaktadır. En belirgin kuşaklardan biri ateş çemberi olarak da adlandırılan Pasifik çevresidir. Sismik açıdan ikinci en aktif kuşak ise Alp-Himalaya Kuşağı'dır. Orta Atlantik Sırtı ise üçüncü önemli deprem kuşağı olarak kabul edilmektedir (USGS, 2023). Günümüze kadar meydana gelen depremlerin %68'i Pasifik Kuşağı çevresinde, %21'i Alp-Himalaya Kuşağı'nda ve %11'i ise diğer bölgelerde görülmüştür. Ayrıca, büyük toplumsal etkilere yol açan depremlerin %81'i Pasifik çevresinde ve %17'i de Alp-Himalaya Kuşağı'nda gerçekleşmiştir (Özey ve Ünlü, 2022; USGS, 2023). Bu durum, deprem riskinin bu önemli deprem kuşaklarında yoğunlaştığını göstermektedir. Alp-Himalaya Kuşağı'nın ortasında yer alan Türkiye ise geçmişten günümüze depremlerin sıkça yaşandığı bir ülke olarak bilinmektedir. Bu depremler zaman zaman büyük can ve mal kayıplarına yol açmıştır.

Türkiye, jeolojik konumu sebebiyle düzenli olarak depremlerle karşı karşıya kalmaktadır. Türkiye ve yakın çevresinde depremin esas nedenini Afrika ve Arabistan plakalarının Avrasya plakasına doğru kabaca kuzey yönlü hareket etmesi oluşturur (Şengör, 1984). Bu kuzey yönlü hareket Türkiye topraklarının batı kesiminin sağ ve sol yanal doğrultu atımlı fay zonları (Kuzey Anadolu Fay Zonu -KAFZ- ve Doğu Anadolu Fay Zonu -DAFZ-) boyunca batıya doğru 24mm/yıl bir hızla hareket etmesine ve depremlerin meydana gelmesine neden olmaktadır (Yalçın ve ark., 2013). Bunun yanında Batı Anadolu'da kuzey-güney yönlü bir açılmanın neden olduğu normal faylarla çalışan horst-graben sistemi (Şengör ve ark., 1985) küçük ve büyük çaplı depremleri oluşturmaktadır. Türkiye'de yaşanan geçmiş deprem kayıtları incelendiğinde hareketliliğin özellikle bu fay zonları boyunca meydana geldiği görülmektedir.

06.02.2023 tarihinde gerçekleşen Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) merkezli depremler ise Türkiye'nin son dönemde yaşadığı felaketler arasında yer almaktadır. Pazarcık depremi, Ölü Deniz Fay Zonunun kuzey ucundaki Narlı Segmentine, Elbistan depremi ise Doğu Anadolu Fayı'ndan ayrılan Çardak Fayı'na rastlamaktadır. Her iki deprem de önemli derinliklerde (Pazarcık odak derinliği 8,6 km, Elbistan odak derinliği 7 km) meydana gelmiştir (AFAD, 2023b). Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüğünde olan bu depremlerin artçı etkileri uzun süre devam etmiştir (Şekil 2). Bir diğer önemli bir deprem de 20 Şubat 2023 tarihinde saat 20.04'te Hatay Yayladağı merkezli olarak Mw 6.4 büyüklüğünde meydana gelen depremdir. Tüm bu depremler, toplamda 11 ilde (Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elâzığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş,

Kilis, Malatya, Osmaniye, Şanlıurfa) büyük yıkımlara sebep olmuştur. Resmi kaynaklardan elde edilen verilere göre 20 Mart 2023 tarihi itibarıyla 50.000'den fazla vatandaşımızın hayatını kaybettiği, 107.000'den fazla vatandaşımızın yaralandığı bildirilmiş ve 255.000 binanın hasar gördüğü veya yıkıldığı tespit edilmiştir (Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Sadece bu sayılardan bile bölgede yaşanan yıkımın şiddeti tahmin edilebilir. Bu nedenle, depremlerin etkilerini anlamak ve riskli bölgeleri belirlemek, önleyici tedbirlerin alınması ve yapıların güvenliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

1.1. Araştırmanın amacı ve önemi

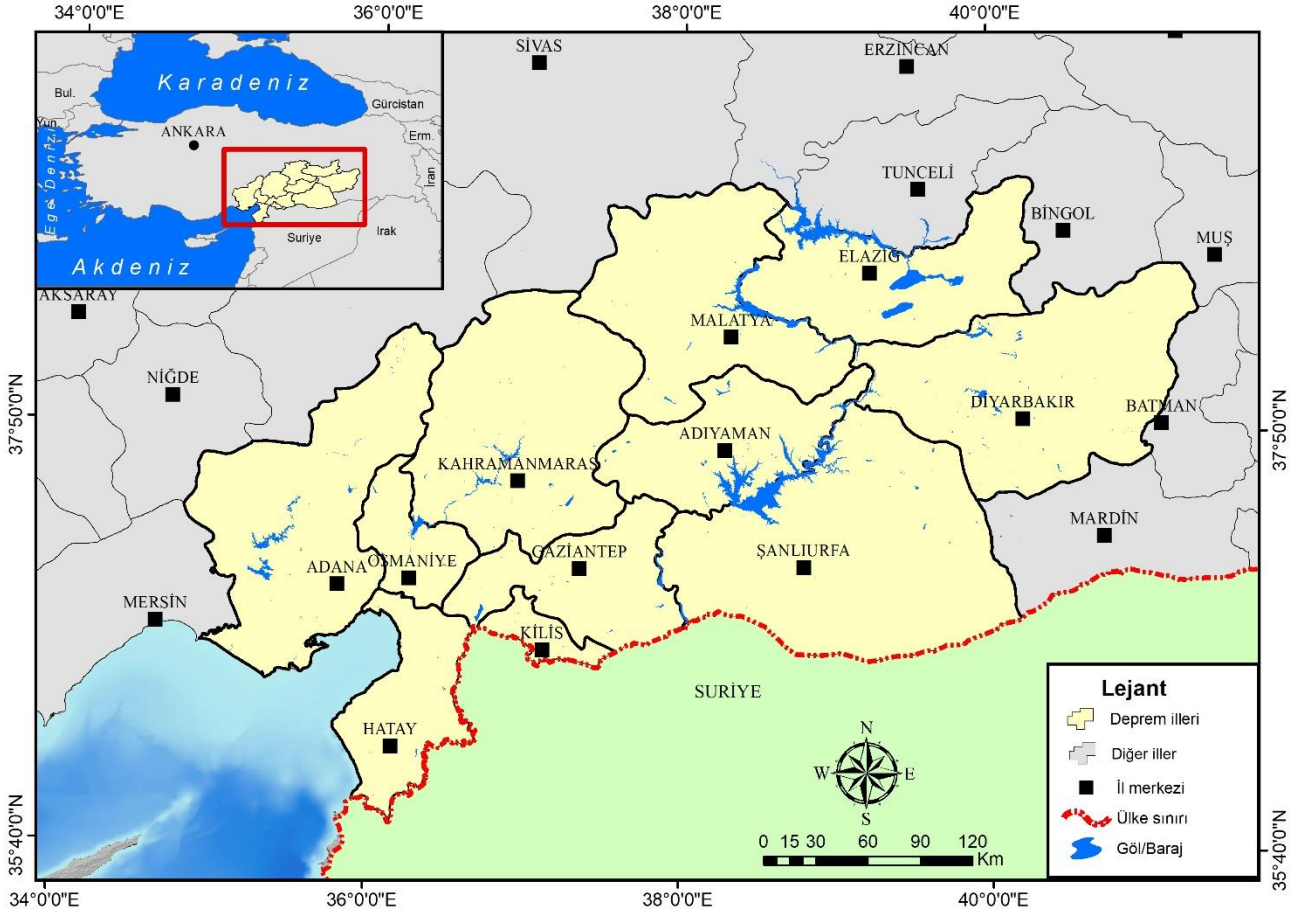
Doğu Anadolu Fay Hattı (DAF) üzerindeki 11 ilde depremler sonucunda çok sayıda bina yıkılarak enkaz haline gelmiştir. Yıkılan binaların enkaz haline gelmesinde yaşları, zemin taşıma kapasiteleri, zemin türü, yeraltı su seviyesi, malzeme kalitesi, yapısal eksiklikler ve bitişik nizamda inşa edilen binaların farklı kat seviyeleri gibi etkenler belirgin rol oynamıştır (AFAD, 2023a; İTÜ, 2023). Özellikle Kahramanmaraş ve Adıyaman illerindeki enkaz durumundaki binaların önemli bir kısmında ilk katların büyük hasar gördüğü görülmüştür. Bu binalardan bazıları ise yan tarafa doğru dönerek çökmeye uğramıştır. Diğer taraftan Hatay-Antakya ve Adıyaman-Gölbaşı gibi bölgelerde, zemin sıvılaşmasının etkisiyle binaların temel sistemlerine bağlı olarak ya binaların tamamen yana yatarak ya da kısmen sıvılaşan zemine batma sonucu eğik bir şekilde göçtüğü de görülmüştür. Bu araştırmanın temel amacı, söz konusu depremlerin etkilerini tespit etmek ve depremin meydana geldiği 11 ilde bina-zemin ilişkisini ve depremlerdeki yıkımlarla bağlantılarını belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmalar şunlardır:

- **Bina-zemin ilişkisinin incelenmesi:** Depremin meydana geldiği 11 ildeki bina-zemin ilişkisini detaylı bir şekilde incelenerek, deprem etkilerinin binalara nasıl yansıdığı ve binaların ne ölçüde zarar görebileceğinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma, binaların depreme karşı direncini artırmak amacıyla yapılacak güçlendirme çalışmalarına bir temel oluşturacaktır.
- **Topografik özelliklerin tespiti:** Depremin meydana geldiği bölgelerdeki yükseklik ve eğim aralıkları belirlenerek bölgenin topografik özellikleri ve bu özelliklerin deprem sonuçlarına etkisi araştırılacaktır. Bu sonuçlar, deprem riskini etkileyen faktörlerin tespit edilmesinde önemli bir rol oynayacaktır.
- **Depremde yıkıma uğrama riski:** Asıl olarak depremin meydana geldiği 11 il için depremden yıkıma uğrama riskini belirleme de hedeflenmektedir. Bu hedefler, deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerin tespit edilmesine ve riskli yapıların belirlenerek güçlendirilmesine yeni yerleşim alanlarının belirlenmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, yerel halkın deprem konusunda bilinçlenmesine katkı sağlayacaktır.

geniş bir uygulama alanına sahiptir (Coşkun ve Toprak, 2023; Meşin ve Demir, 2023; Pandian ve ark., 2023; Patil ve ark., 2023). Doğal afetlerin duyarlılık değerlendirilmesinde de CBS birçok yöntemin kullanım alanıdır: Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Fuzzy Analitik Hiyerarşi Prosesi, Frekans Oranı (FR) Kanıt Ağırlığı (WoE), Lojistik Regresyon (LR), Universal Soil Loss Equation (USLE), Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) bunlardan birkaçıdır. Kullanılan yöntemler her ne kadar çok çeşitli olsa da genel olarak niteliksel ve niceliksel olmak üzere iki sınıf altında toplanmaktadır (Başara ve Şişman, 2022). Niteliksel yöntemler daha çok yoruma dayalı iken, niceliksel yöntemler matematiksel ve istatistiksel temele dayanmaktadır. Dolayısıyla niceliksel yöntemlerin kanıtlanabilir olduğu bilinmektedir. Yine niceliksel yöntemler analiz kalitesini olumlu yönde etkilemekte ve sonuçların doğruluk oranını arttırmaktadır. Bu özellikleri sebebiyle duyarlılık analizlerinde en çok tercih edilen yöntemler arasında

niceliksel yöntemler yer almaktadır (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Bu çalışmada 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremlerde yıkılan bina alanları ve zemin ilişkisi de tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu sebeple bilgilerin istatistiki olarak hesaplanmasında en çok kullanılan niceliksel yöntemler arasında yer alan FR (Frekans Oranı) yöntemi tercih edilmiştir. FR yöntemi, belirli bir olayın ya da özelliğin meydana gelme olasılığını belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir (Fayez ve ark., 2018). Bu yöntem genellikle belirli bir durum ya da olayın hangi durumlarda, ne sıklıkta meydana geldiğini belirlemek amacıyla kullanılır. Bu yöntem ile istatistiksel analizler yapılarak olayın frekansı, yani tekrarlanma sıklığı belirlenir. Frekans oranı genellikle [Şişlik 1](#) ile hesaplanır:

$$FR = \frac{\text{Belirli Bir Durumun Sayısı}}{\text{Toplam Gözlem Sayısı}} \quad (1)$$



Şekil 3. Araştırma bölgesi lokasyon haritası.

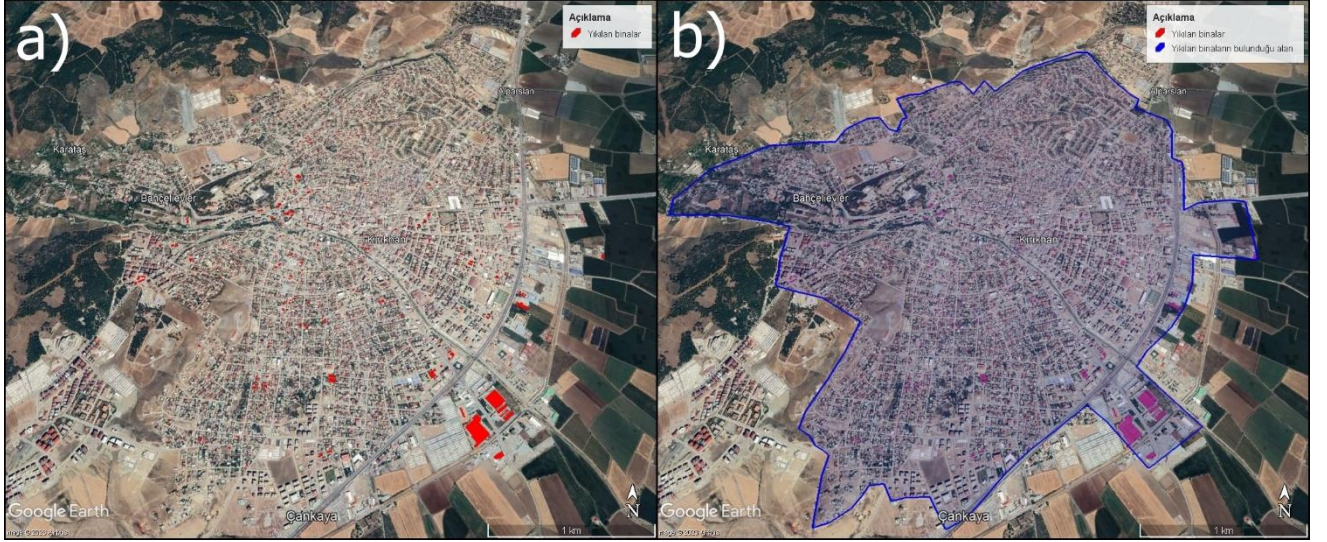
FR genellikle yüzde (%) olarak ifade edilir. Böylece olayın ne kadar yaygın olduğunu oranla anlamak mümkün olur. FR yöntemine göre hesaplanan değer 1'den büyük olması (>1) kullanılan parametrenin daha etkin olduğu anlamına gelirken, 1'den küçük olması (<1) ilgili parametrenin daha az etkin olduğunu ifade etmektedir (Başara ve Şişman, 2022).

FR yöntemiyle elde edilen değerler duyarlılık analizi ile ilgili sayısal değerleri ifade etmektedir. Deprem duyarlılık analizi, risk yönetimi kapsamında depreme dayanıklı yapıların nereye inşa edileceği ve yerleşmelerin nerede kurulacağı gibi önemli hususlara

altlık oluşturmaktadır (Ocak ve Bahadır, 2022). Ancak sayısal ifadeler duyarlılık analizinin sonucunun yorumlanmasında tek başına yetersiz kalır. Bu sebeple FR yöntemiyle elde edilen değerlerin daha anlaşılabilir olması için CBS tekniklerinden yararlanılmaktadır. CBS ile FR sonucu elde edilen sayısal değerler haritalara aktarılmakta ve analiz sonuçlarının mekânsal dağılımı ortaya konulmaktadır. FR ve CBS'nin birlikte kullanıldığı bu çalışmada öncelikle duyarlılık analizinde kullanılan her bir parametreye ait alt sınıflar için FR değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler kullanılarak parametre haritaları üretilmiş ve ortaya çıkan yeni

parametre haritalarının birbirleri ile karşılaştırılması sonucu duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 5). Çalışma kapsamında FR ile elde edilen değerler CBS teknikleriyle haritaya aktarılmış ve 6 Şubat 2023

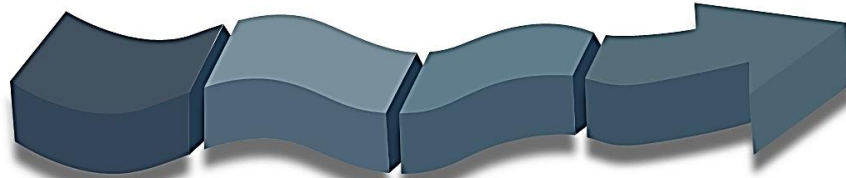
Kahramanmaraş merkezli depremler sonucunda 11 ilde meydana gelen bina yıkımları zemin ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4. Hatay-Kırıkhan'da yıkılan binaların HOTOSM verisine ait görüntü (a) ve bu görüntüdeki yıkılan binaların alana dönüşümü (b).

Tablo 1. Zemin-bina ilişkisinin tespiti ile deprem duyarlılık analizinde kullanılan veriler ve temin edildiği yerler.

Veri	Veri Kaynağı	Üretilen Veri/Yapılan İşlem
Jeoloji haritası (1/25.000, 1/100.000, 1/500.000)	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)	Litoloji, fay hatları Zemin geçirimsizlik durumu
1/25.000 ölçekli topografya haritaları	Harita Genel Müdürlüğü (HGM)	İdari merkezler, eş yükseklik eğrisi, zirve, akarsu, göl, sayısal yükseklik modeli, eğim vb.
En büyük yer ivmesi	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)	En büyük yer ivmesi sınıfları
Yıkılan bina	Humanitarian Open Street Map Team (HOTOSM) https://data.humdata.org/dataset/hotosm_tur_destroyed_buildings	Yıkılan binaların konum bilgisi
Programlar		
Google Earth Pro	https://earth.google.com/web	Yıkılan bina alanlarını tespit etme
HGM Küre	https://kure.harita.gov.tr/	Yıkılan bina alanlarını tespit etme
ArcGIS for Desktop Advanced 10.x	https://www.esri.com/enus/home	Coğrafi verileri görüntüleme, Düzenleme ve analiz etme



Veri Temini/Üretimi Frekans Oranı Hesaplama CBS ile Veri Üretimi FR-CBS Analizi

Bina-zemin ilişkisinin ortaya konulması ve deprem duyarlılık analizi için verilerin temini ve üretimi.

*Yerel zemin sınıfları
*En büyük yer ivmesi
*Zemin geçirimsizliği
*Eğim (°)
*Büyük fay hatlarına uzaklık (km)

Frekans oranı hesaplanan tüm ana ve alt parametrelerin CBS teknikleri ile haritaya aktarılması ile veri dönüşüm işlemleri.

Frekans değerleri hesaplanıp CBS ile haritaya aktarılan ana ve alt parametrelerin karşılaştırılarak duyarlılık haritasının üretimi.

Şekil 5. İş akış şeması.

3. Bulgular

3.1. Frekans oranı analizinde kullanılan coğrafi faktörler

Bina-zemin ilişkisi ve deprem duyarlılığının incelendiği bu çalışma kapsamında 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremlerden önemli ölçüde etkilenen 11 il sınırı

dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında ilgili literatür incelendiğinde deprem duyarlılık analizi için farklı verilerin kullanıldığı görülmüştür. Bu kapsamda ihtiyaç duyulan veriler ya kurumlardan temin edilmiş ya da CBS teknikleriyle üretilmiştir (Tablo 1). Çalışmada yerel zemin (litoloji), en büyük yer ivmesi, zemin geçirimsizliği, eğim ve büyük fay hatlarına yakınlık olmak üzere beş farklı ana, 25 farklı alt coğrafi parametre kullanılmıştır (Tablo 2).

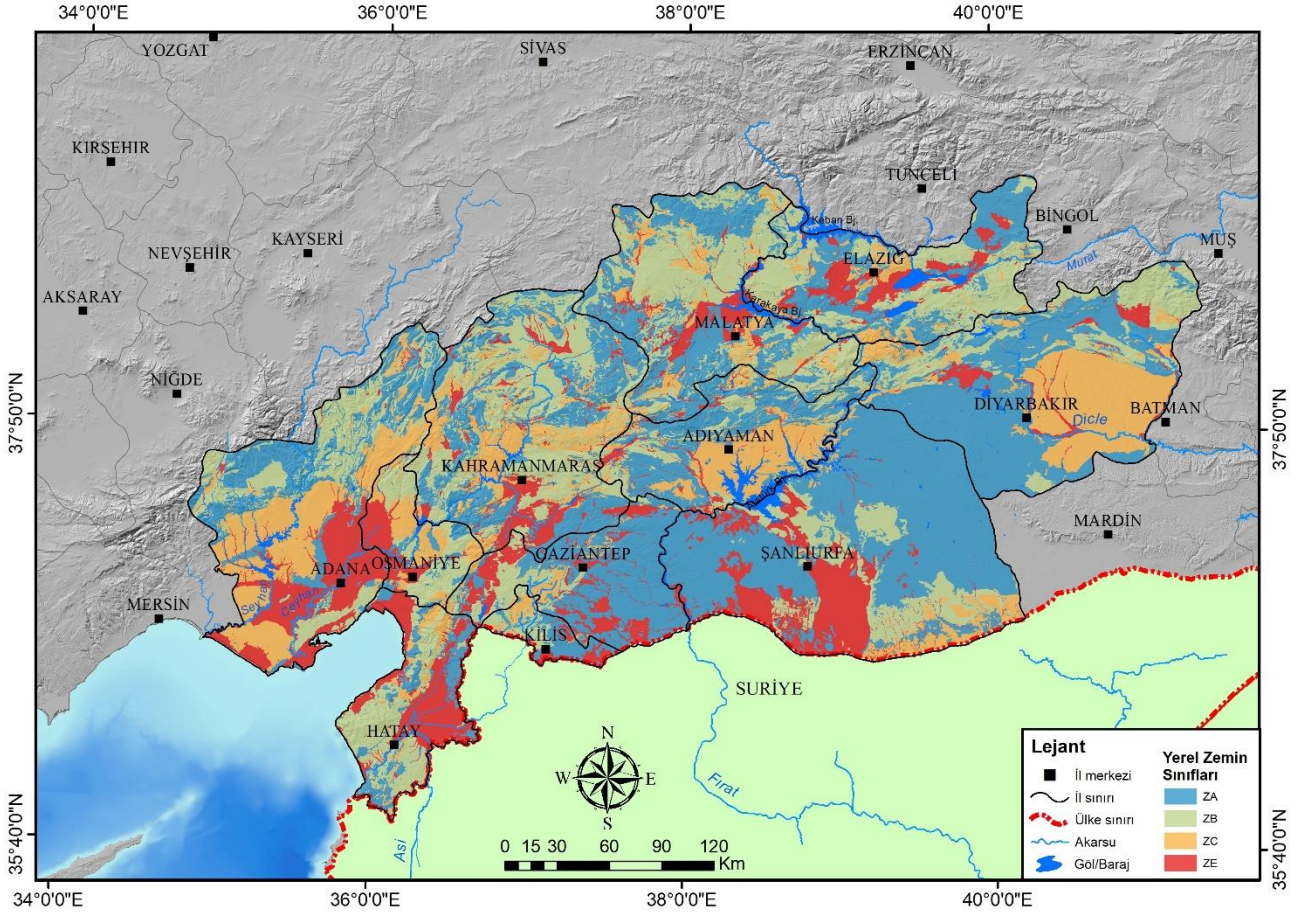
Tablo 2. Deprem duyarlılık analizinde kullanılan parametreler.

Parametreler	Sınıflar	Sınıf Piksel Sayısı	Sınıf Piksel Oranı (PIF) (%)	Yıkılan Bina Alanındaki Piksel Sayısı	Yıkılan Bina Alanındaki Piksel Oranı (PLO) (%)	Frekans Oranı (FR)
1. Yerel Zemin Sınıfları	ZA (Sağlam, sert kayalar)	47952354	0,397	11235	0,042	0,211
	ZB (Az ayrılmış, orta sağlam kayalar)	31844769	0,263	42858	0,160	1,211
	ZC (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya Ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar)	21927160	0,181	52604	0,196	2,159
	ZE (Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil Tabakaları)	19131902	0,158	161297	0,602	7,588
2. En Büyük Yer İvmesi (g)	0-0,1	9538287	0,079	0	0,000	0,000
	0,1-0,2	34406554	0,283	4365	0,016	0,412
	0,2-0,3	31955652	0,263	55061	0,205	1,440
	0,3-0,4	22988376	0,189	95161	0,354	2,680
	0,4-0,5	11103388	0,091	89463	0,333	3,502
	0,5-0,6	7637299	0,063	22509	0,084	1,824
	0,6-0,7	3782029	0,031	1937	0,007	0,228
3. Zemin Geçirimsizliği	Çok Geçirimli	19109274	0,158	161297	0,602	7,597
	Geçirimli	73637078	0,609	96097	0,359	1,175
	Yarı Geçirimli	7291233	0,060	6342	0,024	0,783
4. Eğim (°)	Az Geçirimli	20788162	0,172	4258	0,016	0,184
	0-2	34821200	0,288	138639	0,518	3,583
	2,1-5	26193558	0,217	80785	0,302	2,776
	5,1-15	36442547	0,302	45163	0,169	1,115
	15,1-35	22184152	0,184	3258	0,012	0,132
5. Büyük Fay Hatlarına Yakınlık (km)	35,1<	1147614	0,010	0	0,000	0,000
	10	59975037	0,496	236670	0,883	3,552
	20	28148392	0,233	19206	0,072	0,614
	30	14191087	0,117	1207	0,005	0,077
	40	8439001	0,070	7959	0,030	0,849
	50	10257395	0,085	2980	0,011	0,261

3.1.1. Yerel zemin sınıfları

Deprem frekans oranı analizi kapsamında ele alınan ilk coğrafi faktör yerel zemin sınıfları olmuştur. Yerel zemin sınıfları, diğer bir ifadeyle litoloji hem depremin şiddetini hem de depremin olası vereceği zararın boyutunu etkileyecek önemli unsurlardandır (Ocak ve Bahadır, 2022). Depremlerin olası etkileri sahaya ait zemin özelliklerinin zayıf ya da sağlamlığına göre farklılık gösterebilir (Korkmaz, 2006). Litolojik olarak sertlik derecesi yüksek olan mermer, bazalt, andezit vb. gibi kayalardan oluşan bir zemin alüvyon, kum, tuf vb. gibi sertlik derecesi düşük olan kayalardan oluşan zeminlere göre depremler karşısında daha dayanıklı bir yapı sergiler. Dolayısıyla zeminin zayıf olduğu yerlerde depremin olumsuz etkilerinin daha fazla olması beklenir (Ocak ve Bahadır, 2022). Sonuç olarak zemin yapısı depremin hem şiddeti hem de vereceği hasar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Erinç, 2000).

Çalışma bölgesinde litolojik özellikler depremin farklı zeminlerdeki etki durumları göz önünde bulundurularak deprem bina yönetmeliğindeki zemin derecelendirmesine göre farklı gruplara ayrılmıştır (ZA, ZB, ZC, ZD, ZE). Türkiye Deprem Bina Yönetmeliğine göre binaların ZA, ZB, ZC ve ZD üzerinde inşa edilmesi gerekmektedir (AFAD, 2018). Çalışma bölgesinde ise ZA, ZB, ZC ve ZE olmak üzere dört farklı zemin türü vardır ve binaların hemen hepsi ZA, ZB ve ZC olan zemin üzerine inşa edilmiştir (Şekil 6). Çalışma kapsamında depreme en dayanıklı zemin ZA iken, en dayanıksız zemin ise ZC olmuştur. Her ne kadar deprem bölgesindeki binalar doğru zemin üzerine inşa edilmiş olsa da deprem frekans oranında bu üç zemin arasında en dayanıksız zeminin ZB ve ZC olduğu tespit edilmiştir. ZA grubu ise etki oranının 1'in altında kalması sebebiyle depremin binalar üzerindeki verdiği hasarda etkisi en az olan zemin olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Çalışma bölgesinde yerel zemin sınıflarının dağılışı.

3.1.2. En büyük yer ivmesi

Deprem frekans oranı analizinin gerçekleştirilmesinde dikkate alınan bir diğer faktör de en büyük yer ivmesi olmuştur. Çünkü en büyük yer ivmesi depremlerin olası etkilerinin tespitinde ve depremler için gerçekleştirilen tehlike, risk ve duyarlılık analizlerinde kullanılmaktadır (Bayrak, 2019; Ocak ve Bahadır, 2022). En büyük yer ivmesi bir yerin hasar görme olasılığı durumuna karşılık gelmektedir (Ocak ve Bahadır, 2022). 11 il için Türkiye Deprem Tehlike haritası dikkate alınarak çalışma bölgesinin en büyük yer ivmesi hesaplanmıştır. Bu bağlamda çalışma en büyük yer ivmesi (g) 0,0-0,7 arasında değişmektedir (Şekil 7). Ancak, ölçülen ivmelerin gösterilen değer üzerinde olduğu birçok istasyon da bulunmaktadır.

3.1.3. Zemin geçirimsizliği

Deprem frekans oranı analizi için dikkate alınan bir diğer coğrafi faktör zemin geçirimsizlik durumu olmuştur. Zemin geçirimsizliği depremin meydana getireceği hasarın boyutu üzerinde etkilidir. Zemin geçirimsizliğini belirleyebilmek için bir bölgedeki yer altı su seviyesi önem arz etmektedir. Çünkü yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yerler üzerindeki yapılar için sıvılaşma tehlikesini beraberinde getirmektedir. Zeminin geçirimsizliğinin yüksek olduğu jeolojik birimlerde (kum, silt vb.) inşa edilen yapılar olası bir depremde yıkılma riskine daha çok maruz kalabilmektedir. Özellikle taşkın ovası ve gölsel çökellerin bulunduğu zeminlerde sıvılaşmanın yaygın olarak görülmesinden ötürü bu tür

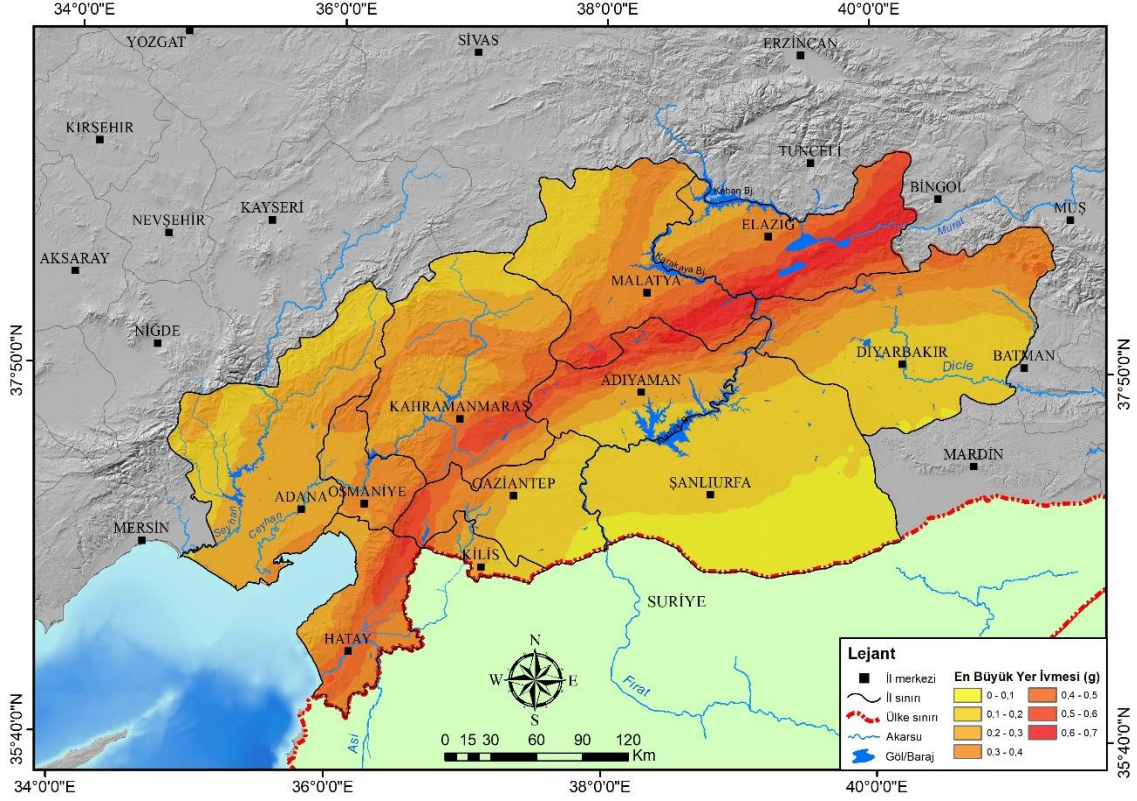
özellige sahip alanlarda inşa edilmiş yapıların büyük depremlerde yıkımı daha fazla olmaktadır (Değerliyurt, 2013; Demirtaş ve Erkmen, 2000). Zemin geçirimsizlik faktörünün açıklanan bu özellikleri sebebiyle çalışma kapsamında daha hassas analizler yapabilmek için dört farklı geçirimsizlik (çok geçirimli, geçirimli, yarı geçirimli ve az geçirimli) seviyesi belirlenmiştir (Şekil 8).

3.1.4. Eğim

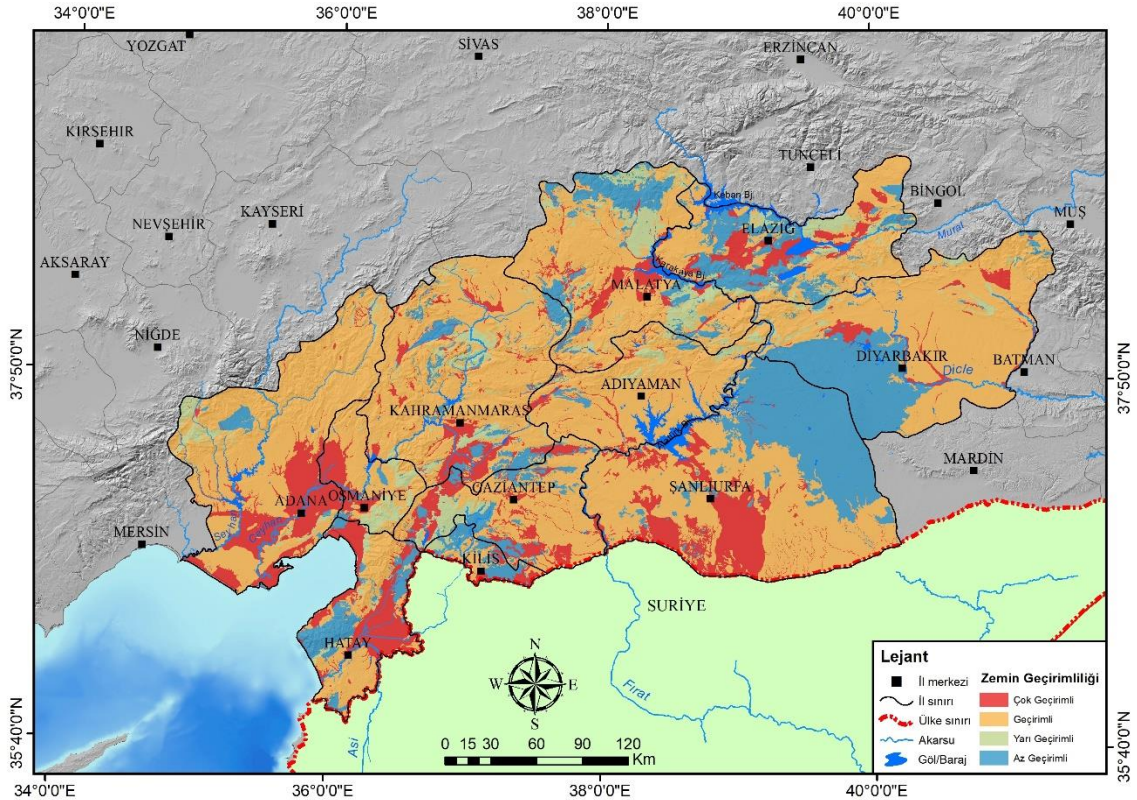
Deprem frekans oranı analizinin gerçekleştirilmesinde topografik etkilerinden ötürü dikkate alınan bir diğer coğrafi faktör çalışma bölgesinin eğim özellikleridir. Eğim hem yerleşim alanlarının kurulmasında ve hem de gelişiminde en önemli topografik faktördür (Ocak ve Bahadır, 2022). Yerleşmeler çoğunlukla eğim değerlerinin daha az olduğu yerlerde kurulurken, dik ve çok dik yamaçlara sahip alanlarda kurulsalar bile genişleme imkânı bulamamaktadır. Eğime göre kurulan yerleşmeler eğim değerinin yüksekliğine göre muhtemel bir depremde oluşacak hasardan farklı derecede etkilenmektedirler. Bir başka deyişle eğimin az ya da çok olduğu herhangi bir yerde inşa edilen yapılar bir deprem anında farklı kuvvetlere maruz kalmakta ve bu kuvvetlere karşı farklı seviyede direnç göstermektedir. Deprem anında yapıların maruz kaldığı kuvvetler; esneme, eylemsizlik kuvveti ve düşme kuvvetidir (Değerliyurt, 2013). Bu kuvvetlerin etkisi altındaki yapılar, başlangıçta esneme sürecine girer ve sağa-sola doğru hareket ederek depreme karşı direnç göstermeye çalışırlar (Pampal, 1999). Ancak, yamaç eğiminin yüksek olduğu

bölgelerdeki yapılar, düşme kuvvetine ek olarak eğimin etkileriyle de karşı karşıya kalır. Bu nedenle, düşük eğimli bölgelerdeki yapılarla karşılaştırıldığında, yüksek eğimli alanlardaki yapılar daha fazla kuvvetle mücadele etmek zorunda kalabilirler (Ocak ve Bahadır, 2022). Dolayısıyla sadece eğim faktörü göz önünde bulundurulduğunda eğimin az olduğu yerlerde depreme karşı dayanıklılık daha fazla iken, eğimin fazla olduğu

yerlerde ise yapıların dayanıklılığı daha düşük seviyededir. Örneğin, eğim faktörünün artması kabaca vs30 değerinin artmasına denk gelir. Bu durumda, sarsılma genliği azalır. Ancak bu durum bu deprem bölgesi için farklı şekilde işlemiştir. Depremin etkilediği 11 ildeki yıkımların farklı eğim aralıklarında nasıl dağıldığını belirlemek amacıyla eğim değerleri yedi farklı sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 7. Çalışma bölgesinde en büyük yer ivmesinin dağılışı.

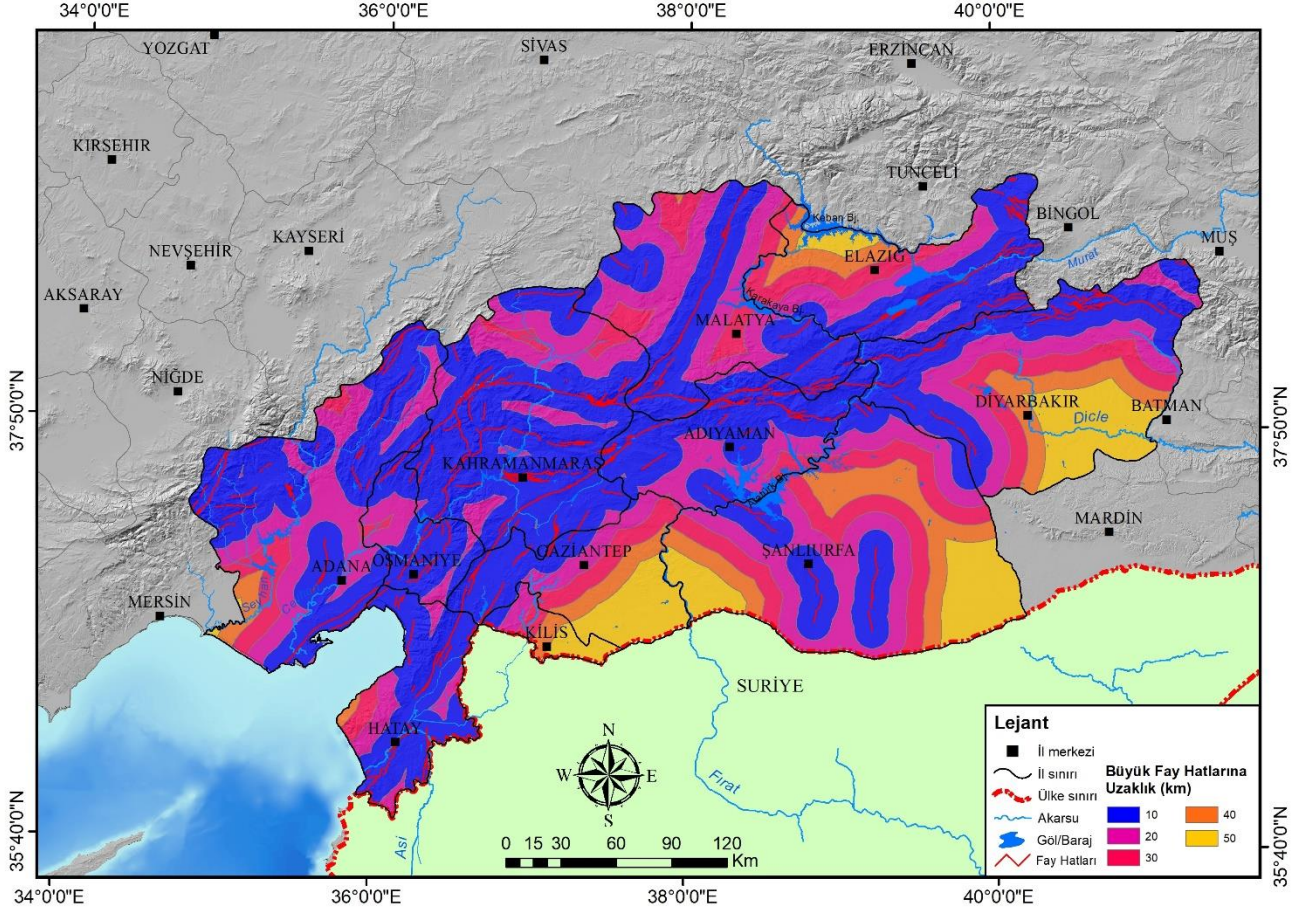


Şekil 8. Çalışma bölgesinde zemin geçirimsizlik durumlarının dağılışı.

3.1.5. Büyük fay hatlarına yakınlık

Deprem frekans oranı analizinde kullanılan ve depremlerin yıkıcı etkisinde göz ardı edilemeyeceği bir diğer faktör büyük fay hatlarına yakınlık olmuştur. Muhtemel bir depremin şiddetinin yüksek ya da hafif olması direkt olarak fay hatlarına uzaklığa bağlıdır. Ancak fay hatlarına yakınlık tek başına değerlendirilen bir kriter olmamalıdır. Bu nedenle diğer coğrafi faktörler ile değerlendirildiğinde fay hatlarına yakınlık faktörünün önemi ortaya çıkmaktadır. Nitekim Erinç'e (2000) göre fay hatlarına yakınlık deprem yer hareketinin şiddetini artırıcı yönde etkiye sahipken, üzerinde bulunan

yapıların buldukları zemine göre de sarsılma ve hasara uğrama seviyelerini belirler (Erinç, 2000). Örneğin, 1999 Kocaeli depremi incelendiğinde, depremin odağına yani oluşan fay hattına daha uzak olan Avcılar ilçesinin, daha yakın alandaki Kadıköy ilçesi ile kıyaslandığında, Avcılar ilçesinin daha ağır hasar aldığı gözlemlenmiştir. Depremin vereceği hasarın boyutunun deprem risk analizinde değerlendirilmesi bakımından çalışma bölgesinde faylara yakınlık için büyük deprem üretme potansiyeline sahip faylar olması sebebiyle 0-50 km arasında değişen yakınlık sınıfları oluşturulmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Çalışma bölgesinde büyük fay hatlarına yakınlık durumunun dağılışı.

3.2. Yıkılan binaların morfolojik parametreler ile değerlendirilmesi

Kahramanmaraş merkezli olarak meydana gelen 7,7 ve 7,6 Mw büyüklüğündeki depremlerden sonra ilgili kurumlar tarafından hasar tespit çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan tespitlere göre, depremden en çok etkilenen ilçeler Kahramanmaraş'ın Dulkadiroğlu, Hatay'ın Antakya, Gaziantep'in Nurdağı, Şanlıurfa'nın Haliliye, Diyarbakır'ın Bağlar, Malatya'nın Doğanşehir ve Osmaniye, Adıyaman, Kilis ve Elazığ illerinin merkez ilçeleridir (URL-2). Bu ilçeler, deprem sonucunda önemli hasara uğrayan bölgeler olarak belirlenmiştir. Yıkılan bina-zemin ilişkisini belirlemek ve depremin hangi yükseklik, eğim aralıklarında yıkımlara neden olduğunu saptamak için yıkılan binaların bulunduğu alanlar (ilçe, mahalle, sokak ve bina bazında konumları) oluşturulan eğim, yükseklik ve jeoloji

parametreleri ile karşılaştırılmış ve bu coğrafi parametrelerin yıkılan binalar üzerindeki jeolojik ve jeomorfolojik etkileri analiz edilmiştir.

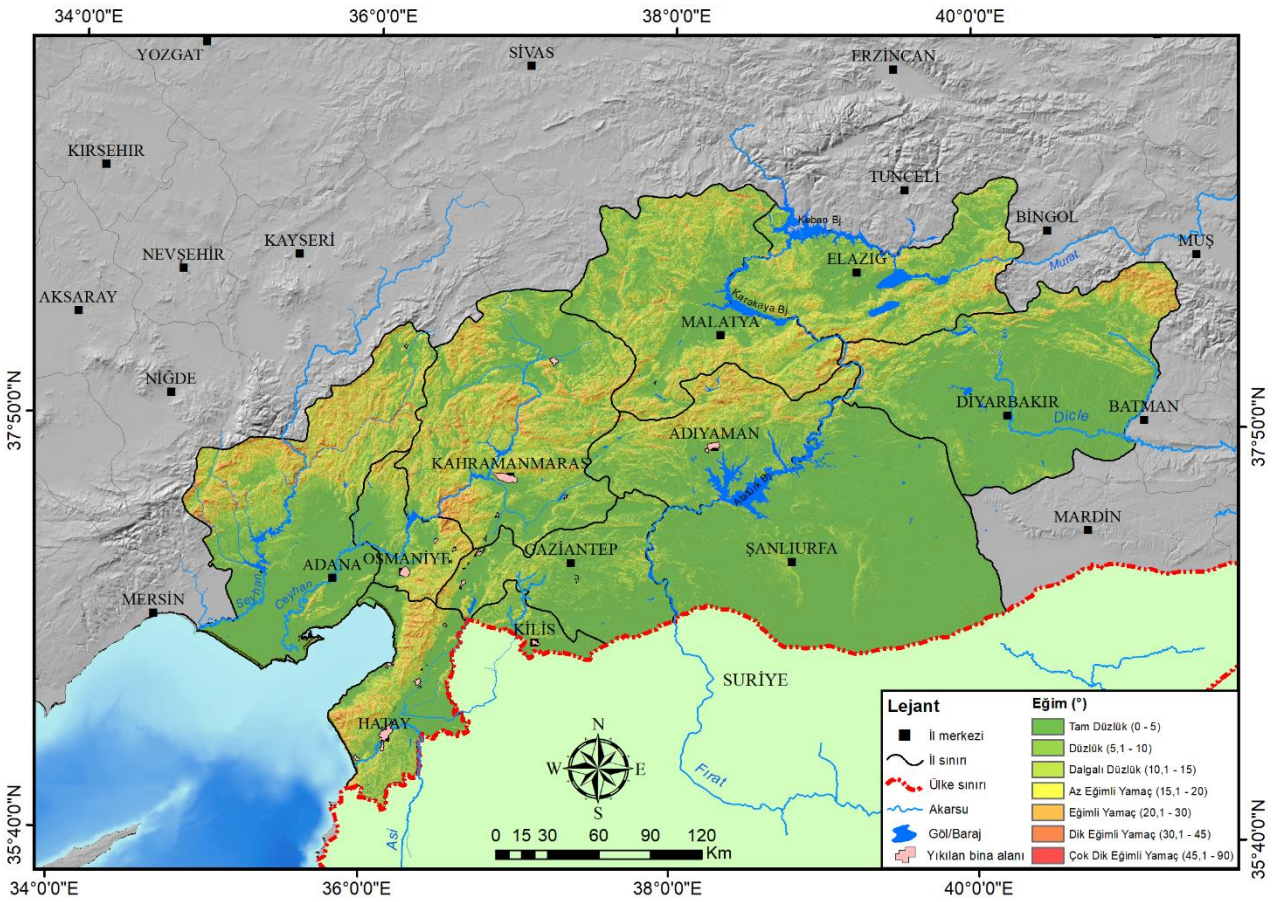
3.2.1. Yıkılan bina-eğim ilişkisi

Eğimli alanlarda inşa edilen binaların deprem davranışı, düz zemindeki binalardan farklıdır. Bu binaların yapısal bileşenleri, ardışık katların tepelere doğru geriye doğru adım atması ve bazen binaların geriye çekilmesi nedeniyle farklılık gösterir. Bu durum, aynı katlarda eşit olmayan yüksekliklerine neden olur ve hem boyuna hem de enine eğim yönlerinde ciddi sertlik düzensizliklerine yol açar. Bu nedenle eğimli alanlarda inşa edilen binalar, düz zemindeki binalara göre daha karmaşık bir davranış sergilerler (Singh ve Phani Gade, 2012). Deprem kuvveti yapıları hareket ettiren, yapılar da harekete karşı direnç gösterir ve esneyerek

hareket eder (Ocak ve Bahadır, 2022; Pampal, 1999). Eylemsizlik kuvveti ise, cisimlerin hareketsizlik veya sabit hızla hareket etmeleri nedeniyle dış kuvvetlere karşı direnç göstermeleridir (Değerliyurt, 2013). Eğimli yamaçlardaki konutlar, deprem sırasında bu iki kuvvete ek olarak düşme kuvvetine karşı da direnç göstermek zorundadır. Yapı elemanları, deprem sırasındaki esneme ve direnç kuvvetine ek olarak düşme kuvvetine dayanamazsa devrilme ve yıkılma riskiyle karşı karşıya kalır (Değerliyurt, 2013). Bu durumlar, eğimli yamaçlardaki konutların depreme karşı daha hassas olduğunu göstermektedir.

Depremin etkilediği 11 ildeki yıkımların farklı eğim aralıklarında nasıl dağıldığını belirlemek amacıyla eğim değerleri yedi farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 10). Yapılan sınıflandırma sonucunda, depremlerin %84'ünün 0-5° arasındaki düz alanlarda meydana geldiği tespit

edilmiştir (Tablo 3). Bu analiz, beklenenin aksine, yüksek eğimli alanlarda daha fazla bina yıkımının olması gerektiği genel kabulüne meydan okumaktadır. Özellikle, deprem kuvveti ve eylemsizlik kuvvetlerinin etkileri göz önüne alındığında, düşük eğimli bölgelerdeki binaların daha fazla zarar gördüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca, inceleme alanında yerleşim ve şehirleşme tercihinin çoğunlukla düşük eğim değerlerine sahip bölgelerde olduğu belirlenmiştir. Diğer yıkımlara bakıldığında, yıkımların %12,6'sının eğim değeri 5-10°, %2,7'sinin 10-12°, %0,6'sının 15-20° ve %0,1'inin 20-30° arasındaki eğim sınıflarında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Kahramanmaraş ilinin merkez ilçesi dışındaki tüm deprem bölgeleri, düşük eğim değerlerine sahip düz alanlardır. Ancak Kahramanmaraş'ın merkez ilçesi, genel anlamda yüksek eğim değerlerine sahip olması nedeniyle daha fazla düşme kuvvetine maruz kalmıştır.



Şekil 10. Deprem bölgesi eğim haritası.

Tablo 3. Yıkılan binaların eğim gruplarına göre alansal (km²) ve oransal (%) dağılımı.

	Eğim grupları (°)							Toplam
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-45	45-90	
11 ilin eğim alanı (km ²)	57.437,4	20.474,5	12.653,1	8.313,1	8.510,0	1.328,5	95,4	108.812
Oran (%)	52,79	18,82	11,63	7,64	7,82	1,22	0,09	100
Yıkılan binaların eğim gruplarına göre alanı (km ²)	202,3	30,2	6,5	1,4	0,3	0	0	240,7
Oran (%)	84	12,6	2,7	0,6	0,1	0	0	100

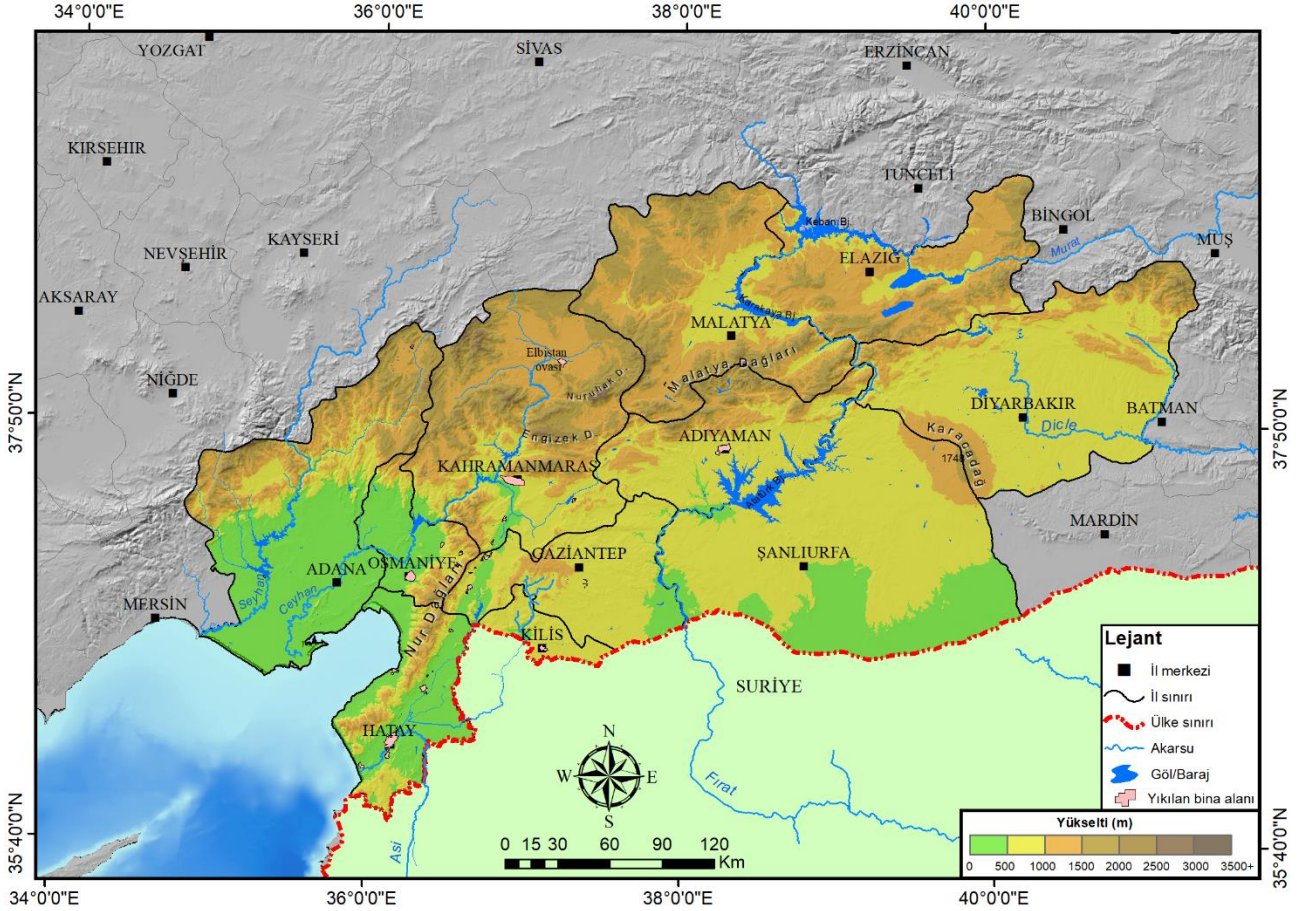
3.2.2. Yıkılan bina-topografik yükseklik (rakım) ilişkisi

Depremlerde yıkılan binalar ile topografik yükseklik arasında bir ilişki bulunmaktadır. Genel olarak

topografik yükseklik arttıkça binaların deprem etkilerine karşı daha fazla maruz kalma eğilimi vardır. Yüksek rakımlı bölgelerde yer alan yapılar, deprem sırasında daha büyük yer ivmelerine ve zemin hareketlerine maruz kalabilir. Bu bakımdan depremde yıkılan binalar ile

topografik yükseklik arasındaki ilişkinin belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle depremin meydana geldiği 11 ilde yıkılan binaların dağılımını incelemek amacıyla yedi (7) aralıklı bir yükseklik basamakları haritası oluşturulmuş (Şekil 11) ve depremlerin yıkıcı etkisinin yükseklik ile olan ilişkisi incelenmiştir. Oluşturulan haritaya göre; depremlerle ilişkili hasarın %49,7'sinin 0-500 m, %43,4'ünün ise 500-1.000 m aralığında meydana geldiği belirlenmiştir (Tablo 4). Bu sonuçlar, bölgedeki

yerleşmelerin büyük çoğunluğunun 1.000 m'nin altındaki yüksekliklerde olduğunu göstermektedir. Özellikle alçak düzlük alanlar (0-500 m), yerleşmelerin en yoğun olduğu ve depremden en çok etkilenen yükseklik aralığı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, depremlerin %6,9'unun 1.000-1.500 m yükseklik aralığında yıkıcı etkiler meydana getirdiği görülmüştür. Bu yıkıcı etkiler, Kahramanmaraş'ın Elbistan ve Adana'nın Tufanbeyli ilçelerinde gözlenmiştir.



Şekil 11. Deprem bölgesi yükseklik basamakları haritası.

Tablo 4. Yıkılan binaların yükseklik gruplarına göre alansal (km²) ve oransal (%) dağılımı.

	Yükseklik grupları (m)							Toplam
	0-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000-2500	2500-3000	3000-3500	
11 ilin yükseklik alanı (km ²)	20.363,4	47.028,0	24.979,7	13.954,0	22.61,3	218,2	7,5	108.812
Oran (%)	18,71	43,22	22,96	12,82	2,08	0,20	0,01	100
Yıkılan binaların yükseklik gruplarına göre alanı (km ²)	119,6	104,5	16,6	0	0	0	0	240,7
Oran (%)	49,7	43,4	6,9	0	0	0	0	100

3.2.3. Yıkılan bina-zemin ilişkisi

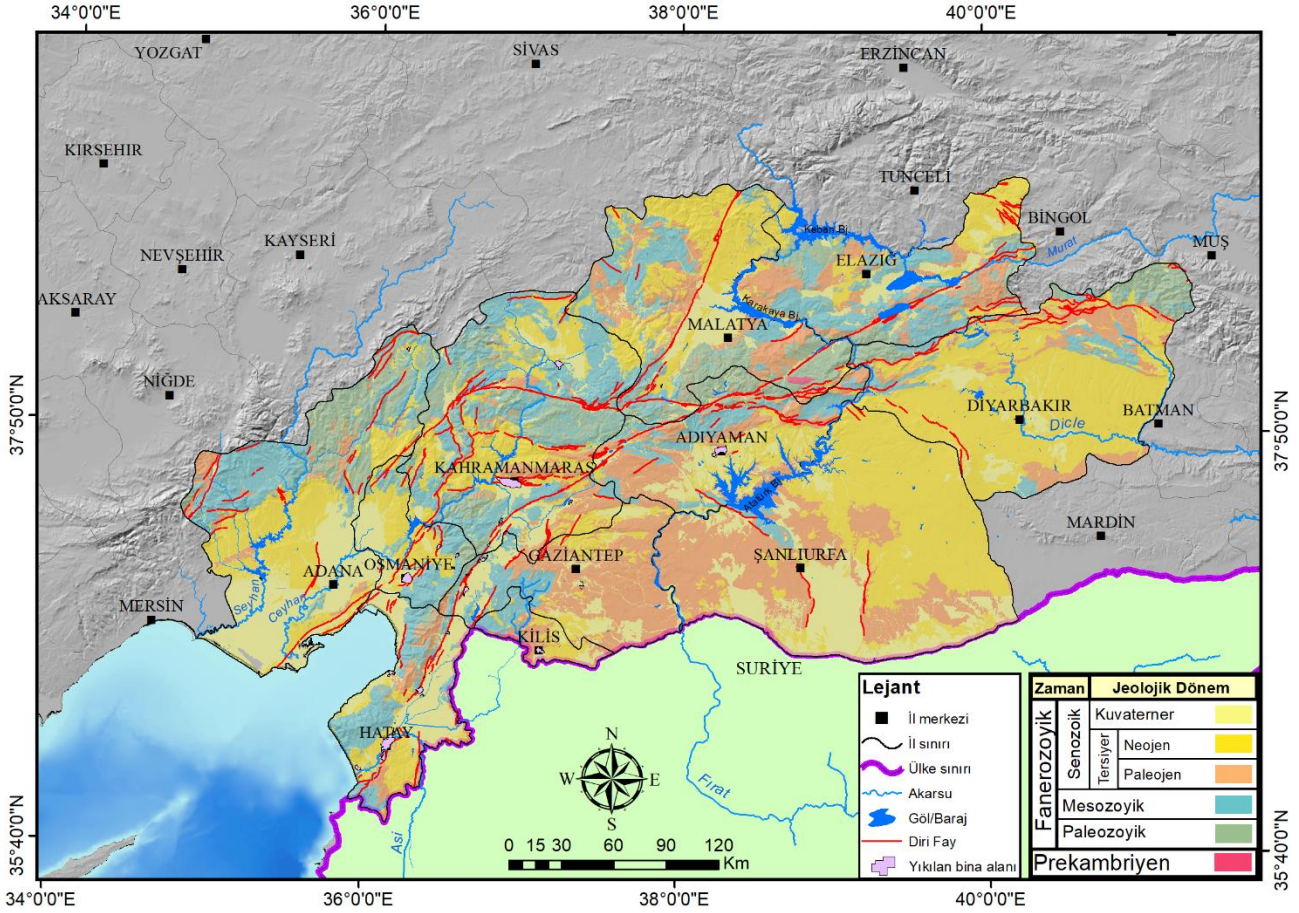
Bilindiği üzere deprem etkileri, sadece büyüklük ve süre gibi faktörlere bağlı olmayıp, deprem şiddeti ile zemin özellikleri arasındaki ilişkiden de etkilenmektedir (Çelik ve ark., 2000; İnce, 2011; Sert ve ark., 2016; Bayrak ve ark., 2021). Deprem dalgaları kaya zeminlerde yüksek hızlarda ve yüksek frekanslı titreşimlerle ilerlerken, gevşek zeminlerde daha yavaş hareket etmekte ve uzun periyotlu titreşimlere sebep olmaktadır (Balyemez ve Berköz, 2005; Sandal ve Karademir, 2013). Bu nedenle, sağlam zemin üzerine inşa edilen yapılar depreme karşı

daha dirençli iken, ıslak dolgu zemin üzerindeki depremin şiddetini birkaç kat daha fazla hissettiklerinden depremden daha çok etkilenirler (Sandal ve Karademir, 2013). Depremde meydana gelen yer hareketleri binaları etkiler ve her yapı kendi salınım periyodunu kazanır. Binanın salınım periyodu yapı ve zemin özelliklerine, kat sayısına ve yüksekliğine bağlı olarak değişir. Binanın salınım periyodu ile zeminin salınım periyodu üst üste bindiği zaman deprem hasarları beklenenden daha fazla olabilir. Bu durum rezonans olarak adlandırılır ve binaya gelen kuvvetin her seferinde binanın salınım hızını artırarak binayı

sallamasıyla açıklanır. Bu nedenle uzun periyota sahip binalar kısa periyotlu salınıma sahip zeminlere, kısa periyotlu salınıma sahip binalar ise uzun periyotlu salınıma sahip zeminlere inşa edilmelidir (Biricik ve Korkmaz, 2001). Özetle, çok katlı yüksek binaların sağlam zeminlerde inşa edilmesi, az katlı düşük binaların ise yumuşak, gevşek zeminler üzerine yapılması daha uygundur.

Depremi meydana geldiği illerde farklı jeolojik zamanlarda oluşmuş çeşitli kayaç grupları mevcuttur (Şekil 12). Bölgedeki en yaygın arazi tipleri, Neojen ve Paleojen dönemlerine ait volkanik ve volkanosedimanter kayaçlar ile Kuvaterner dönemine ait alüvyal

malzemelerdir (Şekil 13). Bu arazilerin yayılış alanında, Miyosen'den itibaren Arabistan levhasının kuzeye doğru ilerlemesi ve buna bağlı olarak ortaya çıkan sıkışma ve itilme sonucu GB-KD uzantılı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) meydana gelmiştir. DAFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonundan (KAFZ) sonra Türkiye'nin en aktif fay sistemi olup Ölü Deniz Fay Sisteminin kuzeydeki uzantısı olarak kabul edilir. DAFZ, genel olarak bindirme ve sol yanal doğrultu atımlı olarak bilinir. DAFZ, Karlıova-Antakya arasında 580 km'lik bir uzanım göstererek bölgenin jeodinamik evrimi ve depremselliğinde önemli rol oynamaktadır (Allen, 1969; Arpat ve Şaroğlu, 1972; Dewey ve ark., 1986; İmamoğlu ve Çetin, 2007).

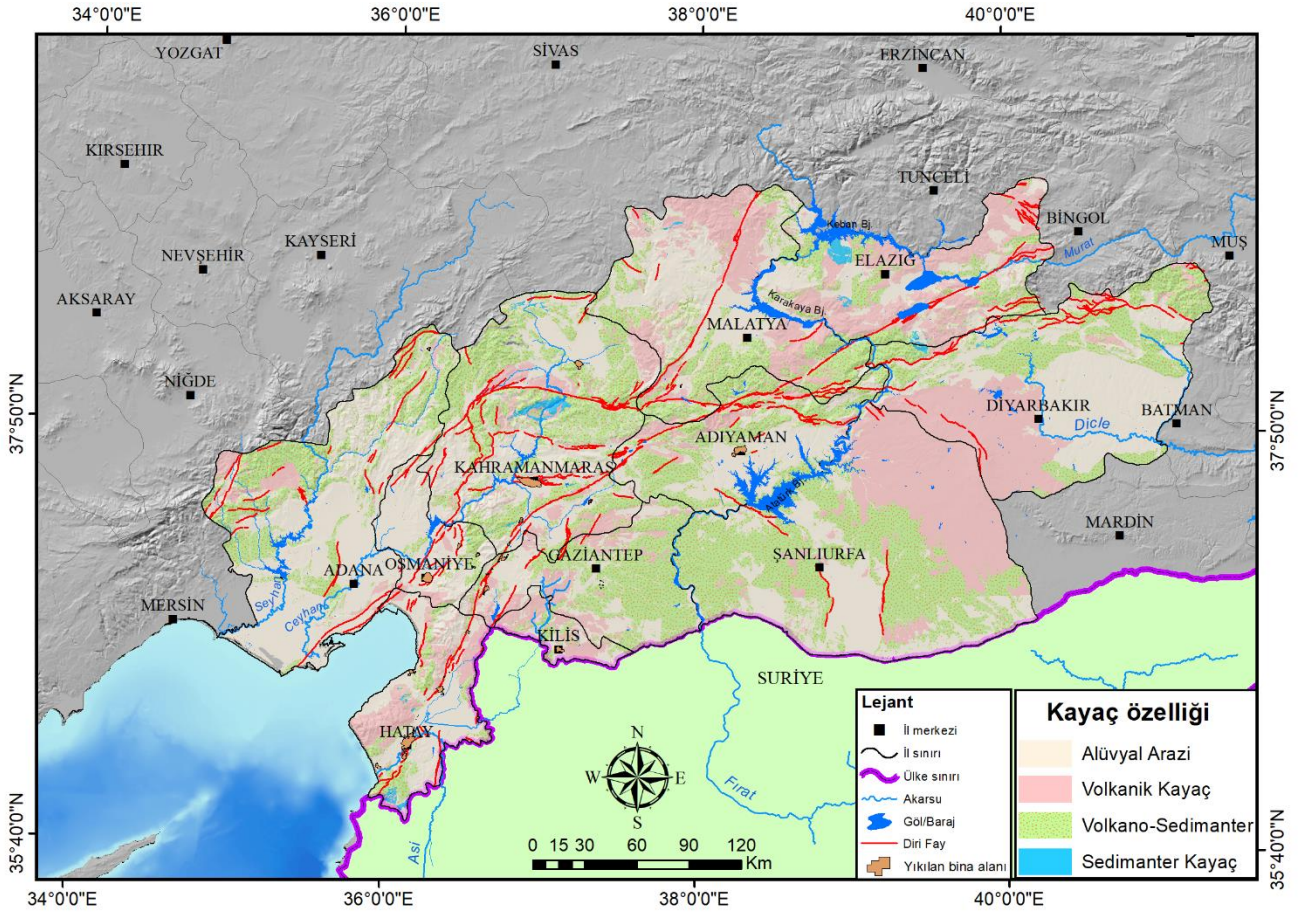


Şekil 12. Deprem bölgesi jeoloji haritası.

Yapılan araştırmada, yıkılan bina-zemin ilişkisini belirlemek amacıyla çalışma bölgesindeki kayaçlar jeolojik dönemlere göre incelenmiştir. Bulgulara göre, yıkılan binaların %46'sı (110,8 km²) Kuvaterner dönemine ait alüvyal arazi üzerinde yer almaktadır. Bu alanlar daha çok Hatay, Osmaniye, Gaziantep, Malatya, Kahramanmaraş ve Şanlıurfa illerinde bulunmaktadır. İkinci önemli alan ise %26,5 oranında (63 km²) Pliyosen dönemine ait Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı arazileridir ve bu alanlar Hatay, Osmaniye ve Adıyaman illerinde yer almaktadır (Tablo 5). Diğer yıkılan bina alanları ise Kuvaterner dönemine ait yamaç molozu-birikinti konisi, eski alüvyon, traverten arazileri (%13,8), Pliyosen-Miyosen dönemine ait bazalt arazileri (%1,4), Miyosen

dönemine ait kireçtaşı, çakıltaşı, ofiyolitik kaya arazileri (%10,4), Kretase dönemine ait serpantin arazileri (%0,5) ve Üst Jura-Alt Kretase dönemine ait volkanit-çökel kaya arazileri (%1,4) üzerinde yer almaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde depremde en fazla etkilenen yerlerde ana kaya özelliklerinin yumuşak ve pekişmemiş malzemelerden oluştuğu saptanmıştır. Çalışma bölgesinde yer alan ana kayanın sahip olduğu bu özellik, deprem titreşimlerinin sabit zemini hareket ettirmesi ile zemini akışkan bir zemine dönüştürmeye ve sıvılaşmaya neden olabilmektedir. Bunun sonucu olarak zemin, binaları taşıyamaz hale gelmekte ve binaların devrilmesine, eğilmesine ve hatta zemine göçmesine neden olmaktadır (Şekil 14).



Şekil 13. Deprem bölgesi kayaçların dağılışı.



Şekil 14. Adıyaman'ın Gölbaşı ilçesinde sıvılaşma sonucunda zemine göçen binalar (URL-3).

3.3. Depremde yıkıma uğrama riski analizi

Bu çalışma ile frekans oranlarının tespiti sonucunda 11 ilin deprem risk profili ortaya konulmaya çalışılmıştır. Analizde kullanılan renk kodlaması, sismik tehlikenin coğrafi dağılımını etkili bir şekilde göstermektedir.

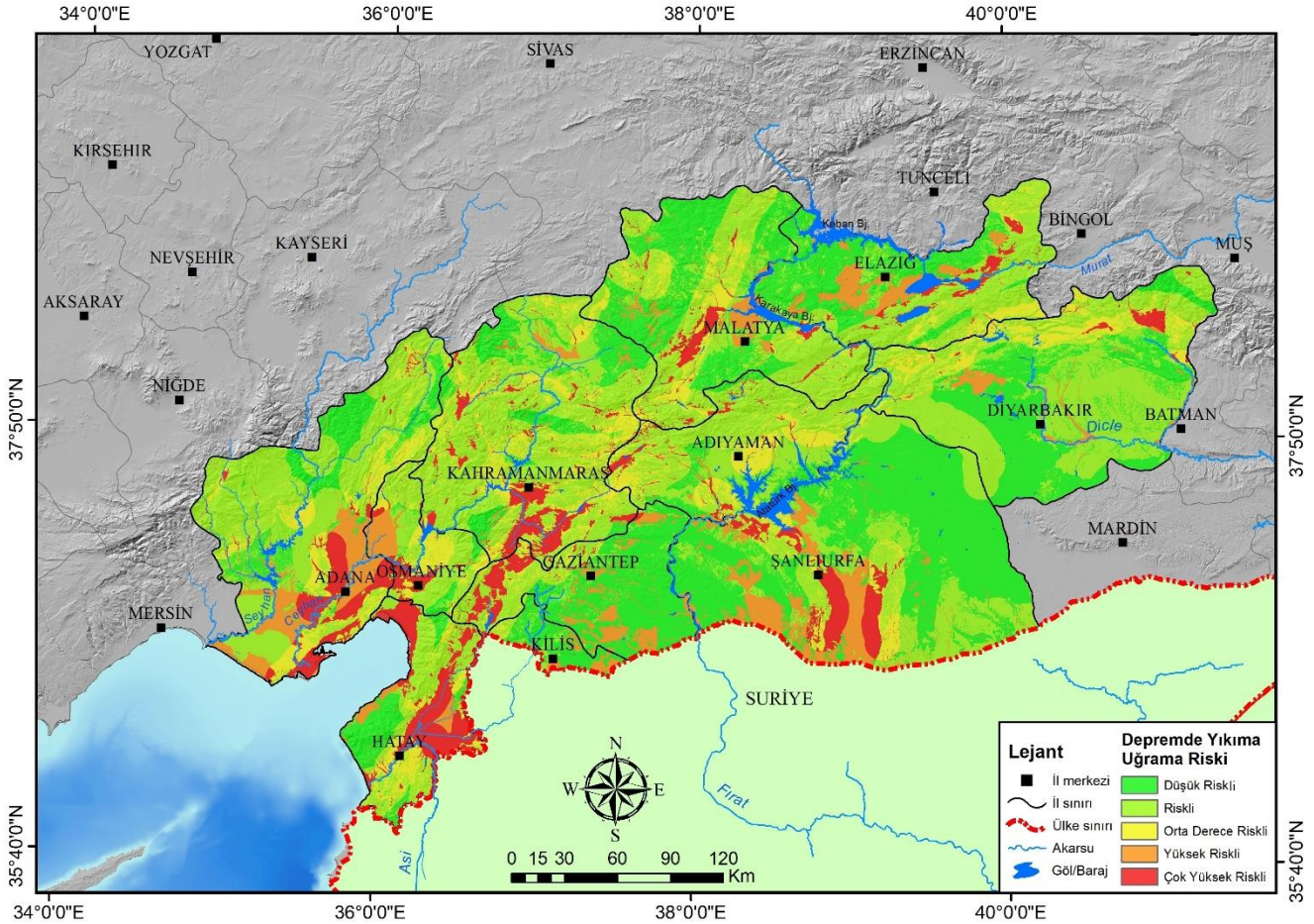
Kırmızı ve turuncu renkle vurgulanan bölgeler, yoğun sismik aktiviteye maruz kalarak çok yüksek ve yüksek yıkım riski altında olan yerleşim alanlarını işaret eder. Özellikle Hatay, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa, Kahramanmaraş ve Malatya gibi şehirlerin çevreleri çok yüksek ve yüksek risk kategorisine girmektedir (Şekil

15). Bu alanlara, deprem hazırlık ve müdahale planlaması açısından özellikle dikkat edilmesi ve kaynak ayrılması gerekmektedir. Sarı renkle belirtilen bölgeler, orta derecede risk taşıyan yerleşim alanlarını göstermektedir (Şekil 15). Buradaki risk, kırmızı ve turuncu alanlara göre daha azdır, ancak bu bölgelerdeki yapılarda sismik güçlendirme ve acil durum planlarının geliştirilmesi önem taşır. Yeşil renkle işaretlenen yerler

ise düşük ve en düşük deprem riskine sahip alanlardır (Şekil 15). Bu bölgelerdeki risk düzeyinin düşük olması, altyapı ve yapıların sismik etkilere karşı doğal olarak daha dirençli olduğunu veya sismik aktivitenin nispeten az olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bu bölgelerde dahi temel deprem güvenliği önlemlerinin ihmal edilmemesi önemlidir.

Tablo 5. Bina-zemin ilişkisine göre yıkılan binaların bulunduğu alanlara ait zemin özellikleri.

Jeolojik dönem	Kayaç Özelliği	Bulunduğu İl	Alan (km ²)	Oran (%)
Kuvaterner	Alüvyon	Hatay-Osmaniye-Gaziantep-Malatya-Kahramanmaraş-Şanlıurfa	110,8	46,0
	Yamaç molozu-Birikinti konisi	Kahramanmaraş-Hatay	24,2	10,1
	Eski alüvyon	Elâzığ-Kilis	6,8	2,8
	Traverten	Hatay-Adana	2,2	0,9
Pliyosen	Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı	Hatay	31,2	13,0
	Çakıltası-Kumtaşı-Çamurtaşı	Osmaniye-Adıyaman	32,8	13,5
Pliyosen-Miyosen	Bazalt	Diyarbakır-Kilis	3,3	1,4
	Kireçtaşı	Hatay	12,7	5,3
Miyosen	Çakıltası	Kahramanmaraş	8,3	3,4
	Ofiyolitik kaya	Hatay-Elâzığ	4	1,7
Kretase	Serpantin	Osmaniye	1,1	0,5
Üst Jura-Alt Kretase	Volkanit-Çökel kaya	Kahramanmaraş	3,3	1,4
Toplam			240,7	100



Şekil 15. Deprem frekans oranına göre 11 ilde depremde yıkıma uğrama riski haritası.

Bu çalışmada ele alınan toplam 108.812 km² alanda yapılan deprem frekans analizine göre, alanın %43,72'si "Riskli" düzeyde yer almaktadır ve bu durum, bölgenin

büyük bir kısmının önemli bir deprem riski altında olduğunu göstermektedir. "Düşük Risk" grubu, görece güvenli alanları temsil ederken, toplam alanın %29,01'ini

kaplayarak büyük bir bölümü oluşturur. "Orta Derece Riskli" ve "Yüksek Riskli" kategoriler toplam alanın sırasıyla %11,19 ve %8,23'ünü temsil ederken, "Çok Yüksek Riskli" bölge %7,85'lik bir alana sahiptir ve bu kategorideki bölgeler en fazla dikkat ve önlem gerektiren yerlerdir (Tablo 6).

Tablo 6. Deprem frekans oranına göre 11 ilde risk gruplarının alansal ve oransal dağılımı.

Risk Grupları	Alan (km ²)	Oran (%)
Düşük Riskli	31.567	29,01
Riskli	47.574	43,72
Orta Derece Riskli	12.175	11,19
Yüksek Riskli	8.953	8,23
Çok Yüksek Riskli	8.543	7,85
Toplam	108.812	100

4. Sonuçlar

Sonuç olarak bu çalışma, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş Depremleri sırasında yıkılan binaların zemin ilişkilerinin kapsamlı bir analizini sunmaktadır. Bu çalışmada; jeoloji, eğim, topografik yükseklik, en büyük yer ivmesi, zemin geçirimsizliği, büyük fay hatlarına yakınlık verileri ile HOTOSM (Humanitarian Open Street Map Team) verileri, temel alınarak, deprem frekans oranlarının ve etkilerinin coğrafi dağılımı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada yıkılan binaların eğim, yükseklik, zemin tipi ve genel deprem riski ile olan ilişkileri dört farklı kategori altında incelenmiştir: yıkılan bina-eğim ilişkisi, yıkılan bina- topografik yükseklik ilişkisi, yıkılan bina-zemin ilişkisi ve depremde yıkıma uğrama riski analizi. Bu parametreler, Kahramanmaraş Depremleri sırasında yıkılan yapıların özelliklerini ve risk faktörlerini daha iyi anlamamıza yardımcı olmuştur.

Bu çalışmada, Kahramanmaraş merkezli depremler sırasında yıkılan yapıların büyük çoğunluğunun (%84) 0-5° eğim aralığındaki düz alanlarda yer aldığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, düşük eğimli alanların yerleşim ve yapılaşma için tercih edildiğini gösterirken, nispeten güvenli olarak kabul edilen bu bölgelerin beklenmedik bir sismik aktivite durumunda ciddi riskler taşıdığını ortaya koymaktadır. İlginç bir şekilde, yıkımlar eğim arttıkça azalmaktadır. Yıkımların 5-10° eğimli alanlarda %12,6, 10-15° eğimli alanlarda %2,7 ve daha yüksek eğimli alanlarda ise daha da düşük bir orana indiği gözlemlenmiştir. Çünkü az eğimli alanlar, düz-düze yakın alanlar alüvyal zeminlerden oluştuğu için buralarda yıkım daha fazla olmuştur. Bu sonuç, eğim değerlerinin yüksek ya da düşük olmasının her deprem alanında aynı sonucu doğurmayabileceğini vurgulamaktadır. Analiz sonuçları, depremin etkilerinin bölgeden bölgeye farklılık gösterebileceğini ve binaların yapısı, yerel zemin koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, düşük eğimli alanlardaki bina yıkımlarının, beklenenden daha yüksek olmasının nedenleri daha detaylı bir araştırma gerektirmektedir. Şehir planlaması ve afet risk yönetimi stratejilerinde sadece yüksek eğimli alanların değil, aynı zamanda düşük eğimli alanların da kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Özellikle, düz alanlarda yaşanabilecek sıvılaşma gibi jeoteknik risklerin

yanı sıra, yüksek yapı yoğunluğu olan bölgelerdeki yapıların sismik dayanıklılığının artırılması gerekmektedir. Bu çalışma, yerleşim yerlerinin planlanmasında ve altyapı gelişiminde, potansiyel sismik tehlikeleri en aza indirecek şekilde kapsamlı bir yaklaşım benimsemenin ve bu yaklaşımın hem düşük hem de yüksek eğimli alanlarda uygulanmasının önemini vurgulamaktadır.

Çalışma kapsamında Kahramanmaraş merkezli depremler esnasında yıkılan yapıların çoğunluğunun gerçekleştirilen istatistiksel ve mekânsal analizlere göre, düşük rakımlı alanlarda konumlandığı belirlenmiştir. İncelenen 11 ildeki yıkılan yapıların %49,7'si 0-500 m ve %43,4'ü 500-1.000 m yükseklik aralığında meydana gelmiştir. Bu da bölgedeki yerleşimlerin büyük bir kısmının bu yükseklik kategorilerinde yer aldığını göstermektedir. Özellikle 0-500 metre aralığı, en yoğun yerleşim ve depremden en çok etkilenen yükseklik aralığı olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, 1.000-1.500 m aralığında da %6,9'luk bir yıkımın gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu veriler, yükseklik artışıyla birlikte yıkım oranlarının azaldığını; ancak 1.000 metre üzeri rakımlarda da önemli yıkımların gerçekleştiğini, dolayısıyla bu yükseklik dilimlerinin deprem risk yönetimi ve şehir planlaması açısından özenle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Deprem risk yönetimi ve şehir planlaması stratejileri, bu bulgular ışığında hem alçak düzlüklerde hem de orta yüksekliklerde yer alan yerleşim alanları için yeniden gözden geçirilmeli ve sismik dayanıklılık önlemleri bu yükseklik profillerine göre uyarlanmalıdır. Afet senaryo planlamaları ve risk değerlendirmeleri, bu coğrafi ve topografik verileri temel alarak, yerleşim yerlerinin ve altyapıların sismik tehlikelere karşı daha dirençli hale getirilmesine odaklanmalıdır.

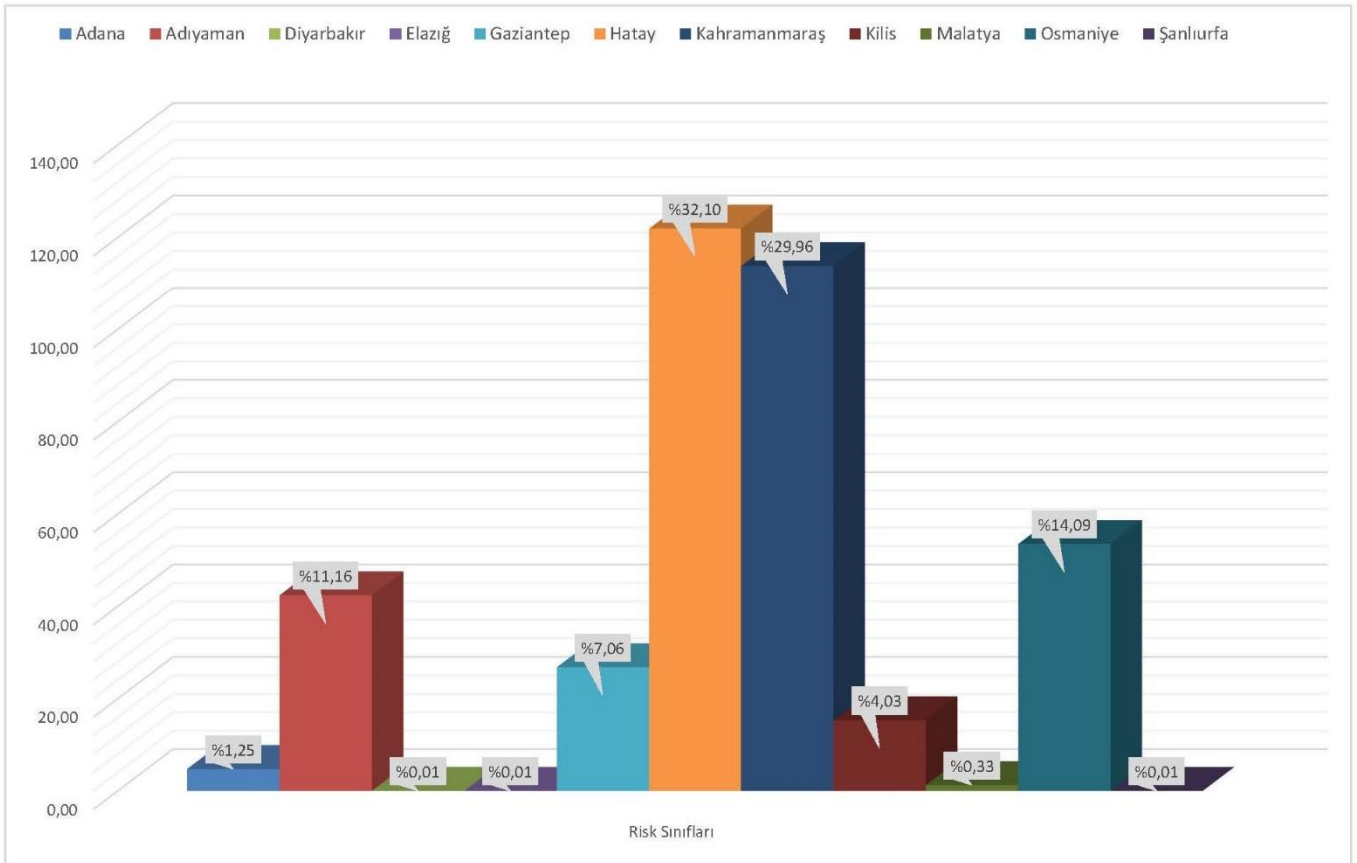
Çalışma kapsamında ayrıca, Kahramanmaraş ve çevresindeki deprem etkisi altındaki yıkılan yapıların zemin özellikleri ve jeolojik birimlerle olan ilişkisi de kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Deprem etkisinin yerel zemin ile ilişkilendirildiği analiz sonuçları, zemin türlerinin ve jeolojik dönemlerin yapısal hasarlara etkisi konusunda önemli bulgular ortaya konulmasını sağlamıştır. Özellikle, yıkılan yapıların büyük çoğunluğu, toplam alanın %46'sını temsil eden 110,8 km²'lik Kuvaterner dönemine ait alüvyon zeminler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Bu zeminler, sismik dalgaların zayıf yapıları daha da olumsuz etkileyebileceği gevşek ve düşük mukavemetli malzemelerden oluşmaktadır. Bu durumun Pliyosen dönemi kayaçlarının; özellikle kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşının bulunduğu 31,2 km²'lik alanlar (%13) ve Miyosen dönemine ait çakıltaşı, kireçtaşı ve bazaltların yer aldığı 8,3 km²'lik alanlarla (%3,4) yıkım oranlarında dikkate değer bir etkisi olduğu gözlenmiştir. Ayrıca Pliyosen-Miyosen dönemi bazaltları, yıkılan yapılar için 3,3 km²'lik (%1,4) bir alanı kaplarken, bu yapılar genellikle daha yüksek sismik dirence sahip olan sert kayaçlar üzerine inşa edilmiştir. Kuvaterner dönemine ait yamaç molozu ve birikinti konilerinin bulunduğu 24,2 km²'lik (%10,1) alanlar ve eski alüvyonların yer aldığı 6,8 km²'lik (%2,8) alanlar da incelenmiştir. Bu alanlar, yapısal hasarların zemin tipi ve jeolojik özelliklerle nasıl ilişkilendirilebileceğini ve bu etkileşimin, afet risk

yönetimi stratejileri geliştirilirken nasıl dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Sonuç olarak gerçekleştirilen çalışmada elde edilen bulgular, zemin türleri ve jeolojik yaşların yapısal hasarlarla ilişkisini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Ayrıca bu bulgular, deprem risk yönetimi ve yapısal tasarım ilkelerinin geliştirilmesinde etkili bir rehber olarak kullanılabilir. Zemin ve jeolojik özelliklerin, yapıların deprem performansı üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak ve sismik dayanıklılığı artırmak amacıyla kayaç türlerinin ve zemin özelliklerinin yapısal hasar değerlendirmelerine ve şehir planlamasına entegrasyonu, gelecekteki araştırmalar ve uygulamalar için temel bir öneme sahiptir.

Araştırma, depremde yıkıma uğrama riskinin coğrafi dağılımını ve frekansını değerlendirerek bölgenin risk profilini net bir şekilde ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar; özellikle Hatay, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa, Kahramanmaraş ve Malatya çevresindeki yerleşim alanlarının yüksek sismik aktivite nedeniyle yüksek yıkım riski altında olduğunu göstermektedir. Bu alanlar, deprem hazırlık ve müdahale planlaması için öncelikli öneme sahiptir ve özel dikkat ile kaynak ayrılmasını gerektirir. Düşük riskli bölgelerde bile temel deprem güvenlik önlemlerinin uygulanması kritik önem taşımaktadır. Toplam 108.812 km² analiz alanında, "Riskli" olarak sınıflandırılan ve toplam alanın %43,72'sini kaplayan bölgeler en geniş yüzeyi oluşturmuş ve böylece bölgenin büyük bir kısmının önemli deprem riski altında olduğu görülmüştür.

6 Şubat 2023'te meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinin ardından yapılan analizler zemin özelliklerinin ve jeolojik yapının ne denli önemli olduğunu göstermiştir. Yıkılan yapıların büyük bir bölümünün düşük eğimli ve düşük rakımlı alanlarda konumlandığı, bu alanların da genellikle alüvyon gibi gevşek zeminlerden oluştuğu tespit edilmiştir. Yapıların çoğunun bu tür zeminler üzerinde yükselmesi, deprem sırasında hasar görme riskini önemli ölçüde artırmaktadır. Buna karşın, sert kayaçlar üzerinde inşa edilen yapılarda hasar oranlarının daha düşük olduğu gözlenmiştir. Depremsellik açısından aktif olan Hatay, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa, Kahramanmaraş ve Malatya gibi alanlarda riskin yüksek olması, bu bölgelerde deprem önlemlerinin ve müdahale kapasitesinin öncelikli olarak artırılması gerektiğini işaret etmektedir (Şekil 16). Ancak bu çalışma Kahramanmaraş ve çevresindeki 6 Şubat depreminin risk analiz sonuçlarına dayanarak, depremin etkilediği alanlardaki yapı stoğunun güçsüzlüğü ile ilgili önemli bir paradoksu da ortaya koymuştur. Özellikle, deprem frekans analizine göre riskin düşük olduğu bölgelerde, örneğin Elbistan ilçesi gibi, beklenmeyen büyük yıkımların ortaya çıkması, yapı stoğunun kalitesizliği ve dayanıksızlığı ile ilişkilendirilmiştir. Bu durum, depremin sadece yüksek riskli alanlarda değil, aynı zamanda yapıların dayanıklılığındaki eksiklikler nedeniyle düşük riskli alanlarda da büyük etkilere neden olabileceğini göstermektedir.



Şekil 16. 11 ilde depremde yıkıma uğrama riskinin il bazında oransal dağılımı.

Gerçekleştirilen deprem risk analizi, risk yönetimi ve acil müdahale stratejilerinin geliştirilmesi için katkıda

bulunurken, aynı zamanda yapısal dayanıklılığın ve şehir planlamasının, jeolojik ve zemin özelliklerine göre

şekillendirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Sismik riskin minimize edilmesi adına yapıların konumlandırılmasında jeolojik ve topografik faktörlerin göz önünde bulundurulması, bu çalışmada ulaşılan en önemli sonuçlardan biridir. Gelecekteki yapılaşma ve geliştirme projeleri ile daha güvenli ve dirençli bir kentsel altyapının inşası için gereken stratejik kararlar alınırken bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kullanılabilir. Bu bulguların ışığında, deprem hazırlık ve müdahale planlarının yanı sıra, yapısal tasarım ilkelerinin de yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, bölgesel deprem risk yönetiminin güçlendirmesi ve toplulukların afetlere karşı daha dirençli hale gelmelerinin sağlanması açısından önemli bir adım niteliğindedir.

Bu çalışma kapsamında oluşturulan deprem frekans ve yıkım riski haritasının kamuoyu ile paylaşılması için bir web tabanlı uygulama geliştirilmiştir (URL-4). Bu uygulama, geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından erişilebilir ve anlaşılabilir olup, bireylerin ve yerel yönetimlerin deprem riskine karşı bilinçlenmelerine katkıda bulunacaktır. Geliştirilen uygulama, kullanıcıların belirli bir bölgedeki deprem frekanslarını ve olası yıkım riskini interaktif haritalar üzerinden görmelerine olanak tanımaktadır. Ayrıca, bu haritalar, afet yönetimi ve kentsel planlama açısından önemli bilgiler sunarak yerel yönetimlere rehberlik edebilir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışmanın yayınlanmasında katkı sağlayan sayın yayın editörlerine, değerli editör ve hakemlere yapıcı eleştirileri ve yol gösterici yorumları için teşekkür ederiz.

Araştırmacıların katkı oranı

Selim Eraslan: Düzenleme, makale yazımı; **İlter Kutlu Hatipoğlu:** Yöntem, veri hazırlama, harita analizi, risk haritası üretimi; **Fatih Ocak:** Web tabanlı uygulamanın hazırlanması, veri üretimi, veri tabanı tasarımı, yöntem, düzenleme, literatür taraması, makale yazımı; **Fatih Işık:** Veri üretimi, yöntem, harita hazırlama, düzenleme, literatür taraması, makale yazımı; **Halil İbrahim Zeybek:** Düzenleme, makale yazımı

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

AFAD. (2018). Türkiye deprem bina Yönetmeliği. Ek: Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>

AFAD. (2023a). 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık ve Elbisten) Depremleri Saha Çalışmaları Ön Değerlendirme Raporu. https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Arazi_Onrap_or_28022023_surum1_revize.pdf

AFAD (2023b). 06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan Kahramanmaraş (Mw: 7.7 – Mw: 7.6) Depremleri Raporu. https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu_02.06.2023.pdf

Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(1), 21–44. <https://doi.org/10.1007/s100640050066>

Allen, C. R. (1969). Active faulting in northern Turkey. *Contribution 1577. Div. Geol. Sciences California Inst. Technology*, 32. https://authors.library.caltech.edu/74136/1/Allen_1969p1.pdf

Arpat, E., & Şaroğlu, F. (1972). Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler. *MTA Dergisi*, 78, 44–50.

Balyemez, S., & Berköz, L. (2005). Hasar görebilirlik ve kentsel deprem davranışı. *İtüdergisi/a Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 4(1), 3–14.

Başara, A. C., & Şişman, Y. (2022). Frekans oranı, kanıt ağırlığı ve lojistik regresyon yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının CBS tabanlı karşılaştırılması Comparison of landslide susceptibility maps using frequency ratio, weight of evidence and logistic regression meth. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 647–660. <https://doi.org/10.28948/ngmuh.1065284>

Bayrak, E. (2019). Doğu Anadolu Bölgesi İçin En Büyük Yer İvmesi Tahmini. *European Journal of Science and Technology*, 17, 676–681. <https://doi.org/10.31590/ejosat.637938>

Bayrak, E., Ozer, C., Cakici, H., & Kocadagistan, M. E. (2021). January 24, 2020 Sivrice (Turkey) Earthquake (Mw 6.8): Evaluation of Ground-Motion Prediction Equations and Microtremor Studies. *Turk Deprem Arastirma Dergisi*, 3(2), 125–148. <https://doi.org/10.46464/tdad.1003057>

Biricik, A. S., & Korkmaz, H. (2001). Kahramanmaraş'ın Depremselliği. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 3, 53–82.

Chaudhary, M. T., & Piracha, A. (2021). Natural Disasters—Origins, Impacts, Management. *Encyclopedia*, 1(4), 1101–1131.

Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/2023-Kahramanmaraş-ve-Hatay-Depremleri-Raporu.pdf>

Coşkun, M., & Toprak, F. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı orman yangını risk analizi: Bartın İli örneği. *Geomatik*, 8(3), 250–263. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1192219>

Çelik, O. C., Çılı, F., & Özgen, K. (2000). 17 Ağustos 1999 Kocaeli (İzmit) Depreminden gözlemler. *Yapı Dergisi*, 218, 65–76.

Değerliyurt, M. (2013). Antakya'da Doğal Afet Risk Analizi. <https://shodhganga.inflibnet.ac.in/jspui/handle/10603/7385>

Demirtaş, R., & Erkmek, C. (2000). Deprem ve jeolojisi. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*.

- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Saroglu, F., & Şengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of Eastern Anatolia - A young collision zone. In Geological Society Special Publication, 19, 1-36.
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.019.01.01>
- EM-DAT. (2023). EM-DAT: The International Disaster Database.
<http://www.emdat.be/Database/Trends/trends.html>
- Erinç, S. (2000). Jeomorfoloji-I. Der Yayınları.
- FAO. (2021). The impact of disasters and crises on agriculture and food security: 2021. In The impact of disasters and crises on agriculture and food security: 2021.<https://doi.org/10.4060/cb3673en>
- Fayez, L., Pazhman, D., Pham, B. T., Dholakia, M. B., Solanki, H. A., Khalid, M., & Prakash, I. (2018). Application of Frequency Ratio Model for the Development of Landslide Susceptibility Mapping at Part of Uttarakhand State, India. International Journal of Applied Engineering Research, 13(9), 6846-6854.
<http://www.ripublication.com>
- Hatipoğlu, İ. K., & Zeybek, H. İ. (2023). Türkiye’de etkili olan afetler. H. İ. Zeybek, F. Sipahi, Çam Alper Veli, T. Türkkan ve E. Hatipoğlu (Ed.), Multidisipliner Açılan Afetler içinde (ss. 25-80). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Hoşgören, M. Y. (2011). Jeomorfoloji terimler sözlüğü (1. Baskı). Çantay Kitabevi.
- İşık, F., Eraslan, S., & Zeybek, H. İ. (2023). Afet ve Afet Türleri. H. İ. Zeybek, F. Sipahi, A. V. Çam, T. Türkkan ve E. Hatipoğlu (Ed.), Multidisipliner Açılan Afetler içinde (ss. 1-24). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- İmamoğlu, M. Ş., & Çetin, E. (2007). Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve yakın yöresinin depremselliği. D.Ü.Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, 9, 93-103.
- İnce, G. (2011). The relationship between the performance of soil conditions and damage following an earthquake: A case study in Istanbul, Turkey. Natural Hazards and Earth System Science, 11(6), 1745-1758. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1745-2011>
- İTÜ. (2023). 6 Şubat 2023 04.17 Mw 7,8 Kahramanmaraş (Pazarcık, Türkoğlu), Hatay (Kırıkhan), ve 13.24 Mw 7,7 Kahramanmaraş (Elbistan/Nurhak-Çardak) Depremleri Ön İnceleme Raporu.
https://haberler.itu.edu.tr/docs/default-source/default-document-library/2023_itu_deprem_on_raporu.pdf?sfvrsn=77afe59e_4
- Kalaycioglu, S., Rittersberger-Tilic, H., Celik, K., & Günes, F. (2006). Integrated Natural Disaster Risk Assessment: The Socio-Economic Dimension of Earthquake Risk in the Urban Area. In Proceedings Geohazards Engineering Conferences International Year. <http://dc.engconfintl.org/geohazards/23>
- Kavak, K. Ş. (2017). Depremler ve Yerküre’nin İçi. In F. K. Lutgens, E. J. Tarbuck, & D. Tasa (Eds.), Genel jeoloji - Temel Kavramlar, 11, 334-359. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Korkmaz, H. (2006). Antakya’da Zemin Özellikleri ve Deprem Etkisi Arasındaki İlişki. Coğrafi Bilimler Dergisi, 4(2), 49-66.
- Mata-Lima, H., Alvino-Borba, A., Pinheiro, A., Mata-Lima, A., & Almeida, J. A. (2013). Impacts of natural disasters on environmental and socio-economic systems: what makes the difference?
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31728987004>
- Meşin, V., & Demir, V. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak Konya il merkezinde teknoloji geliştirme bölgesi için yer seçimi. Geomatik, 8(3), 208-221.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.1161059>
- Nola, I. A. (2018). Earthquakes and their environmental, medical and public health impacts. Salud Publica de Mexico, 60, S16-S22.
<https://doi.org/10.21149/9212>
- Ocak, F., & Bahadır, M. (2022). CBS teknikleri kullanılarak deprem duyarlılık analizi için Analitik Hiyerarşi Prosesi: Samsun Ladik Gölü Havzası örneği, Türkiye. Kesit Akademik Dergisi, 8(33), 322-348.
<https://doi.org/10.29228/kesit.64705>
- Özey, R., & Ünlü, M. (2022). Afetler Coğrafyası (1. Baskı). Aktif Yayınevi.
- Pampal, S. (1999). Depremler. Alfa Yayıncılık.
- Pandian, R. S., Udayakumar, S., Balaji, K. K. P., & Narayanan, R. L. (2023). Identification of groundwater potential for urban development using multi-criteria decision-making method of analytical hierarchy process. International Journal of Engineering and Geosciences, 8(3), 318-328.
<https://doi.org/10.26833/ijeg.1190998>
- Patil, M., Saha, A., Pingale, S. M., Rathore, D. S., & Goyal, V. C. (2023). Identification of potential zones on the estimation of direct runoff and soil erosion for an ungauged watershed based on remote sensing and GIS techniques. International Journal of Engineering and Geosciences, 8(3), 224-238.
<https://doi.org/10.26833/ijeg.1115608>
- Rao, N. P. (2016). Earthquakes. In Andhra Pradesh Akademi of Sciences (APAS).
<https://doi.org/10.1093/nq/s7-IV.81.58-b>
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2022). Natural Disasters. <https://ourworldindata.org/natural-disasters>
- Sandal, E. K., & Karademir, N. (2013). Kahramanmaraş’ta Depremsellik Bağlamında Zemin-Yerleşme İlişkisi. 3rd International Geography Symposium – GEOMED, 474-488.
- Sert, S., Özocak, A., & Bol, E. (2016). GIS - based evaluation of the effect of local soil properties on the earthquake damage patterns. SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(3).
<https://doi.org/10.16984/saufenbilder.01365>
- Singh, Y., & Phani Gade. (2012). Seismic Behavior of Buildings Located on Slopes-An Analytical Study and Some Observations From Sikkim Earthquake of. 15th World Conference on Earthquake Engineering, 1-10.
- Şengör, A. M. C. (1984). Türkiye’nin neotektoniğinin esasları. TJK Konferanslar Serisi, 40.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., & Şaroğlu, F. (1985). Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study1. In K. T. Biddle & N. Christie-Blick (Eds.), Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation

- (Vol. 37, p. 0). SEPM Society for Sedimentary Geology. <https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0211>
- TÜİK. (2022). İstatistik Veri Portalı. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>
- UNDRR. (2015). Global assessment report on disaster risk reduction 2015: making development sustainable: the future of disaster risk management. United Nations International Strategy for Disaster Reduction.
- URL-1: HOTOSM Turkey Destroyed Buildings (OpenStreetMap Export). Humanitarian Data Exchange v1.72.0. https://data.humdata.org/dataset/hotosm_tur_destroyed_buildings
- URL-2: Kahramanmaraş merkezli depremlerden etkilenen ilçelerdeki ilk hasar tespit verileri açıklandı. Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/asrin-felaketi/kahramanmaraş-merkezli-depremlerden-etkilenen-ilcelerdeki-ilk-hasar-tespit-verileri-aciklandi-/2819579>
- URL-3: Zemin sıvılaşması binaların giriş katını yuttu. <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/zemin-sivilasmasi-binalarin-giris-katini-yuttu-752240.html>
- URL-4: <https://arcg.is/10i1mn>
- USGS. (2023). Where do earthquakes occur? United States Geological Survey. <https://www.usgs.gov/faqs/where-do-earthquakes-occur>
- Uzun, A, Zeybek, H. İ., Bahadır, M., & Hatipoğlu, İ. K. (2016). Yeniköy Heyelanı, Perşembe/Ordu. The Journal of Academic Social Science Studies International, 50, 247–259. <http://dx.doi.org/10.9761/JASSS3437>
- Yalçın, H., Gülen, L., & Utkucu, M. (2013). Türkiye ve Yakın Çevresinin Aktif Fayları Veri Bankası ve Deprem Tehlikesinin Araştırılması. Yerbilimleri Dergisi, 34(3), 133–160.
- Zeybek, H. İ. (2002). Turhal Ovası ve Yakın Çevresinde Toprak Erozyonu. Doğu Coğrafya Dergisi 7(8), 99–130.
- Zeybek, H. İ. (1998). 22 Mayıs 1998 Havza Sel-Taşkın Felaketi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi 11, 157–64



© Author(s) 2024. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



CYGNSS toprak nemi verilerinin SMAP uydusu ve ISMN istasyonları ile karşılaştırmalı analizi

Muhammed Raşit Çevikalp ^{*1}, Mustafa Serkan Işık ¹, Mehmet Furkan Çelik ², Nebiye Musaoğlu ¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, cevikalpm@itu.edu.tr, isikm@itu.edu.tr, musaoglune@itu.edu.tr

² University of Twente, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands, m.f.celik@utwente.nl

Kaynak Göster: Çevikalp, M. R., Işık, M. S., Çelik, M. F., & Musaoğlu, N. (2024). CYGNSS toprak nemi verilerinin SMAP uydusu ve ISMN istasyonları ile karşılaştırmalı analizi. *Geomatik*, 9 (2), 227-237

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1424069>

Anahtar Kelimeler

Uzaktan algılama
GNSS-R
CYGNSS
Toprak nemi
CONUS

Araştırma Makalesi

Geliş: 23.01.2024
Revize: 08.03.2024
Kabul: 11.03.2024
Yayınlanma: 15.08.2024



Öz

Küresel Navigasyon Uydu Sistemi Reflektometrisi (GNSS-R) toprak nem izleme için elverişli bir uzaktan algılama yöntemidir. CYclone Global Navigation Satellite System (CYGNSS) görevi başlangıçta tropikal kasırga ve siklon etkinliklerinin belirlenmesi için tasarlanmış olsa da, toprak neminin yüksek zamansal çözünürlükte izlenebilmesi için değerli veriler sağlamaktadır. Bu çalışmada, Kıtasa Amerika Birleşik Devletleri (CONUS) bölgesinde Uluslararası Toprak Nemi Ağı'na (ISMN) ait yer istasyonlarına ait veriler kullanılarak CYGNSS gözlemlerinden elde edilen toprak nemi değerlerinin doğruluğu ve güvenilirliği test edilmiştir. CYGNSS misyonunun toprak nemini belirlemedeki performansı, NASA tarafından geliştirilmiş aktif ve pasif radar ölçme sistemi kullanan Soil Moisture Active Passive (SMAP) uydusunun performansı ile karşılaştırılarak verilerin tutarlılıkları incelenmiştir. Ayrıca CYGNSS uydusunun farklı iklim koşulları ve toprak yapısındaki sinyal karakteristiğini incelemek amacıyla, ISMN istasyonlarında elde edilen istatistiksel sonuçlar iklim çeşitliliklerine ve toprak dokusunun değişikliklerine göre sınıflandırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, CYGNSS verileri ile yer istasyonu verileri arasındaki korelasyon $R=0.45$ olarak bulunurken SMAP verileriyle korelasyonu $R=0.67$ olarak hesaplanmıştır. Böylece, uydu tabanlı GNSS-R misyonlarının başlangıcı olan CYGNSS misyonunun küresel ölçekte toprak neminin etkin bir şekilde elde edilebilmesi için değerli bir veri sağladığı görülmüştür.

Comparative analysis of CYGNSS soil moisture data with SMAP satellite and ISMN stations

Keywords

Remote sensing
GNSS-R
CYGNSS
Soil moisture
CONUS

Research Article

Received: 23.01.2024
Revised: 08.03.2024
Accepted: 11.03.2024
Published: 15.08.2024

Abstract

Global Navigation Satellite System Reflectometry (GNSS-R) is a remote sensing method that can be used to monitor soil moisture conveniently. Although the original purpose of the CYclone Global Navigation Satellite System (CYGNSS) mission was to determine tropical cyclone and cyclone activity, it provides valuable data for monitoring soil moisture at high temporal resolution. In this study, we tested the accuracy and reliability of soil moisture values obtained from CYGNSS observations using in situ data of the International Soil Moisture Network (ISMN) in the Continental United States (CONUS) region. We compared the performance of the CYGNSS mission in determining soil moisture with that of the Soil Moisture Active Passive (SMAP) satellite, which uses an active and passive radar measurement system developed by NASA, and examined the consistency of the data. Additionally, we classified the statistical results obtained at ISMN stations according to climate classification and soil texture variability to examine the signal characteristics of the CYGNSS satellite under different climatic conditions and soil texture variability. The comparison results showed that the correlation between CYGNSS data and in situ observation was $R = 0.45$, while the correlation with SMAP data was $R = 0.67$. Therefore, it has been demonstrated that the CYGNSS mission, which is the first of satellite-based GNSS-R missions, provides valuable data for effectively obtaining soil moisture on a global scale.

1. Giriş

Küresel ısınmanın sebep olduğu iklim değişikliği ve plansız kullanım nedeniyle su kaynakları seviyesi küresel ölçekte tehlike altındadır. Yersel su döngüsünün önemli bir parçası olan toprak neminin sürekli olarak izlenmesi, hidrolojik süreçlerin takibi ve iklim modelleme çalışmaları için gerekliliğinin yanı sıra tarımsal verimlilik ve etkin bir tarım politikasının geliştirilebilmesi için de önem arz etmektedir. Toprak nemi seviyesi bitkinin gelişme sürecinde yeterli miktarda suya ve besine erişmesinde etkin bir rol oynar. Bu sebeple, tarımsal faaliyetlerde toprak nemi, yağış miktarının yetersiz olduğu durumlarda ve kurak bölgelerde tarımsal su yönetimini düzenleyici bir parametredir.

Dünya'nın farklı bölgelerinde, özellikle tarım alanları, doğal bitki örtüsü, ormanlar ve sulak alanlarda gözlem istasyonları mevcut olup, toprağın farklı derinliklerine yerleştirilen algılayıcılar ile toprak nemi değişimi yüksek zamansal çözünürlük ile takip edilmektedir. Algılayıcılar sayesinde yüksek doğruluk ve güvenilirlikte elde edilen bu ölçmeler tarımsal faaliyetlerde sulama uygulamalarının optimizasyonu ve sulak alanların korunması gibi su kaynaklarının yönetimini gerektiren uygulamalar için önemli olup iklim değişkenleri ile etkileşiminin incelenmesinde kullanılmaktadır (Adeyemi ve ark., 2018; Filipović ve ark., 2022; Li ve ark., 2022). Yer sabit algılayıcılar ile elde edilen toprak nemi ölçmeleri yüksek zamansal çözünürlük, doğruluk ve güvenilirlik sağlamaktadır. Fakat yerel ölçekte çözüm sağlaması nedeniyle bölgesel ve küresel çapta araştırmaların yapılmasında mekânsal çözünürlük açısından yetersiz kalmaktadır (Bünyan Ünel ve ark., 2023). Bu nedenle iklim değişiminin modellenmesi ve su kaynaklarının yönetiminde yersel ölçmelerin kullanımı kısıtlıdır (Orth, 2021).

Uydu tabanlı uzaktan algılama yöntemleri ile yeryüzünün sürekli olarak gözlemlenebilmesi ve yersel ölçmelerin yaratmış olduğu mekânsal kısıtları aşabilecek çözümler sunmasından dolayı toprak nemi belirleme amacıyla uydu misyonları tasarlanmıştır. NASA'nın Toprak Nemi Aktif Pasif (Soil Moisture Active Passive - SMAP) (Entekhabi ve ark., 2010) ve ESA'nın Toprak Nemi ve Okyanus Tuzluluğu (Soil Moisture and Ocean Salinity - SMOS) (Kerr ve ark., 2012) misyonları gibi mikrodalga/radar teknolojisi kullanan uydulardan elde edilen uzaktan algılama verileri, yersel ölçmeler kullanarak toprak nemi tahmininin zorluklarının üstesinden gelmek için etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Yüksek zamansal çözünürlüğe sahip bu mikrodalga uydu misyonları, yersel ölçmelere olan bağımlılığı ortadan kaldıracak çok değerli veriler sağlamaktadır.

Bununla birlikte, son yıllarda önem kazanan Küresel Navigasyon Uydu Sistemi Reflektometri (Global Navigation Satellite System Reflectometry - GNSS-R) toprak nemi değerini elde etmek için etkin bir şekilde kullanılmaya başlayan bir mikrodalga uzaktan algılama tekniği olarak literatürde yerini almaya başlamıştır (Jin ve Komjathy, 2010). Geçmişte görev yapmış olan United Kingdom-Disaster Monitoring Constellation (UK-DMC) (Gleason, 2005) ve TechDemoSat-1 (Unwin ve ark., 2016) uyduları bu teknik ile toprak nemi izleme

konusunda önemli adımların atılmasını sağlamıştır. Aktif olarak yörüngede olan CYclone Global Navigation Satellite System (CYGNSS)(Ruf ve ark., 2012) ve Fengyun-3E (Yang ve ark., 2022) gibi uydu misyonlarıyla daha kapsamlı veriler elde etmek mümkün olmuştur. Ayrıca 2024 yılında fırlatılması planan Avrupa Uzay Ajansı projesi HydroGNSS (Unwin ve ark., 2021) misyonunun bu alandaki gelişmelere katkı sağlayacağı beklenmektedir.

GNSS-R yönteminde yeryüzünden gerisaçılan radar sinyalinin işlenmesiyle saçılma yüzeyi hakkında jeofiziksel bilgiler modellenmektedir (Yu ve ark., 2022). Geri saçılımın gerçekleştiği yüzey su, buz, çıplak toprak veya bitki olabilmekte ve elde edilen jeofiziksel parametre de yüzeyin yapısına göre değişkenlik göstermektedir. Yersel ölçmelerle birlikte uçak ve uydu tabanlı platformlar da kullanılarak okyanus yüzeyi pürüzlülüğü (Clarizia ve ark., 2008), rüzgar hızı (Asgarimehr ve ark., 2019; Wang ve ark., 2022a), altimetri (Cardellach ve ark., 2014; Rius ve ark., 2012), deniz seviyesi değişimleri (Altuntaş ve Tunaloğlu, 2022) ve biyokütle tahmini (Santi ve ark., 2020) gibi bir çok önemli çalışmada etkili bir araç olarak kullanılmakta olan GNSS-R yöntemi, toprak nemi belirleme amacıyla yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Arroyo ve ark., 2014; Rodriguez-Alvarez ve ark., 2009).

Uydu tabanlı GNSS-R misyonu olarak Aralık 2016 yılında yörüngeye gönderilen CYGNSS uydu misyonu toprak neminin takibi için çok değerli bir veri kaynağı haline gelmiştir. NASA, Michigan Üniversitesi ve Southwest Araştırma Enstitüsü tarafından başlatılan misyon, tropikal siklonları ve kasırgaları takip etmek amacıyla yörüngeye yerleştirilen 8 mikro uydudan oluşmakta olup ± 38 enlemler arası yarı küresel gözlem alanına sahiptir. Her ne kadar okyanus rüzgarlarını takip etmek amacıyla dizayn edilmiş olsa da CYGNSS'in karalar üzerinde elde ettiği yüksek zamansal bistatik radar verileri toprak neminin hesaplanması için etkin bir şekilde kullanılabilir (Ruf ve ark., 2012). CYGNSS uyduları ile elde edilen verilerle hesaplanan toprak nemi verileri, kuraklık izleme, tarım ve su kaynakları yönetimi için değerli bilgiler sağlayarak, geniş alanlarda toprak neminin yüksek zamansal ve mekansal çözünürlükte takip edilebilmesi için giderek daha fazla kullanılmaktadır. CYGNSS misyonu neredeyse günlük veri sunması sayesinde uzay tabanlı GNSS-R toprak nemi gözlemi için değerli bir veri kaynağı olmuştur (Clarizia ve Ruf, 2016).

Literatürde CYGNSS-tabanlı toprak nemi verileriyle yapılan çalışmalar genel olarak toprak nemi hesaplanması için algoritma geliştirmeye ve elde edilen toprak nemi verilerinin doğrusal olmayan modelleme algoritmaları ile tahmin modeli geliştirilmesine odaklanmıştır (Chew & Small, 2018; Clarizia ve ark., 2019; Eroglu ve ark., 2019; Senyurek ve ark., 2020). Ancak, uzaktan algılama tekniklerine dayalı toprak nemi verilerinin pratikte doğrudan kullanılabilirliklerinin ortaya konulması için bu veri setlerinin doğruluk ve güvenilirliğinin farklı veri kaynaklarıyla doğrulanması gerekmektedir. Bu kapsamda CYGNSS'den üretilen toprak nemi verilerinin öncül doğrulanması Chew ve Small, 2020 tarafından 171 yer istasyonu kullanılarak yapılmış ve CYGNSS'in yersel veri ile korelasyonu $R=0.40$

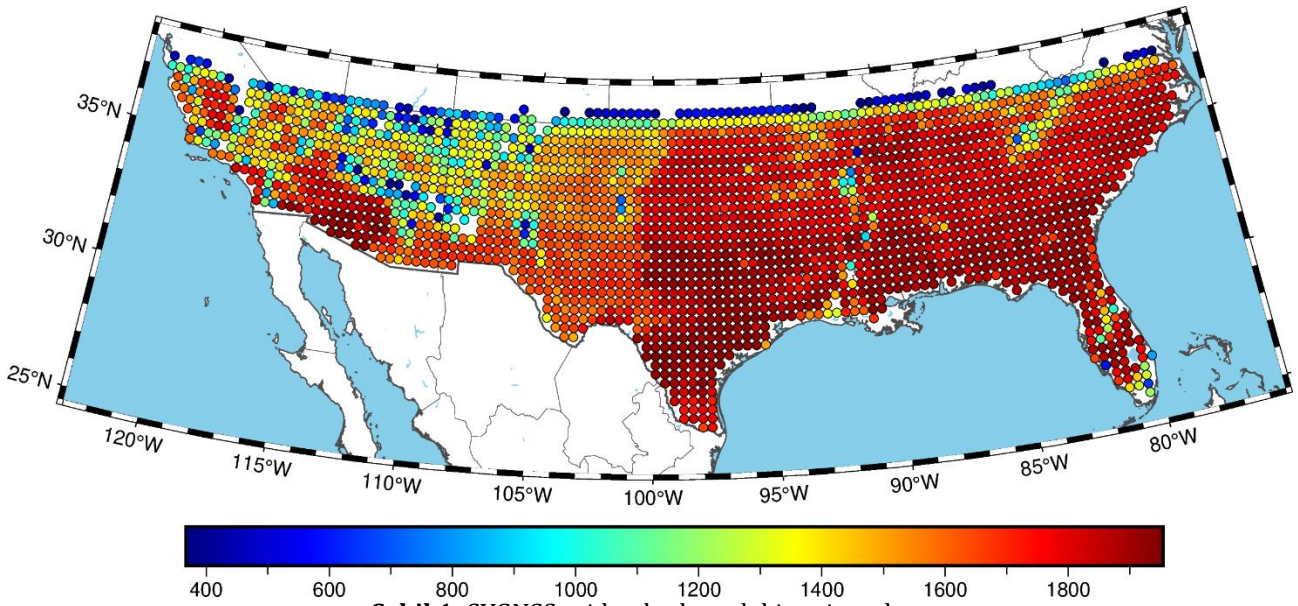
olarak bulunmuştur. Wang ve ark., (2022b) kuazi global olarak CYGNSS toprak nemi verileriyle doğrulama çalışması gerçekleştirmiş olup yersel veri ile korelasyon katsayısının yaklaşık R=0.40 olduğunu tespit etmiştir.

Bu çalışmada öncelikle CYGNSS uydu misyonundan elde edilen verilerin özellikleri hakkında detaylı bilgi vermek daha sonra da bir test bölgesinde bu verilerden türetilen toprak nemi değerlerinin kullanılabilirliğini incelemek amaçlanmıştır. Bu kapsamda, CYGNSS misyonunun coğrafi kısıtları göz önünde bulundurularak Kıtasal Amerika Birleşik Devletleri (CONUS) bölgesindeki Uluslararası Toprak Nemi Ağı'na (International Soil Moisture Network - ISMN) ait istasyonlardaki zaman serileri ile birlikte SMAP uydu misyonuna ait toprak nemi verileri kullanılmıştır. CYGNSS misyonunun çalışma bölgesindeki

istasyonlardaki performansı farklı toprak yapılarında ve iklim koşullarında değerlendirilmiş ve böylece jeofiziksel koşulların değişiminin CYGNSS misyonundan elde edilen toprak nemi verilerine etkisi incelenmiştir.

2. Veri seti ve yöntem

Bu başlık altında çalışmada kullanılan veri setleri ve yöntem alt başlıklar halinde açıklanmıştır. Çalışma alanı CONUS bölgesinde 25°-38° Kuzey enlemleri ve 75°-122° Batı boylamları arasında kalan alandır (Şekil 1). Çalışma bölgesi seçiminde CYGNSS uydu misyonunun ±38 enlemler arasını kapsamaması ve Meksika siyasi sınırının ötesinde ISMN istasyonu bulunmaması gibi kısıtlar dikkate alınmıştır.



Şekil 1. CYGNSS grid noktalarındaki veri sayıları.

2.1. CYGNSS toprak nemi verisi

Cyclone Küresel Navigasyon Uydu Sistemi, bir bistatik radar sistemi olan Global Navigasyon Uydu Sistemi-Reflektometri yaklaşımını benimser. CYGNSS, sinyal kaynağı olarak GNSS uydularından iletilen navigasyon sinyallerini kullanır. CYGNSS, ileri saçılan sinyalleri analiz ederek toprak nemi hakkında doğru bir şekilde bilgi toplayabilir. Bu sinyaller alıcı tarafından gecikmeli Doppler haritası (Delay-Dopler Map (DDM)) biçiminde kaydedilir. Bir DDM oluşturmak için alınan sinyal, çeşitli yol gecikmelerinde ve Doppler kaymalarında yerel olarak oluşturulmuş bir kopya ile çapraz korelasyona tabi tutulur. DDM'ler genellikle her DDM'nin tepe çapraz korelasyonu (peak cross-correlation) veya sinyal gürültü oranı (SNR) gibi bir metrik ile özetlenir. Bu değerler GNSS sinyalinin yansıma noktasındaki pürüzlülük ve yüzey dielektrik sabiti gibi yüzey özellikleriyle ilgilidir. Dolayısıyla toprak nemi kestiriminde kullanılabilir (Chew & Small, 2018).

DDM'lerden elde edilen tepe değerler desibele çevirilerek sinyalin gücü hesaplanır (P_{rl}^r). Sinyalin gücünü etkileyen faktörler arasında toprak nemi ve yüzey pürüzlülüğünün yanında alıcı anten kazancı,

bistatik menzil ve GPS uydusundan iletilen sinyalin gücü de yer alır (Eşitlik 1).

$$P_{rl}^r = \frac{P_r^t G^t}{4\pi(R_{ts} + R_{sr})^2} \frac{G^r \lambda^2}{4\pi} \Gamma_{rl} \quad (1)$$

P_r^t iletilen güç, G^t ve G^r sırasıyla verici ve alıcı anten kazançlarıdır. λ GPS dalga boyunu, R_{ts} verici ve speküler nokta arasındaki mesafeyi, R_{sr} alıcı ile speküler nokta arasındaki mesafeyi belirtmektedir. Γ_{rl} olarak gösterilen gözlemlenebilir yüzey yansıması, DDM'lerin tepe değeri hesaplanarak ve bir kalibrasyon faktörü uygulanarak belirlenir.

CYGNSS Seviye 3 Toprak Nemi ürünü, subtropikal bölgeler için yüzey toprak nemini (0-5 cm derinlik) içermektedir. Bu ürün University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) ve Colorado University (CU) CYGNSS projesi üzerinde çalışan araştırmacılar tarafından oluşturulmuştur. Toprak nemi verileri 6 saatlik periyotlarla günde en fazla dört toprak nemi değeri içeren $SM_{subdaily}$ ve bunların günlük ortalamasını içeren SM_{daily} değerlerini içermektedir. SMAP uydusundan elde edilen mekansal çözünürlük uyumlu olması için 36 km çözünürlüklü gridler halinde hesaplanan Seviye 3 verileri Mart 2017'den itibaren

günümüze kadar olan dönemi kapsamaktadır (Chew ve Small, 2020b). CYGNSS Seviye 3 Toprak Nemi ürünü servis edilmeden önce kalite kontrol aşamasında standart kalite ölçmeleri ile işaretlenen CYGNSS gözlemleri, toprak neminin $0.01 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ 'ten az veya $0.65 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ 'ten büyük değerler ve açık denizden etkilenen noktalar kaldırılmıştır (Chew ve Small, 2020a).

Çalışma bölgesi için CYGNSS Seviye 3 ürünlerinin orijinal grid noktaları ve ISMN istasyonlarında Mart 2017 ve Aralık 2022 tarihleri arasındaki zamanı kapsayacak şekilde günlük yüzey toprak nemi verileri için zaman serileri oluşturulmuştur. 365 günden daha az veri içeren zaman serileri veri setinden çıkarılmıştır. CYGNSS toprak nemi verilerinin çalışma bölgesi içinde farklı veri yoğunluklarına sahip olduğu görülmüştür. Şekil 1'de görüldüğü üzere özellikle doğu bölgelerindeki veri sayısı batı bölgelerine göre daha fazladır. Veri sayısının az olduğu alanların kalite kontrol aşamasındaki kriterlere uygun olmayan gözlemleri barındırdığı düşünülmektedir.

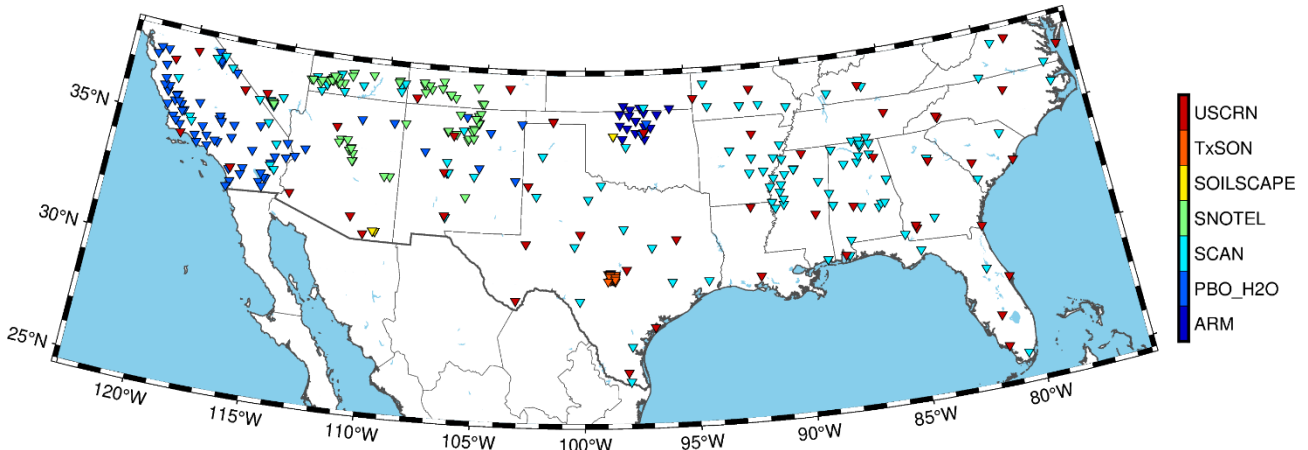
2.2. Doğrulama veri seti

2.2.1. Uluslararası toprak nemi ağı

ISMN çeşitli üniversiteler tarafından sürdürülen ve ESA tarafından desteklen küresel ölçekte farklı coğrafi bölgelerden ve iklimlerden toprak nemi verilerinin toplanmasını ve paylaşılmasını amaçlayan bir projedir. Bu ağa bağlı istasyonlardaki toprak nemi gözlemlerinin zaman serilerinin yanı sıra iklim bilgisi, arazi örtüsü, toprak dokusu özellikleri gibi veriler de sağlanmaktadır. ISMN, toprak nemi değerlerini kontrol etmek amacıyla jeofiziksel ve spektrum tabanlı yöntemler kullanarak her bir gözlem verisinin kalitesini ve buna bağlı olarak

kullanılabilirliğini standartlarla belirlenmiş veri protokolleri ile sağlamaktadır (Dorigo ve ark., 2021; Dorigo ve ark., 2011).

Çalışma kapsamında, sürekli gözlem yapan USCRN (Bell ve ark., 2013), TxSON (Caldwell ve ark., 2019), SOILSCAPE (Moghaddam ve ark., 2011), SNOTEL (Leavesley, 2010), SCAN (Schaefer ve ark., 2007), PBO_H2O (Larson ve ark., 2008) ve ARM (Cook, 2016) adlı ağlara ait meteoroloji istasyonlarından sağlanan veriler kullanılmıştır (Şekil 2). Sıcaklık ve yağış gibi meteorolojik verileri de takip eden bu yer gözlem istasyonları, toprak nemini farklı derinlikleri temsil eden katmanlar için kaydetmektedir. Bu katmanlardan yeryüzüne en yakın olan birinci katman 0-5 cm derinlikteki toprak nemi olup *toprak yüzey nemini* temsil etmektedir. Çalışmada kullanılan CYGNSS ve SMAP uydularından elde edilen toprak nemi verileri ile aynı derinliği temsil ettiği için birinci katmandaki veriler kullanılmıştır. ISMN veri platformundan Mart 2017 ve Aralık 2022 tarihleri arasındaki saatlik toprak yüzey nemi zaman serileri elde edilmiştir. Toprak nemi gözlemleri jeofizik tabanlı ve spektrum bazlı metotlar kullanılarak incelenmektedir. Şüpheli gözlemler "C" ve "D" kodlarıyla işaretlenirken geçerli gözlemler için ise "G" kodu kullanılır. Bu çalışmada ise sadece "G" kodlu veriler dikkate alınmıştır. Ayrıca veri setleri arasındaki uyumu sağlamak amacıyla istasyonlardaki saatlik toprak nemi verilerinin ortalaması alınarak günlük veriye dönüştürülmüştür. Zaman serisi bir yıldan daha kısa olan ve aynı toprak nemi değerini ardışık 30 günden fazla tekrar eden istasyonlar veri setinden çıkarılmıştır. Bu işlemler sonunda kalan 213 adet ISMN istasyonuna ait zaman serileri çalışma kapsamında doğrulama verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 2. Çalışma bölgesindeki ISMN istasyonları.

2.2.2. SMAP toprak nemi verisi

SMAP uydusu toprak nemini takip etmek amacıyla 31 Ocak 2015 yılında NASA tarafından başlatılan bir misyondur. Radar L-bandı (aktif) ve radyometre (pasif) olmak üzere iki ana enstrümanı taşıyan SMAP uydusu küresel ölçekte 2-3 gün zamansal çözünürlükte ve 36 km mekânsal çözünürlükte veri sağlamaktadır.

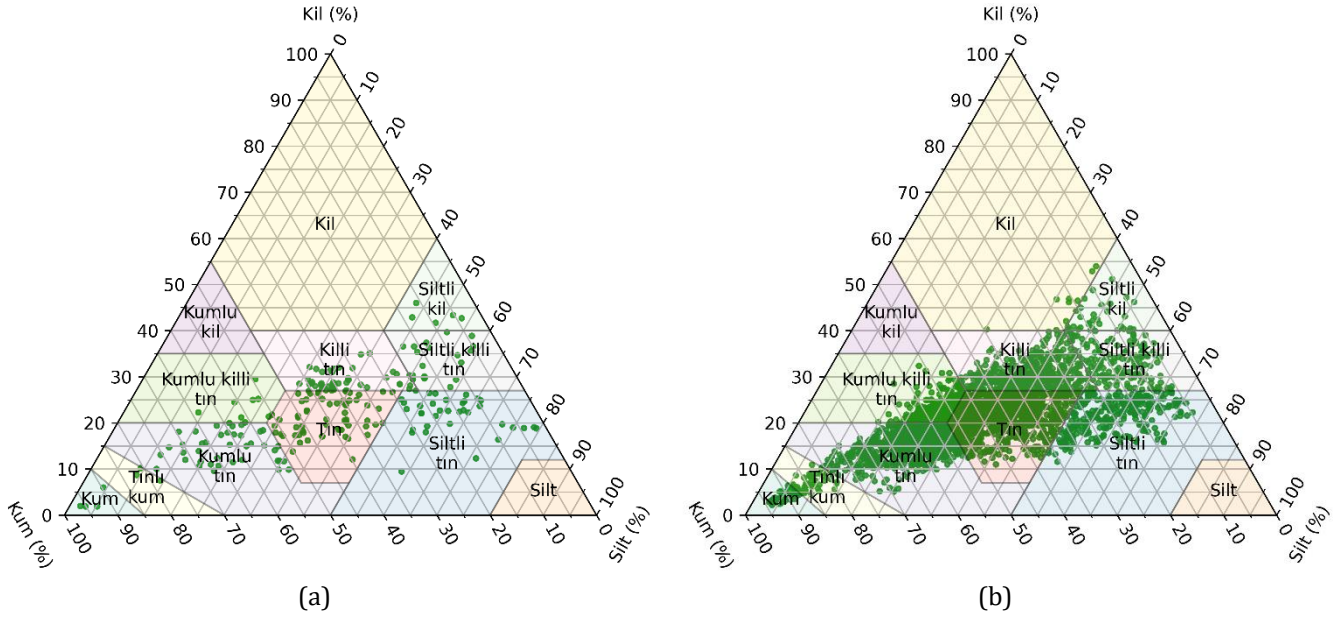
Bu çalışmada, mekânsal çözünürlüğü 9 kilometre ve zamansal çözünürlüğü 3 saat olan SMAP seviye-4 (SMAP-L4) verileri kullanılmıştır. SMAP seviye-4 ürünü SMAP

seviye-1c ürünün sıcaklık parlaklık gözlemleri, NASA arazi yüzeyi modeli, meteorolojik veriler ve çeşitli arazi modelleriyle asimilasyon edilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu çalışmada Google Earth Engine (GEE) platformu kullanılarak oluşturulan SMAP-L4 yüzey toprak nemi zaman serileri 2017-2023 yılları arasında günlük olarak elde edilmiştir. CYGNSS verisi ile uyumlu olacak şekilde SMAP-L4 verileri de 0-5 cm yüzey toprak nemini temsil etmekte olup SMAP-L4 zaman serileri CYGNSS grid noktalarında üretilmiştir.

2.3. Yardımcı veri seti

CYGNSS gözlemleri, toprak nemine ek olarak topografya, arazi örtüsü, su kütleleri ve toprak dokusu dahil olmak üzere bir dizi arazi yüzeyi özelliğinden etkilenebilir. Bu sebeple makale kapsamında toprak dokusu için SoilGrid modeli (Poggio ve ark., 2021) kullanılmıştır. SoilGrid organik karbon, pH, toprak doku fraksiyonları gibi toprak özellikleri için dünya çapında tahminler sunan 250 m mekansal çözünürlüğe sahip bir modeldir. Bu çalışmada her bir CYGNSS grid noktası için silt, kil ve kum oranları SoilGrid modelinden ortalama

alınarak türetilmiştir. Toprak dokusu, nem içeriği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Killi ve siltli topraklar daha fazla su tutma özelliğine sahiptir ve killi topraklar suyu daha uzun süre tutar. Bu nedenle, killi topraklar nem tutma için ideal iken siltli topraklar ise bitki büyümesi için daha uygundur (Celik ve ark., 2022). Şekil 3 çalışma bölgesindeki ISMN'e ait yer istasyonlarındaki ve CYGNSS grid noktalarındaki toprak dokusunun dağılımını göstermektedir. Şekil 3a'ya bakıldığında bu çalışmada kullanılan yer istasyonlarındaki toprak dokusunun dağılımı çalışma bölgesindeki genel dağılımı yansıtmaktadır.



Şekil 3. ISMN yer istasyonlarındaki (a) ve CYGNSS grid noktalarındaki (b) toprak dokusunun dağılımı.

2.4. Doğruluk kriterleri

CYGNSS misyonundan elde edilen toprak nemi değerlerinin yer istasyonları ve SMAP uydusunun zaman serileriyle karşılaştırmasında performans kriteri olarak Pearson korelasyon katsayısı ve yansız karesel ortalama hata (ubRMSE) kullanılmıştır.

Pearson korelasyon katsayısı (Eşitlik 2):

$$R = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

Yansız karesel ortalama hata (Eşitlik 3):

$$ubRMSE = \sqrt{(RMSE)^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)\right)^2} \quad (3)$$

Denklemlerde yer alan y_i ve \bar{y} sırasıyla, doğrulama verisi olarak kullanılan toprak nemi ve ortalamasını ifade etmektedir. CYGNSS'den elde edilen toprak nemi verileri ise x_i ile gösterilmektedir.

3. Bulgular

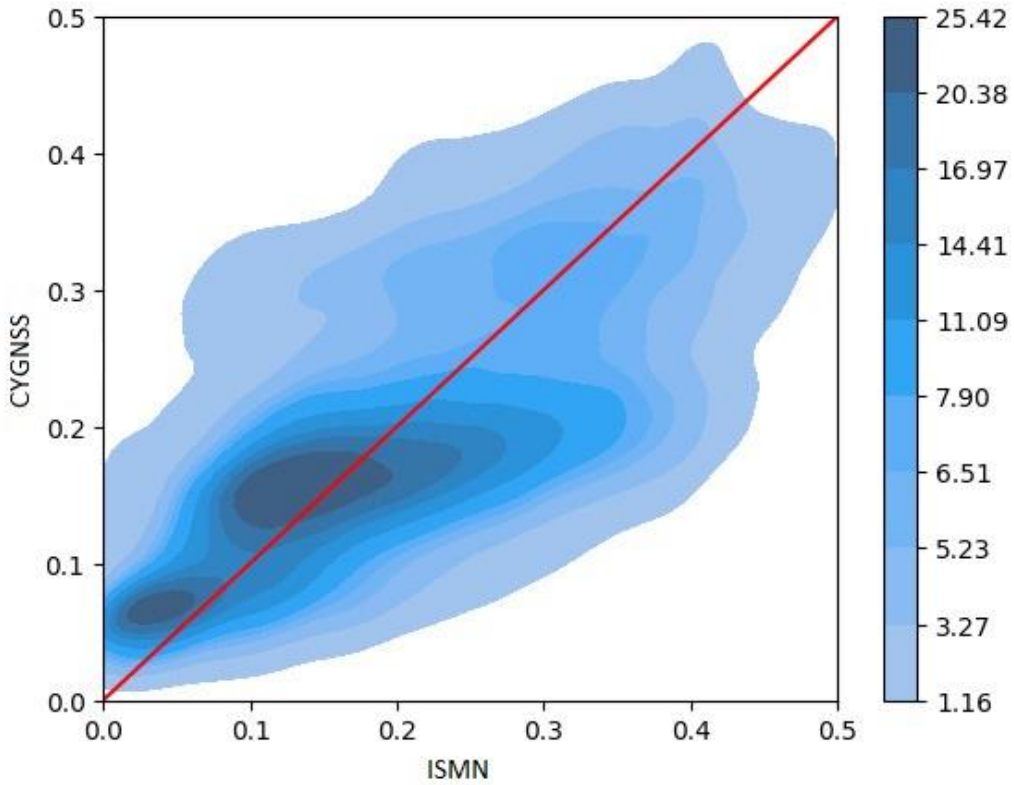
Uzaktan algılama verilerinden elde edilen sonuçların yer gerçeği ile karşılaştırılması önemlidir. Çalışma bölgesinde bulunan yer istasyonları sayesinde, uzay tabanlı GNSS-R ölçmelerinden elde edilen toprak nemi verilerinin performansı doğrulanabilir. Ayrıca CYGNSS nispeten yüksek zamansal çözünürlüğe sahip olduğu için, SMAP verilerine karşı grid tabanlı değerlendirme yapmak amacıyla zaman serileri elde etmek mümkündür. Çalışma bölgesindeki CYGNSS tarafından sağlanan toprak nemi verilerine ait günlük zaman serileri, yer istasyonlarından ve SMAP uydusundan elde edilen günlük zaman serileriyle karşılaştırılmıştır. Kıyaslama ISMN verileriyle sadece noktasal olarak yapılırken SMAP verileriyle grid bazlı yapılmıştır.

3.1. CYGNSS ve ISMN toprak nemi verilerinin karşılaştırması

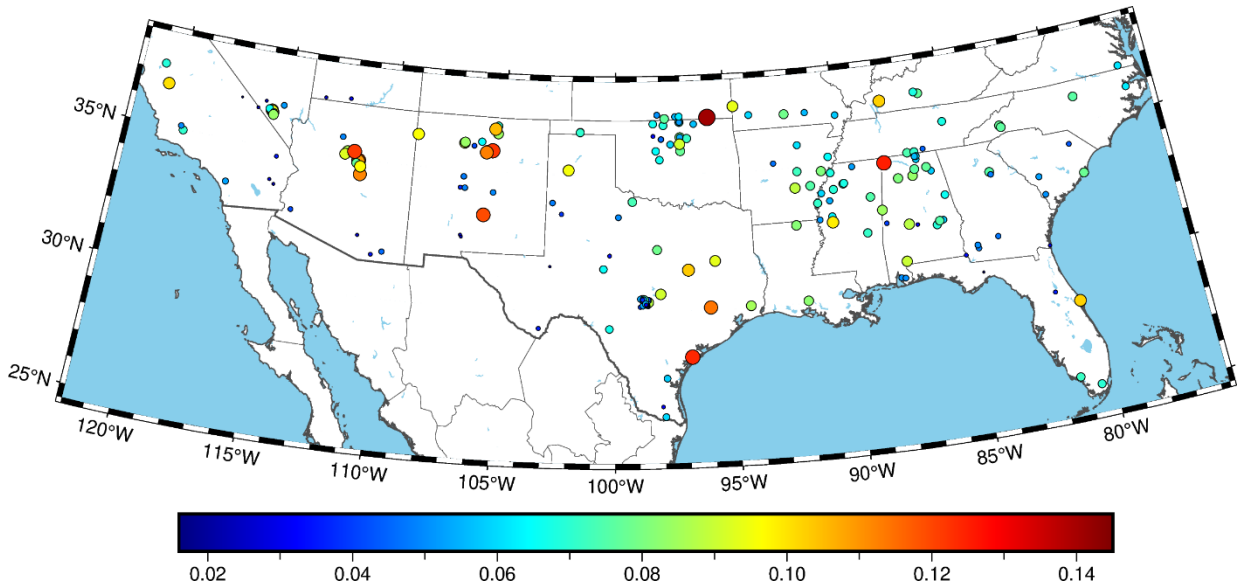
Mart 2017 - Aralık 2022 tarihleri arasında CYGNSS'den elde edilen toprak nemi verileri ile ISMN istasyonlarından elde edilen veriler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. İstatistik sonuçlarına göre, Pearson korelasyon katsayısının 0.45 ve ortalama ubRMSE değerinin 0.052 olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4'te

verilen CYGNSS ve ISMN toprak nemi verilerinin saçılım yoğunluk grafiğinde nokta yoğunluğunun 1:1 doğrusu etrafında kümelendiği görülmektedir. Şekil 5 yer istasyonlarındaki toprak nemi gözlemleri ile CYGNSS verileri arasındaki ubRMSE değerlerinin dağılımını göstermektedir. CYGNSS toprak nemi verileri açık denizlerden etkilendiği için kıyı bölgelerinde ubRMSE değeri diğer istasyonlara göre yüksektir. Ayrıca CYGNSS'in ayak izinin büyük olması sebebiyle göl ve nehir gibi farklı yüzeylerden sinyaller içerebilmektedir. Bu sebeple sulak alanların da büyüklüğüne bağlı olarak CYGNSS toprak nemi verilerinin güvenilirliğini azaltabilir. CYGNSS'in farklı iklim sınıflarındaki gözlemlerinin toprak nemi belirlemedeki performansını incelemek

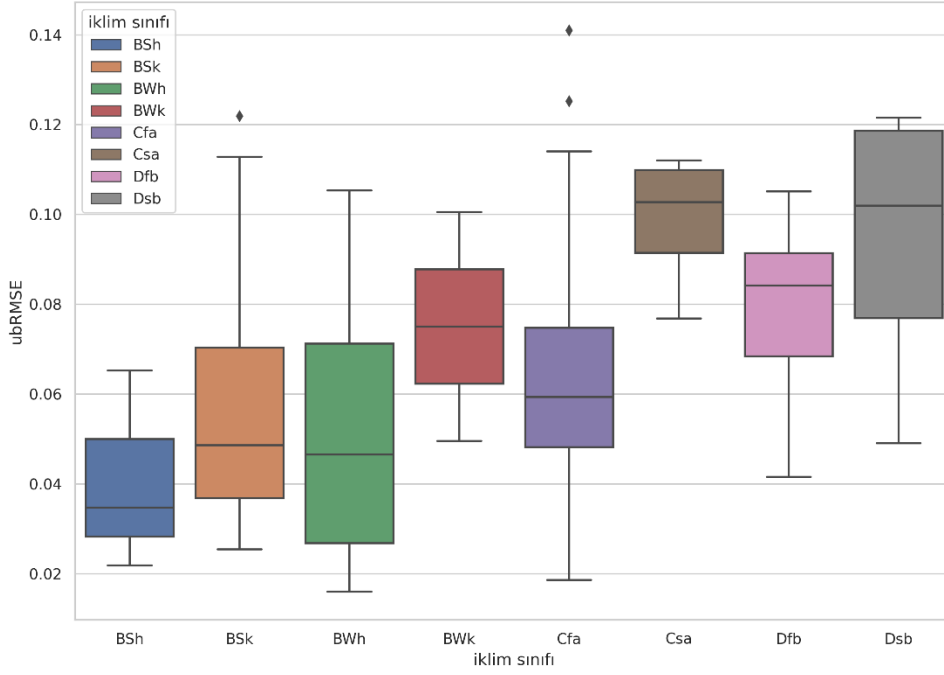
amacıyla ISMN istasyonlarındaki ubRMSE değerleri istasyonların iklim sınıflarına göre kutu grafik olarak verilmiştir (Şekil 6). CYGNSS Kurak (B) iklimde, ılıman (C) ve karasal (D) iklim tiplerine göre daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir. En küçük ubRMSE değeri ise (≈ 0.035) sıcak yarı kurak iklim (BSH) alt sınıfı için elde edilmiştir. Şekil 7 ISMN istasyonlarına ait toprak dokusunu temsil eden grafiği göstermektedir. Aynı zamanda ISMN ile CYGNSS toprak nemi verileri için ubRMSE ve ortalama mutlak hata değerlerini ifade etmektedir. Şekillere bakıldığında topraktaki kum oranı arttıkça ubRMSE değerinin azaldığı fakat ortalama mutlak hata değerinin arttığı görülmüştür.



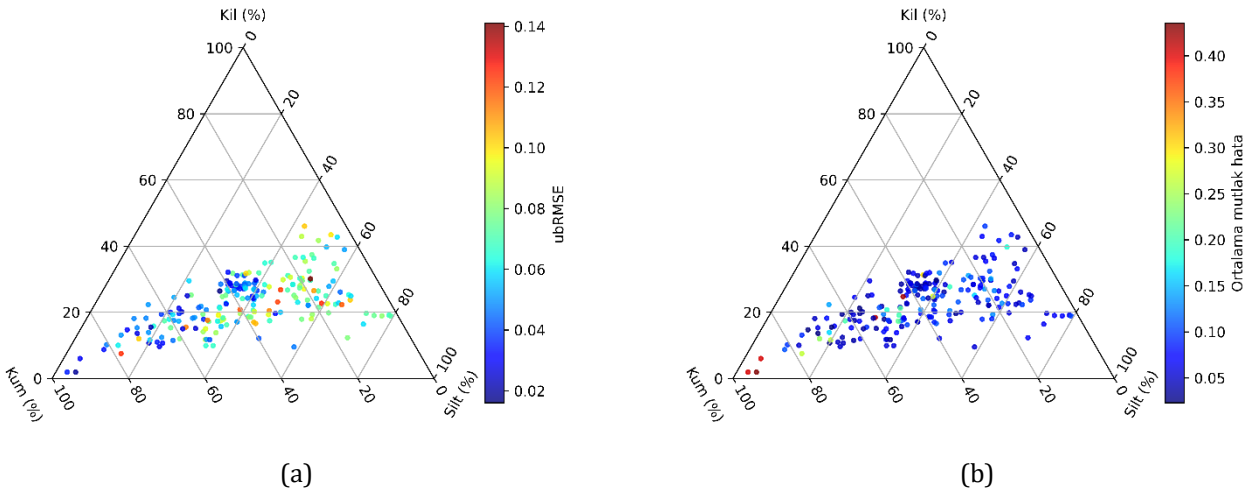
Şekil 4. CYGNSS ve ISMN'den elde edilen toprak nemi verilerinin saçılım grafiği (renk skalası nokta yoğunluğunu göstermektedir.) [birim: $\text{cm}^3 / \text{cm}^3$].



Şekil 5. ISMN istasyonlarındaki ubRMSE değerleri [birim: $\text{cm}^3 / \text{cm}^3$].



Şekil 6. CYGNSS toprak nemi verilerinin yersel veriyle olan ubRMSE değerleri ile iklim sınıfları (Aw, Cfb ve CSb iklim sınıfları birer adet istasyonu ifade ettiği için şekilde gösterilmemiştir.) [birim: $\text{cm}^3 / \text{cm}^3$].



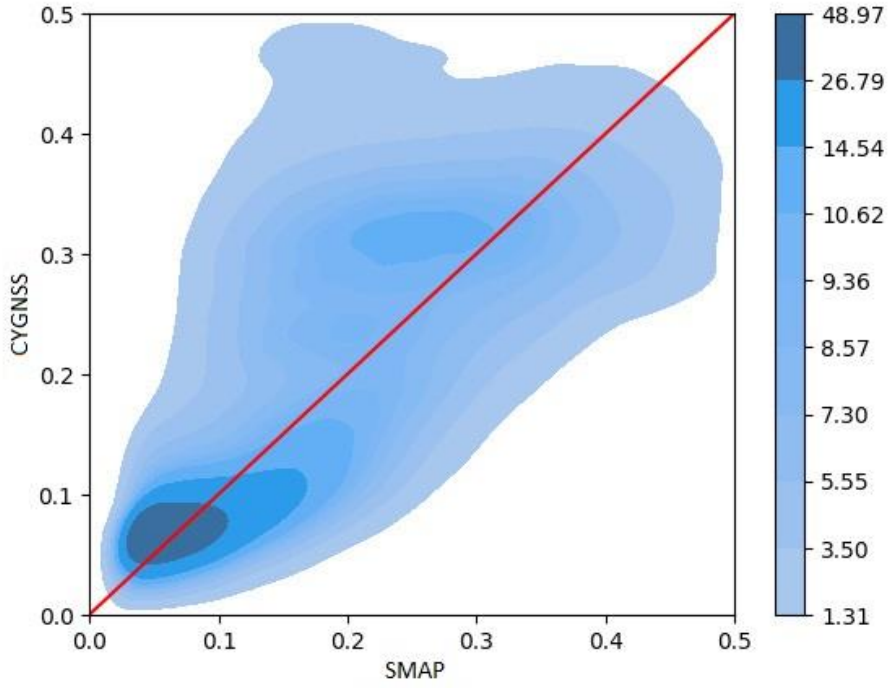
Şekil 7. ISMN istasyonlarındaki ubRMSE (a) ve ortalama mutlak hata (b) değerlerine göre toprak sınıfı dağılımı [birim: $\text{cm}^3 / \text{cm}^3$].

3.2. CYGNSS ve SMAP toprak nemi verilerinin karşılaştırması

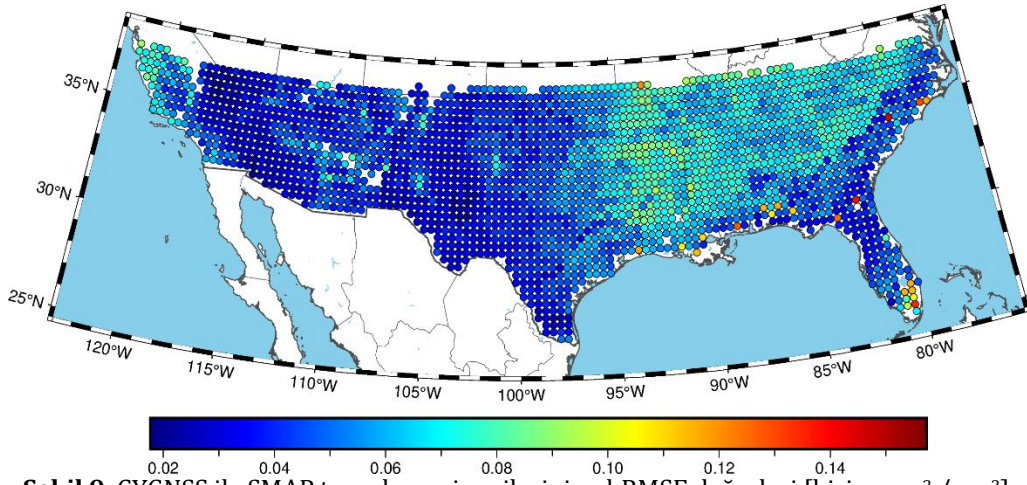
Şekil 8, CYGNSS toprak nemi verileri ile SMAP verileri arasındaki korelasyonu ortaya koymaktadır. Veri noktaları ağırlıklı olarak 1:1 çizgisi etrafında yoğunlaşmıştır. Genel istatistiklerde CYGNSS toprak nemi verilerinin SMAP doğrulama verisiyle ($R = 0.67$) güçlü bir korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, CYGNSS'in toprak nemi izleme konusunda güvenilir bir kaynak olduğunu ve SMAP uydusu verileriyle uyumlu sonuçlar verdiğini göstermektedir. CYGNSS toprak nemi gözlemleri SMAP verileriyle kalibre edilmektedir. Bu sebeple, iki veri setinin korelasyonunun

yer istasyonlarına göre daha yüksek olması beklenen bir sonuçtur.

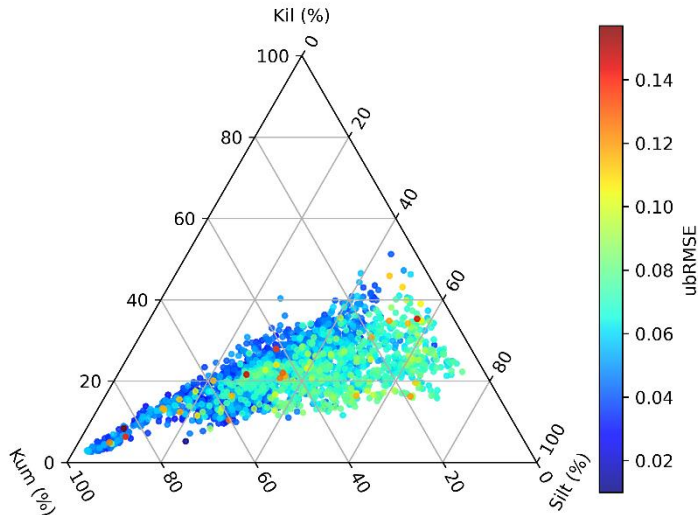
Grid tabanlı istatistiklerin ortalamasına bakıldığında ubRMSE değeri 0.097 olarak hesaplanmıştır. Çok sayıda grid noktası sulak alanlarda veya tarım alanlarında bulunmaktadır. Ayrıca açık denizlere yakın olan noktalarda CYGNSS verileri genellikle toprak nemini doğru bir şekilde yansıtmada başarısız olmaktadır (Şekil 9). CYGNSS'in SMAP verileri ile grid bazlı kıyaslamadaki ubRMSE değerlerini ve toprak dokusunun dağılımı Şekil 10'da yer almaktadır. ISMN istasyonlarındakine benzer şekilde topraktaki kum oranı arttıkça ubRMSE değerinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 8. CYGNSS ve SMAP misyonlarından elde edilen toprak nemi verilerinin saçılım grafiği (renk skalası nokta yoğunluğunu göstermektedir.) [birim: $\text{cm}^3 / \text{cm}^3$].



Şekil 9. CYGNSS ile SMAP toprak nemi verilerinin ubRMSE değerleri [birim: $\text{cm}^3 / \text{cm}^3$].



Şekil 10. CYGNSS grid noktalarında ubRMSE değerine göre toprak sınıfı dağılımı [birim: $\text{cm}^3 / \text{cm}^3$].

4. Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışmada CYGNSS misyonundan türetilen toprak nemi verilerinin CONUS bölgesindeki performansı ISMN'ye ait yer istasyonları ve SMAP misyonundan elde edilen toprak nemi verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda CYGNSS'in genel testlerdeki doğruluğu, ISMN verileriyle kıyaslamada pearson korelasyon katsayısı $R = 0.45$, SMAP verileriyle kıyaslamada ise $R = 0.67$ olarak bulunmuştur. CYGNSS toprak nemi verilerinin ISMN ile kıyaslanmasında ubRMSE değeri 0.052, SMAP ile kıyasında ise 0.097 olarak tespit edilmiştir. İstatistikler, CYGNSS'in toprak nemi verilerinin ISMN ve SMAP verileriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Yüksek korelasyon katsayısı değerleri, CYGNSS verilerinin diğer veri kaynaklarından elde edilen toprak nemi değerleriyle benzer eğilimlere sahip olduğunu ve toprak neminin izlenmesinde genel olarak güvenilir bir kaynak olduğunu göstermektedir.

Önceki çalışmalara bakıldığında CYGNSS toprak nemi verilerinin yer istasyonlarında ilk doğrulama çalışması Chew ve Small, 2020a tarafından gerçekleştirilmiştir. Doğrulama verisi olarak CONUS bölgesinde bulunan 171 adet ISMN yer istasyonundan Ekim 2018 ve Aralık 2019 tarihleri arasında elde edilen toprak nemi verileri kullanılmıştır. CYGNSS ve ISMN verileri arasındaki medyan ubRMSE değeri $0.049 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ ve $R=0.40$ olarak bulunmuştur. CYGNSS toprak nemi verilerinin doğrulamasını gerçekleştiren diğer bir çalışma ise Wang ve ark., (2022b) tarafından yaklaşık küresel ölçekte yapılmıştır. 2017-2020 yılları arasında Kuzey Amerika, Okyanusya, Asya ve Afrika'daki yer istasyonları ile gerçekleştirilen çalışmada, CONUS Bölgesi'nde 285 istasyon ile yapılan kıyaslamada ubRMSE ve korelasyon katsayısı sırasıyla yaklaşık $0.06 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ ve $R=0.40$ olarak bulunmuştur. Literatürdeki doğrulama çalışmaları göz önünde bulundurulduğunda, çalışmaların zaman aralıkları ve kullanılan istasyonların sayısı farklılık gösterse de bulgular bölümünde verilen CYGNSS tabanlı toprak nemi verilerinin performansının (Bölüm 3.1) diğer çalışmalarda raporlanan istatistiklerle tutarlı olduğu görülmüştür.

CYGNSS toprak nemi verileri SMAP uydu misyonu ve ISMN istasyonları ile kıyaslanırken iklim sınıfı özellikleri ve toprak dokusu da göz önüne alınarak değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda, kum oranının fazla olduğu topraklarda ubRMSE değerinin her iki doğrulama veri setiyle değerlendirildiğinde de düşük olduğu görülmüştür. Kum içeriğinin fazla olduğu topraklarda veya kurak iklim bölgelerindeki toprak neminin düşük değerler alması ubRMSE değerine doğrudan etki etmektedir. Ortalama mutlak hata değerlerinin ise ubRMSE değerlerinin aksine kumlu topraklarda daha yüksek olduğu bulunmuştur. Özellikle toprağın kuru olduğu bölgelerde L-bant mikrodalga sinyalleri toprağın daha derinlerine nüfuz ederek toprak neminin değerinin olduğundan daha büyük algılanmasına neden olmaktadır (Ma ve ark., 2017). Toprak neminin daha yüksek dalgalanma yaşadığı toprak tiplerinde veya yağışlı iklim bölgelerinde daha yüksek hata değerlerinin olması olağan bir durumdur.

UCAR Seviye 3 toprak nemi ürününde kullanılan algoritmayla CYGNSS gözlemleri SMAP toprak nemi değerleriyle lineer bir ilişki kurularak kalibre edilmektedir. SMAP misyonunda toprak nemi değeri doğrudan gözlenen bir değişken olmadığı için bazı varsayımları dolayısıyla belirsizlikleri ve hataları kendi içerisinde barındırmaktadır. Bu sebeple UCAR Seviye 3 ürünü bu hatalardan etkilenmektedir (Chew ve Small, 2020a). Literatürde CYGNSS'in toprak nemi gözlemlerinde kullanılabilirliğine dair çalışmalar olsa da verinin performansının artırılması için daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç vardır. CYGNSS gözlemleri ile toprak nemi arasındaki lineer olmayan ilişkinin kurulması, toprak nemi ile toprak dokusu, meteorolojik veriler, topoğrafik veriler gibi analize hazır veriler (Analysis Ready Data – ARD) arasındaki ilişkinin daha detaylı araştırılması, CYGNSS verilerinin mekansal çözünürlüğünün iyileştirilmesi ve kısa, orta ve uzun dönem için toprak nemi tahmini yapabilen bir model oluşturulması gelecekte yapılması planlanan çalışmalar arasında yer almaktadır.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan yer istasyonları verileri Uluslararası Toprak Nemi Ağı'ndan (ISMN) temin edilmiş olup verilere erişim https://www.geo.tuwien.ac.at/insitu/data_viewer adresi ile sağlanmıştır. CYGNSS Seviye 3 Toprak Nemi Versiyon 1.0 verileri UCAR/CU tarafından NASA Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PODAAC) veri merkezinde ücretsiz olarak servis edilmektedir (<https://podaac.jpl.nasa.gov>).

Araştırmacıların katkı oranı

Muhammed Raşit Çevikalp: Literatür taraması, Analiz, Görselleştirme, **Makale yazımı;** Mustafa Serkan Işık: Fikir, Literatür taraması, Makale yazımı, Düzenleme; **Mehmet Furkan Çelik:** Fikir, Literatür taraması, Makale yazımı, Düzenleme; **Nebiye Musaoglu:** Makale yazımı, Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Adeyemi, O., Grove, I., Peets, S., Domun, Y., & Norton, T. (2018). Dynamic neural network modelling of soil moisture content for predictive irrigation scheduling. *Sensors*, 18(10), 3408. <https://doi.org/10.3390/s18103408>
- Altuntaş, C., & Tunalıoğlu, N. (2022). Deniz seviyesi değişimlerinin belirlenmesinde GNSS-IR yönteminin kullanımı ve doğruluk analizi üzerine bir araştırma. *Geomatik*, 7(3), 187-196. <https://doi.org/10.29128/geomatik.946594>
- Arroyo, A. A., Camps, A., Aguasca, A., Forte, G. F., Moneris, A., Rüdiger, C., ... & Onrubia, R. (2014). Dual-polarization GNSS-R interference pattern technique for soil moisture mapping. *IEEE Journal of Selected*

- Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7(5), 1533-1544.
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2320792>
- Asgarimehr, M., Wickert, J., & Reich, S. (2019). Evaluating impact of rain attenuation on space-borne GNSS reflectometry wind speeds. *Remote Sensing*, 11(9), 1048. <https://doi.org/10.3390/rs11091048>
- Bell, J., Palecki, M., Baker, B., Collins, W., Lawrimore, J., Leeper, R., Hall, M., Kochendorfer, J., Meyers, T., Wilson, T., & Diamond, H. (2013). U.S. Climate Reference Network Soil Moisture and Temperature Observations. *Journal of Hydrometeorology*, 14, 977-988. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0146.1>
- Bünyan Ünel, F., Kuşak, L., Yakar, M., & Doğan, H. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesi kullanarak Mersin ilinde otomatik meteoroloji gözlem istasyonu yer seçimi. *Geomatik*, 8(2), 107-123. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1136951>
- Caldwell, T. G., Bongiovanni, T., Cosh, M. H., Jackson, T. J., Colliander, A., Abolt, C. J., Casteel, R., Larson, T., Scanlon, B. R., & Young, M. H. (2019). The Texas Soil Observation Network: A Comprehensive Soil Moisture Dataset for Remote Sensing and Land Surface Model Validation. *Vadose Zone Journal*, 18(1), 1-20. <https://doi.org/10.2136/vzj2019.04.0034>
- Cardellach, E., Rius, A., Martin-Neira, M., Fabra, F., Nogues-Correig, O., Ribo, S., Kainulainen, J., Camps, A., & D'Addio, S. (2014). Consolidating the Precision of Interferometric GNSS-R Ocean Altimetry Using Airborne Experimental Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(8), 4992-5004. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2286257>
- Celik, M. F., Isik, M. S., Yuzugullu, O., Fajraoui, N., & Erten, E. (2022). Soil Moisture Prediction from Remote Sensing Images Coupled with Climate, Soil Texture and Topography via Deep Learning. *Remote Sensing*, 14(21), 5584. <https://doi.org/10.3390/rs14215584>
- Chew, C. C., & Small, E. E. (2018). Soil Moisture Sensing Using Spaceborne GNSS Reflections: Comparison of CYGNSS Reflectivity to SMAP Soil Moisture. *Geophysical Research Letters*, 45(9), 4049-4057. <https://doi.org/10.1029/2018gl077905>
- Chew, C., & Small, E. (2020a). Description of the UCAR/CU Soil Moisture Product. *Remote Sensing*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/rs12101558>
- Chew, C., & Small, E. (2020b). UCAR-CU CYGNSS Level 3 Soil Moisture Version 1.0. NASA Physical Oceanography Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/CYGNU-L3SM1>
- Clarizia, M. P., Gommenginger, C., Gleason, S., Galdi, C., & Unwin, M. (2008). Global Navigation Satellite System-Reflectometry (GNSS-R) from the UK-DMC Satellite for Remote Sensing of the Ocean Surface. *IGARSS 2008 - 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1, I-276-I-279. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2008.4778847>
- Clarizia, M. P., Pierdicca, N., Costantini, F., & Floury, N. (2019). Analysis of CYGNSS Data for Soil Moisture Retrieval. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(7), 2227-2235. <https://doi.org/10.1109/jstars.2019.2895510>
- Clarizia, M. P., & Ruf, C. S. (2016). Wind Speed Retrieval Algorithm for the Cyclone Global Navigation Satellite System (CYGNSS) Mission. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(8), 4419-4432. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2016.2541343>
- Cook, D. R. (2016). Soil Temperature and Moisture Profile (STAMP) System Handbook. <https://doi.org/10.2172/1332724>
- Dorigo, W. A., Wagner, W., Hohensinn, R., Hahn, S., Paulik, C., Xaver, A., Gruber, A., Drusch, M., Mecklenburg, S., van Oevelen, P., & others. (2011). The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1675-1698.
- Dorigo, W., Himmelbauer, I., Aberer, D., Schremmer, L., Petrakovic, I., Zappa, L., Preimesberger, W., Xaver, A., Annor, F., Ardö, J., Baldocchi, D., Bitelli, M., Blöschl, G., Bogaen, H., Brocca, L., Calvet, J.-C., Camarero, J. J., Capello, G., Choi, M., ... Sabia, R. (2021). The International Soil Moisture Network: serving Earth system science for over a decade. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(11), 5749-5804. <https://doi.org/10.5194/hess-25-5749-2021>
- Entekhabi, D., Njoku, E. G., O'Neill, P. E., Kellogg, K. H., Crow, W. T., Edelstein, W. N., Entin, J. K., Goodman, S. D., Jackson, T. J., Johnson, J., Kimball, J., Piepmeier, J. R., Koster, R. D., Martin, N., McDonald, K. C., Moghaddam, M., Moran, S., Reichle, R., Shi, J. C., ... Zyl, J. Van. (2010). The Soil Moisture Active Passive (SMAP) Mission. *Proceedings of the IEEE*, 98(5), 704-716. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2010.2043918>
- Eroglu, O., Kurum, M., Boyd, D., & Gurbuz, A. C. (2019). High Spatio-Temporal Resolution CYGNSS Soil Moisture Estimates Using Artificial Neural Networks. *Remote Sensing*, 11(19), 2272. <https://doi.org/10.3390/rs11192272>
- Filipović, N., Brdar, S., Mimić, G., Marko, O., & Crnojević, V. (2022). Regional soil moisture prediction system based on Long Short-Term Memory network. *Biosystems Engineering*, 213, 30-38. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosyseng.2021.11.019>
- Gleason, S. A. M. U. M. (2005). Sensing Ocean, Ice and Land Reflected Signals from Space: Results from the UK-DMC GPS Reflectometry Experiment. *Proceedings of the 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2005)*, 1679-1685.
- Jin, S., & Komjathy, A. (2010). GNSS reflectometry and remote sensing: New objectives and results. *Advances in Space Research*, 46(2), 111-117. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.01.014>
- Kerr, Y. H., Waldteufel, P., Richaume, P., Wigneron, J. P., Ferrazzoli, P., Mahmoodi, A., Bitar, A. Al, Cabot, F., Gruhier, C., Juglea, S. E., Leroux, D., Mialon, A., & Delwart, S. (2012). The SMOS Soil Moisture Retrieval Algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(5), 1384-1403. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2012.2184548>
- Larson, K., Small, E., Gutmann, E., Bilich, A., Braun, J., Zavorotny, V., & Larson, C. (2008). Use of GPS receivers as a soil moisture network for water cycle studies. *Geophysical Research Letters - GEOPHYS RES LETT*, 35(24).

- <https://doi.org/10.1029/2008GL036013>
Leavesley. (2010). A Modelling Framework for Improved Agricultural Water-Supply Forecasting.
- Li, Q., Zhu, Y., Shangguan, W., Wang, X., Li, L., & Yu, F. (2022). An attention-aware LSTM model for soil moisture and soil temperature prediction. *Geoderma*, 409, 115651.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115651>
- Ma, C., Li, X., Wei, L., & Wang, W. (2017). Multi-Scale Validation of SMAP Soil Moisture Products over Cold and Arid Regions in Northwestern China Using Distributed Ground Observation Data. *Remote Sensing*, 9(4), 327.
<https://doi.org/10.3390/rs9040327>
- Moghaddam, M., Entekhabi, D., Goykhman, Y., Li, K., Liu, M., Mahajan, A., Nayyar, A., Shuman, D., & Teneketzis, D. (2011). A Wireless Soil Moisture Smart Sensor Web Using Physics-Based Optimal Control: Concept and Initial Demonstrations. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 3, 522-535.
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2010.2052918>
- Orth, R. (2021). Global soil moisture data derived through machine learning trained with in-situ measurements. *Scientific Data*, 8(1), 170.
<https://doi.org/10.1038/s41597-021-00964-1>
- Poggio, L., de Sousa, L. M., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B. M., Kempen, B., Ribeiro, E., & Rossiter, D. (2021). SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty. *Soil*, 7(1), 217-240. <https://doi.org/10.5194/soil-7-217-2021>
- Rius, A., Nogués-Correig, O., Ribó, S., Cardellach, E., Oliveras, S., Valencia, E., Park, H., Tarongí, J. M., Camps, A., van der Marel, H., van Bree, R., Altena, B., & Martín-Neira, M. (2012). Altimetry with GNSS-R interferometry: first proof of concept experiment. *GPS Solutions*, 16(2), 231-241.
<https://doi.org/10.1007/s10291-011-0225-9>
- Rodriguez-Alvarez, N., Bosch-Lluis, X., Camps, A., Vall-llossera, M., Valencia, E., Marchan-Hernandez, J. F., & Ramos-Perez, I. (2009). Soil Moisture Retrieval Using GNSS-R Techniques: Experimental Results Over a Bare Soil Field. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(11), 3616-3624.
<https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2030672>
- Ruf, C., Gleason, S., Jelenak, Z., Katzberg, S., Ridley, A., Rose, R., Scherrer, J., & Zavorotny, V. (2012). The CYGNSS nanosatellite constellation hurricane mission. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 214-216.
<https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6351600>
- Santi, E., Paloscia, S., Pettinato, S., Fontanelli, G., Clarizia, M. P., Comite, D., Dente, L., Guerriero, L., Pierdicca, N., & Floury, N. (2020). Remote Sensing of Forest Biomass Using GNSS Reflectometry. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 2351-2368.
<https://doi.org/10.1109/jstars.2020.2982993>
- Schaefer, G., Cosh, M., & Jackson, T. (2007). The USDA natural resources conservation service soil climate analysis network (SCAN). *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 24(12), 2073-2077.
<https://doi.org/10.1175/2007JTECHA930.1>
- Senyurek, V., Lei, F., Boyd, D., Kurum, M., Gurbuz, A. C., & Moorhead, R. (2020). Machine Learning-Based CYGNSS Soil Moisture Estimates over ISMN sites in CONUS. *Remote Sensing*, 12(7), 1168.
<https://doi.org/10.3390/rs12071168>
- Unwin, M. J., Pierdicca, N., Cardellach, E., Rautiainen, K., Foti, G., Blunt, P., Guerriero, L., Santi, E., & Tossaint, M. (2021). An Introduction to the HydroGNSS GNSS Reflectometry Remote Sensing Mission. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 6987-6999.
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3089550>
- Unwin, M., Jales, P., Tye, J., Gommenginger, C., Foti, G., & Rosello, J. (2016). Spaceborne GNSS-Reflectometry on TechDemoSat-1: Early Mission Operations and Exploitation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(10), 4525-4539.
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2603846>
- Wang, C., Yu, K., Qu, F., Bu, J., Han, S., & Zhang, K. (2022a). Spaceborne GNSS-R Wind Speed Retrieval Using Machine Learning Methods. *Remote Sensing*, 14(14).
<https://doi.org/10.3390/rs14143507>
- Wang, H., Yuan, Q., Zhao, H., & Xu, H. (2022b). In-situ and triple-collocation based assessments of CYGNSS-R soil moisture compared with satellite and merged estimates quasi-globally. *Journal of Hydrology*, 615, 128716.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128716>
- Yang, G., Bai, W., Wang, J., Hu, X., Zhang, P., Sun, Y., Xu, N., Zhai, X., Xiao, X., Xia, J., Huang, F., Yin, C., Du, Q., Wang, X., Cai, Y., Meng, X., Tan, G., Hu, P., & Liu, C. (2022). FY3E GNOS II GNSS Reflectometry: Mission Review and First Results. *Remote Sensing*, 14(4), 988.
<https://doi.org/10.3390/rs14040988>
- Yu, K., Han, S., Bu, J., An, Y., Zhou, Z., Wang, C., Tabibi, S., & Cheong, J. W. (2022). Spaceborne GNSS Reflectometry. *Remote Sensing*, 14(7).
<https://doi.org/10.3390/rs14071605>





Aksaray Müzesi'nde bulunan Hitit Steli'nin 3B modellenmesi ve sesli rehberlik oluşturulması

Şükran Tosun Çolak ¹, Avşar Timuçin Çolak ¹

¹ Kültür ve Turizm Bakanlığı Aksaray Müzesi, Türkiye, sukrantosun@hotmail.com, avsartimucin@gmail.com

Kaynak Göster: Çolak, Ş. T., & Çolak, A. T. (2024). Aksaray Müzesi'nde bulunan Hitit Steli'nin 3B modellenmesi ve sesli rehberlik oluşturulması. *Geomatik*, 9 (2), 238-244

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1427357>

Anahtar Kelimeler

3B modelleme
Kültürel miras
Müzecilik
Sesli rehberlik

Araştırma Makalesi

Geliş: 29.01.2024
Revize: 07.03.2024
Kabul: 24.03.2024
Yayınlanma: 15.08.2024



Öz

Kültürel miras, bir toplumun geçmişten gelen değerleri, gelenekleri, sanat eserleri, dil ve diğer kültürel unsurları kapsayan geniş bir kavramdır. Bu miras, bir topluluğun kimliğini şekillendirir ve gelecek nesillere aktararak sürdürülmesi amaçlanır. Bu amacın en önemli basamağını müzeler oluşturur. Müzeler insanların geçmişlerini anlamalarına, değer vermelerine ve öğrenmelerine katkıda bulunur. Geleneksel müze deneyimi ve müzecilik anlayışı sanal tur, interaktif öğrenme materyalleri vb. dijital teknolojilerin entegre edildiği bir yaklaşıma evrilmiştir. Bu çalışma ile iPhone 15 Pro Max mobil telefon ve 3DF Zephyr ile programı yardımıyla Geç Hitit Dönemine tarihlenen Aksaray Steli üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Çalışmaları sonucunda elde edilen 3B model video görüntüleme ve metinleri anlatımlı videolara dönüştüren yapay zekâ programı aracılığı ile işlenmiş olup, eserin yüksek çözünürlük görseli ile birlikte eser hakkında bilginin verildiği sesli ve görüntülü rehberlik oluşturulmuştur. Sesli ve görüntülü video Aksaray Müzesi teşhir salonunda LCD ekranda ziyaretçilere sunulmuştur. Dijital materyaller aracılığıyla çağdaş müzecilik anlayışına katkı sağlanarak kültürel mirasın geniş kitlelere ulaşması, eserlerin detaylı incelenmesi, öğrenilmesi gibi ziyaretçilere akılda kalıcı etkileşimli bir müze deneyimi sağlanmıştır.

3D modeling and audio guidance of the Hittite Stele in Aksaray Museum

Keywords

3D modeling
Cultural heritage
Museology
Voice guidance

Research Article

Received: 29.01.2024
Revised: 07.03.2024
Accepted: 24.03.2024
Published: 15.08.2024

Abstract

Cultural heritage is a broad concept that includes values, traditions, works of art, language and other cultural elements from a society's past. This heritage shapes the identity of a community and is intended to be passed on to future generations. Museums constitute the most important step of this goal. Museums help people understand, value and learn about their past. The traditional museum experience and museology approach includes virtual tours, interactive learning materials, etc. It has evolved into an approach where digital technologies are integrated. In this study, a three-dimensional model of the Aksaray Stele, dated to the Late Hittite Period, was created with the help of an iPhone 15 Pro Max mobile phone and 3DF Zephyr program. The 3D model obtained as a result of the work was processed through an artificial intelligence program that converts video imaging and texts into narrated videos, and audio and visual guidance was created along with the high-resolution visual of the work, providing information about the work. Audio and video were presented to visitors on the LCD screen in the Aksaray Museum exhibition hall. By contributing to the contemporary understanding of museology through digital materials, a memorable interactive museum experience has been provided to visitors, such as reaching the cultural heritage to large audiences, examining and learning the works in detail.

1. Giriş

Kültürel miras, Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın 2009 yılındaki çalışma raporunda "geçmişten miras alınan ve farklı nedenlerle geleceğe miras bırakılmak istenen, fiziksel olarak var olan ve insanlar tarafından yapılmış her türlü eserler ile bir topluma ait değerler bütünü" şeklinde tanımlanmıştır (Can, 2009).

Son yıllarda turizm faaliyetleri büyük ölçüde toplumların kültürel mirasına odaklanmaktadır ve farklı kültürleri görme, tanıma ve deneyimleme isteği turistler arasında yaygınlaşmaktadır (Şahin, 2009; Lynch ve ark., 2011). Müzeler, tarihsel süreçte kültürel aktarımın en önemli temsilcileri olmuştur (Bostancı, 2019). Eserlerin sergilenmesi, verilen hizmetler, toplumun ilgisi, işlevsellik, yönetim, mimari ve nitelik bakımından müzeler önemli bir değişim ve dönüşüm geçirmektedir. Bu değişime ayak uyduran, kendini yenileyen ve ziyaretçilerini tatmin edecek daha etkili ve çekici ortamlar oluşturan müzeler daha fazla tercih edilmektedir (Kervankıran, 2014).

Kültürel mirasa konu olan eserlerin gerçek ölçü değerlerinde ziyaretçilere sunulması toplumsal kimlik, bağlılık, kültürel çeşitliliğin idrak edilmesi, turizm ve dolaylı olarak ekonominin canlandırılmasının yanı sıra mirasın gelecek nesillere aktarılması noktasında büyük önem arz etmektedir (Karataş ve ark. 2023). Üç boyutlu (3B) model uygulamaları ile tarihi eserleri arşivleme çalışmaları daha kolay hale gelmiştir. Bunun yanı sıra eserlerin sunumu, anlaşılabilirliği ve yorumlanmasında önemli derecede kolaylıklar sağlanmıştır. Bunlara ek olarak 3B modeller ile sanal müzeler oluşturulabilir ve kullanıcılara uzaktan erişim imkânı ile sunulmasıyla tanıtım çalışmaları teknolojik uygulamalar ile desteklenebilmektedir (Buhur ve ark., 2023). Tarihi ve kültürel eserlerin belgelenmesinde fotogrametrik yöntem, klasik yöntemlere göre kullanıcıya hız, maliyet, hassasiyet ve teknolojik olarak önemli derecede üstünlük sağlamaktadır (Yakar ve Mohammed, 2016). Kültürel mirasın 3B modellemesinde farklı teknikler kullanılmaktadır. Kültürel mirasta en çok kullanılanlar yersel fotogrametri, yapı sensörleri ve YLT'dir (Kaçarlar ve Hamal, 2021). YLT tekniği LİDAR (Light Detection and Ranging-Işık Tespiti ve Mesafe Ölçme) sistemi içerisinde yer almaktadır. Bu yöntemde taranan objeye ait üç boyutlu nokta bulutu hassas ve hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir (Kanun ve ark. 2022). Elde edilen nokta bulutundan kültürel mirasın belgelenmesi için 3B modeli oluşturabilmektedir (Yurtsever, 2023).

Geleneksel müzecilik müze koleksiyonlarını koruma, sınıflandırma ve sergileme üzerine odaklanarak kültürel mirasın fiziksel muhafazasını sağlar. Geleneksel müzecilik faaliyetleri, eserlerin kültürel objelerin fiziksel mekanlarda vitrin vb. belirli korunaklı alanlarda sergilenmesini ifade eder. Bu durum esere belirli sınırlar dahilinde yaklaşma fırsatı tanımaktadır. Dijital müzecilik ise geleneksel müze deneyimine teknolojinin entegre edildiği bir yaklaşımı ifade eder. Bu yaklaşım sanal turlar, çevrimiçi sergiler, interaktif öğrenme materyalleri, mobil uygulamalar aracılığı ile kültürel mirası çevrimiçi ortamlarda erişilebilir kılmayı amaçlar. Bu amaç doğrultusunda dijital müzecilik anlayışına ayak

uydurmak noktasında eserlerin 3B modelleri elde edilerek; belgeleme ve koruma, araştırmacılara eserin farklı açılardan incelenmesi ve analiz imkanı, restorasyon sürecinde kullanılarak eserin orijinal yapısını daha iyi anlama ve restorasyon planını geliştirme, öğrencilere veya ilgili kişilere arkeoloji konusunda interaktif ve görsel bir öğrenme deneyimi sunmanın yanı sıra çevrimiçi ortamlarda sanal turizm oluşturulması olanaklı hale gelmektedir.

Eserlerin üç boyutlu taramaları ile oluşturulan sergiler sanal ve metaverse müzelere dönüşüm imkânı sunmaktadır (Özendi, 2022). Bu anlamda ülkemizde ve dünya genelinde sanal müze uygulamaları ile Metaverse Müzeler gelişen teknoloji ile yaygınlaşmaktadır. Ülkemizde Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğüne Adana Müzesi, Antalya Müzesi, Şanlıurfa Müzesi, Ihlara Vadisi Ören yeri, Göbeklitepe Ören yeri, Efes Ören yeri gibi kültür alanlarının sanal müze uygulamaları yapılarak internet sitesi üzerinden ziyaretçilerin erişimine sunulmaktadır. Ülkemizde olduğu gibi dünya genelinde ise Louvre Müzesi, British Museum, Metropolitan Müzesi sanal müze erişimi olan örneklerdendir.

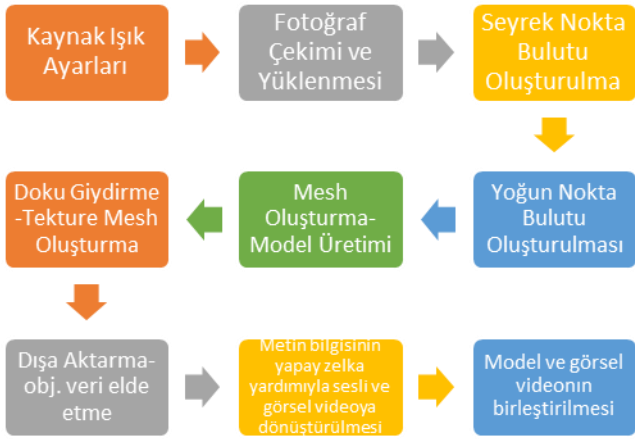
Geç Hitit Dönemi'ne ait ortostat ve stel/mezar taşları üzerindeki tasvirler dönemlerinin sosyal, kültürel ve hatta siyasal gelişmeleri hakkında önemli veriler sağlar. Geç Hititler'in kabartma sanatında dönemin siyasi yaşantısı, soylu kişiler, av sahneleri, tanrı-tanrıça ilişkileri, adaklar, tören, bayramlar ve ziyafet sahneleri gibi konular tasvir edilmiştir (Özer, 2021).

Hititler, heykeltraşlık eserlerini anıtsal mimarlık yapılarının süslemelerinde, kült yapılarının kapılarında ve mitolojik/hayvan tasvirleri olarak inşa etmişlerdir. Bu eserler genellikle kralların gücünü ve hakimiyetini, tanrılara olan bağlılığını, kralların kutsanmasını ve koruyucu tanrıları tasvir etmiştir. Ayrıca, stel şeklindeki eserler figüratif bezemeli heykel kaideleleri olarak yapılmıştır. Anadolu topraklarında günümüze kadar ulaşmış olan alçak kabartma yontu sanatı doğal kayanın açıkta kalan yüzüne yontulmuş şekilde kabartma figürleriyle yapılmıştır (Çiçek, 2009). Hiyeroglif yazılar da bu anıtlarda sıklıkla bulunur ve Luvice konuşan halklar hakkında bizlere bilgiler sağlar. Genellikle kralların tasvirlerine yer verilen bu kaya kabartmaları, ülkenin önemli doğal yol geçitlerine, su kenarlarına ve askeri yollar üzerindeki sarp kayalara yapılmıştır.

Aksaray Müzesi envanterine kayıtlı teşhir salonunda sergilenen ihtişamlı yapısı nedeniyle ziyaretçiler tarafından ilgi odağı olan, Geç Hitit Dönemine tarihlenen Aksaray Steli'nin fotogrametri yaklaşımı ile 3B modeli oluşturulmuştur. Yapay zekâ uygulamaları ile eser hakkında bilginin verildiği sesli ve görüntülü rehberlik çalışması haline getirilmiştir. Oluşturulan model ile birlikte sesli ve görüntülü rehberlik çalışması eserin daha fazla ziyaretçiye hitap etmesini sağlamak, esere istenildiği kadar yaklaşabilme imkânı sunmak, ziyaretçilere görsel olarak hitap eden ve etkileşimli müze deneyimi kazandırılmasını mümkün kılmaktadır. Bunun yanı sıra kültürel miras aktarımının mihenk taşı olarak müzecilik faaliyetlerinin daha dinamik, katılımcı ve toplum odaklı yürütülmesi amaçlanmaktadır.

2. Yöntem

Bu çalışma ile Aksaray Müzesi envanterine kayıtlı teşhir salonunda sergilenen Geç Hitit Dönemine tarihlenen Aksaray Steli'nin 3B modellenmesi yapılmıştır. Modelleme işlemleri esnasında mobil telefon ve 3DF Zephyr programı tercih edilmiştir. Elde edilen 3B Model, metinleri görsel videolara dönüştüren yapay zekâ programı yardımıyla eser hakkında verilerin anlatıldığı göze hitap eden görüntülü anlatım ve sesli rehberlik oluşturulmuştur. Şekil 1'de belirtilen iş akış şemasına uyularak modelleme ve müze rehberlik çalışması tamamlanmıştır.



Şekil 1. 3B modelleme ve sesli rehberlik işlem akışı.

2.1. Çalışma alanı

Aksaray Müzesi teşhirinde sergilenen Geç Hitit Dönemine tarihlenen Aksaray Steli'nin Şekil 2'de belirtilen çalışma alanı sınırları içerisinde 3B modellemesi yapılmış, yapay zekâ aracılığıyla sesli rehberlik işlemleri yürütülmüştür.

1969 yılında müzecilik faaliyetlerine başlayan Aksaray Müzesinde teşhir salonunda yer alan ve 1977 yılında satın alma yolu ile müze envanterine kaydedilen Şekil 3 ve 4'de gösterilen kitabeli stel bazalt malzemeden üretilmiş olup, Geç Hitit Dönemine tarihlenmektedir. Eni 87 cm, boyu 90 cm ve kalınlığı 37 cm'den oluşmaktadır. Dikdörtgen prizma şeklinde olan stelin ön yüzü tasvirli yan ve arka yüzü hiyeroglif kitabelidir. Kitabe ortadan kırık vaziyette olup, üst kısmı günümüze ulaşmamıştır. Ön yüzünde belden aşağı kısmı var olan yüksek kabartma tasvir bulunmaktadır. Arka yüzünde Hititlerin fırtına tanrısı Tarhunzas'a ait olduğu tahmin edilen kabartma profilden yapılmıştır. Tasvir etekleri püsküllü elbise ile betimlenmiştir. Bacaklar kalın ve adaledir. Ayak kısmında sivri ve ucu kırık ayakkabı bulunmaktadır. Belinde kılıç kabzası olduğu tahmin edilen kabartma yer almaktadır. Sol bacak tam, sağ bacak dizden yukarı kırıktır. Arka ve her iki yanda dördü geniş biri dar hiyeroglif kitabe yer almaktadır. Kitabenin yer aldığı yüzeyde sonradan açıldığı anlaşılan ve zıvana taşı olarak

kullanıldığını gösteren 26 cm çapında oyuk bulunmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanı.



Şekil 3. Aksaray Steli ölçekli fotoğrafı ön görünüm



Şekil 4. Aksaray Steli ölçekli fotoğrafı arka görünüm.

Asur metinlerinde Şinuhtu olarak geçen, Luvice adıyla Sinahutina krallığı ve kral Kiyakiyas, M.Ö. 8. yüzyılın ikinci yarısına tarihlenen Aksaray Steli'nden bilinmektedir. Kraliyet şehri ve aynı zamanda krallığın adını aldığı Sinahutina (=Şinuhtu) krallığı günümüz

Aksaray ve yakın çevresine lokalize edilmektedir (Hawkins, 2000; Özgüç, 2015). Sözü edilen Aksaray Steli şu şekilde çevrilmiştir.

“... [..] bu [tanrı]lar(?) [Si]na[huti]na şehirini sevdiler. [...] [...Tar] hunzas NISA'yı bereketlendirdi ve gökten çok [şey] indi ve yerden çok şey çıktı... [...] ... Adil olduğum için Tarhunzas ve buradaki bütün tanrılara değerli oldum ve büyük krallar (ve) bütün krallar bu şehre hayran kaldı. Peki bana bu konumu kim verdi? Tarhunzas bu konumu kimseye vermedi, ancak (sadece) buranın hükümdarı, bana Kiyakiyas'a, krala verdi. Atalazawas (?) bana (?) [...] dı ve [bana] bu ... [...] , ... Tarhunzas bunu verdi.”

Görüldüğü üzere bu stelde Kiyakiyas, Luvi baş tanrısı Tarhunzas'ın bölgeyi kendisine verdiğini söylemektedir. Burada Kiyakiyas, saltanatı meşrulaştırmak için böyle bir yola başvurmuş gibidir (Bardakçı, 2023).

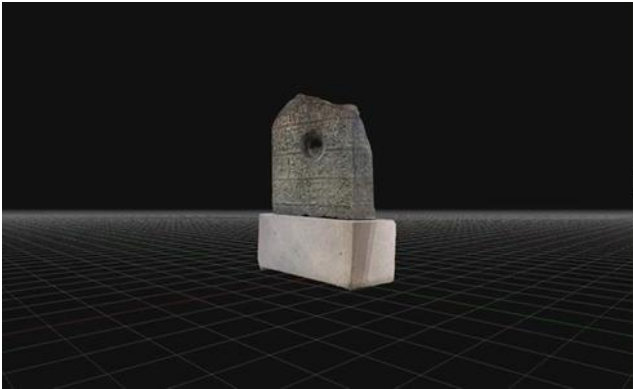
2.2. Uygulamalar

Aksaray Steli modellemesi çalışmasına yüzeydeki detayların daha net ortaya çıkarılması amacı ile stüdyo ışıkları uygun şekilde konumlandırılarak başlanmıştır. Eserin etrafında dairesel yörünge oluşturmak sureti ile farklı açı ve uzaklıklarda Iphone 15 pro max mobil telefon ile fotoğraf çekimi yapılmıştır.

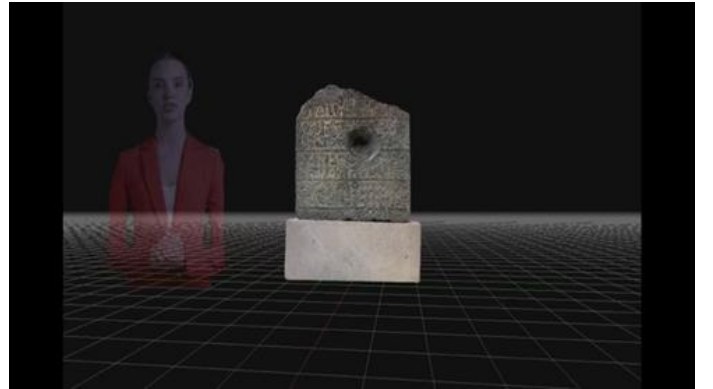
Mobil telefon pratik kullanımı, yüksek çözünürlüklü fotoğraf çekimi ve RAW görüntü dosyalarının sonradan diyafram, pozlama, ışık vb. ayarlarının yapılmasına olanak tanınması nedeniyle tercih edilmiştir.

Tablo 1. Iphone 15 Pro Max kamera özellikleri.

Pro kamera sistemi	Özellikler
48 MP Ana kamera	24 mm, f/1.78 diyafram, ikinci nesil sensör bazlı optik görüntü stabilizasyonu, %100 Focus Pixels, süper yüksek çözünürlüklü fotoğraflar (24 MP ve 48 MP)
12 MP Ultra Geniş kamera	13 mm, f/2.2 diyafram ve 120° görüş alanı, %100 Focus Pixels
12 MP 2 kat Telefoto (dört piksellli sensör aracılığıyla):	48 mm, f/1.78 diyafram, ikinci nesil sensör bazlı optik görüntü stabilizasyonu, %100 Focus Pixels
12 MP 5 kat Telefoto	120 mm, f/2.8 diyafram, 3D sensör bazlı optik görüntü stabilizasyonu ve otomatik netleme, tetraprizma tasarım
LiDAR Tarayıcısı yardımıyla Gece modunda portre çekim	



Şekil 5. Aksaray Steli 3B modeli.



Şekil 6. Stel 3B Modeli ve yapay zeka sesli anlatım.

Kamera özellikleri **Tablo 1**'de belirtilen mobil telefon ile eserin etrafında kabartma ve detay noktalarına dair 350 adet fotoğraf çekim işlemleri tamamlanmıştır. 350 adet fotoğraf 3DF Zephyr programına yükledikten sonra seyrek nokta bulutu oluşturma işlemi program

inde yapılmış, istenilmeyen noktalar seçilerek silinmiştir. Seyrek nokta bulutu üzerinden program aracılı yoğun nokta bulutu oluşturulup istenilmeyen noktaların temizlenme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra 3DF Zephyr programında mesh

seçeneği ile model oluşturulmuştur. Oluşturulan model üzerine tecture seçeneği ile **Şekil 5**'de görüldüğü üzere fotoğraf dokuları bindirilmiş model çalışması tamamlanmıştır. 3B model üzerine Ela.ai adlı yapay zekâ programı ile sesli-görüntülü video rehber videosu oluşturularak **Şekil 6**'da belirtildiği üzere teşhir salonunda sergilenmiştir.

2.2.1. Fotogrametrik analizler

Aksaray Steli için 351 adet fotoğraf çekimi yapılmıştır. 350 adet fotoğraf üzerinden 55674 adet seyrek nokta bulutu, 3941996 adet yoğun nokta bulutu, 3B model üzerinde 1694005 adet üçgen üretilmiştir. 3D Zephyr programı içerisinde 3D Flow arayüzü kullanılarak modelleme çalışmasına dair **Şekil 7,8,9,10 ve 11**'de belirtildiği üzere proje verisi, dahili kamera parametreleri, seyrek nokta bulutu, yoğun nokta bulutu, 3B model ve doku giydirilmiş model proje çıktıları alınmıştır.

Proje	Aksaray Steli
Tarih	9 January 2024
Program	3df Zephyr
Versiyon	7.511
Kameralar	350/351
	

Şekil 7. Stel 3B model proje özeti.

Nesne Adı	Sparse Point Cloud
Önayar Tipi	Yüzey taraması
Ön Ayar Adı	Varsayılan
Hesaplama zamanı	0d 0h 29m 11s
Nokta sayısı	55674
BA Ortalama Kare Hatası	1.44876
BA Referans Varyansı	1.01858



Şekil 8. Stel seyrek nokta bulutu verileri.

Nesne Adı	Yoğun nokta bulutu 1
Önayar Tipi	Yüzey taraması
Ön Ayar Adı	Varsayılan
Hesaplama zamanı	0d 0h 36m 14s
Çekirdek Nokta Sayısı	3941996
Toplam Nokta Sayısı	3941996
Uygulanan Filtreler	Hiçbiri



Şekil 9. Stel yoğun nokta bulutu verileri.

3. Bulgular ve tartışma

Kültürel miras evrensel değerlere sahip olduğuna inanılan eserlere dair toplumun kimliğini yansıtan geçmiş ile geleceği arasında köprü oluşturan önemli bir unsurdur. Kültürel mirasın bir kolu olan somut kültürel miras mimari yapılar, arkeolojik buluntular ve sanat eserlerini kapsamaktadır. Bahse konu somut kültürel miras ile müzeler arasında önemli bir ilişki olduğu aşikardır. Bu noktada somut kültürel mirasın çeşitli türlerini toplamak, korumak, sergilemek ve tanıtmak kültürel miras aktarımında büyük görev müzelere düşmektedir.

Müzecilik disiplinler arası bir meslektir. Tarih, sanat tarihi, arkeoloji, etnoloji, eğitim bilimi ve iletişim gibi

birçok disiplinden veri alır. Geleneksel müzecilik, müzeciliğin ilk ortaya çıktığı dönemden yakın döneme kadar benimsenen genellikle nesnelere bir araya getirilmesi, düzenlenmesi ve sergilenmesi üzerine odaklanır. Geleneksel müzecilikte korunaklı vitrinlerde, duvarlarda veya bilgi panolarında ziyaretçilere bilgi verme amacı taşır.

Müzecilik mesleğine gelişen teknoloji ile birlikte dijital teknolojinin entegre edilmesi son yıllarda yaygın olarak benimsenen bir yaklaşım olmuştur. Bu durum dijital müzecilik veya çağdaş müzecilik anlayışını evrilmeyi sağlamıştır. Çağdaş müzecilik; teknoloji odaklı, ziyaretçilerin aktif/katılımcı bir rol aldığı, eğitim-öğretim faaliyetlerinin yürütülerek ziyaretçilere kültürel miras hakkında bilgi-beceri kazandırır. Dijital

müzecilikte sanal turlar, 360 derecelik görüntüler, ziyaretçilere eserle etkileşim kurma fırsatı sunan interaktif uygulamalar ve özellikle öğrenciler tarafından

revaçta olan oyunlar kültürel mirasın anlaşılması, kimlik bilinci oluşturmalarının yanı sıra aktarım konusunda büyük katkılar sağlamaktadır.

Nesne Adı	Mesh 1 [Retop]
Önayar Tipi	Yüzey taraması
Ön Ayar Adı	Varsayılan
Hesaplama zamanı	0d 2h 17m 32s
Üçgen Sayısı	2514281
Uygulanan Filtreler	Photoconsistency based optimization Retopoloji
	

Şekil 10. Mesh verileri.

Nesne Adı	Renklendirilmiş Mesh 1
Önayar Tipi	Genel
Ön Ayar Adı	Varsayılan Tek Tekstur
Hesaplama zamanı	0d 0h 32m 42s
Üçgen Sayısı	1694005
Tekstur Sayısı	1
Uygulanan Filtreler	Hiçbiri
	

Şekil 11. Doku giydirme verileri.

Müzecilik işlemleri noktasında birçok disiplin/bilim dalına hâkim olmak ve gelişen teknoloji ile müzeciliği buluşturmak elzem olmaktadır. Bu noktada 3B modelleme çalışmaları dijital/çağdaş müzecilikte sıklıkla tercih edilir konudur. Fotogrametri yardımıyla 3B model oluşturma çalışmalarında Meshroom, 3DF Zephyr, Photomodeler vb. programlar kullanılmaktadır (Çolak ve Çolak, 2023). Bu çalışma ile 3DF Zephyr programında Geç Hitit Dönemine tarihlenen Aksaray Stelin 3B modeli oluşturulmuştur. Aksaray Steli hakkında bilginin yer aldığı metin yapay zekâ programında işlenerek sesli ve görüntülü videoya dönüştürülmüştür. Bahse konu sesli ve görüntülü video ile eserin 3B modeli birleştirilerek teşhir salonunda LCD (Liquid Crystal Display) ekranda ziyaretçilere sunulacak dijital müzecilik çalışmalarına katkı sağlanmıştır.

Geleneksel müzecilik çalışmalarında teknolojik imkanların kullanılmasının mümkün olmaması ya da sınırlı olması sebebiyle ziyaretçiler eseri gözlemlemek dışında herhangi bir etkileşimde bulunamayarak pasif rol oynamaktadır. Geleneksel müzecilik sınırlı erişilebilirlik sunar. Bu durum yeterince kültürel mirasın önemi hakkında farkındalık yaratamamaktadır.

Dijital, çağdaş müzecilikte ise 3B modelleme teknolojisinin hemen hemen tüm alanda kullanılabilmesinden hareketle eserin sadece korunaklı vitrinlerde sınırlı yaklaşım ile ziyaretçi tarafından gözlemlenmesinin dışına çıkılması mümkün kılınmaktadır. Bu durum ziyaretçiye etkileşimli, aktif,

eğlenceli, akılda kalıcı bir müze deneyimi sağlarken kültürel mirasın önemi konusunda fark yaratmaktadır.

4. Sonuçlar

Anadolu'nun zengin doğal kaynakları, çeşitli iklimleri ve coğrafi özellikleri farklı uygarlıkların kurulması ve gelişmesine yol açmıştır. Uygarlıklar kültürel mirasın yaratıcısıdır. Ülkemizin kültürel mirası Anadolu'da yaşayan farklı medeniyetlerin izlerini taşıdığından Türkiye'nin zengin tarihini ve kültürünü yansıtmaktadır. Kültürel miras ülkemizin kimliğini ve değerlerinin şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu noktada müzeler uygarlıkların geçmişten gelen kültürel değerleri ile çağdaş toplumlar arasında iletişim görevini üstlenerek kültürel mirasın günümüzde yaşatılmasına ve geleceğe aktarılmasını sağlamaktadır. Aksaray Steli'nin 3B modeli ve yapay zekâ aracılığıyla sesli-görsel rehberlik videosu çalışması 3B modellemeden yararlanılarak bu önemli görevde canlılığı baki kılmaya ve müzelerin geleneksel duruşunu genişletmeye olanak sağlamaktadır.

Aksaray Steli'nin 3B modeli ve eserin tanıtımına yönelik hazırlanan görüntülü ve sesli video LCD ekranda teşhir salonunda sergilenerek interaktif rehberlik sisteminin oluşmasına olanak sağlanmıştır. Dijital araçlar kullanılarak elde edilen interaktif rehberlikle birlikte ziyaretçilerin eser hakkında bilgi edinimi sağlanırken aynı zamanda eğlenerek hem göze hem kulağa hitap eden bir etkileşim kurması sağlanmaktadır.

Bu durum müzeler ve tarihi alanları daha ilgi çekici, merak uyandırıcı hale getirerek kültürel mirasın korunmasında, yaşatılmasında ve aktarılmasında büyük farkındalık yaratacaktır.

Üç boyutlu sahne yaratımı yapılan 3D Max, Blender gibi yazılımlar kullanılarak mimari tasarımlar, oyun dünyaları, film setleri ve sanal gerçeklik uygulamaları gibi sanal mekân oluşturulabilir. Bu tür araçlar gerçekçi sanal ortamlar oluşturulmasına olanak tanır ve görselleştirmenin yanı sıra animasyon ve interaktif deneyimler elde edilmesini sağlar. Bu çalışma sonucunda Hitit Steli'ne ait üretilen 3B model artırılmış gerçeklik uygulamalarına entegre edilerek ziyaretçilerin tarihî olayları daha interaktif bir şekilde keşfetmelerini sağlayacaktır.

Araştırmacıların katkı oranı

Şükran Tosun Çolak: Veri Toplama, uygulama, yazma
Avşar Timuçin Çolak: Veri toplama, uygulama, yazma

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Bardakçı, K. (2023). Aksaray'da bulunan hiyeroglif Luvice yazıtlar ışığında geç hitit döneminde Tuz Gölü Bölgesi'nin siyasi yapısı. *Anasay*, (24), 155-164. <https://doi.org/10.33404/anasay.1260312>
- Bostancı, M. (2019). Dijital müzecilik ve interaktif iletişim: Sfmoma ve Mori dijital sanat müzesi örneklemeleri. *Unimuseum*, 2(2), 34-39.
- Buhur, S., Uluğtekin, N., Gümüşay, M. Ü., & Musaoğlu, N. (2023). Turistik amaçlı mekânsal sanal ortamların oluşturulması: Tarihi Yarımada Örneği. *Geomatik*, 8(2), 99-106. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1133484>
- Can, M. (2009). Kültürel miras ve müzecilik. <https://teftis.ktb.gov.tr/Eklenti/1279,muserrefcanp df.pdf?0>
- Çiçek, M. N. (2009) Hitit İmparatorluk Dönemi Kaya Anıtları. [Yüksek Lisans Tezi, Selçuklu Üniversitesi].
- Çolak, Ş. T., & Çolak, A. T. (2023). Aksaray Müzesinde Bulunan Asklepios ve Kartal Heykelinin 3B Modellemesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 1-6. <https://doi.org/10.53030/tufod.1252239>
- Hawkins, J. D. (2000). *Corpus of Hieroglyphic Luwian Inscriptions, Vol. 1, Inscription of the Iron Age*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Kaçarlar, Z., & Hamal, S. N. G. (2021). Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 65-70. <https://doi.org/10.51946/melid.982814>
- Kanun, E., Alptekin, A., Karataş, L., & Yakar, M. (2022). The use of UAV photogrammetry in modeling ancient structures: A case study of "Kanytellis". *Advanced UAV*, 2(2), 41-50.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2023). Investigating the material deteriorations on the facades of stone structures by terrestrial laser scanning method: Case study of Mardin Mansion. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(3), 700-711. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1197891>
- Kervankiran, I. (2014). Dünya'da değişen müze algısı ekseninde Türkiye'deki müze turizmüne bakış. *Turkish Studies*, 9, 345-369.
- Lynch, M. F., Duinker, P. N., Sheehan, L. R., & Chute, J. E. (2011). The demand for Mi'kmaw cultural tourism: Tourist perspectives. *Tourism Management*, 32(5), 977-986. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2010.08.009>
- Özendi, M. (2022). Kültür varlıklarının yersel lazer tarama yöntemi ile dijital dokümantasyonu: Zonguldak Uzun Mehmet Anıtı örneği. *Geomatik*, 7(2), 139-148. <https://doi.org/10.29128/geomatik.917528>
- Özer, S. N. (2021). Geç Hitit Dönemi kabartmalarında tasvir edilen yemek sahneleri ve bu sahnelerde geçen başlıca objeler. *Anasay*, 16, 101-118. <https://doi.org/10.33404/anasay.910484>
- Özgüç, N. (2015). *Acemhöyük-Buruşhaddum I*. Ankara: Türk Tarih Kurumu Yayınları.
- Şahin, H. İ. (2009). Dalyan ve Köyceğiz Çevresinde Gelenek, Turizm ve Folklorizm. *Milli Folklor Dergisi*, 82, 50-58.
- Yakar, M., & Mohammed, O. (2016). Yersel fotogrametrik yöntem ile ibadethanelerin modellenmesi. *Selçuk University Journal of Engineering Sciences*, 15(2), 85-95.
- Yurtsever, A. (2023). Taşınır ve taşınmaz kültür varlıklarının yeni nesil LiDAR sensörlü tablet bilgisayar ile belgelenmesi. *Geomatik*, 8(2), 200-207. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1209701>



© Author(s) 2024. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Akarsular üzerindeki antropojenik yapıların kıyı çizgisi üzerindeki etkisi: Dalaman Çayı

Ersin Ateş^{*1}, Murat Gül², Güncel Sarıman³, İliya Bauchı Danladı²

1 Ankara Üniversitesi, Ayaş Meslek Yüksekokulu, Coğrafi Bilgi Sistemleri Programı, Ankara, Türkiye, ersinates48@gmail.com

2 Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye, muratgul@mu.edu.tr, iliyadbauchi@yahoo.com

3 Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye, guncelsariman@mu.edu.tr

Kaynak Göster: Ateş, E., Gül, M., Sarıman, G., & Danladı, İ. B. (2024). Akarsular üzerindeki antropojenik yapıların kıyı çizgisi üzerindeki etkisi: Dalaman Çayı. *Geomatik*, 9 (2), 245-258

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1434927>

Anahtar Kelimeler

CBS
Kıyı erozyonu
Pearson korelasyonu
DSAS
WLR

Araştırma Makalesi

Geliş: 10.02.2024
Revize: 17.03.2024
Kabul: 20.03.2024
Yayınlanma: 15.08.2024



Öz

Kıyı bölgeleri, deniz ticareti, turizm ve milyarlarca insanın evi olması bakımından hayati öneme sahiptir. Son zamanlarda kıyıları, küresel ısınma ve antropojenik etkilerden dolayı stres altında kalmıştır. Doğal ve antropojenik etkilerin kıyı bölgelerindeki etkilerini en iyi kısa nehirleri ve küçük drenaj alanları olan bölgelerden elde edilen verilerle açıklamak mümkündür (örneğin Dalaman Çayı). Dalaman Kıyısı, Güneybatı Türkiye'de popüler bir yaz turizmi destinasyonlarından biridir. Bu kıyıda kıyı çizgisi değişiklikleri, Weighted Linear Regression (WLR) analizi ve Digital Shoreline Analysis System (DSAS) kullanılarak belirlenmiştir. 30 yıl boyunca yağış, sıcaklık ve akım ile kıyı çizgisi değişiklikleri arasındaki ilişki, Pearson korelasyonu kullanılarak belirlenmiştir. 1989 ile 1999 doğal faktörlerin etkili olduğu bu dönemde tüm kıyı çizgisi ortalama -1.54 m kadar kabul edilebilir bir miktar gerilemiştir. 1999'da işletmeye alınan göletin ardından, tüm kıyı çizgisi 2000 ile 2010 yılları arasında ortalama -6.89 m, 2011 ile 2019 yılları arasında, tüm kıyı çizgisi ortalama -10.42 m gerilemiştir; bu, Akköprü Barajı'nın (2011'de işletmeye alınması) ve göletin sediment tutması sonucudur. Korelasyon analizinde, kıyı çizgisi doğal faktörlerin etkisi altındayken güçlü bir korelasyon gösterirken, Akköprü Barajı'nın devreye alınmasından sonra bu ilişki yaklaşık %50 oranında zayıflamıştır. Bölgede sürdürülebilir yaz turizmi ve tarım faaliyetlerini gerçekleştirmek için kıyı hattının, drenajın sürekli izlenmesi ve kıyı alanına dengeli müdahale yapılması gerekmektedir.

The effect of anthropogenic structures on the shoreline: Dalaman Stream

Keywords

GIS
Coastal erosion
Pearson correlation
DSAS
WLR

Research Article

Received: 10.02.2024
Revised: 17.03.2024
Accepted: 20.03.2024
Published: 15.08.2024

Abstract

Coastal regions are vital for maritime trade, tourism and home to billions of people. Recently, coasts have been under stress from global warming and anthropogenic impacts. The effects of natural and anthropogenic impacts on coastal areas can be best explained by data from regions with short rivers and small drainage areas (e.g. the Dalaman River). The Dalaman Coast is a popular summer tourism destination in southwestern Turkey. Shoreline changes on this coast were identified using Weighted Linear Regression (WLR) analysis and Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Over 30 years, the relationship between rainfall, temperature and discharge and shoreline changes was determined using Pearson correlation. Between 1989 and 1999, the entire shoreline receded by an acceptable average of -1.54 m during this period of natural factors. Following the commissioning of the reservoir in 1999, the entire shoreline receded by an average of -6.89 m between 2000 and 2010, and by an average of -10.42 m between 2011 and 2019, the result of sediment retention by the Akköprü Dam (commissioning in 2011) and the reservoir. In the correlation analysis, the shoreline was strongly correlated when it was under the influence of natural factors, but this relationship weakened by about 50% after the commissioning of the Akköprü Dam. In order to realize sustainable summer tourism and agricultural activities in the region, continuous monitoring of the shoreline, drainage and balanced intervention in the coastal area is required.

1. Giriş

Mega kentler ve dünya nüfusunun yarısından fazlası kıyı bölgelerinde yerleşiktir (Adger ve ark., 2005; Bird, 2008; Davidson Arnott, 2019; Gül ve ark., 2017). Türkiye'de nüfusun yaklaşık %54'ü kıyılarda yaşamakta ve gayrisafi milli hasılanın %60'ı kıyı bölgelerinde üretilmektedir (Simav ve ark., 2015). Kıyılar, önemli insan altyapılarına, ekosistemlere ve dünya nüfusunun büyük bir kısmına ev sahipliği yapan, kara ve deniz-okyanus arasındaki alanlardır (Adger ve ark., 2005; Martínez ve ark., 2007; Mentaschi ve ark., 2018). Akarsular tarafından sağlanan sediment ve tatlı su, kıyı alanlarının sıcaklığını, tuzluluğunu, bulanıklığını, ışık geçirgenliğini ve ekosistemlerini etkiler (Gül ve ark., 2008, 2009, 2020; Danladi ve ark., 2017, 2020). Ayrıca kıyılar için antropojenik etkilerin başında gelen barajlar, bulunduğu ortamın bitki değişimine ve nemliliğine de etki edebilmektedir (Aykut, 2019; Sarp ve Erener, 2017).

Kıyı çizgisi değişimi (ilerleme veya geri çekilme), sediment girdisi-kıyı birikimi ve sediment çıkışı-kıyı erozyonu arasındaki denge sediment bütçesi ile ilgilidir (Rosati, 2005; Pranzini ve Williams, 2021). Sediment bütçesi, akarsular tarafından taşınan sediment, kıyı akıntıları ve dalga hareketi gibi doğal faktörlerin yanı sıra açık deniz ve kıyı madenciliği, liman ve dalgakıran inşaatı ve barajlar gibi insan faaliyetlerinden de etkilenmektedir (Rosati, 2005; Yuhi, 2008; Pranzini ve Williams, 2021; Das ve Dhorde, 2022). Akarsu tarafından taşınan su ve sediment miktarı doğal olarak drenaj havzasının iklimsel özelliklerinden etkilenmektedir (Boateng ve ark., 2012; Yang ve ark., 2015; Pranzini ve Williams, 2021). Tatlı su ve sediment gibi süreçlerin yanı sıra antropojenik faaliyetlerde (akarsu üzerinde baraj, gölet, kıyıda liman-iskele-dalgakıran vb.) kıyı alanları üzerinde etkili olmaktadır (Bird, 2008; Davidson Arnott, 2019; Yılmaz ve ark., 2023).

Küresel ısınma olayları akarsu drenaj havzasında kuraklıklara (daha düşük yağış) ve sıcaklık artışlarına neden olmaktadır (IPCC, 2014). IPCC (2014) raporuna göre, küresel ısınma nedeniyle kutuplardaki buzulların erimesi ve okyanus su hacminin genişlemesi, deniz seviyesinin yükselmesine katkıda bulunan iki faktördür. Barajlar, nehrin akım oranını ve sediment yükünü etkin bir şekilde kontrol ederler. Akarsu sedimentlerinin kıyı şeridine ulaşmasını engelleyerek kıyı erozyonunu hızlandırır ve diğer taşkın kontrol önlemleri yoluyla kıyıya ulaşması gereken sediment rezervuarlarda tutulur (Yuhi, 2008; Walling 2012; Piqué ve ark., 2017; Pranzini ve Williams, 2021). Buna ek olarak, nehrin askıdaki yükü ve yatak yükü barajın ardından önemli ölçüde azalır (Piqué ve ark., 2017). Bu senaryo, Nil Nehri üzerindeki Aswan Barajı'ndan önce ve sonra yapılan gözlemler ve ölçümlerle Mısır'ın Akdeniz kıyısında kanıtlanmıştır (Sharaf El Din, 1977). Benzer bir gözlem, Akosombo Barajı nedeniyle Gana kıyısında da kaydedilmiştir (Boateng ve ark., 2012). Kıyı çizgisindeki değişiklikler hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve LIDAR kullanılarak yapılan doğrudan ölçümlerle tespit edilebilmektedir (Rosati, 2005; Rajawat ve ark., 2015).

Barajların akarsular üzerindeki etkisi ve buna bağlı kıyı çizgisi değişiklikleri arasındaki bağlantıya daha fazla dikkat edilmelidir. Ayrıca, değişkenler arasındaki

bağlantının istatistiksel gösterimleri, insanların bunları anlamasına ve kıyı koruması için kritik önlemler almasına yardımcı olacaktır. İki değişken arasındaki ilişki miktarı, ikili veya basit korelasyon olarak bilinen korelasyon teknikleri ile hesaplanır. Çoklu korelasyonlar, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkilerdir; bu ilişkilerden biri sabittir ve diğer değişkenlerle olan bağlantısı kısmi korelasyon yaklaşımları kullanılarak hesaplanır (Bekiroğlu ve Sevinç, 2020).

Türkiye'nin güneybatı kıyıları yerel ve küresel sorunlardan etkilenmektedir. Son zamanlarda hem doğal hem de insan kaynaklı faktörler bu bölge kıyılarını etkilemektedir (Gül ve ark., 2019). Önceki kıyı değişiklikleri, (aşırı sediment girdisi nedeniyle kıyı progradasyonunun bir sonucu olarak) karayla çevrili limanların gelişmesine yol açmıştır (Riedel, 1995, 1996; Müllenhoff, 2005; Brückner ve ark., 2006, 2010, 2017). Türkiye'nin güneybatısındaki Dalaman Çayı da benzer bir siltasyon ve kıyı progradasyonu modeli göstermiştir (Brückner, 1997). Dalaman Çayı ilk dönemlerinde Köyceğiz Gölünün körfez olduğu dönemlerde bu körfez alanından denize dökülmüştür. Daha sonra bu körfez Dalaman Çayı ve diğer akarsuların taşıdığı sedimentlerle dolarak Köyceğiz Gölü ile deniz arasında sadece Dalaman Çayı bağlantısı kalmıştır (Riedel, 1995, 1996; Brückner, 1997). Daha sonra Dalaman Çayı son deltasını oluşturmaya başlamıştır (Riedel, 1995, 1996; Brückner, 1997). Günümüzde Dalaman Kıyıları, Akdeniz tabanının dalma-batma zonunda meydana gelen depremler ve volkanlar nedeniyle tsunami baskısı altındadır (Altınok ve Ersoy, 2000; Altınok, 2005; Yalçın ve ark., 2005). Denizel, karasal ve iklimsel kökenli doğal süreçler Dalaman Deltası'nın kıyı alanlarını etkilemektedir. Buna ek olarak, Dalaman Deltası'nın kıyı sedimentasyonu, küçük bir drenaj alanına ve kısa bir ulaşım yoluna sahip olan Dalaman Çayı üzerindeki nispeten küçük bir baraj rezervuarından etkilenmektedir. Bu nedenlerle, Dalaman Çayı üzerindeki antropojenik yapıların (baraj rezervuar alanı ve gölet) Dalaman kıyı çizgisi üzerindeki etkilerini sıcak, yağış miktarı, akım değerleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyması bakımından bir fırsat sunmaktadır.

Dalaman Deltası'nın kıyı dinamiklerinin anlaşılması, hem bölgedeki tarımsal faaliyetlerin korunması hem de yoğun turizm faaliyetlerinin sürdürülebilir olması bakımında çok önemlidir. Bu çalışmada, Dalaman Çayı drenaj alanında yer alan kıyı çizgisini etkileyen faktörlerin kıyı çizgisi üzerindeki etkisi Pearson korelasyonu yöntemi ile incelenmiştir. Kıyı çizgisini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler içerisinde yer alan yıllık toplam yağış miktarı, yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama akım değerleri analiz edilerek kıyı çizgisi değişimi ile olan ilişkisi ortaya konmuştur. Kıyı çizgisi değişimlerini etkileyen faktörlerin araştırılması ve matematiksel olarak ortaya konması konuları zayıf kaldığından bu çalışma ile bu tip faktörlerin değerlendirilmesi kıyı koruması ve planlaması açısından büyük önem arz etmektedir. Dalaman Çayının döküldüğü kıyı üzerindeki kıyı dinamiklerinin zamansal değişiklikleri ortaya çıkarılmış, bu değişkenlerin kıyı dinamikleri üzerindeki etkisi matematiksel olarak ortaya konulmuştur. Dalaman kıyısının kıyı çizgisi, diğer kıyı alanlarında olduğu gibi,

kıyının sürdürülebilir yönetimi, kıyı alanının sürekli izlenmesine ve kıyı erozyonu gibi tehditlere karşı dikkatli olunmasına bağlıdır. Parametrelerin değerlendirilmesi için ilk olarak Dalaman kıyı çizgisi tespit edilmiştir. Bunun için Landsat uydu görüntülerinden faydalanılarak belirlenen zaman aralığındaki (1989-2018) her yıl için kıyı çizgisi vektör veri formatına dönüştürülmüş ve tüm kıyının ortalama, maksimum ve minimum mesafeleri tespit edilerek Weighted Linear Regression (WLR) analizi yapılmıştır. Sıcaklık ve yağış verilerinin ArcGIS programı ile alansal dağılımları yapılarak belirlenen zaman aralığındaki her yıl için (1989-2018) ortalama değerleri tespit edilmiştir. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden alınan akım değerleri ile birlikte Pearson Korelasyonu ile aralarındaki ilişki matematiksel olarak ortaya konmuştur.

2. Çalışma alanı

Muğla İlinin Ortaca ve Dalaman İlçelerini sınırlayan 11 km uzunluğundaki Akdeniz kıyı bölgesi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır (Şekil 1, 2). Bu bölge Dalaman Çayı Deltası'dır. KD-GB uzanımlı Dalaman Çayı 483 km'lik küçük bir drenaj alanına sahiptir (Şekil 1). İncelenen kıyının doğusundaki dağlık alanlar drenaj alanını oluşturmaktadır Çayın akışı iki tesis tarafından değiştirilmiştir. Küçük bir sulama göleti ve Akköprü Barajı hidroelektrik santrali sırasıyla 1999 ve 2011 yıllarında inşa edilmiştir. Dalaman Deltasında yerleşim yerleri ve yoğun tarımsal faaliyetler bulunmakta ve yaz

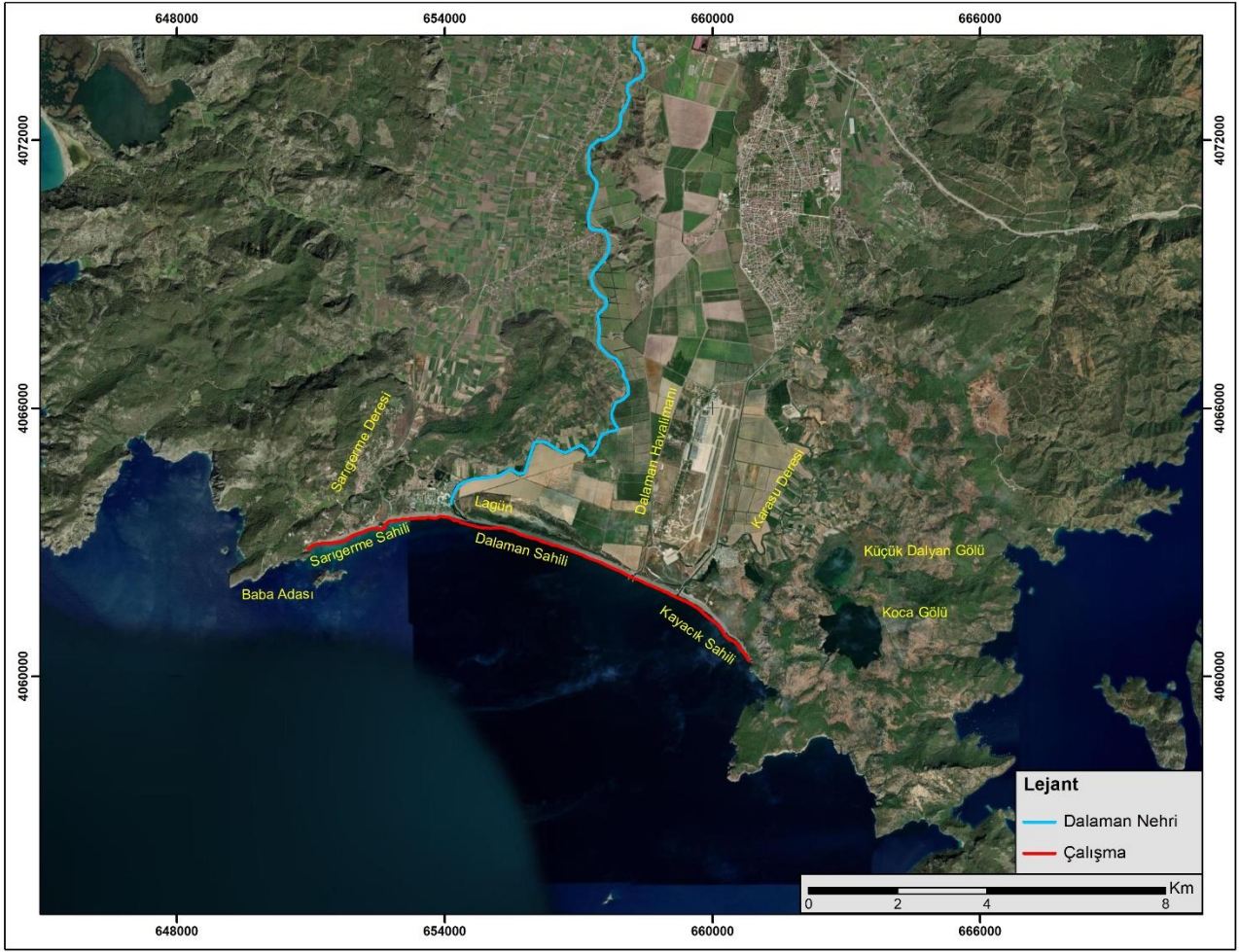
aylarında yoğun turizme ev sahipliği yapmaktadır. Dalaman Havalimanı kıyıya yakın bir diğer önemli ulaşım merkezidir.

Ortaca ve Dalaman İlçeleri arasında gevşek sedimentlerle dolu geniş bir düzlük alan (flüvyal, delta ve kıyı çökeli dahil) bulunmaktadır (Şekil 1). Bu sedimentler, çökme alanının kuzey ve kuzeydoğusunda yer alan dağlık kaynak bölgesinden Dalaman Çayı ve diğer küçük akarsular ve yerçekimi ile taşınmıştır. Son zamanlarda Dalaman Çayı bu gevşek sedimentlerin içinden geçerek Akdeniz'e ulaşmaktadır. Düzlük alanın kıyı cephesi üç plaj içermektedir. Bunlar batıdan doğuya doğru Sarıgerme Plajı (ince-orta taneli kum içeren), Dalaman Plajı (merkezde; çakıl içeren) ve Kayacık Plajı (çakıl ve kumlu çakıldan oluşan). Bu plajlar doğrudan açık deniz etkisi altındadır. Sarıgerme Plajı'nın sadece en batı kenarı küçük, kayalık Baba Adası tarafından korunmaktadır (Şekil 2).

Likya Napları, Dalaman Çayı'nın havza bölgesini oluşturmaktadır (Şekil 3). Gülbahar, Tavas ve Bodrum Napları Likya Naplarının alt bölümleridir ve çalışma alanında yer almaktadır. Çoğunlukla çeşitli yaşlı kırıntılı kayalar ve karbonat kayalar içeren sedimentler kayalardan oluşurlar. Bu naplar, ofiyolitik ve ofiyolitik melanj içeren Marmaris Ofiyolitik Napı tarafından tektonik olarak itilmiştir. Tüm bu yaşlı birimler, Dalaman Çayının delta-flüvyal-kıyı çökelleri de dahil olmak üzere Pliyo-Kuvaterner kırıntılı kayalar tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir (Şenel ve ark., 1994; Şenel, 1997, 2007).



Şekil 1. Dalaman kıyısı, Dalaman Çayı ve drenaj alanının konum haritası.



Şekil 2. Çalışma alanındaki birimlerin uydu görünümü.

3. Yöntem

Bu çalışma sırasında Dalaman Çayı kıyı bölgesinin 1988-2019 yılları arasındaki her yıla ait Landsat verileri kullanılmıştır (Tablo 1). Görüntülerin zaman aralığı, akarsu üzerindeki baraj ve göletlerin inşasına ve aynı ayın tekrarının bulunmasına göre belirlenmiştir. Kıyı çizgisi verilerini elde etmek için Landsat 8 OLI, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 5 TM uydu görüntüleri kullanılmıştır (Tablo 1). Uydu görüntülerinin radyometrik düzeltmeleri Envi 5.3 programı kullanılarak yapılmıştır. Landsat 7 ETM+ uydu görüntülerinde tarama çizgisi hatası bulunmaktadır (Ihlen ve USGS, 2019). Envi 5.3'ün Gapfill modülü, 2005, 2008, 2009, 2012, 2013 ve 2017 yıllarına ait Landsat 7 ETM+ görüntülerindeki tarama hataları düzeltilerek analize dahil edilmiştir.

Korelasyonda kullanılan veriler aşağıdaki gibidir: 1988-2019 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Dalaman Meteoroloji İstasyonu'ndan alınmış ve daha sonra yıllık ortalamalara dönüştürülmüştür. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Akköprü Barajı ve Suçatı Göleti akım izleme istasyonları için 1988-2019 yılları arasındaki aylık akım değerlerini sağlamış ve daha sonra bunların yıllık ortalaması alınmıştır (Şekil 4).

Dalaman Çayı kıyısı, Digital Shoreline Analysis System (DSAS) modülü kullanılarak analiz edilmiştir. DSAS, doğrusal regresyon, ağırlıklı doğrusal regresyon ve uç

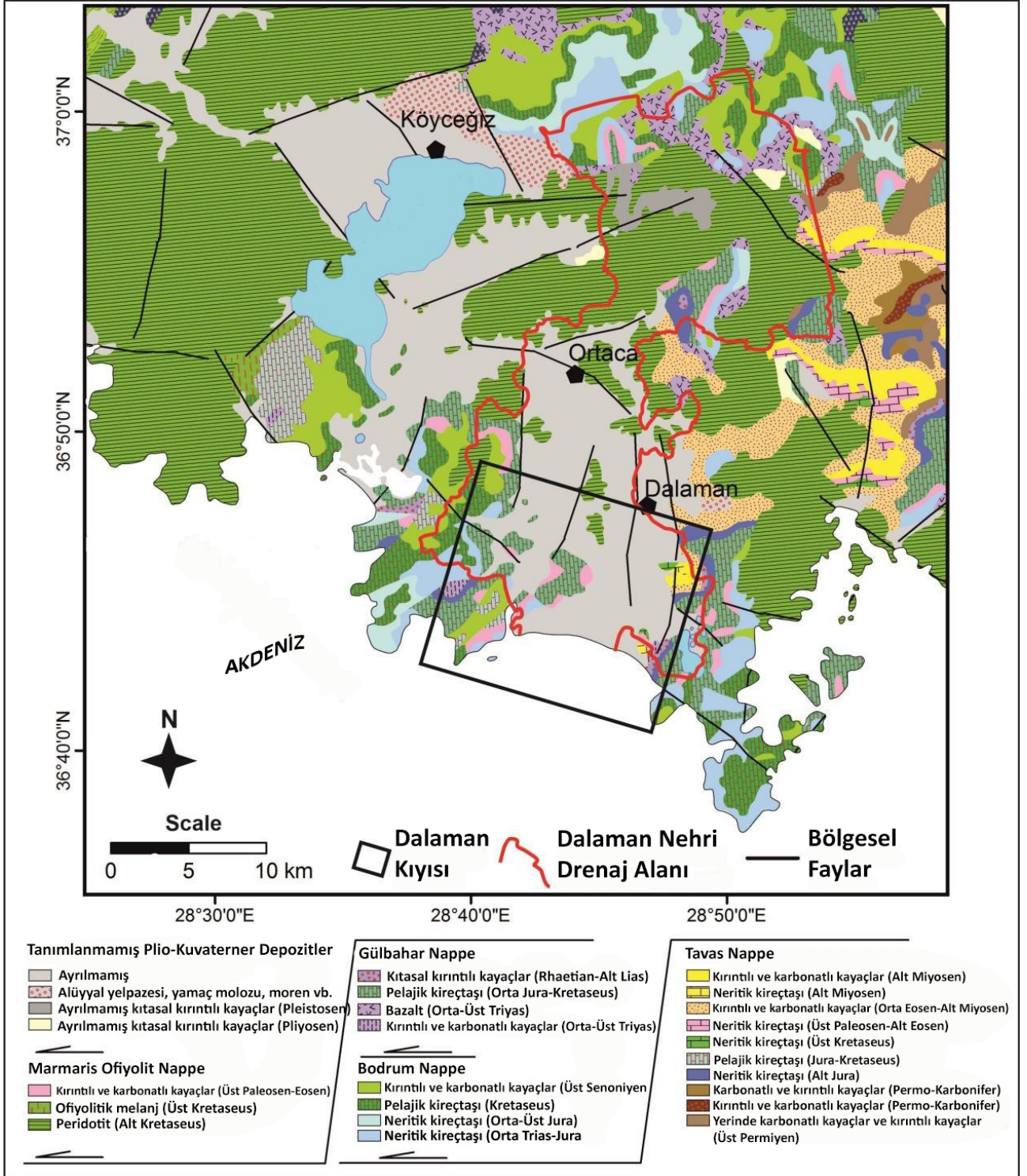
nokta oranı gibi istatistiksel teknikler aracılığıyla kıyı konumundaki değişimi değerlendirmekte ve kıyı çizgisi değişimini ortaya koymaktadır (Himmelstoss ve ark., 2018). DSAS modülünün Ağırlıklı Doğrusal Regresyonu (WLR), güvenilir verilere ekstra ağırlık ve önem verdiği için seçilmiştir (Genz vd., 2007; Himmelstoss ve ark., 2018).

ArcGIS çevrimiçi hizmetlerinde bulunan gelgit aralıklarına ilişkin veriler, AVISO'dan alınan 2014 verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre Dalaman Çayı'nın bulunduğu bölgede gelgit aralıkları 0,3 m olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamaya göre kıyının bulunduğu bölge Microtidal kategorisine girmektedir (Van Graafeiland, 2014). Çalışma alanımızda yıllık ortalama dalga yüksekliği ise 0,30-0,42 m'dir (Akar ve Akdoğan, 2018). Sonuç olarak, gelgit etkisi ve yıllık ortalama dalga yüksekliği çalışmamız üzerinde çok fazla etkiye sahip olamayacak kadar düşüktür. Bu açıdan çalışma alanının konumu ve kıyı özellikleri barajların etkisini ortaya koymak için oldukça uygundur.

Bu çalışmada, yağış, sıcaklık, akarsu akışı (akım) ve kıyı çizgisi değişiklikleri arasındaki bağlantıyı analiz etmek için Pearson Korelasyon Katsayısı Yöntemi kullanılmıştır. Pearson Korelasyon Katsayısı parametrik bir yöntemdir. Bu yöntem, belirli ön koşulların (sabit değişkenler, normal dağılımlı örneklem dağılımı ve aykırı değerlerin olmaması) karşılanması halinde sürekli değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve derecesini belirlemek için kullanılır. İki değişken arasındaki

korelasyon, korelasyon katsayısının belirlenmesi için önemlidir. Her değişken bağımsız olabileceği gibi biri bağımlı diğeri bağımsız da olabilir (Köklü ve ark., 2007). Değişkenin ölçeği, değişkenlerin sürekli ya da süreksiz

olması ve veri setinin doğrusal ya da doğrusal olmaması korelasyon katsayısını etkilemektedir (Bekiroğlu ve Sevinç, 2020).



Pearson korelasyonu doğrusal korelasyonu hesaplamak için kullanılır. Korelasyon katsayısının değeri -1 ile +1 arasında değişir. +1 değeri iki değişken arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğunu gösterirken, -1 değeri güçlü bir ters korelasyon olduğunu gösterir. Korelasyon katsayısı 0'a yaklaştıkça ilişkinin gücü zayıflar ve sıfır değeri iki değişken arasında

doğrusal bir ilişki olmadığını gösterir (Miles ve Barnyard, 2007).

Korelasyon katsayısını hesaplamak için Eşitlik 1 kullanılır (Swinscow, 1997):

$$r = \frac{\sum X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{(\sum X_i^2 - n \bar{X}^2)(\sum Y_i^2 - n \bar{Y}^2)}} \quad (1)$$

X : X Değişkenlerinin Ortalaması,
 Y : Y Değişkenlerinin Ortalaması,
 N : Gözlem Sayısı.

Pearson korelasyonunda 0.90/1.00 (-0.90/-1.00) değerleri pozitif veya negatif çok yüksek bir ilişkiyi gösterirken 0.70/0.90 (-0.70/-0.90) değerleri yüksek bir ilişkiyi göstermektedir. 0.50/0.70 (-0.50/-0.70) değerleri orta düzey, 0.30/0.50 (-0.30/-0.50) düşük, 0.00/0.30

(0.00/-0.30) değerleri ise veriler arasında çok düşük bir ilişki olduğunu göstermektedir (Tablo 2) (Mukaka, 2012).

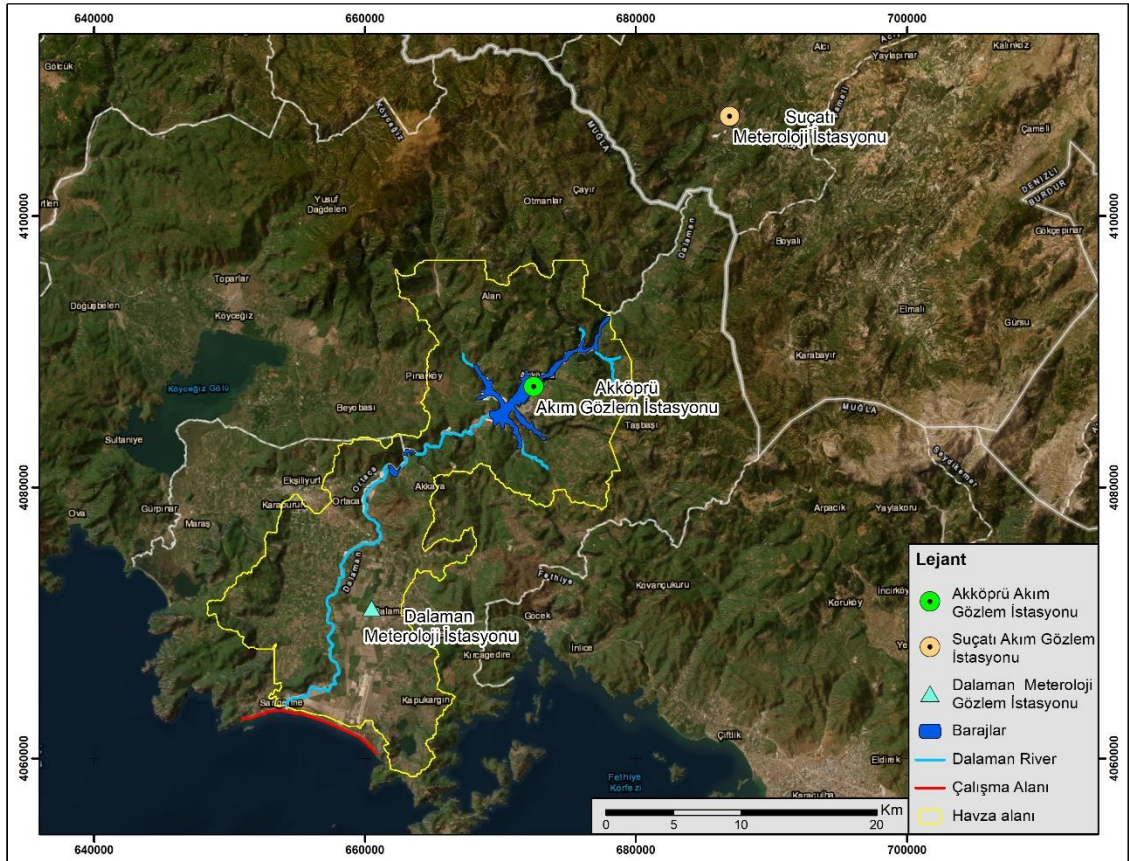
Bu çalışmada, 1989-2019 yılları arasında toplanan veri seti üzerinde Python programlama dili kullanılarak korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerde bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiler bir sıcaklık haritası yardımıyla yayınlanmıştır.

Tablo 1. Kıyı çizgisi değişimlerinde kullanılan uydu görüntüleri.

Uydu Sensörü	Tarih	Bant	Uydu Sensörü	Tarih	Bant
Landsat 5 (TM)	02/09/1988	Band 4 - Near Infrared	Landsat 5 (TM)	03/08/2004	Band 5 - Short-wave Infrared
Landsat 5 (TM)	03/15/1989	Band 4 - Near Infrared	Landsat 7 (ETM+)	03/19/2005	Band 8 - Panchromatic
Landsat 5 (TM)	03/18/1990	Band 4 - Near Infrared	Landsat 5 (TM)	02/26/2006	Band 5 - Short-wave Infrared
Landsat 5 (TM)	03/05/1991	Band 4 - Near Infrared	Landsat 5 (TM)	03/01/2007	Band 5 - Short-wave Infrared
Landsat 5 (TM)	03/23/1992	Band 4 - Near Infrared	Landsat 7 (ETM+)	03/27/2008	Band 8 - Panchromatic
Landsat 5 (TM)	03/10/1993	Band 5 - Short-wave Infrared	Landsat 7 (ETM+)	03/14/2009	Band 8 - Panchromatic
Landsat 5 (TM)	02/09/1994	Band 5 - Short-wave Infrared	Landsat 7 (ETM+)	03/17/2010	Band 8 - Panchromatic
Landsat 5 (TM)	02/28/1995	Band 4 - Near Infrared	Landsat 5 (TM)	03/12/2011	Band 4 - Near Infrared
Landsat 5 (TM)	03/18/1996	Band 4 - Near Infrared	Landsat 7 (ETM+)	03/22/2012	Band 8 - Panchromatic
Landsat 5 (TM)	03/05/1997	Band 5 - Short-wave Infrared	Landsat 7 (ETM+)	02/05/2013	Band 8 - Panchromatic
Landsat 5 (TM)	03/08/1998	Band 4 - Near Infrared	Landsat 8 (OLI)	03/20/2014	Band 8 - Panchromatic
Landsat 5 (TM)	03/11/1999	Band 5 - Short-wave Infrared	Landsat 8 (OLI)	03/07/2015	Band 8 - Panchromatic
Landsat 7 (ETM+)	03/21/2000	Band 8 - Panchromatic	Landsat 8 (OLI)	03/25/2016	Band 8 - Panchromatic
Landsat 7 (ETM+)	03/24/2001	Band 8 - Panchromatic	Landsat 7 (ETM+)	03/04/2017	Band 8 - Panchromatic
Landsat 7 (ETM+)	03/27/2002	Band 8 - Panchromatic	Landsat 8 (OLI)	03/31/2018	Band 8 - Panchromatic
Landsat 7 (ETM+)	03/30/2003	Band 8 - Panchromatic			

Tablo 2. Pearson korelasyonu (P değerleri).

Korelasyon Aralığı	Açıklama
0.90 - 1.00 (-0.90, -1.00)	Çok Yüksek, Pozitif (Negatif) Korelasyon
0.70 - 0.90 (-0.70, -0.90)	Yüksek, Pozitif (Negatif) Korelasyon
0.50 - 0.70 (-0.50, -0.70)	Orta, Pozitif (Negatif) Korelasyon
0.30 - 0.50 (-0.30, -0.50)	Düşük, Pozitif (Negatif) Korelasyon
0.00 - 0.30 (0.00, -0.30)	Çok Düşük, Pozitif (Negatif) Korelasyon



Şekil 4. Meteoroloji istasyonu (Dalaman Meteoroloji İstasyonu) ve akım izleme istasyonları (Akköprü Barajı ve Suçatı göleti akım izleme istasyonları) konumu.

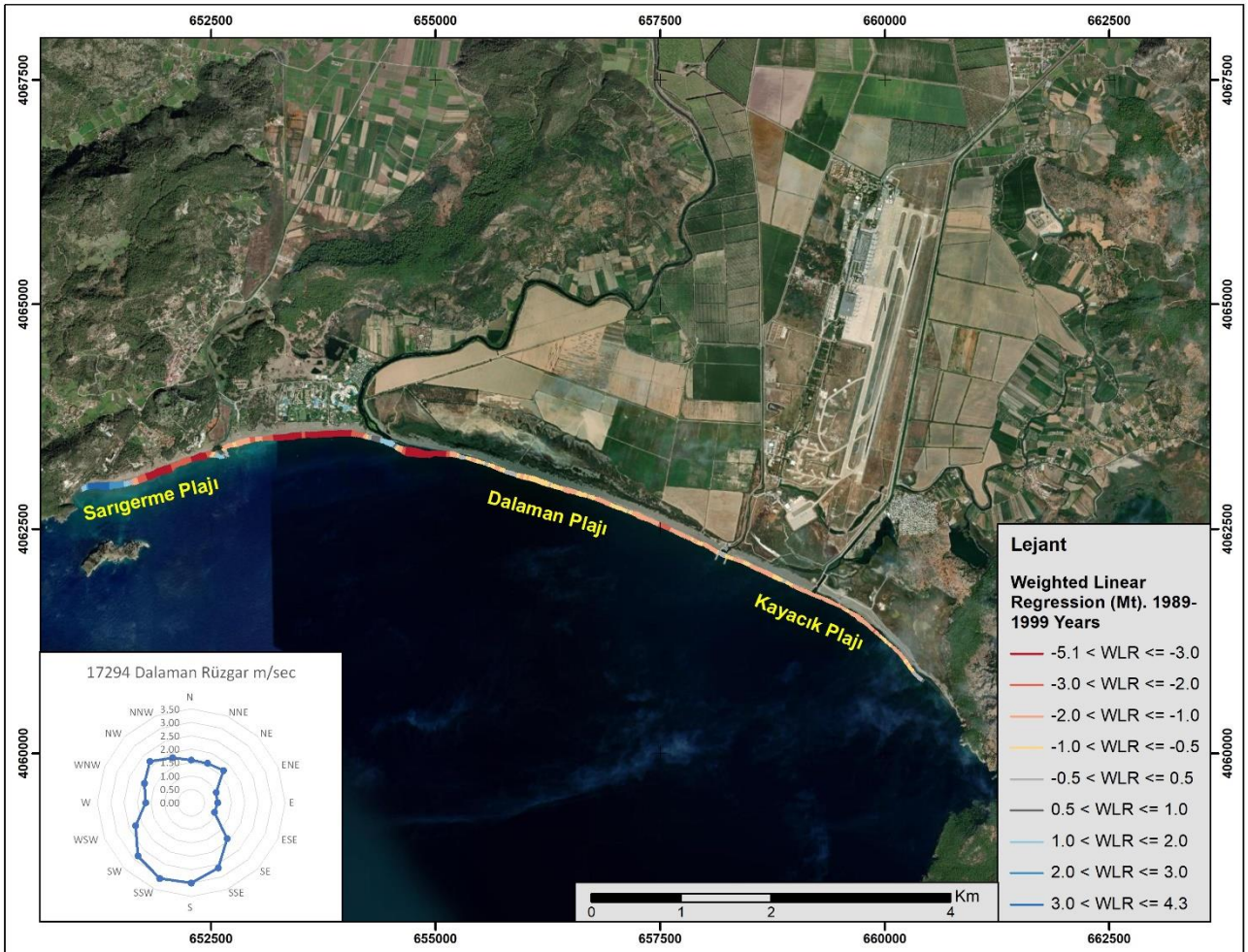
4. Bulgular

Dalaman kıyı çizgisi değişimi üç dönemde incelenmiştir. Dalaman Çayı üzerinde herhangi bir yapı yapının bulunmadığı ve sadece doğal süreçlerin işlediği ilk dönem 1989-1999 yılları arasındadır. İkinci dönem olan 2000-2010 yılları arası 1999 yılında taşkın kontrolü ve sulama amacıyla toplam 0,65 km² 'lik gölet inşasının etkisini görebilmek için seçilmiştir. 2011-2019 yılları arasındaki üçüncü dönemde ise 10,8 km² rezervuar alanına sahip Akköprü Barajının etkisini ortaya koyabilmek için seçilmiştir. Sıcaklık, yağış ve dere akış-akım verileri (Tablo 1) bu dönemlere göre ayrıştırılarak değerlendirilmiştir. DSAS modülünde kıyı çizgisi değişimlerini ortaya koymak için 10,38 km uzunluğundaki kıyı boyunca 20 m aralıkla toplam 521 transekt çizilmiştir. Bu transektlerdeki kıyı geometrisinden kaynaklanan çakışmalar giderilerek düzeltmeler yapılmıştır. 1988 kıyı çizgisi temel alındığında, 2019'daki net kıyı çizgisi değişikliği -12,35 m'dir (regresyon, kıyı erozyonu). 1988 kıyı çizgisi temel alındığında, otuz yıllık ortalama kıyı çizgisi değişimi ise (1989-2019) -6,02 m'dir (otuz yıllık ortalama).

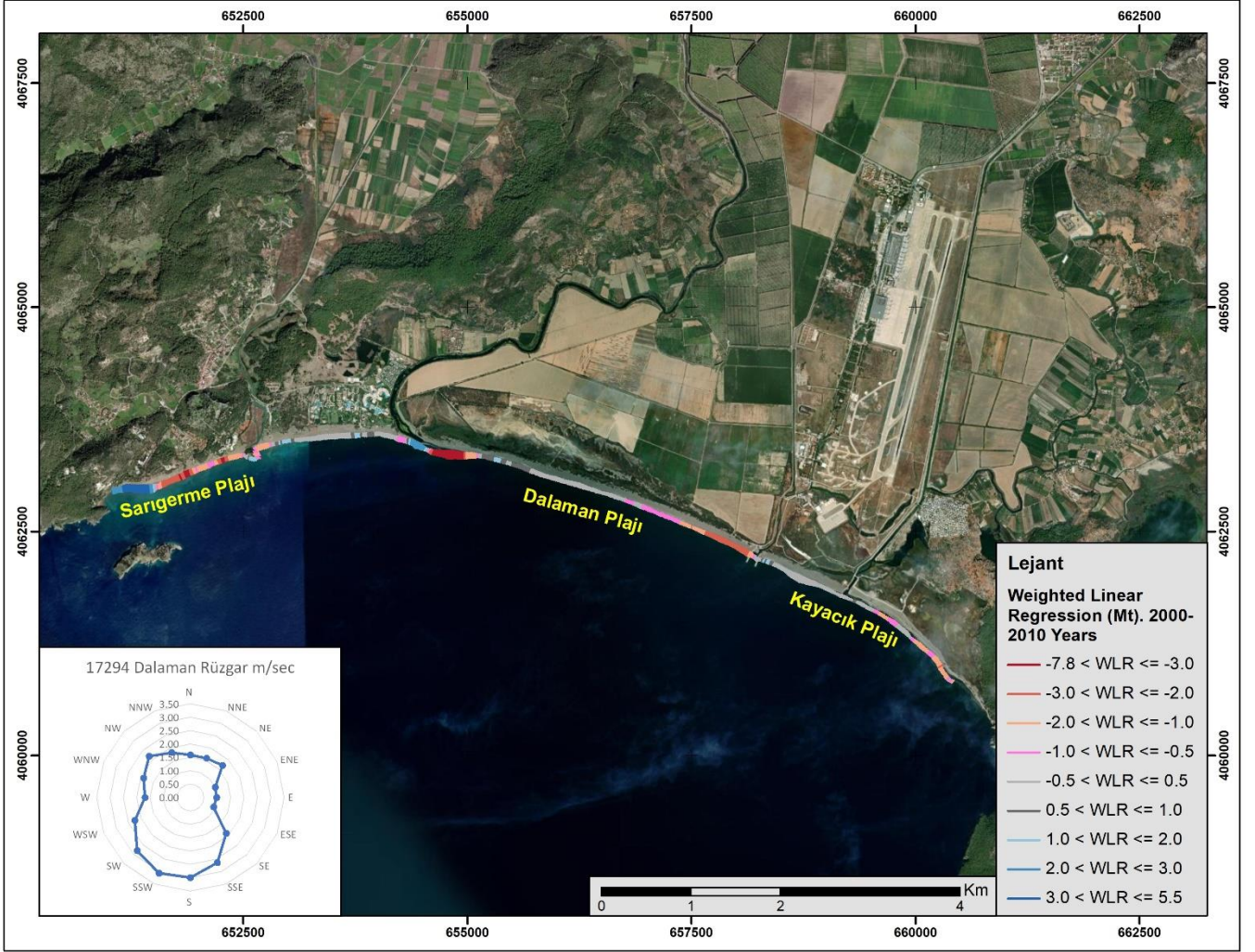
Dalga erozyonu kıyı erozyonunu etkileyen mekanizmalardan biridir. Rüzgâr, dalgaların yönünü ve büyüklüğünü etkileyen birincil bileşendir. Çalışma alanının konumu göz önünde bulundurulduğunda, bölge kuzeybatı-güneydoğu yönünde 1,95 m/s'lik bir hızla yoğun bir şekilde maruz kalmaktadır (Şekil 5).

Dalaman ve Kayacık plajları 1989 ve 1999 yılları arasında Sarıgerme Plajı'na göre daha az kıyı erozyonu meydana gelmiştir. Sarıgerme Plajı'nın en batı ucunda, Dalaman Çayı'nın ağzından gelen sediment girişi ve bir adacık (Baba Adası) tarafından engellenen dalga erozyonu nedeniyle kıyıda agradasyon meydana gelmiştir. Bu dönemde insan yapımı herhangi bir yapı bulunmadığından, doğal faktörler altında normal bir kıyı erozyonu gerçekleşmiştir. Yıllık kıyı çizgisi değişim verilerine göre, tüm Dalaman kıyısında 10 yıl boyunca gerçekleşen (1989 ve 1999 yılları arasında) ortalama kıyı erozyonu miktarı -1,5 m iken bu miktar Akköprü Barajı yapıldıktan sonra -8,5 m olarak gerçekleşmiştir. Dalaman kıyısında bu dönem içerisinde gerçekleşen en fazla kıyı erozyonu miktarı -65.62 m ile 1993'te, en fazla kıyı birikimi ise 64.26 m ile 1996'da gerçekleşmiştir (Tablo 2).

1989-1999 yılları arasında DSAS ile yapılan WLR analizine göre Sarıgerme Plajı'nın batı kıyısında gerçekleşen kıyı birikimi ortalama 3/4.3 m olarak gerçekleşirken plajın Dalaman Çayı'nın ağzına yakın olan kesiminde ise -3/-5.1 m'lik kıyı erozyonu gerçekleşmiştir. Dalaman Plajının batı kıyısında ise Sarıgerme Plajı'nda olduğu gibi -3/-5.1 m'lik kıyı erozyonu gerçekleşirken Dalaman Plajı'nın doğu kesiminde ve Kayacık Plajı'nda isedalaman -0.5/-2 m'lik kıyı erozyonu gerçekleşmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. DSAS ve WLR analizine göre 1989 ve 1999 yılları arasındaki kıyı çizgisi değişimini gösteren harita.



Şekil 6. DSAS ve WLR analizine dayalı olarak 2000 ve 2010 yılları arasındaki kıyı çizgisi değişimini gösteren harita.

2000-2010 yılları arasındaki DSAS WLR analizi, kıyı gelişiminin bu dönem içerisinde karmaşık hale geldiğini göstermektedir. Kıyının Sarıgerme Plajı ile karşılaştırıldığında, Dalaman Plajı ve Kayacık Plajı kıyıların kıyı değişimi bakımından daha istikrarlı ve daha az değişkenliğe sahip olduğu görülmektedir. Sarıgerme Plajı'nın batısında ortalama 3/5.5 m'lik kıyı birikimi söz konusu iken plajın doğu kesiminde -3/-7.8 m'ye kadar kıyı erozyonu tespit edilmiştir (Şekil 6).

2000-2010 yılları arasındaki ortalama tüm kıyı boyunca gerçekleşen ortalama erozyon miktarı -6,89 m'dir. Kıyı erozyonunun en fazla gerçekleştiği bölgede -64,99 m'lik (2006'da) kıyı erozyonu gerçekleşmiştir. En fazla gerçekleşen kıyı birikimi ise 79,96 m (2008'de) olmuştur. Dalaman Kıyısının tamamında gerçekleşen kıyı çizgisi değişimi 6,89 m olarak tespit edilmiştir (Tablo 2).

Akköprü Barajı'nın 2011 yılında faaliyete geçmesinden sonra, 2011-2019 yılları arasındaki 8 yıllık dönemde kıyı çizgisi değişiklikleri tamamen düzensiz hale gelmiştir. WLR analizine göre Sarıgerme Plajı'nın batı kenarında kıyı erozyonu -3/-7.6 m arasında değişirken, Dalaman Çayı'nın ağız kısmında da aynı miktarda kıyı erozyonu meydana gelmiştir. Sarıgerme Plajı'nın en batısında 3-5.5m'lik birikim süreçleri yerini -3/-7.6 m'lik kıyı erozyonuna bırakmıştır (Şekil 7). Dalaman Çayının ağız kısmı haricinde Dalaman ve

Kayacık plajlarının kıyı çizgisi değişimi -2/1 m arasında değişmektedir (Şekil 7). 1989-1999 ve 2000-2010 Dönemleri ile karşılaştırıldığında kıyı birikimi gerçekleşen Sarıgerme Plajı'nın kıyı erozyonuna dönüştüğü, Kayacık Plajı'nda gerçekleşen -1/-0.5 arasında değişen kıyı erozyonunun -3/-7.6 m arasında gerçekleşerek kıyı erozyonunun arttığı tespit edilmiştir (Şekil 7). Yıllık ortalama kıyı çizgisi değişimlerine göre, 2011 ile 2019 yılları arasındaki 8 yıllık dönemde tüm kıyıda gerçekleşen kıyı çizgisinin genel ortalaması -10.42 m iken, maksimum gerçekleşen erozyon -89.97 m ile 2016 yılında gerçekleşmiştir. Kıyıda gerçekleşen maksimum birikim ise 64.91 m ile 2011 yılında gerçekleşmiştir (Tablo 3).

Dalaman Kıyı çizgisinin 30 yıllık genel eğilimi kıyıda erozyon gerçekleştiği yönündedir. Kıyı çizgisinin her yıl ortalama -0.48 m çekildiği tespit edilmiştir (Şekil 8).

DSAS analizinin ardından, kıyı çizgisi değişimi ile doğal süreçler arasındaki ilişkiyi belirlemek için Pearson Korelasyon Analizi kullanılmıştır. Tablo 1'deki verilere dayanan Pearson Korelasyon Analizi sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur. Sadece doğal süreçlerin aktif olduğu 1989-1999 döneminde drenaj alanındaki kıyı çizgisi değişimi ile yağış arasında 0.71'lik, akarsu akımı arasında 0.46'lık doğrusal bir ilişki ve sıcaklık arasında -0.26'lık doğrusal olmayan ters bir ilişki vardır (Tablo 4).

Tablo 3. 1988 yılına göre gerçekleşen kıyı değişimleri ve pearson analizinde kullanılan veriler.

Yıllar	Dalaman Kıyısının Yıllık Ortalama Kıyı Çizgisi (m)	Minimum Kıyı Değerleri (m)	Maximum Kıyı Değerleri (m)	Sıcaklık (°C)	Ortalama Toplam Yağış (mm)	Akım Değerleri (m ³ /s)
1989	2.99	-26.53	30.61	18.17	57.37	19.64
1990	13.21	-45.39	46.34	18.27	52.68	20.25
1991	-1.06	-41.14	35.03	18.39	93.57	17.13
1992	3.64	-27.47	34.91	17.48	63.82	25.01
1993	-4.55	-65.62	44.86	18.41	78.43	29.87
1994	-4.26	-45.96	35.21	18.97	101.24	22.76
1995	-1.18	-47.64	47.48	18	66.47	59.74
1996	-9.01	-38.18	64.26	17.93	126.6	30.78
1997	-7.58	-36.31	46.82	17.91	120.62	44.07
1998	-1.81	-41.54	31.46	19.24	126.54	50.51
1999	-7.39	-36.71	28.55	19.68	81.34	70.22
2000	-3.76	-30.05	46.81	18.64	75.54	40.51
2001	-5.37	-48.36	23.52	18.89	124.3	44.76
2002	-2.54	-43.69	22.89	18.19	96.21	42.61
2003	-2.46	-42.81	27.88	18.58	104.29	58.33
2004	-12.43	-48.58	44.73	18.2	94.77	42.81
2005	-4.52	-44.72	45.33	17.74	77.96	23.96
2006	-15.79	-64.99	57.81	17.74	75.93	32.13
2007	-11.26	-56.69	57.47	18.95	100.37	39.38
2008	0.03	-40.55	79.96	19.1	82.49	19.17
2009	-11.63	-53.92	32.71	19.68	162.37	49.37
2010	-6.03	-58.66	43.96	20.26	83.83	46.21
2011	-3.99	-56.61	64.91	18.81	104.06	13.89
2012	-9.82	-43.25	45.24	17.51	64.17	12.79
2013	-2.17	-52.9	39.8	18.93	72.07	8.12
2014	-9.43	-55.18	42.94	18.9	111.61	7.93
2015	-12.35	-80.37	36.67	18.64	118.36	19.48
2016	-19.26	-89.97	25.21	18.98	63.3	7.31
2017	-13.06	-52.05	24.96	18.93	92.35	6.04
2018	-11.34	-67.01	28.26	19.81	72.64	4.79
2019	-12.35	-79.96	18.01	19.14	126.17	NA

Tablo 4. Kıyı çizgisi değişimi ile sıcaklık, yağış ve akarsu akımı arasındaki ilişkiyi gösteren Pearson Korelasyon analiz sonuçları.

1989-1999 Yılları Arasındaki Korelasyon	Yıllık ortalama kıyı değişimi (m)	Sıcaklık (°C)	Yağış miktarı (mm)	Akarsu akışı Deşarj (m ³ /s)
Yıllık ortalama kıyı değişimi (m)	1.00	-0.26	-0.71	-0.46
Sıcaklık (°C)	-0.26	1.00	0.22	0.46
Yağış miktarı (mm)	-0.71	0.22	1.00	0.20
Akarsu akışı Deşarj (m ³ /s)	-0.46	0.46	0.20	1.00
2000-2010 Yılları Arasındaki Korelasyon	Yıllık ortalama kıyı değişimi (m)	Sıcaklık (°C)	Yağış miktarı (mm)	Akarsu akışı Deşarj (m ³ /s)
Yıllık ortalama kıyı değişimi (m)	1.00	-0.12	-0.21	-0.11
Sıcaklık (°C)	-0.12	1.00	0.42	0.34
Yağış miktarı (mm)	-0.21	0.42	1.00	0.53
Akarsu akışı Deşarj (m ³ /s)	-0.11	0.34	0.53	1.00
2011-2019 Yılları Arasındaki Korelasyon	Yıllık ortalama kıyı değişimi (m)	Sıcaklık (°C)	Yağış miktarı (mm)	Akarsu akışı Deşarj (m ³ /s)
Yıllık ortalama kıyı değişimi (m)	1.00	-0.11	-0.07	-0.21
Sıcaklık (°C)	-0.11	1.00	0.16	-0.54
Yağış miktarı (mm)	-0.07	0.16	1.00	0.04
Akarsu akışı Deşarj (m ³ /s)	-0.21	0.54	0.04	1.00

2000 ve 2010 yılları arasında (gölet inşasından sonra) kıyı çizgisi ile incelenen faktörler arasındaki ilişki azalmaya başlamıştır. Kıyı çizgisi değişimi ile drenaj alanındaki yağış miktarı arasında 0.21'lik, akarsu akımı arasında 0.11'lik doğrusal bir ilişki ve sıcaklık arasında ise -0.12'lik doğrusal olmayan ters bir ilişki bulunmaktadır (Tablo 4).

2011 ve 2019 yılları arasında, Akköprü Barajı'nın işletmeye alınmasından sonra, kıyı çizgisi ile incelenen faktörler arasındaki ilişki dengesi bozulmuştur. Kıyı çizgisi değişimi ile drenaj alanındaki yağış arasında

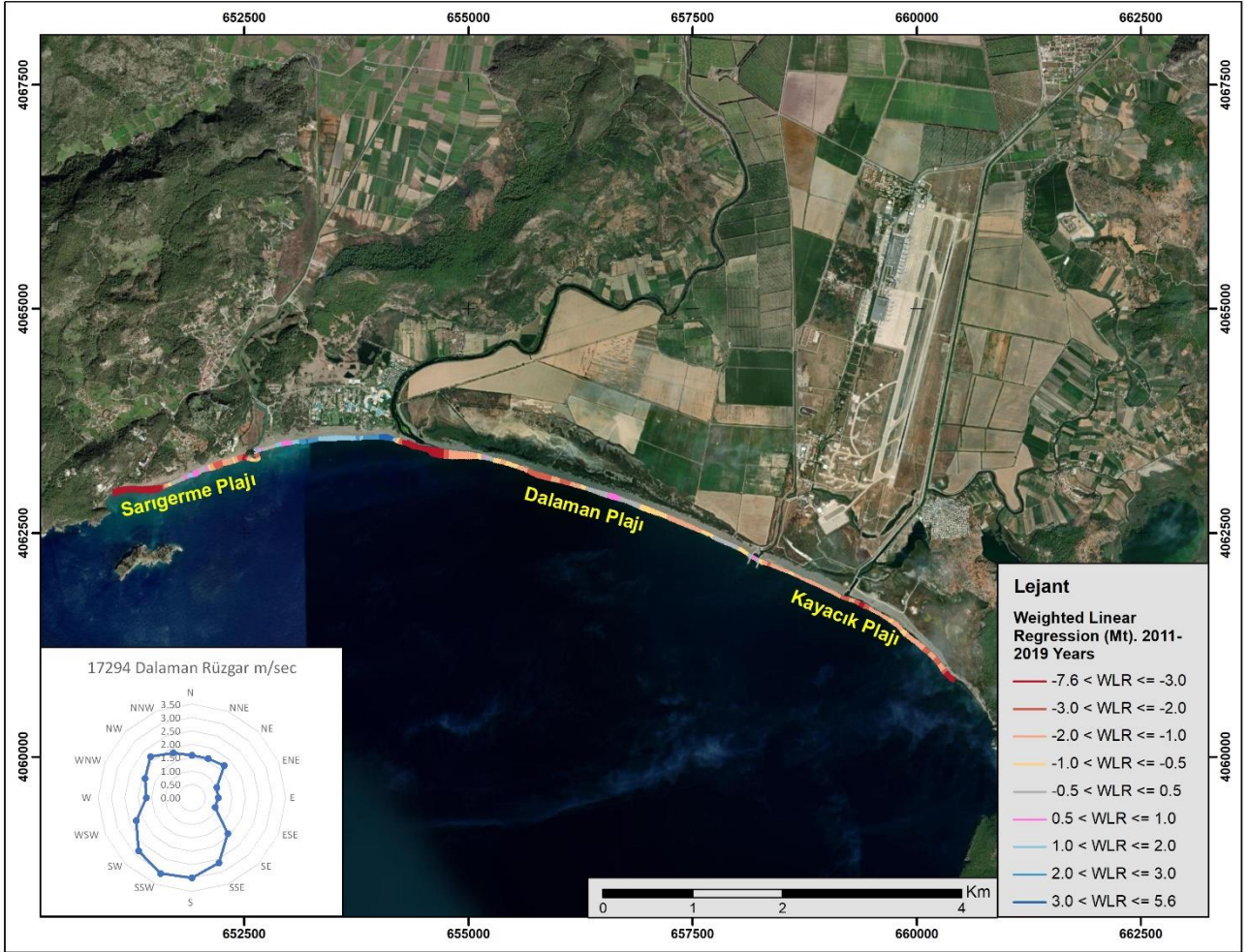
0.07'lik, akarsu akımı arasında 0.21'lik doğrusal bir ilişki bulunurken sıcaklık arasında -0.11'lik doğrusal olmayan ters bir ilişki tespit edilmiştir (Tablo 4).

5. Sonuçlar ve tartışma

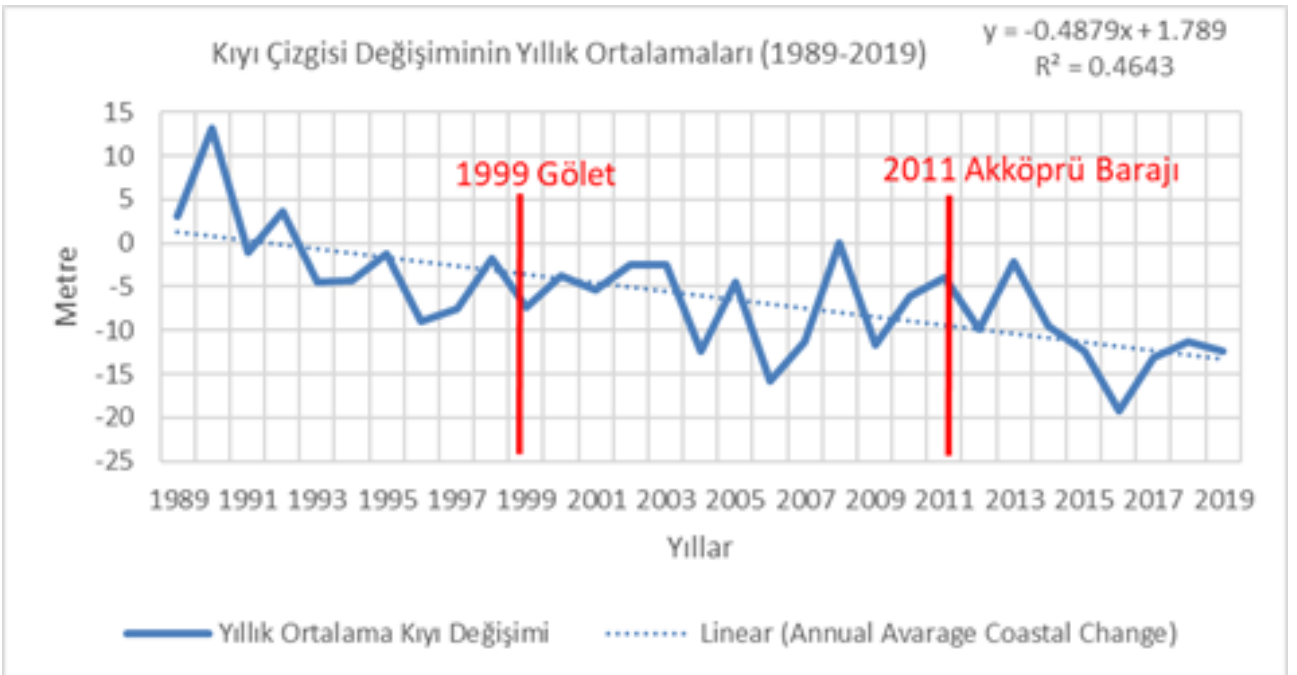
Alçak kıyı alanları (yüksekliği 10 metreden az) dünya kara parçasının %2'sini kaplamakta, dünya nüfusunun yaklaşık %10'unu (634 milyon kişi) ve dünya kentsel nüfusunun %13'ünü barındırmaktadır (Mcgranahan ve ark., 2007). Tarım sektöründeki zenginliği, ılıman iklim

koşulları ve limanlar aracılığıyla yapılan deniz ticareti nedeniyle kıyı bölgelerinin önemi giderek artmaktadır (Sesli, 2006). Bu nedenlerle, kıyı alanları üzerindeki

doğal süreçleri ve insan etkisini ampirik ve istatistiksel yöntemler kullanarak tanımlamak ve anlamak önemlidir.



Şekil 7. DSAS ve WLR analizine dayalı olarak 2011 ve 2019 yılları arasındaki kıyı çizgisi değişimini gösteren harita.



Şekil 8. Dalaman kıyı çizgisinin 30 yıllık değişimi.

Küçük bir drenaj havzasına sahip olan Dalaman Kıyıları, kıyı ve iklim faktörlerinin hızlı etkileşimini açıkça ortaya koymuştur. Kentleşme (tarım, turizm ve ulaşım-havaalanı) nedeniyle Dalaman Deltası ve kıyısı üzerindeki baskı her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle Dalaman Kıyılarındaki antropojenik ve doğal süreçlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. İnsan faaliyetlerinin neden olduğu sedimentin tutulması sonucu kıyı erozyonu, kıyıya zarar verebilecek nedenler arasında ilk sırada yer almaktadır. Dalga etkisi Dalaman Kıyılarındaki antropojenik ve doğal süreçlerin etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Akar ve Akdoğan'a (2018) göre Dalaman Kıyılarındaki ortalama dalga yüksekliği 0.30 ile 0.42 m arasındadır. Bu çalışmada Dalaman Kıyılarındaki erozyonu dalgaların büyüklüğünden ziyade dalganın yönünün etkilediği saptanmıştır. Dalga yönlerini belirlemek için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan Dalaman bölgesine ait rüzgar hızı ve yönünden rüzgar gülleri oluşturulmuştur (Şekil 5-6). Çalışma alanında kıyı çizgisi değişiminin en fazla olduğu alan Sarıgerme Plajı'dır. Bu değişimin olası nedenlerinden biri kuvvetli kuzeybatı-güneydoğu rüzgarlarının neden olduğu dalga erozyonudur (rüzgar gülleri Şekil 5, 6 ve 7'de sunulmuştur).

Sarıgerme Plajı'nın batı ucunda rüzgâr ve dalga kıran görevi gören küçük bir adanın bulunması nedeniyle kıyı erozyonu etkisini kaybetmiştir. Bunun yerine, sediment birikimi ve kıyı agradasyonu gelişmiştir. Dalaman Çayı ağzının konumu kıyı sedimentasyonunda bir diğer önemli faktördür. Çayın ağzı (Dalaman Plajı'nda), barajlar aracılığıyla sediment girişinin kontrol edilmesi ve bu alandaki insan faaliyetleri (dolgu, tarama vb.) ve buna bağlı olarak sedimentin yer değiştirmesi nedeniyle önemli ölçüde değişmiştir. Kayacık Plajı kıyı erozyonundan en az etkilenen kıyıdır. Bölgenin bu kıyı şeridinin konumu nedeniyle kuzeybatı-güneydoğu esen rüzgâr ve beraberindeki dalga hareketi çok etkili olmamıştır.

Sadece doğal süreçlerin işlediği 1989 ve 1999 yılları arasında, kıyı çizgisi ile en güçlü doğrusal ilişki 0.71 ile yağış arasında bulunmuştur. Yağışların artmasıyla Dalaman Çayının gücü artmakta ve daha fazla sediment taşınması mümkün olmaktadır. Sıcaklık ile korelasyonda yer alan diğer faktörler (yağış, akım ve kıyı çizgisi) arasında ters yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Sıcaklık arttığında drenaj alanına düşen yağış miktarının azaldığı ve buna bağlı olarak Dalaman Çayının akımının azaldığı -0.46 değeri ile tespit edilmiştir. Bu dönemde sıcaklığın olumsuz etkisi ile Dalaman Çayının akımı zayıflamış, yüzey suyunun yeraltı suyu sızması nedeniyle sediment taşıma kapasitesi azalmıştır. Bu durum bölgenin karstik yapısından kaynaklanmaktadır. Gölet ve baraj işletmeye alınmadan önce kıyı çizgisi değişimi, akım, sıcaklık ve yağış arasındaki ilişki açıkça görülmektedir.

2000 ve 2010 yılları arasında, değerlendirilen faktörler arasındaki korelasyonun gölet nedeniyle zayıfladığı görülmektedir. Bu dönemde yağış ve akım arasında 0.53'lük güçlü bir doğrusal ilişki bulunmuştur. Sıcaklık ve yağış arasındaki -0.42'lik ters ilişki, Dalaman Çayı üzerinde (sedimentlerin hapseden ve akım seviyelerini düşüren) bir gölet inşa edilmesi yoluyla zaman içinde insan etkisinin bir sonucudur.

2011-2019 döneminde Akköprü Barajının tamamlanmasından sonra kıyı çizgisi değişimi ile faktörler arasındaki korelasyon 1989-1990 dönemine göre yaklaşık %50 oranında azalmıştır. Bu durum, Akköprü Barajı ve göletin işletmeye alınması ile kıyı çizgisi ve faktörler arasındaki korelasyonun zayıfladığını göstermektedir.

1988 kıyı çizgisine göre, insan etkisinin en az olduğu 1989 ve 1999 yılları arasında tüm kıyıda ortalama -1,54 m geri çekilme tespit edilmiştir. Daha sonra Dalaman Çayı üzerine inşa edilen göletin etkisi ile (2000 ve 2010 dönemi) -6,89 m iken Akköprü Barajı'nın işletmeye alınması ile (2011-2019 döneminde) -10,42 m'lik bir çekilme yaşanmıştır. Doğal süreçlerin yaşandığı 1989-1999 döneminde tüm kıyı boyunca yaşanan ortalama geri çekilme -1,54 m, göletin işletmeye alınmasından sonraki 2000-2010 döneminde 1. döneme göre 2. dönemde gerçekleşen kıyı gerilemesi %347 artarak -6,89 m, Akköprü Barajı'nın işletmeye alınmasından sonraki 2011-2019 döneminde ise kıyı gerilemesi %51 artarak -10,42 m'lik geri çekilme tespit edilmiştir. Bu sonuç, akarsular üzerinde inşa edilen ilk Antropojenik su yapısının kıyı çizgisi değişimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Dalaman Çayı üzerine kurulan göletin kıyı çizgisine etkisinin Akköprü Barajı kadar olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum ilk kurulan su yapısının kıyı çizgisi üzerinde çok fazla etkili olduğunu göstermekle birlikte daha sonra kurulan su yapılarının kıyı çizgisindeki gerilemeye ilk kurulan su yapısı kadar etkili olmadığını göstermektedir. Barajlar ve göletler gibi insan yapımı yapıların kıyı çizgisi değişimleri üzerindeki etkisi hayati bir öneme sahiptir. Bu su yapıları, akarsuyun akım değerlerini düzenler ve sedimenti hapseder (Şekil 8). Öte yandan, bölgenin artan tarım, turizm ve enerji ihtiyaçları nedeniyle antropojenik yapıların (gölet ve baraj) kurulması gereklidir.

Pearson Korelasyon Analizine göre (Tablo 4), 1989 ve 1999 yılları arasında kıyı çizgisi değişiminin yağışla olan güçlü ilişkisi, gölet ve Akköprü Barajı'nın inşası sonucunda azalmıştır. Bu durum, antropojenik yapılardan (gölet ve baraj) önce yağışların doğrudan ve dolaylı olarak etkisinin kıyıya ulaştığını, gölet ve baraj rezervuarının etkisi ile su ve sediment tutularak bu etkinin azaldığını açıkça göstermektedir. Bu durum gölet ve Akköprü Barajı inşasından sonra Dalaman Çayının rezervuar alanından dengeli bir şekilde salınarak düzenli bir akışa ve tortu eksikliğine neden olmuştur.

Brückner (1997) Akdeniz ekosistemi üzerindeki en küçük insan etkisinin katastrofik olduğunu savunmuştur. Türkiye'nin güneybatısında, çatlaklı kayalar, vadileri ve kanalları takip eden çok sayıda irili ufaklı nehrin ve E-W yönelimli grabenlerin geçişine izin vermektedir. Bu akarsular denize büyük miktarlarda sediment taşımaktadır (Brückner, 1997). Bu bölgedeki kıyı alanlarının son 6000 yıldaki gelişimi sediment girdilerinden önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir (Riedel, 1995, 1996; Müllenhoff, 2005; Brückner ve ark., 2006, 2010, 2017). Günümüzde, Büyük Menderes ve Gediz Nehirleri gibi nehirler üzerinde inşa edilen barajlar, güneybatı Türkiye kıyılarına sediment taşınımı üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir. Benzer şekilde, drenaj alanının iklimsel faktörlerinin de dünyanın farklı bölgelerinde kıyıya ulaşan su ve sediment miktarını

etkilediği kabul edilmektedir (Boateng ve ark., 2012; Yang ve ark., 2015; Pranzini ve Williams, 2021). Ancak, geniş drenaja sahip büyük akarsular biraz daha farklı koşullar sunmaktadır. Geniş drenaj alanına sahip akarsuların üzerine inşa edilen antropojenik yapıların (gölet ve baraj) akarsuyun akımını düzenlemesi ve sedimenti tutması, geniş drenaj alanı içerisinde çok fazla çeşitli jeolojik birimlerin bulunması, kıyı çizgisi üzerinde hangi faktörlerin etkili olduğunun belirlenmesini zorlaştırmaktadır (Yuhi, 2008; Piqué ve ark., 2017). Akarsular üzerindeki barajların memba ve mansabında yapılan akım ve sediment ölçümleri kıyı çizgisini etkileyen faktörlerin belirlenmesinde önemli bir değişkendir (Sharaf El Din, 1977; Boateng ve ark., 2012; Piqué ve ark., 2017). Buna ek olarak, küresel ısınma sebep olduğu aşırı sıcaklıklar, daha az yağış, daha az sedimentasyon ve daha yüksek deniz seviyeleri nedeniyle kıyı erozyonunun pozitif yönde gelişmesi ile sonuçlanmıştır (Europe, 2023). Paice ve Chambers (2016) göre Avustralya kıyısındaki sıcaklığın 2,74 °C artacağı deniz seviyesinin ise 0,38 ila 0,90 m arasında yükseleceği ve maksimum yağış kaybının %30 olacağı öngörülmüştür. NOAA (2023) göre ise iklim değişikliğinin küresel ortalama deniz seviyesinde 1900'den 1990'a kadar 4/12.7 cm gerçekleşirken, gelgit ölçerlere göre 1990'dan 2015'e kadar geçen sürede ortalama deniz seviyesinin 7.62 cm'lik yükselme gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.

Dalaman Çayı'nın drenaj alanının ve kıyı şeridinin nispeten küçük olması, Dalaman'ın kıyı kesiminde gerçekleşen kıyı erozyonuna neden olan baraj ve göletlerin kıyı sedimentasyonu üzerindeki etkilerini araştırmak, doğal ve antropojenik etkileri karşılaştırarak kıyıyı etkileyen faktörleri tespit edebilmek için bir fırsat sunmaktadır.

Akarsular, tatlı su ve sediment girdisi yoluyla kıyı bölgelerindeki biyoçeşitliliği ve sedimentasyonu etkilemektedir (Yuhi, 2008; Gül vd., 2009; Pranzini ve Williams, 2021). Hem Türkiye'de hem de dünyanın diğer bölgelerinde, gelişigüzel inşa edilen kıyı yapılarının kıyı sedimentasyonu üzerindeki olumsuz etkileri belgelenmiştir (Danladi ve ark., 2017; Gül ve ark., 2020). Kıyı sediment bütçesi dengesiz olduğunda, kıyı erozyonunun artması sonucu tarım faaliyetleri, yerleşim alanları ve turizm sektörü için arazi kaybı gibi olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle, artan insan etkisinin Dalaman Kıyılarını her zamankinden daha savunmasız hale getirdiği açıktır. Kıyı değişiminin sürekli olarak izlenmesi, antropojenik kıyı yapılarının kontrol edilmesi ve kıyı akıntılarının yönünü değiştirecek düzenlemelerden kaçınılması gerekmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar benzer koşullara sahip tüm kıyı alanları için geçerlidir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin güneybatısındaki Dalaman Kıyısında kıyı erozyonunun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, doğal süreçlerin ve antropojenik yapıların bu kıyı üzerindeki etkileri istatistiksel olarak doğrulanmıştır. Dalaman Çayı üzerine inşa edilen Akköprü Barajı ve göleti ile kıyıya ulaşan sediment miktarının azaldığı kaydedilmiştir. Bu durum kıyıda sediment dengesinin olumsuz yönde bozulmasına yol açmaktadır. Gölet ve barajların inşasının neden olduğu sediment girdisi kaybı, mevcut kıyı erozyonunu şiddetlendirmektedir. 1989-

1999 döneminde yağış ve kıyı çizgisi değişimi arasında 0.71'lik önemli bir pozitif korelasyon ve -1.54 m'lik bir geri çekilme (sadece doğal koşulların etkisi altında) tespit edilmiştir. 2000-2010 döneminde ise yağış ile kıyı çizgisi arasında bu korelasyon 0.21'e, kıyı gerilemesi -6,89 m'ye gerilerken 2011-2019 döneminde yağış ile kıyı çizgisi arasındaki korelasyon 0.07'ye, kıyı gerilemesi ise -10,42 m'ye ulaşmıştır.

Bu bulgular, akarsu üzerindeki antropojenik yapıların (gölet-barajların), bölgenin ikliminden bağımsız olarak düzenli akım sağlamasından ve sediment tutmasından dolayı kıyı çizgisi ile yağış, akım ve sıcaklık gibi doğal süreçler arasındaki ilişkinin azaldığı tespit edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, akarsu üzerindeki antropojenik yapıların kıyı sedimentasyonu üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koymuştur.

Dalaman Deltası'ndaki turizm faaliyetleri ve yerleşim büyüdükçe gelecekte daha fazla kıyı yapılaşması ve artan ihtiyaca yönelik akarsu üzerinde daha fazla gölet veya baraja ihtiyaç duyulmasına neden olacaktır. Bu durum kıyı erozyonu miktarını artırabilir. Bunu önlemek için yeni modelleme çalışmaları yapılmalıdır. Kıyı değişimi düzenli olarak izlenmelidir. Barajlardan daha fazla sedimentin kıyıya ulaşmasını sağlamak için stratejiler geliştirilmelidir. Bu çalışmada kıyı çizgisi, sıcaklık, yağış ve akım değerleri kullanılmıştır. Gelecek çalışmalarda delta çökmesi, alanların tektonizması ve olası deniz seviyesi yükselmesinin etkisi daha etkin ve verimli sonuçlar için dikkate alınmalıdır.

Araştırmacıların katkı oranı

Ersin Ateş: Kıyı değişim Analizleri, sonuç ve Tartışma; **Murat Gül:** Literatür araştırması, Tartışma; **Güncel Sarıman:** Pearson Korelasyon analizi; **İliya Bauchi Danladi:** Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Adger, W. N., Hughes, T. P., Folke, C., Carpenter, S. R., & Rockstrom, J. (2005). Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science*, 309(5737), 1036-1039. <https://doi.org/10.1126/science.1112122>
- Akar, S., & Akdoğan, D. A. (2018). Environmental and economic impacts of wave energy: Some public policy recommendations for implementation in Turkey. In *Sustainable Development: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, 1187-1211. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-3817-2.ch053>
- Altınok, Y. (2005). Türkiye ve çevresinde tarihsel tsunamiler. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Tsunami Özel Sayısı, 50/2005-4,438
- Altınok, Y., & Ersoy, Ş. (2000). Tsunamis observed on and near the Turkish coast. *Natural Hazards: State-of-the-Art at the End of the Second Millennium*, 185-205. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2386-2_5

- Ayktut, N. O. (2019). İnsansız hava araçlarının kıyı çizgisinin belirlenmesinde kullanılabilirliğinin araştırılması. *Geomatik*, 4(2), 141-146. <https://doi.org/10.29128/geomatik.503055>
- Bekiroğlu, G. N., Sevinç, E. (2020). Adölesan Dönem Öğrencilerde Beslenme Durumu ile Psikolojik Durum Arasındaki İlişkinin Başarı Üzerine Etkisinin Kanonik Korelasyon Analizi ile İncelenmesi. 3. Uluslararası İstatistik Matematik ve Analitik Yöntemler Kongresi, 15-22. İstanbul, Türkiye
- Bird, E. C. (2008). *Coastal geomorphology: an introduction*. John Wiley & Sons.
- Boateng, I., Bray, M., & Hooke, J. (2012). Estimating the fluvial sediment input to the coastal sediment budget: A case study of Ghana. *Geomorphology*, 138(1), 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.08.028>
- Brückner, H. (1997). Coastal changes in western Turkey; rapid delta progradation in historical times. *Bulletin-Institut Oceanographique MONACO-Numero Special*, 63-74.
- Brückner, H., Herda, A., Kerschner, M., Müllenhoff, M., & Stock, F. (2017). Life cycle of estuarine islands—From the formation to the landlocking of former islands in the environs of Miletos and Ephesos in western Asia Minor (Turkey). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 12, 876-894. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.11.024>
- Brückner, H., Kelterbaum, D., Marunchak, O., Porotov, A., & Vött, A. (2010). The Holocene sea level story since 7500 BP—Lessons from the Eastern Mediterranean, the Black and the Azov Seas. *Quaternary International*, 225(2), 160-179. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.11.016>
- Bruckner, H., Mullenhoff, M., Gehrels, R., Herda, A., Knipping, M., & Vott, A. (2006). From archipelago to floodplain-geographical and ecological changes in Miletus and its environs during the past six millenia (Western Anatolia, Turkey). *Zeitschrift Fur Geomorphologie Supplementband*, 142, 63.
- Danladi, I. B., Gül, M., & Ateş, E. (2020). Response of the barrier island coastal region of southwestern Nigeria to climate and non-climate forcing. *African Journal of Marine Science*, 42(1), 43-51. <https://doi.org/10.2989/1814232X.2020.1727953>
- Danladi, I. B., Kore, B. M., & Gül, M. (2017). Vulnerability of the Nigerian coast: An insight into sea level rise owing to climate change and anthropogenic activities. *Journal of African Earth Sciences*, 134, 493-503. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.07.019>
- Das, B., & Dhorde, A. (2022). Assessment of shoreline change and its relation with Mangrove vegetation: A case study over North Konkan region of Raigad, Maharashtra, India. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(2), 101-111. <https://doi.org/10.26833/ijeg.912657>
- Davidson-Arnott, R., Bauer, B., & Houser, C. (2019). *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Cambridge University Press.
- Europe, (2023). https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_en
- Genz, A. S., Fletcher, C. H., Dunn, R. A., Frazer, L. N., & Rooney, J. J. (2007). The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, 23(1), 87-105. <https://doi.org/10.2112/05-0521.1>
- Gül, M., Danladi, I. B., & Kore, B. M. (2017). Coastal types of graben: the Gulf of Gökova, Mugla-SW Turkey. *Journal of Coastal Conservation*, 21, 127-138. <https://doi.org/10.1007/s11852-016-0481-5>
- Gül, M., Küçükuysal, C., Çetin, E., Ataytür, Ö., & Masud, A. (2020). Coastal Erosion Threat on the Kızkumu Spit Geotourism Site (SW Turkey): Natural and Anthropogenic Factors. *Geoheritage*, 12, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00477-0>
- Gül, M., Özbek, A., Karayakar, F., & Kurt, M. A. (2008). Biodegradation effects over different types of coastal rocks. *Environmental geology*, 55, 1601-1611. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-1110-2>
- Gül, M., Özbek, A., Kurt, M. A., & Zorlu, K. (2009). Controlling factors of recent clastic coastal sediments (Viransehir, Mersin Bay, S Turkey). *Environmental geology*, 57, 809-822. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1360-7>
- Gül, M., Yılmaz, Ö., & Zeybek, Ö. (2019). Morphology of coast and textural characteristics of coastal sediments (NE Gökova Graben, SW Turkey). *Journal of Coastal Conservation*, 23, 417-434. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0672-3>
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., Farris, A. S. (2018). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide*. Open-File Report, 2018, 1179. <https://doi.org/10.3133/ofr20181179>
- Ihlen, V., USGS. (2019). *Landsat 7 (L7) Data Users Handbook*. USGS Landsat User Services, 7 (November), p 151.
- IPCC. (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core writing team: Pachauri RK, Meyer LA (eds))*. Geneva, Switzerland
- Köklü, N., Büyüköztürk, Ş., & Çokluk-Bökeoğlu, Ö. (2007). *Sosyal bilimler için istatistik*. Pegem A Yayıncılık.
- Martínez, M. L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P., & Landgrave, R. (2007). The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological economics*, 63(2-3), 254-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.022>
- McGranahan, G., Balk, D., & Anderson, B. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and urbanization*, 19(1), 17-37. <https://doi.org/10.1177/0956247807076960>
- Mentaschi, L., Vousdoukas, M. I., Pekel, J. F., Voukouvelas, E., & Feyen, L. (2018). Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Scientific reports*, 8(1), 12876. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30904-w>
- Miles, J., & Banyard, P. (2007). *Understanding and using statistics in psychology: A practical introduction*.

- Mukaka, M. M. (2012). A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi medical journal*, 24(3), 69-71.
- Müllenhoff, M. (2005). *Geoarchäologische, sedimentologische und morphodynamische Untersuchungen im Mündungsgebiet des Büyük Menderes (Mäander), Westtürkei*.
- NOAA, (2023). <https://oceanservice.noaa.gov/facts/sealevelclimate.html>
- Paice, R., & Chambers, J. (2016). Climate change impacts on coastal ecosystems. *CoastAdapt Impact Sheet 8, National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast*
- Piqué, G., Batalla, R. J., López, R., & Sabater, S. (2017). The fluvial sediment budget of a dammed river (upper Muga, southern Pyrenees). *Geomorphology*, 293, 211-226. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.05.018>
- Pranzini, E., & Williams, A. T. (2021). The equilibrium concept, or...(Mis) concept in beaches. *Geosciences*, 11(2), 59. <https://doi.org/10.3390/geosciences11020059>
- Rajawat, A. S., Chauhan, H. B., Ratheesh, R., Rode, S., Bhandari, R. J., Mahapatra, M., ... & Ajai. (2015). Assessment of coastal erosion along the Indian coast on 1: 25,000 scale using satellite data of 1989–1991 and 2004–2006 time frames. *Current Science*, 347-353.
- Riedel, H. (1995). Die spätholozäne Entwicklung des Dalyan-Delats (SW-Türkei)–ein Beitrag zur Paläogeographie Kariens. *Kölner Geographische Arbeiten*, 66, 83-96.
- Riedel, H. (1996). Die holozäne Entwicklung des Dalyan-Deltas (Südwest-Türkei). *Marburger Geographische Schrifte*, 130, 1-21.
- Rosati, J. D. (2005). Concepts in sediment budgets. *Journal of Coastal Research*, 21(2), 307-322. <https://doi.org/10.2112/02-475A.1>
- Sarp, G. & Erener, A. (2017). Barajların Çevresel Etkilerinin Zamansal ve Mekansal Olarak Uzaktan Algılama ile Değerlendirilmesi: Atatürk Barajı Örneği. *Geomatik*, 2(1), 1-10. <https://doi.org/10.29128/geomatik.300012>
- Sesli, F. A. (2006). Sayısal fotogrametri ile kıyı alanlarındaki değişimin izlenmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (95), 11-17.
- Sharaf El Din, S. H. (1977). Effect of the Aswan High Dam on the Nile flood and on the estuarine and coastal circulation pattern along the Mediterranean Egyptian coast. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 194-207. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0194>
- Simav, Ö., Şeker, D. Z., Tanık, A., & Gazioğlu, C. (2015). Kıyı etkilenebilirlik göstergesi ile Türkiye kıyıları risk alanlarının tespiti. *Harita Dergisi*, 153(81), 1-8.
- Swinscow, T. D. V. (1997). *Statistics at square one*. Ninth Edition. Campbell M. J., (Ed.) University of Southampton; Copyright BMJ Publishing Group
- Şenel, M. (1997). 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, no:1, Fethiye – L7 Paftası. General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) 17 p.
- Şenel, M. (2007). Likya Naplarının Özellikleri ve Evrimi (Characteristic Features of the Lycian Nappes and Their Evolution). *Menderes Masifi Kolukeyumu (Colluqi um on Menderes Massif)*, 51-55.
- Şenel, M., Akdeniz, N., Öztürk, E. M., Özdemir, T., Kadinkiz, G., Metin, Y., Öcal, H., Serdaroğlu, M., Örcen, S. (1994). Fethiye (Muğla)-Kalkan (Antalya) ve kuzeyinin jeolojisi. General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Ankara, Rep. no: 976:121 p.
- Van Graafeiland, K. (2014). Global Tidal Range in Meters. ESRI. https://tiledimageservices.arcgis.com/bDAhvQYM/G4WL805o/arcgis/rest/services/Global_Tidal_Range_meters2/ImageServer.
- Walling, D. E. (2012). The role of dams in the global sediment budget. *Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment*, 3-11.
- Yalçın, A. C., Kuran, U., Minoura, K., Imamura, F., Takahashi, T., Papadopoulos, G., & Ersoy, Ş. (2005). Türkiye Kıyılarında Depreşim Dalgası (Tsunami) İzleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 438, 33-42
- Yang, S. L., Xu, K. H., Milliman, J. D., Yang, H. F., & Wu, C. S. (2015). Decline of Yangtze River water and sediment discharge: Impact from natural and anthropogenic changes. *Scientific reports*, 5(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/srep12581>
- Yılmaz, O. S., Gülgen, F., & Ateş, A. M. (2023). Determination of the appropriate zone on dam surface for floating photovoltaic system installation using RS and GIS technologies. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(1), 63-75. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1052556>
- Yuhi, M. (2008). Impact of anthropogenic modifications of a river basin on neighboring coasts: case study. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 134(6), 336-344. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2008\)134:6\(336\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(2008)134:6(336))





Geomatik

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Orman ekosistemindeki ağaç boylarının, optik, radar, lazer altimetre uydu verileri ve yardımcı kaynaklar kullanılarak Google Earth Engine platformunda modellenmesi

Eren Gürsoy Özdemir^{*1}, Tarık Utku Zengin¹, Halit Abdullah Güleç¹

¹ Bartın Üniversitesi, Ulus Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Tapu ve Kadastro Programı, Bartın, Türkiye, eozdemir@bartin.edu.tr, tarikzengin7474@gmail.com, gulecabdullah999@gmail.com

Kaynak Göster: Özdemir, E. G., Zengin, T. U., & Güleç, H. A. (2024). Orman ekosistemindeki ağaç boylarının, optik, radar, lazer altimetre uydu verileri ve yardımcı kaynaklar kullanılarak Google Earth Engine platformunda modellenmesi. *Geomatik*, 9 (2), 259-268

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1449670>

Anahtar Kelimeler

Uzaktan algılama
Makine öğrenmesi
GEDI
Uydu altimetrisi
Google Earth Engine

Araştırma Makalesi

Geliş: 09.03.2024
Revize: 30.03.2024
Kabul: 16.04.2024
Yayınlanma: 15.08.2024



Öz

Ormanlar, karada biyolojik çeşitliliği korurken, bitki örtüsünde ve toprakta önemli miktarda karbon depolayarak atmosferdeki karbon dengesini düzenlemekte ve buna bağlı olarak küresel ısınmanın hafifletilmesine katkı sağlamaktadır. Ormanlardaki ağaç boylarının belirlenmesi, orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, sağlığı ve olası tehditlerin tespitleri için önem arz etmektedir. Bu çalışmada, bulut tabanlı Google Earth Engine (GEE) platformunda, Sentinel-1 radar, Sentinel-2 optik uydu verileri, Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) lazer uydu altimetrisi ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verileri kullanılarak ağaç boyları Rastgele Orman (RO) algoritması ile modellenmiştir. Elde edilen ağaç yükseklikleri Bartın İli sınırlarında karaçam (*Pinus nigra Arnold*) ve sahil çamı (*Pinus pinaster Aiton*) türlerinin bulunduğu 45 adet örnekleme alanından elde edilen ağaç boyları ile karşılaştırılmıştır. Optik, radar, altimetre ve yardımcı veriler ile elde edilen model sonuçlarının istatistik analizleri yapılmış, başarılı sonuçlar elde edilmiştir: (Ortalama Mutlak Hata (OMH)= 1,42 m, Karesel Ortalama Hata (KOH)= 1,54 m ve Belirtme Katsayısı (R^2) = 0,60. Ayrıca eğimin fazla olduğu örnekleme alanlarında doğruluk değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Modeling of tree heights in forest ecosystems using optical, radar, laser altimeter satellite data, and auxiliary on Google Earth Engine Platform

Keywords

Remote sensing
Machine learning
GEDI
Satellite altimetry
Google Earth Engine

Research Article

Received: 09.03.2024
Revised: 30.03.2024
Accepted: 16.04.2024
Published: 15.08.2024

Abstract

Forests play a crucial role in maintaining terrestrial biological diversity and regulating the carbon balance in the atmosphere by storing significant amounts of carbon in vegetation and soil, mitigating global warming. Determining accurate measurements of tree heights in forests is essential for the sustainable management, health, and detection of potential threats to forest resources. In this study, tree heights were modeled using the Random Forest (RF) on the cloud-based Google Earth Engine (GEE) platform, integrating Sentinel-1 radar, Sentinel-2 optical satellite data, Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) laser satellite altimetry, and Digital Elevation Model (DEM) data. The obtained tree heights were compared with the measurements from 45 sample plots of black pine (*Pinus nigra Arnold*) and maritime pine (*Pinus pinaster Aiton*) species within the boundaries of Bartın Province. Statistical analyses were conducted on the model results obtained from optical, radar, altimeter, and auxiliary data, yielding successful outcomes: (Mean Absolute Error (MAE) = 1,42 m, Root Mean Square Error (RMSE) = 1,54 m, and Coefficient of Determination (R^2) = 0,60). Additionally, it was observed that accuracy values decreased in sampling areas with high slopes.

1. Giriş

Karbon tutucu özelliği ve doğadaki karbon döngüsünü koruması bakımından Dünya'nın karasal yüzeyinin neredeyse %30'unu kaplayan ormanlar, iklim değişikliği ile mücadelede öncelikli bir rol oynar (Kindermann ve ark., 2008). Bölgesel ve küresel ölçekte ormanlık alanların envanterlerinin çıkarılması, karbon kestirimlerinin yapılması, karbon salınımlarının azaltılması bakımından değerlidir. Bu envanterlerin belirlenmesi ve hesaplamaların doğru şekilde yapılması da iklim değişikliği ile mücadelede etkilidir.

Ormanlık personeli, ormanların sağlık ve hasar durumunu izlemek, ağaçlandırma süreçlerini optimize etmek ve orman meşcerelerindeki ağaç boyları ve kütleyi tahmin etmek için doğru ve ayrıntılı yükseklik verilerine ihtiyaç duyar (Vatandaşlar ve ark., 2023). Bu parametreler, ekosistemin iklim ve arazi kullanımını değişikliklerine ve biyolojik çeşitliliğe nasıl tepki verdiğini, ormanların tahribatı ve ormansızlaşmanın değerlendirilmesini izlemek için de kullanılır. Araştırmacılar ormanda bu bilgileri toplamak için geleneksel olarak yersel saha ölçmelerini kullanırlar. Ancak bu yöntem ile ormanlardaki ağaçların boy verilerinin toplanması zaman alıcı, maliyetli ve genellikle mekânsal olarak kısıtlıdır (Morin ve ark., 2022).

Uydu teknolojilerinin gelişmesiyle beraber orman alanlarında geleneksel yöntemlere (yersel ölçmeler) ek olarak uzaktan algılama teknikleri de kullanılmaya başlanmıştır. Optik uydu verilerinin genellikle ağacın tepe tacında ve yaprak bileşenlerinde etkili olduğu görülmüştür. Odunsu kütlenin tahmini için bu yöntem uygun değildir (Wang ve ark., 2019). Aktif sistemler ormanların hacim ve boy ölçmelerinde önemli bir araç olarak kabul edilmektedir (Zadbagher ve ark., 2023). Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) uydu görüntüleri, tüm hava koşullarında kullanılabilir ve gece-gündüz fark etmeksizin görüntü sağlayabilir. Ayrıca, ormanlık bölgelerde, dalga boyları sayesinde ağaçların tepelerinden gövdelerine kadar nüfuz edebilir (Santoro ve ark., 2019). Doğal orman statüsünde bulunan orman varlıklarının çoğunluğu, farklı topografik koşullarda yer alır ve SAR görüntülerinin işlenmesi ve değerlendirilmesi sürecinde çeşitli teknikler ve ek veriler gerektirir (Flores-Anderson ve ark., 2019; Guerra-Hernandez ve Pascual, 2021).

Bu yöntemlerin yanı sıra orman alanlarında da kullanılan ve ışık tespiti ve uzaklık tayini anlamına gelen Light Detection and Ranging (LIDAR) sistemleri, karasal, havadan (drone, uçak vb.) ve uydu LIDAR sistemleri olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Karasal lazer tarama sistemleri (el tipi, tripod kurulu vb.) büyük orman alanlarında kısıtlayıcı olmakta ve zaman/maliyet konusunda havadan ve uydu sistemlerine göre geride kalmaktadır (Xi ve ark., 2022). Ormanlıkta da önemli bir araç olan, havadan tarama yapan LIDAR sistemlerinde, Küresel Konumlama Sistemi (GPS), hava aracında anlık koordinat değerlerini elde ederken, Eylemsizlik Ölçüm Birimi (Inertial Measurement Unit-IMU) sistemi de dikey eksene göre konum bilgilerini sağlar (Özdemir ve ark., 2021). Bu veriler, lazer taramasıyla elde edilen bilgilerle bütünleştirilir. Meşcere yüksekliklerinin elde edilmesi çalışmalarında da

kullanılan bu sistemler, çok yüksek çözünürlüklü, hassas konum doğruluklu nokta bulutları sunarken, orman örtüsüne nüfuz ederek de topoğrafya ve orman örtüsünün modellenmesini sağlamaktadır (Sefercik ve ark., 2021).

Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI), 2018 yılında Uluslararası Uzay İstasyonunda konumlandırılan, Dünya'nın üç boyutlu (3B) yapısını gözlemleyen yüksek çözünürlüklü lazer konumlama yapan bir uydu altimetri sistemidir. Dünya ormanlarının ve topografyasının üç boyutlu (3B) yapısını ve dinamiklerini incelemek için tasarlanmıştır. Bu sistem yeryüzüne saniyede 242 kez atış yapabilen üç farklı lazer sistemine sahiptir. 1064 nm (kıızılötesi) dalga boyuna ve 25 m ışın çapına (ayak izi) sahip sistem, orman örtüsü yüksekliğini ölçmek için tasarlanmıştır. Bir diğer sistem 532 nm (yeşil) dalga boyuna sahip olup atmosferik aerosol ve bulut özelliklerini ölçmek için kullanılmaktadır (URL-1). 2019 yılı itibarıyla veri toplamaya başlayan GEDI ölçmeleri ile optik ve radar uydu verileri entegrasyonu sayesinde ormanların 3B yapıları hakkında bilgiler edinmek biyokütle değişikliklerini ve karbon döngüsünü daha iyi anlamak amacıyla tasarlanmış bir ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration-NASA) projesidir (Rishmawi ve ark., 2021). GEDI verileri, ormanlık uygulamalarını geliştirmek, ormansızlaşmayı izlemek, biyoçeşitliliği incelemek ve iklim değişikliği ile mücadelede stratejiler oluşturmak gibi bir dizi bilimsel ve çevresel uygulamada kullanılabilen ormanların mekânsal ve zamansal değerlendirmesinde önemli bir bileşendir (Coops ve ark., 2018).

Google Earth Engine (GEE), herhangi bir yazılıma ve güçlü bir bilgisayar donanımına bağlı olmaksızın, ön işleme ve analizlerin bulut platformu üzerinden gerçekleştirilebildiği, ücretsiz olarak kullanılabilen bulut tabanlı bir platformdur (Gorelick ve ark., 2017; Aghmand ve ark., 2021). Veri edinim ve işlemeyi saniyeler içerisinde gerçekleştiren GEE, çoklu uydu görüntülerini analiz etmek, sınıflandırmak, ağaç, orman ve su alanlarını, arazi kullanımı/arazi örtüsü değişikliklerini belirlemek, tarım alanlarının gelişimini takip etmek gibi birçok amaç doğrultusunda kullanılmaktadır. GEE, son 40 yılı içeren çok sayıda veri sunmaktadır (Wang ve ark., 2019). Bu platform, kayıtlı kullanıcılara GEE Explorer ve Kod Düzenleyici olmak üzere iki web tabanlı platform sunmaktadır. GEE Explorer, kullanıcılara sınırlı uydu görüntüsü görüntüleme imkânı sunar, diğer yandan GEE Kod Düzenleyici ile kullanıcılar programlama (JavaScript veya Python) kodları kullanarak analiz ve özelleştirme yapabilirler. Kod Düzenleyici ortamı, matematiksel ve mekânsal işlemlerle donatılmıştır ve kullanıcılar bu işlemleri görüntüler üzerinde ayrı ayrı veya birleştirilmiş olarak kullanabilir ve araştırma amaçlarına göre özelleştirebilirler.

Günümüzde karbon salınımı ve iklim değişiminin etkileriyle mücadele ederken, ormanların korunması ve genişletilmesi önemli bir öncelik haline gelmiştir. GEDI verilerinin optik, radar uydu verileri ile ayrı veya birlikte kullanılarak oluşturulan modellerle orman yapısını belirleme, Toprak Üstü Biyokütle (TÜB) kestirimi, arazi sınıflandırma, ağaç boyu tahmini çalışmaları mevcuttur

(Saarela ve ark., 2018; Dubayah ve ark., 2020; Guerra-Hernández ve Pascual, 2021; Potapov ve ark., 2021; Spracklen ve Spracklen, 2021; Duncanson ve ark., 2022; Vatandaşlar ve ark., 2023; Zhou ve ark., 2023; Padalia ve ark., 2023; Narin ve Yılmaz, 2024; Özdemir ve ark., 2024).

Makine öğrenmesi algoritmaları, hassas sınıflandırma ve regresyon yetenekleri, daha az parametre ayarı gerektirmesi ve çoklu kaynak verileriyle yüksek entegrasyon yeteneği gibi özellikleri sayesinde geniş uygulama alanları bulmaktadır (Bao ve ark., 2023). Rastgele Orman (RO), bir karar ağacı algoritmasıdır ve veri madenciliğinde farklı uygulamalarda sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir (Çömert ve ark., 2019; Apaydın ve Abdikan, 2021; Üstüner ve Sanli, 2021; Özdemir ve ark., 2024). Karar ağaçları, veri kümesini çok sayıda küçük gruba bölen karar verme adımlarını uygulayarak çalışır ve benzer özelliklere sahip verileri gruplandırır. Breiman (2001) tarafından geliştirilmiş algoritma, birden fazla çok değişkenli ağacın eğitildiği farklı eğitim kümelerinden gelen kararları birleştirme amacını taşır. Her bir veri seti orijinal veri setinden yer değiştirmeli olarak üretilir ve daha sonra rastgele özellik seçimi kullanılarak ağaçlar geliştirilir. RO algoritması için kullanıcı tarafından belirlenen iki parametre bulunmaktadır. Bu parametreler, her düğümde kullanılacak değişken sayısı (mtry) ve oluşturulacak ağaçların toplam sayısı (n) olarak tanımlanır. Algoritma başlangıçta eğitim veri setinden üçte ikisini önyükleme örnekleri hazırlamak için kullanır. Üçte bir kısmı ise hataları tespit etmek için kullanır (Out of Bag-OOB). Sonrasında, ayrı ayrı önyükleme setlerinden karar ağaçları geliştirilir. Düğümlerin her birinde, m değişkeni tüm değişkenler içinden rastgele seçilir ve sonuç olarak değişkenlerdeki en iyi dallanma belirlenir.

GEE’de kullanılan RO algoritmasının ilk aşamasında model oluşturulmaktadır. “ee.Classifier” modülünden

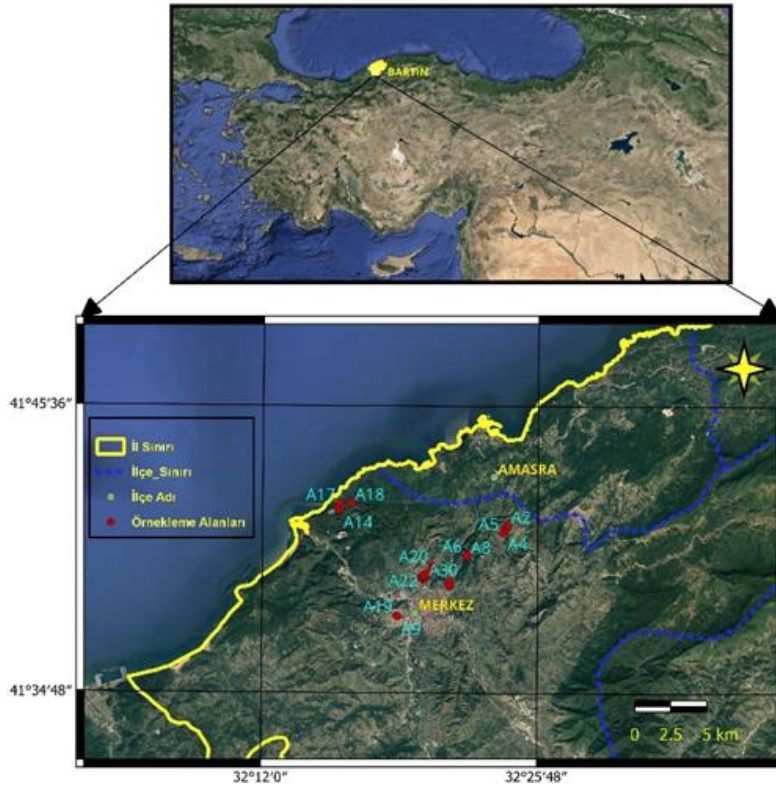
“RandomForestRegressor” regresyon algoritması çağrılır. “smileRandomForestRegressor(100)” metodu, Python Scikit-learn ile uyumlu olan Smile kütüphanesinden rastgele orman regresyon algoritmasını döndürür. Opsiyonel olan 100 argümanı, rastgele orman algoritmasında kullanılacak ağaç sayısını belirtmektedir. İkinci aşama ise modelin eğitilmesi aşamasıdır. Eğitim verileri, özellikler (features) ve hedef değişkeni (label) olarak ayrılmaktadır. Özellikler, tahmin yapmak için kullanılacak girdi verilerini (bant değerleri, yükseklik, altimetri değerleri) içerirken, hedef değişken tahmin edilmek istenen ağaç boyunu ifade etmektedir.

Bu çalışmada, GEE platformundan ücretsiz olarak elde edilen, Sentinel-1 radar, Sentinel-2 optik uydu, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve GEDI verileri kullanılarak örnekleme alanlarındaki ağaç boyları RO algoritması ile modellenmiş, örnekleme alanlarındaki karaçam (*Pinus nigra Arnold*) ve sahil çamı (*Pinus pinaster Aiton*) ağaçlarının yersel yöntemlerle elde edilen ağaç boyları ile karşılaştırılmıştır.

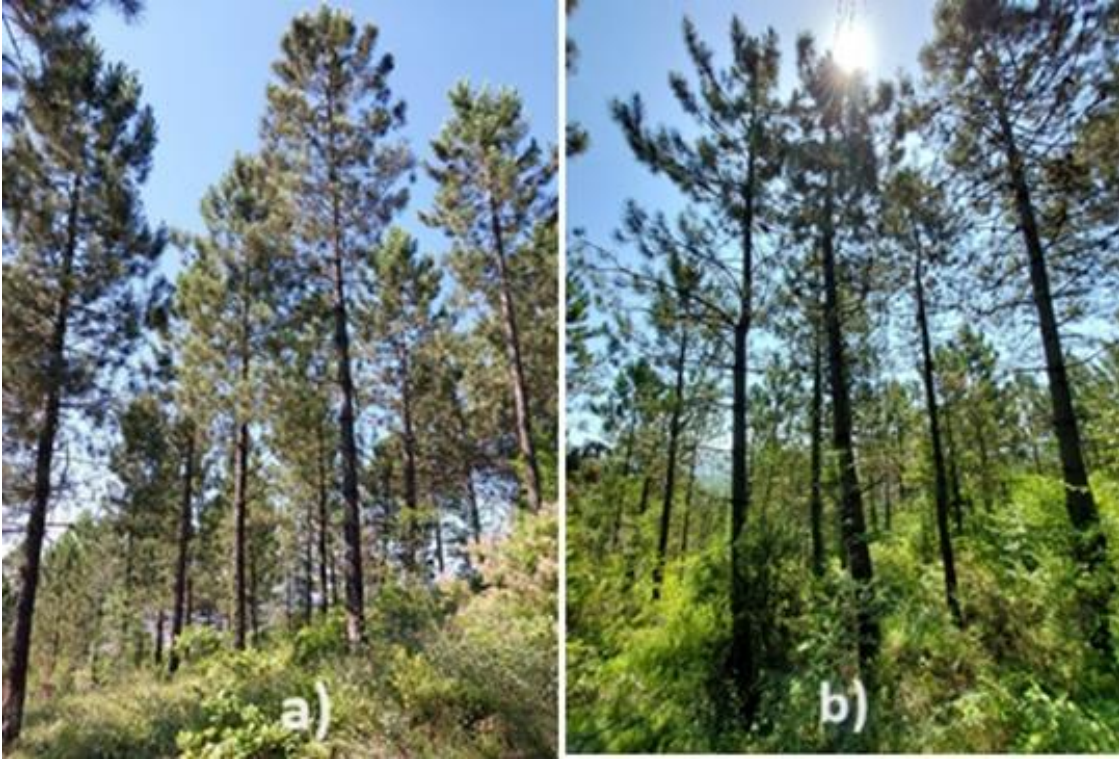
2. Yöntem

2.1. Çalışma alanının tanıtımı

Çalışma alanı olarak, Batı Karadeniz Bölgesinin, Bartın ili merkezinde, 41° 34' 48"- 41° 45' 36" Kuzey enlemleri ve 32° 12' 0"- 32° 25' 48" Doğu boylamları arasında yer alan karaçam ve sahil çamı ağaçlandırmaları seçilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanının yükseltisi 30-250 m aralığında, genel bakışı ise kuzey, güney, güneydoğu ve batıdır. Bartın meteoroloji istasyonunun (30 m yükseklikte) 1961-2021 yılları arasındaki 50 yıllık verilerine göre, yıllık ortalama yağış miktarı 1049 mm, yıllık ortalama sıcaklık ise 12,8 °C olup, yıllık ortalama en yüksek sıcaklık ise 18,7 °C'dir (URL-2).



Şekil 1. Çalışma alanının konumu.



Şekil 2. Örnek alanlarından görüntüler.

Çalışma, Bartın ili merkez ilçe sınırlarında, 12 adet karaçam ve 33 adet sahil çamı türüne ait alanlar dahil olmak üzere toplamda 45 örnek alanında, 2023 yılı Ağustos ve Eylül aylarında gerçekleştirilmiştir. Örnek alanların yapıldığı alanlar Şekil 2a ($d_{1,3}=8,0-19,9$ cm) ve Şekil 2b ($d_{1,3}=20,0-35,9$ cm) b ve c gelişim çağına ve mesçeradaki tüm ağaçların toprağı örtme durumu, yani toprağın kapalılık düzeyi %70 ile %100 arasındadır. ($d_{1,3}$ = ağacın 1,30 m yüksekliğindeki göğüs çapı ölçümü değeri, b gelişim çağı ormancılık amenajman planlarında çapa bağlı olarak sıralıklık ve direklik, c gelişim çağı ise ince ağaçlık çağını ifade etmektedir).

2.2. Örnek alanlarının seçimi

Karaçam, Marmara ve Karadeniz sahillerinden başlayarak Akdeniz Bölgesi'nin kuzeyine kadar uzanır ve 2000 metreye kadar yükselebilir. Özellikle Karadeniz ve Marmara bölgelerinde dağların kuzey yamaçlarında yaygın olarak görülürken, İç Anadolu'da daha az rastlanır. Karaçam, Türkiye'nin çeşitli habitatlarında yetişebilen bir türdür ve ağaçlandırma projelerinde sıkça tercih edilen ikinci türdür (Konukcu, 2001).

Kuzey yarımkürede yayılım gösteren ve Dünya'da 109 farklı türe sahip olan *Pinus* cinsinin bir üyesi olan sahil çamı (*Pinus pinaster Aiton*), doğal olarak Güneybatı Avrupa, Batı Akdeniz ve Kuzeybatı Afrika'da bulunmaktadır (Kandemir ve Mataracı, 2018). Korsika kökenli sahil çamı üzerine yapılan araştırma, Türkiye'de özellikle Batı ve Orta Karadeniz bölgeleri ile Marmara Bölgesi'nde, deniz seviyesinden 500 metre yüksekliğe kadar olan alanlarda ağaçlandırma için uygun olduğunu belirtmektedir (Şimşek ve ark., 1995). Türkiye'deki sahil çamı ağaçlarının yaklaşık %83'ü Marmara Bölgesi'nde, %15'i Karadeniz Bölgesi'nde ve geri kalan %2'si ise Ege ve Akdeniz bölgelerinde bulunmaktadır (Güner ve ark., 2019). Pinaceae Familyasına dahil *Pinus* cinsinin 113

türünden biri olan karaçam (Farjon, 2010; Roskov ve ark., 2015), Kuzey Afrika'da Fas ve Cezayir'de sınırlı yayılışı yanında, Güney Avrupa'nın dağlık kesimleri, Kıbrıs, Anadolu, Suriye ve Akdeniz Adaları'nda geniş yayılışı olan önemli bir orman ağacıdır (Gausson ve ark., 1964).

Çalışma alanında, karaçam ve sahil çamı türlerine ait örnek alanlarından veri toplama işlemi aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilmiştir:

1- İçerisine 15 ve üstü sayıda fert girecek büyüklükte (Çepel, 1977; Güner ve ark., 2022) örnek alanları belirlenmiştir.

2- Fertlerin yayılışına dikkat edilerek 21 adet 20×20 m, 12 adet 20×30 m ve 12 adet 20×15 m genişliğinde örnek alanları belirlenmiş ve bu alanlardaki tüm fertlerin boyları (h_m) ölçülerek ortalama ağaç boyları hesaplanmıştır.

3- Saha çalışmalarında örnek alanlarından ağaç boyları ölçümü gerçekleştirirken, örnek alan içerisinde olan ve ortalama ağaç boylarını etkileyen ucuk kırık ağaç boyları hesaplamalardan çıkarılmıştır.

4- Örnek alanlarında ölçülen h_m değerlerinin yanında eğim, bakı, alan yükseltisi, merkez konum koordinatları ve yamaç konumu gibi verilerde elde edilmiştir.

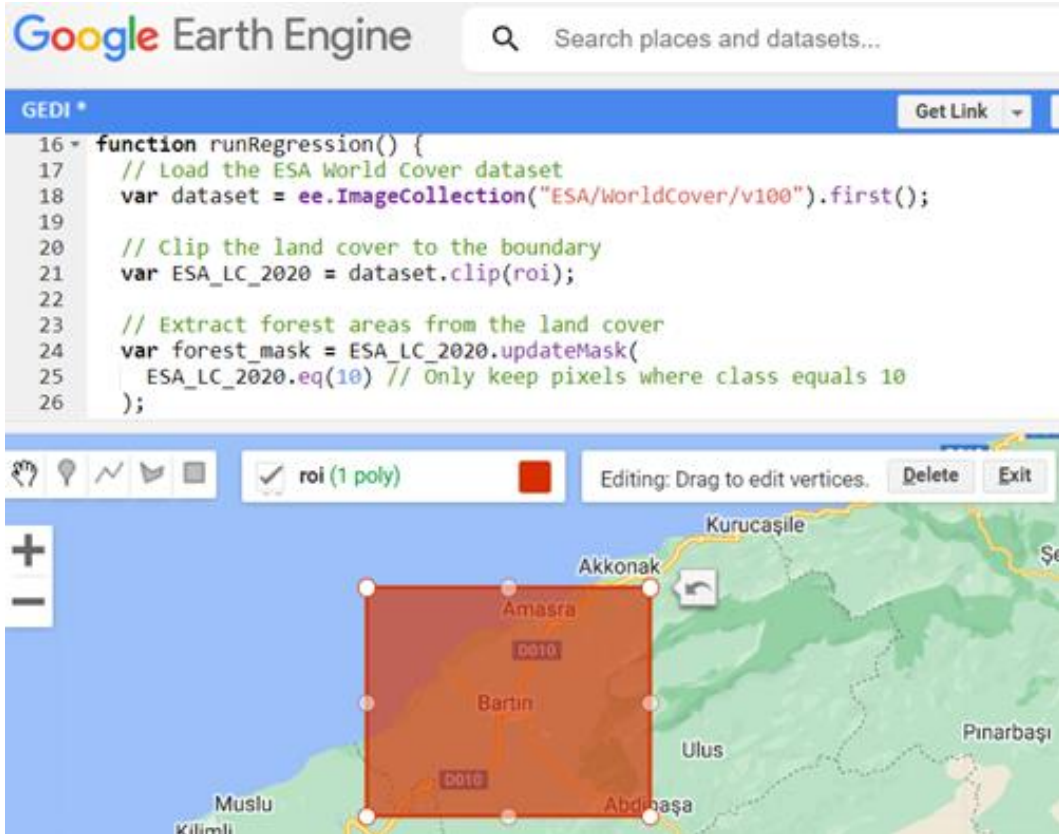
5- Merkez konum koordinatları, el tipi Garmin Oregon GPS cihazı kullanılarak WGS84 koordinat sisteminde kaydedilmiştir. Arazi eğimi ve ağaç boyu Haglöf marka elektronik klizimetre ile ölçülmüş, örnek alanları belirlenirken ise çelik şerit metre kullanılmıştır.

2.3. Uydu görüntüleri temini ve ön işleme adımları

ESA tarafından ücretsiz sağlanan S1 ve S2 uydu görüntüleri (URL-3) adresinden elde edilmiştir. SAR

uydu görüntüsünün ön işleme sürecinde, 13 Ağustos 2023 tarihli S1 GRD Ascending uydu görüntüsü için, yörünge dosyasının eklenmesi, termal gürültünün giderilmesi, kalibrasyonun yapılması, görüntü beneklerinin filtrelenmesi ve arazi düzeltmesi adımları sırasıyla uygulanmıştır. 04.08.2023 tarihli Sentinel-2 Seviye 2A atmosfer altı (BOA) görüntüsü için (atmosferik ve geometrik düzeltmeler uygulanmış kullanıma hazır veri) sadece 10 m ve 20 m mekânsal çözünürlüğe sahip olan bant 2, bant 3, bant 4, bant 5, bant 6, bant 7, bant 8, bant 11 ve bant 12 kullanılmıştır. 20 m olanlar 10 m çözünürlüğe örneklenmiştir. İki uydu görüntüsü için ön işleme çalışmalarında ESA'nın SNAP programı kullanılmıştır.

Avrupa Uzay Ajansı (ESA), 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip, 2020 yılı küresel arazi örtüsü haritası olan WorldCover 10 m 2020 ürününü sunmaktadır. Bu ürün S1 ve S2 uydularından alınan 11 arazi örtüsü veri setini içermektedir. Bu arazi örtüsü setlerinden biri olan orman alanları, SAR görüntüsünü kullanarak çalışmada belirtilen alana ait orman örtüsü verisini indirmekte ve istenilen uzamsal çözünürlüğe göre yeniden örnekleme yapabilmektedir (Bao ve ark., 2023). Bu çalışmada GEE bulut platformundaki ESA/WorldCover/v100 veri seti kullanılmıştır. Orman olmayan alanlar ESA World Cover ile filtrelenerek, orman alanları dışındaki dağlık alanlar, deniz, şehir merkezi ve bina bilgileri bu model dışında bırakılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. GEE de ESA World Cover verisi ile orman alanları dışındaki alanların çıkarılması.

GEE kataloğundan "GEDI L2A ürünü Relative Height (Göreceli Yükseklik) (RH)98 verisi kullanılmış, çalışma alanına göre filtrelenen 25 m çözünürlüklü veriler yeniden örneklenerek 10 m'ye dönüştürülmüştür. GEE platformundan SRTM V3.0 SYM ile yükseklik ve eğim değerleri de elde edilmiştir. Uydu görüntüleri geri saçılım değerleri, bant, GEDİ, yükseklik ve eğim verileri birleştirilerek mozaik oluşturulmuştur. RO algoritması uygulanarak bu mozaik verisinin %70'i eğitim verisi %30'u test verisi olarak kullanılmış, ağaç boyları haritası elde edilmiştir.

Ağaç boyları sahadan toplanırken örnekleme alanları merkezinden alınan konum bilgisi, olası konum hataları olabileceği sebebiyle örnekleme alanlarında 5x5 m alanlar oluşturularak modeli kesen 4 köşenin ortalama değerleri QGIS 3.18 programı ile elde edilmiştir.

Sahadan elde edilen ortalama ağaç boyları(m) ile modelden tahmin edilen ağaç boylarının farkı bulunarak, örnekleme alanları model performansını ölçebilmek için

3 farklı metrik olan Ortalama Mutlak Hata (OMH) (Eşitlik 1), Karesel Ortalama Hata (KOH) (Eşitlik 2) ve Belirtme Katsayısı (R²) (Eşitlik 3) değerleri hesaplanmıştır. Model ve yersel değerlerin performans analizleri ve görselleştirme çalışmaları için Python (3.10.12) kullanılmıştır.

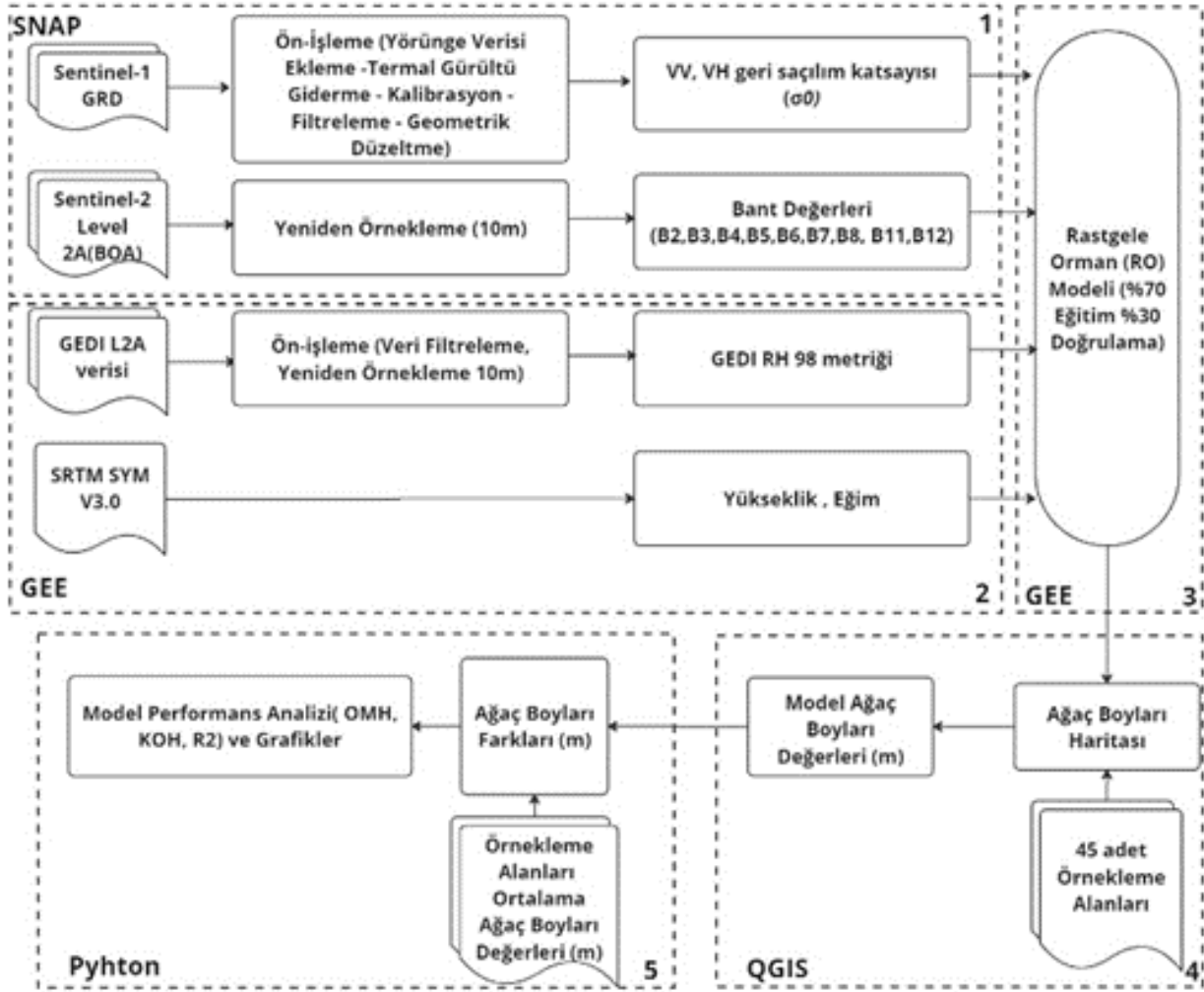
$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |h_{\delta a} - h_{model}| \quad (1)$$

$$KOH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_{\delta a} - h_{model})^2} \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (h_{\delta a} - h_{model})^2}{\sum_{i=1}^n (h_{\delta a} - h_{ort})^2} \quad (3)$$

n, örnekleme alan sayısını ifade ederken, h_{0a} örnekleme alanlarından elde edilen ağaç boylarını, h_{model} modelden elde edilen ağaç boylarını ve h_{ort} örnekleme

alanındaki ortalama boyu ifade etmektedir. Çalışma iş akış diyagramı Şekil 4’de verilmektedir.



Şekil 4. Çalışma iş akış diyagramı.

3. Bulgular ve tartışma

Örnekleme alanlarından elde edilen ortalama ağaç boyları(m) ile modelden elde edilen ağaç boyları arasında ilişki incelendiğinde değişkenler arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki olduğunu gözlenmiştir (r pearson korelasyon katsayısı: 0,77)

Çalışmamızda S1, S2, GEDI, SYM verileri ile 10 m çözünürlüğe yeniden örneklenen geri saçılım değerleri, bantlar, GEDI ve topografya verileri bileşiminin RO algoritması kullanılarak oluşturulduğu modeldeki tüm noktalar ve saha çalışmalarından elde edilen değerlerin farkları analizi için $OMH=1,42$ m, $KOH=1,54$ m ve R^2 ise 0,60 olarak elde edilmiştir. Sonuçların $\alpha = 0,05$ düzeyinde istatistiki olarak farklı ve p değerinin 0,05’ den küçük olması istatistik olarak anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Yüksek R^2 ve Çoklu R değerleri, modelin veri setini iyi açıkladığını gösterirken, düşük standart hata, modelin iyi tahminler yaptığını göstermektedir.

Regresyon modelinin istatistiksel anlamlılığını değerlendiren ANOVA testine ilişkin 64,437735 olan F değeri, regresyon modelinin gruplar arasında anlamlı bir farkının olduğunu göstermektedir ve p değeri (Anlamlılık F) 4,34E-10 (veya yaklaşık olarak sıfıra çok

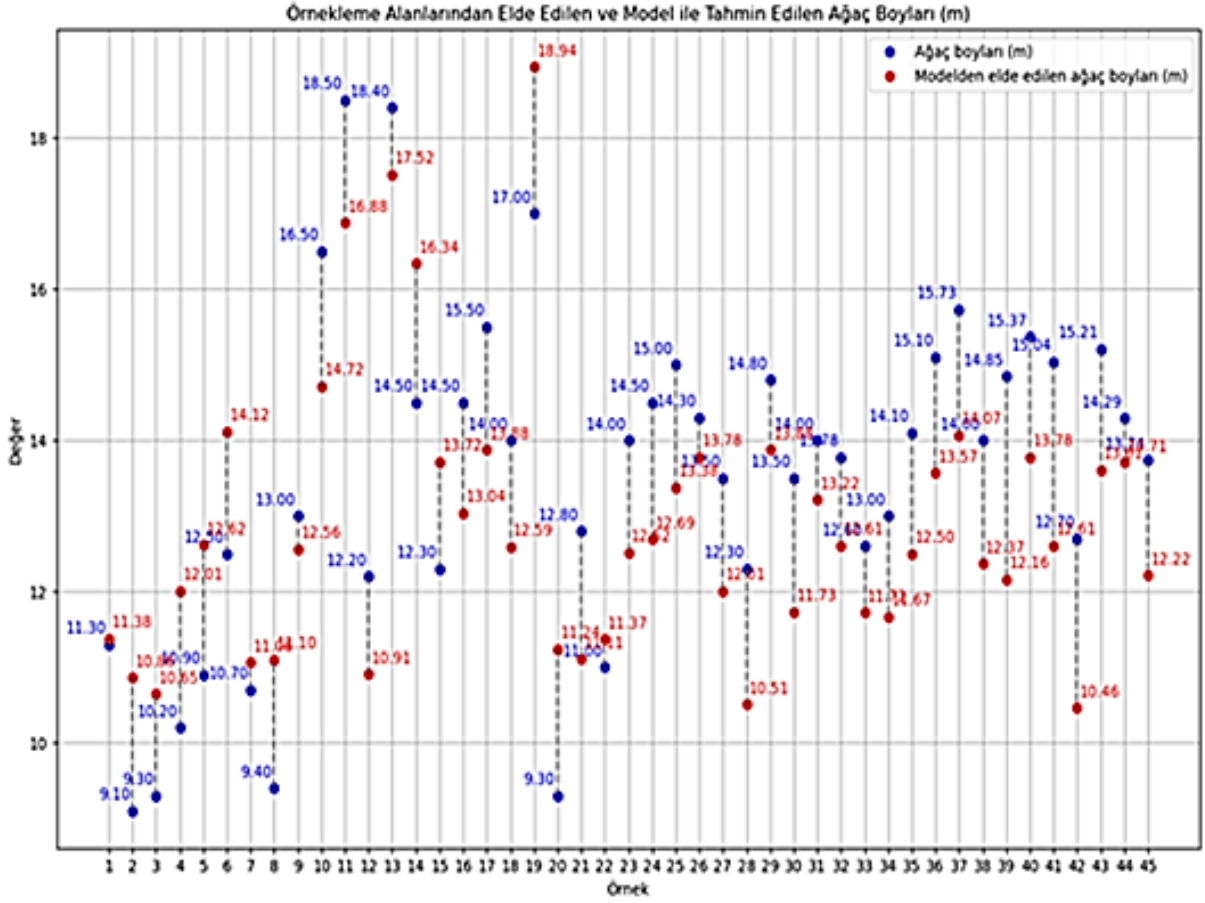
yakın) olduğundan, bu fark istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmektedir. Regresyon istatistikleri ve tek yönlü varyans (ANOVA) testi Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Regresyon istatistikleri ve ANOVA testi

Regresyon istatistikleri					
Çoklu R					0,7744
R Kare					0,5997
Ayarlı R Kare					0,5904
Standart Hata					1,4248
Gözlem					45
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	1	130,82	130,82	64,4377	4,33672E-10
Fark	43	87,303	2,03		
Toplam	44	218,13			

* $p < 0,05$

Çalışmamızda tüm örnekleme alanları için saha verileri ile modelden elde edilen ağaç boyları doğrulukları araştırılmıştır. Boy farkları incelendiğinde 10 adet alanda metre altı doğruluk elde edilirken, 32 alanda 1-2 m arasında doğruluk elde edilmiştir. 3 alanda ise 2 m’den fazla farklar görülmüştür (Şekil 5).

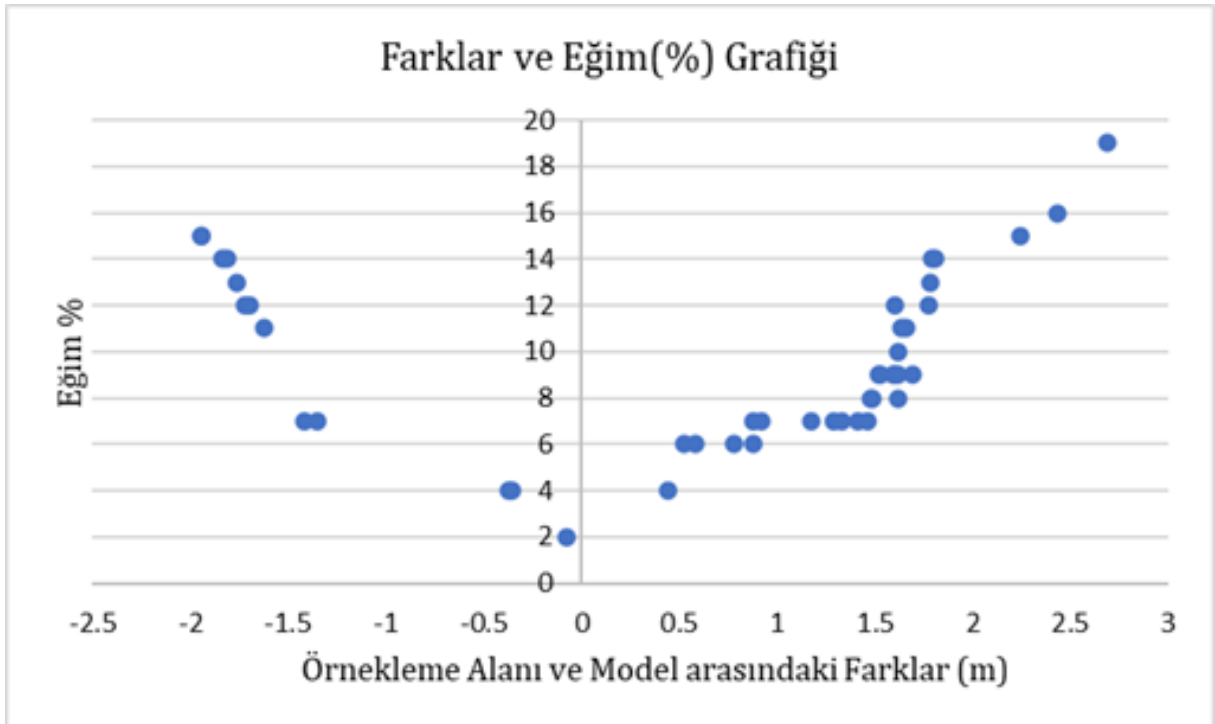


Şekil 5. Örnekleme alanlarından elde edilen ve model ile tahmin edilen ağaç boyları.

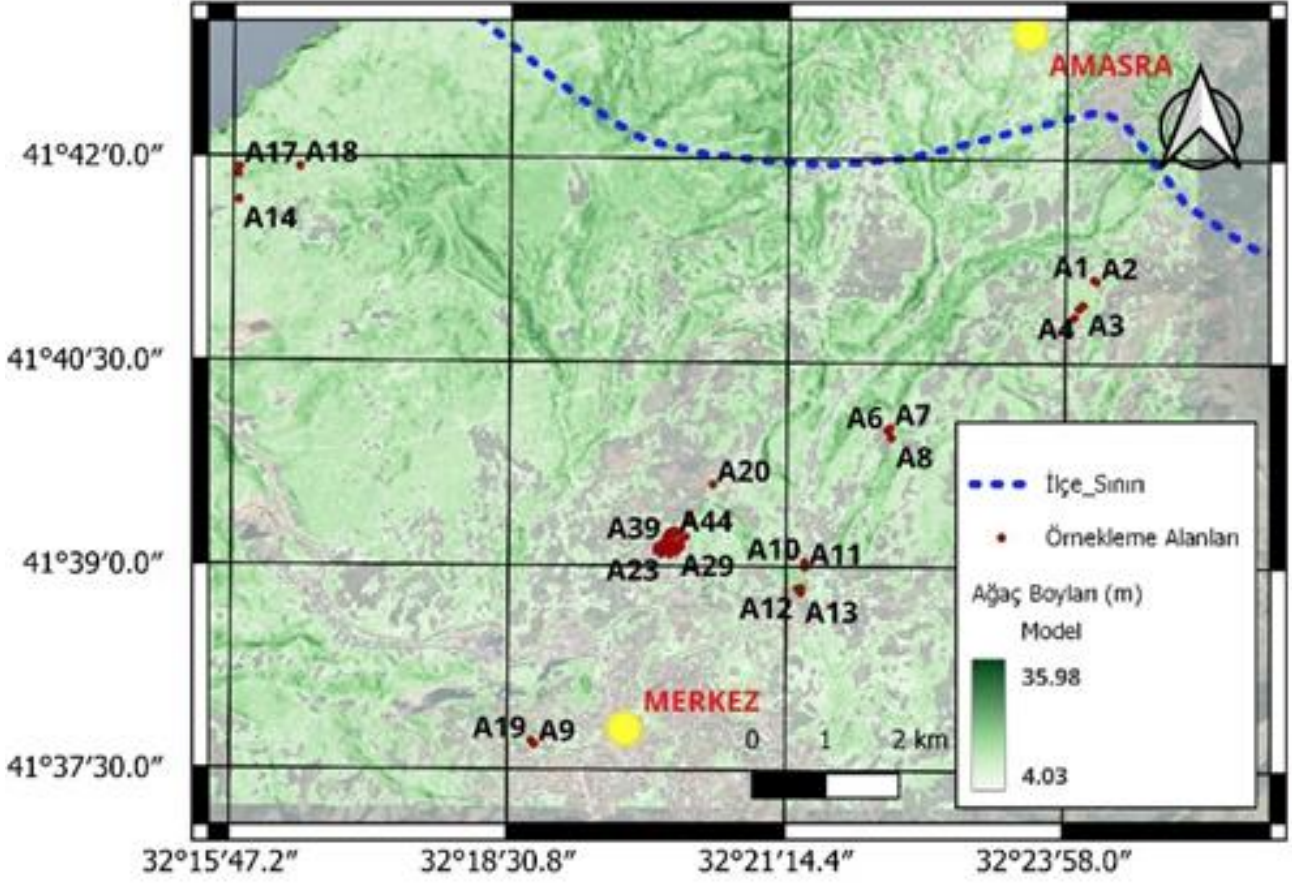
Örnekleme alanlarının eğim değerleri %2 ile %19 arasında değişkenlik göstermektedir. 11 örnekleme alanında %7'den küçük, 15 alanda %7 ile %12 arasında, 12 alanda %12 ile %15 arasında, 7 alanda ise %15 ile %19 arasındadır. Örnekleme alanlarında eğim arttıkça

hatalarda artış gözlenmiştir (Şekil 6).

S1, S2, SYM ve GEDI verileri ile RO algoritması kullanılarak GEE' de üretilen model de en düşük ağaç boyu 4,28 m iken en yüksek 33,18 m olarak elde edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 6. Örnekleme alanlarından elde edilen ve model ile tahmin edilen ağaç boyları farkları ve eğim (%) grafiği.



Şekil 7. Çalışma alanındaki ağaç boylarını gösteren model haritası.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, Potapov ve ark., (2021) çalışmasında Landsat ve GEDI verileri ile 30 m çözünürlüklü yükseklik modelinde KOH'u 7,49 m $R^2 = 0,46$ olarak elde etmiştir. Padalia ve ark., (2023), Landsat, ALOS ve GEDI verileri kullandığı Hindistan'daki çalışmalarında sadece GEDI ile KOH=3,36 m ve $R^2= 0,70$ iken Landsat ve GEDI ile RO modelinin sonuçları iyileştirdiği ve KOH'un 2,32 m olduğu belirtilmiştir. Zhou ve ark., (2023), Landsat zaman serileri ve GEDI verilerini kullanarak güneydoğu Çin'de ağaç boylarını tahmin etmek için gerçekleştirdiği çalışmada en başarılı sonucu $R^2= 0,67$, KOH= 2,24m ve OMH=1,85 olarak elde ederken optik görüntü ve GEDI verisinin sonucu iyileştirdiğini açıklamıştır. Tamiminia ve ark., (2024), S1, S2 ve GEDI verileri ile 10 m yeniden örneklemede gerçekleştirdiği çalışmada iyi çözünürlüklü bir yükseklik modeli için bu verilerin birleşiminin güçlü bir araç olduğunu belirtmiş, KOH= 4,44 m ve $R^2= 0,74$ olarak elde etmişlerdir.

Çalışmamızda, KOH değeri diğer çalışmalara göre daha iyi sonuç vermiştir. Bunda örnekleme alanlarının bulunduğu konumların birbirilerine yakın olması ve topografik durumun çok değişken olmamasının etkili olduğu düşünülmektedir. Eğimin model üzerindeki etkisi incelendiğinde, eğimin artmasıyla model ile yersel farkların arttığı gözlenmiştir. Radar görüntüde Dikey-Yatay polarizasyon, optik görüntü de Bant 4'ün (Kırmızı Bant), SYM' de eğim değerlerinin modeli iyileştirdiği ve GEDI verileri ile radar, optik ve SYM verilerin birleşiminin RO algoritmasında değerlendirilmesi sonucunda ağaç boyu modeli oluşturmada etkili olduğu görülmektedir.

4. Sonuçlar

Ağaç boyu, orman ekosisteminin yapısal özelliklerini anlamak, orman sağlığını değerlendirmek, biyoçeşitliliği sürdürmek ve ekosistem işlevlerini korumak için kritik bir parametredir. Ağaç boyu verileri, ormanların doğal döngülerini anlamak ve yönetmek için temel bilgiler sağlar. Orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından ağaç boyu verileri, ormanın büyüme hızını, yaş dağılımını, tür bileşimini ve envanterini belirlemede kilit bir rol oynar. Uzaktan algılama sistemleri ile ormanlar hakkında bilgi edinilmesi, verilerin işlenmesi, analiz edilmesi ve değerlendirilmesi için bulut tabanlı sistemlerin kullanılması önem kazanmıştır. Bu sistemlerden biri olan Google Earth Engine (GEE), WEB tabanlı bir sistem olup farklı çözünürlüklerdeki uydu verilerinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesini ve analiz edilmesini sağlamaktadır.

GEDI topoğrafyadan ve kalın bulut örtüsünden kolayca etkilenebilmesine rağmen bu uydu altimetre sisteminin, orman bileşenlerinin tahmininde etkili olduğu birçok çalışmada görülmektedir. Çalışmamızda GEE platformunda S1, S2, GEDI ve SYM verilerinin ağaç boyu tahminindeki doğruluğunu, arazi çalışmalarında elde edilen örnekleme alanlarındaki ortalama ağaç boyu verileri ile karşılaştırılmıştır. GEE platformunda RO algoritması kullanılarak elde edilen modelin doğruluğunu incelemek için kullandığımız üç metrikte sırasıyla, OMH= 1,42 m, KOH= 1,54 m ve $R^2= 0,60$ olduğu görülmüştür. Topoğrafya etkisinin, özellikle eğim artışının model doğruluğunu olumsuz yönde etkilediği,

bunun yanında Radar, optik, GEDI, SYM verilerinin oluşturduğu modelin ağaç boyu tahmininde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

GEE platformunun orman alanlarında gerçekleştirilecek çalışmalarda gerek hızlı çözüm üretmesi gerekse güçlü bir bilgisayar donanımına ihtiyaç duymadan geniş alanlarda kolaylıkla kullanılabilmesi nedeniyle elde edilecek sonuçların, odun kaynaklarının tahmin edilmesi, odun stoklarının yönetimi, amenajman planlaması, yangın riskinin belirlenmesi ve habitat kalitesinin değerlendirilmesi gibi uygulamalar için de önemli olduğu düşünülmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu araştırma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından "Orman ekosistemindeki ağaçların bitki örtüsü(kanopi) yüksekliklerinin, Optik, Radar, LIDAR uydu verileri ve yardımcı kaynaklar kullanılarak Google Earth Engine Platformunda Modellenmesi (1919B012215642)" isimli proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK BİDEB 'e, uydu görüntülerinin ücretsiz olarak temin edilmesinde sağladığı imkanlardan dolayı Avrupa Uzay Ajansına (ESA) ve GEDI altimetri verisi için National Aeronautics and Space Administration (NASA)'ya, makalenin değerlendirme süreçlerinde kıymetli görüş ve önerileri için hakemlere teşekkür ederiz.

Araştırmacıların katkı oranı

Eren Gürsoy Özdemir: Literatür taraması, Arazi çalışması, Modelleme, Makale yazımı; **Tarık Utku Zengin:** Literatür taraması, Arazi çalışması, Modelleme; **Halit Abdullah Güleç:** Literatür taraması, Arazi çalışması, Modelleme.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Aghlmand, M., Kalkan, K., Onur, M. İ., Öztürk, G., & Ulutak, E. (2021). Google Earth Engine ile arazi kullanımı haritalarının üretimi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 38-47. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.795977>

Apaydın, C., & Abdikan, S. (2021). Fındık bahçelerinin Sentinel-2 verileri kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleriyle belirlenmesi. *Geomatik*, 6(2), 107-114. <https://doi.org/10.29128/geomatik.705988>

Bao, J., Zhu, N., Chen, R., Cui, B., Li, W., & Yang, B. (2023). Estimation of Forest Height Using Google Earth Engine Machine Learning Combined with Single-Baseline TerraSAR-X/TanDEM-X and LiDAR. *Forests*, 14(10), 1953. <https://doi.org/10.3390/f14101953>

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

Coops, N. C., Kearney, S. P., Bolton, D. K., & Radeloff, V. C. (2018). Remotely-sensed productivity clusters capture global biodiversity patterns. *Scientific Reports*, 8(1), 16261. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34162-8>

Çepel, N. (1977). Türkiye'nin önemli yetiştirme bölgelerindeki saf sarıçam ormanlarının gelişimi ile bazı edafik ve fizyografik etkenler arasındaki ilişkiler. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 26(2), 25-64.

Çömert, R., Matcı, D. K., & Avdan, U. (2019). Object based burned area mapping with random forest algorithm. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(2), 78-87. <https://doi.org/10.26833/ijeg.455595>

Dubayah, R., Blair, J. B., Goetz, S., Fatoyinbo, L., Hansen, M., Healey, S., ... & Silva, C. (2020). The Global Ecosystem Dynamics Investigation: High-resolution laser ranging of the Earth's forests and topography. *Science of Remote Sensing*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2020.100002>

Duncanson, L., Kellner, J. R., Armston, J., Dubayah, R., Minor, D. M., Hancock, S., ... & Zraggen, C. (2022). Aboveground biomass density models for NASA's Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) lidar mission. *Remote Sensing of Environment*, 270, 112845. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112845>

Gausson, H., Heywood, V. H., & Chater, A. O., (1964). *The Genus Pinus L. Flora Europaea*, Cambridge University Press, Cambridge, 1, 32-35.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

Guerra-Hernández, J., & Pascual, A. (2021). Using GEDI lidar data and airborne laser scanning to assess height growth dynamics in fast-growing species: a showcase in Spain. *Forest Ecosystems*, 8, 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00291-2>

Güner, Ş. T., Özel, C., Türkkan, M., & Akgül, S. (2019). Türkiye'deki sahilçamı ağaçlandırmalarında ağaç bileşenlerine ait karbon yoğunluklarının değişimi. *Ormançılık Araştırma Dergisi*, 6(2), 167-176. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.546116>

Güner, Ş. T., Diamantopoulou, M. J., Poudel, K. P., Çomez, A., & Özçelik, R. (2022). Employing artificial neural network for effective biomass prediction: An alternative approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106596. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106596>

Farjon, A. (2010). *A Handbook of the World's Conifers: Revised and Updated Edition*. Brill. <https://doi.org/10.1163/9789047430629>

Flores-Anderson, A. I., Herndon, K. E., Thapa, R. B., & Cherrington, E. (2019). *The SAR handbook: Comprehensive methodologies for forest monitoring and biomass estimation* (No. MSFC-E-DAA-TN67454).

Kandemir, A., & Mataracı, T. (2018). Pinus L. Resimli Türkiye Florası, 2, 324-354.

Kindermann, G., McCallum, I., Fritz, S., & Obersteiner, M. (2008). A global forest growing stock, biomass and

- carbon map based on FAO statistics. *Silva Fennica*, 42(3), 387-396.
<https://doi.org/10.14214/sf.244>
- Konukçu, M., (2001). *Ormanlar ve Ormancılığımız*. DPT Yayınları, 2630, Ankara.
- Morin, D., Planells, M., Baghdadi, N., Bouvet, A., Fayad, I., Le Toan, T., ... & Villard, L. (2022). Improving heterogeneous forest height maps by integrating GEDI-based forest height information in a multi-sensor mapping process. *Remote Sensing*, 14(9), 2079. <https://doi.org/10.3390/rs14092079>
- Narin, Ö. G., & Yilmaz, M. (2024). GEDI Uydu Tabanlı Lazer Altimetre Verisinin Arazi Yükseklik Tahmininin Araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 85-89.
<https://doi.org/10.35414/akufemubid.1349854>
- Özdemir, S., Akbulut, Z., Karşlı, F., & Acar, H. (2021). Automatic extraction of trees by using multiple return properties of the lidar point cloud. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(1), 20-26.
<https://doi.org/10.26833/ijeg.668352>
- Özdemir, E. G., Demiralay, A., & Şahin, B. (2024). Bartın'daki Sahil Çamı (*Pinus pinaster* Ait.) Ağaçlandırma Alanlarında Sentinel-1 ve Sentinel-2 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Toprak Üstü Biyokütle Kestirilmesi. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 5(1), 15-27.
<https://doi.org/10.48123/rsgis.1327406>
- Padalia, H., Prakash, A., & Watham, T. (2023). Modelling aboveground biomass of a multistage managed forest through synergistic use of Landsat-OLI, ALOS-2 L-band SAR and GEDI metrics. *Ecological Informatics*, 77, 102234.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102234>
- Potapov, P., Li, X., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Hansen, M. C., Kommareddy, A., ... & Hofton, M. (2021). Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 253, 112165.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112165>
- Rishmawi, K., Huang, C., & Zhan, X. (2021). Monitoring key forest structure attributes across the conterminous United States by integrating GEDI LiDAR measurements and VIIRS data. *Remote Sensing*, 13(3), 442.
<https://doi.org/10.3390/rs13030442>
- Roskov Y., Abucay L., Orrell T., Nicolson D., Kunze T., Culham A., Bailly N., Kirk P., Bourgoin T., DeWalt R.E., Decock W., De Wever A. (2015). *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2015 Annual Checklist*. DVD. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands.
- Saarela, S., Holm, S., Healey, S. P., Andersen, H. E., Petersson, H., Prentius, W., ... & Ståhl, G. (2018). Generalized hierarchical model-based estimation for aboveground biomass assessment using GEDI and landsat data. *Remote Sensing*, 10(11), 1832.
<https://doi.org/10.3390/rs10111832>
- Santorio, M., Cartus, O., Fransson, J. E., & Wegmüller, U. (2019). Complementarity of X-, C-, and L-band SAR backscatter observations to retrieve forest stem volume in boreal forest. *Remote Sensing*, 11(13), 1563. <https://doi.org/10.3390/rs11131563>
- Sefercik, U. G., Ateşoğlu, A., & Atalay, C. (2021). Orman meşcere yükseklik haritası üretiminde hava kaynaklı lazer tarama performans analizi. *Geomatik*, 6(3), 179-188. <https://doi.org/10.29128/geomatik.721916>
- Spracklen, B., & Spracklen, D. V. (2021). Determination of structural characteristics of old-growth forest in Ukraine using spaceborne LiDAR. *Remote Sensing*, 13(7), 1233.
<https://doi.org/10.3390/rs13071233>
- Şimşek, Y., Erkuloğlu, Ö.S., Tosun, S., (1995). Türkiye'de Karaçam (*Pinus nigra* Arn. Ssp. *Pallasiana* (Lamb.) Holmboe) Orijin Denemelerinin İlk Sonuçları. İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Serisi, 247, Ankara.
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., & Goulden, T. (2024). State-wide forest canopy height and aboveground biomass map for New York with 10 m resolution, integrating GEDI, Sentinel-1, and Sentinel-2 data. *Ecological Informatics*, 79, 102404.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102404>
- Üstüner, M., & Sanli, F. B. (2021). Crop classification from multi-temporal PolSAR data with regularized greedy forest. *Advanced Remote Sensing*, 1(1), 10-15.
- Xi, Z., Xu, H., Xing, Y., Gong, W., Chen, G., & Yang, S. (2022). Forest canopy height mapping by synergizing icesat-2, sentinel-1, sentinel-2 and topographic information based on machine learning methods. *Remote Sensing*, 14(2), 364.
<https://doi.org/10.3390/rs14020364>
- Vatandaşlar, C., Narin, O. G., & Abdikan, S. (2023). Retrieval of forest height information using spaceborne LiDAR data: a comparison of GEDI and ICESat-2 missions for Crimean pine (*Pinus nigra*) stands. *Trees*, 37(3), 717-731.
<https://doi.org/10.1007/s00468-022-02378-x>
- Wang, Y., Ma, J., Xiao, X., Wang, X., Dai, S., & Zhao, B. (2019). Long-term dynamic of Poyang Lake surface water: A mapping work based on the Google Earth Engine cloud platform. *Remote Sensing*, 11(3), 313.
<https://doi.org/10.3390/rs11030313>
- Zadbagher, E., Marangoz, A. M., & Becek, K. (2023). Characterizing and estimating forest structure using active remote sensing: An overview. *Advanced Remote Sensing*, 3(1), 38-46.
- Zhou, X., Hao, Y., Di, L., Wang, X., Chen, C., Chen, Y., ... & Jancso, T. (2023). Improving GEDI Forest Canopy Height Products by Considering the Stand Age Factor Derived from Time-Series Remote Sensing Images: A Case Study in Fujian, China. *Remote Sensing*, 15(2), 467. <https://doi.org/10.3390/rs15020467>
- URL-1: <https://gedi.umd.edu/mission/mission-overview/>
- URL-2: MGM, (2024). Meteorolojik Veri. <https://www.mgm.gov.tr/>
- URL-3: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>

